

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# ПРОБЛЕМИ ХІММОТОЛОГІЇ

ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА РАЦІОНАЛЬНОГО  
ВИКОРИСТАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ І АЛЬТЕРНАТИВНИХ  
ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

МОНОГРАФІЯ

«Видавництво  
«Центр учбової літератури»  
Київ – 2017

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF UKRAINE  
NATIONAL AVIATION UNIVERSITY

**PROBLEMS OF CHEMMOTOLOGY**  
**THEORY AND PRACTICE OF RATIONAL USE**  
**OF TRADITIONAL AND ALTERNATIVE FUELS**  
**& LUBRICANTS**

**MONOGRAPH**

Publiser  
Center of educational literature  
Kyiv – 2017

УДК 665.75/.76:621.892(02)  
ББК 541я43  
781

*Рекомендовано до друку  
Вченою радою Національного авіаційного університету  
(Протокол від 22.03.2017 р. № 3)*

*Approved by Scientific Board of the National aviation university  
(Protocol № 3 of 22.03.2017)*

**Рецензенти:**

**Олександр Тамаргазін** – д.т.н., професор, завідувач кафедри технологій аеропортів Аерокосмічного інституту Національного авіаційного університету НАУ;  
**Середюк Марія** – д.т.н., професор, завідувач кафедри транспорту і зберігання нафти газу Івано-Франківського Національного технічного університету нафти та газу;  
**Богдан Дзіняк** – д.т.н., професор кафедри технології органічних продуктів, заступник директора інституту хімії та хімічних технологій НУ «Львівська політехніка».

**Reviewers:**

**Oleksandr Tamargazin** – Dr. Sc., Professor;  
**Mariia Serediuk** – Dr. Sc., Professor;  
**Bohdan Dzyniak** – Dr. Sc., Professor.

**Проблеми хімотології. Теорія та практика використання традиційних 781 і альтернативних паливно-мастильних матеріалів:** Монографія / Сергій Бойченко, Казимир Лейда, Василь Матейчик, Петро Топільницький / за заг. ред. проф. С. Бойченка. – К.: Центр учбової літератури, 2017. — 452 с.

**Problems of chemmotology. Theory and practice of rational use of traditional and alternative fuels & lubricants:** Monograph / Sergii Boichenko, Kazimirz Lejda, Vasyl Mateichyk, Petro Topilnytskyi / under the general editorship of prof. Sergii Boichenko. – K.: Center of educational literature, 2017. — 452 p.

**ISBN 978-617-673-632-5**

Монографія присвячена сучасним проблемам раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів і інших експлуатаційних матеріалів під час експлуатації техніки.

Monograph is devoted to the modern problems of of rational use of traditional and alternative fuels, lubricants and other operational materials during exploitation of equipment.

ISBN 978-617-673-632-5

НАУ, 2017  
NAU, 2017

*Наукове видання*

БОЙЧЕНКО Сергій  
ЛЕЙДА Казимир  
МАТЕЙЧИК Василь  
ТОПІЛЬНИЦЬКИЙ Петро

**ПРОБЛЕМИ ХІММОТОЛОГІЇ**  
**ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА РАЦІОНАЛЬНОГО**  
**ВИКОРИСТАННЯ ТРАДИЦІЙНИХ І АЛЬТЕРНАТИВНИХ**  
**ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

**Монографія**

За загальною редакцією професора *Сергія Бойченка*

*Відповідальна за видання – Лариса Черняк*

*Маркетингові роботи – Ірина Шкільнюк*

*Ідея макету обкладинки – Анна Яковлева*

*Комп'ютерний набір – Олеся Кондакова*

Монографія підготовлена на основі матеріалів, наданих авторами-учасниками VI Міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології. Теорія та практика раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів». Матеріали, надані авторами (співавторами) друкуються у авторській редакції.

Автор (співавтор) несе відповідальність за якість матеріалів. Авторський колектив (редакційна рада) залишає за собою право скорочувати та редагувати подані матеріали. Кожен автор під час посилання на дану працю користується правилом посилання на розділ у монографії.

Монографія розміщена в науко-метричній базі Google Академія.

ISBN 978-617-673-632-5

Підписано до друку 07.06.2017. Формат 70x100 1/16.  
Друк лазерний. Папір офсетний. Гарнітура Times New Roman.  
Ум. друк. арк. 36,72. Тираж 300 прим.

ТОВ «Видавництво «Центр учбової літератури»  
вул. Електриків, 23 м. Київ 04176

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи  
К № 4162 від 21.09.2011 р.

*Scientific publishing*

Sergii BOICHENKO  
Kazimierz LEJDA  
Vasyl MATEICHYK  
Petro TOPILNYTSKYI

**PROBLEMS OF CHEMMOTOLOGY.  
THEORY AND PRACTICE OF RATIONAL USE OF  
TRADITIONAL AND ALTERNATIVE FUELS &  
LUBRICANTS**

Monograph

under the general editorship of professor *Sergii Boichenko*

Responsible for publishing – *Larysa Cherniak* Marketing work –  
*Iryna Shkilniuk* Idea of the book cover design – *Anna Yakovlieva*  
Computer typesetting – *Olesia Kondakova*

Monograph is based on materials, presented by the authors-participants of the VI International Scientific-Technical Conference “Problems of chemmotology. Theory and practice of rational use of traditional and alternative fuels & lubricants”. Materials presented by the authors (co-authors) are published in the author’s edition. Authors (co-authors) are solely responsible for the quality of materials. Authoring team (editorial board) leaves the right to shorten and edit presented materials. Each author, while referencing these writings, uses the rules of citing for the chapter in monograph. The monograph is located in the science-based metric Google Scholar.

ISBN 978-617-673-632-5

## ОСНОВНІ СКОРОЧЕННЯ

ККД – коефіцієнт корисної дії	БХО – біохімічне очищення
ДВЗ – двигун внутрішнього згорання	ПААК – катіонний
ПММ – паливно-мастильні матеріали	поліакрилоамід ПААА – аніонний
ТР – технічні рідини	поліакрилоамід ВНТ – вуглецеві
ТТХ – тактико-технических характеристик	нанотрубки ОС – олеосульфони
ЛА – летательные аппараты	ККМ – критична концентрація міцелоутворення
FAME – fatty acid methyl esters	ПАС – поверхнево-активні системи
НПЗ – нафтопереробний завод	ФПАР – фторовані поверхнево-активні речовини
ПАР – поверхнево-активні речовини	ГЛБ – гідрофільно-ліпофільний баланс
ОЧ – октанове число	ТЕС – теплових електростанцій
МЕЖК – метилові естери жирних кислот	ТЕЦ – теплових електроцентралей
ЕЕЖК – етилові естери жирних кислот	ППС – паро-повітряна суміш
ПЕЖК – н-пропілові естери жирних кислот	ІКС – інден-кумаронова смола
БЕЖК – н-бутилові естери жирних кислот	БМП – бітуми модифіковані полімерами
ММВ – міжмолекулярна взаємодія	ЧШМТ – чотирикулькова машина тертя
ЭГД – эластогидродинамический КО – конфузорная область контакта	АЗС – автозаправні станції
ДО – расширяющаяся (диффузорная) область	ПТП – протитурбулентні присадки
ГМХ – гидромеханические характеристики	ББС – базова бензинова суміш
СШ – условия Свифта-Штибера	ГТД – газотурбінні двигуни
ДПС – дисперсні паливні системи	УМ – уреатне мастило
ВВМС – водновуглемазутня суміш	ПЩ – полізоціанат
ФПК – фактическая поверхность контакта	ТГ – термогравиметрія
МП – магнитное поле	ДТА – диференціальний термічний аналіз
МПЭ – магнитопластический эффект	– температури термооброблення
ЭГДТ – эластогидродинамическая теории трения	HFRR – High Frequency Reciprocating Rig
ГМШ – граничний мастильний шар	CARB – California Air Resources Board
ПТЗ – підконтрольний транспортний засіб	CTL – Coal to liquid
АГД – адгезионно-гидродинамический	КНТ – карбонові нанотрубки
БПС – бітум-полімерна суміш	ПРД – повітряно-реактивні двигуни
ФФО – фенол-формальдегідні олігомери	ТР – технічного регламенту САП – спільний авіаційний простір
СУН – Східно-Українська нафта	JAR – Joint Aviation Requirements
ЗУН – Західно-Українською нафтою	JIG – Joint Inspection Group
ІТК – істинна температура кипіння	РЖ – робочі жидкості ПАО – полиальфаолефины АСГИМ – авиационное синтетическое гидравлическое масло АП – атмосферне повітря
ІК – інтенсивність кипіння	ПС – повітряне судно
ВБС – вторинний бутиловий спирт	ЗР – забруднююча речовина
СЗУН – суміш західноукраїнських нафт	
ССУН – суміш східноукраїнських нафт	
ОЕ – оксид етилену	
ОП – оксид пропілену	
БНД – бітуми нафтові дорожні	ЗПЦ – злітно-посадковий цикл
БНБ – бітуми нафтові будівельні	АД – авіаційний двигун
БНП – бітуми нафтові будівельні	ЛА – літальний апарат
БНИ – бітуми нафтові покривельні	РПДТ – ракетно-прямоточний двигун на твердому паливі
БНК – бітуми нафтові ізоляційні	ОМК – об'ємно-масова компоновка
ГК – гумова крихта	КММ – комплексна математична модель
ДТА – диференційного термічного аналізу	
MS – mass spectrometer	
АХА – авіаційний хімотологічний аналіз	
– математична модель	
ПН – полезная нагрузка	
ТБ – топливные баки	
ТЗП – теплозащитные покрытия	
АДХ – аэродинамические характеристики	

ЛТХ – лётно-технические характеристики  
РН – ракета-носитель  
ЖРД – жидкостный ракетный двигатель  
ИПМК – изопропилметакарборан  
ГДН – гидрированный димер норборнадиена  
ЭГД – эластогидродинамическая  
КО – конфузурная область  
ДО – диффузурная область  
ЗПС – злітно-посадкова смуга  
РД – руліжна доріжка  
РП – реактивне паливо  
ТПК – температура початку кристалізації  
БМЛ – ближньомагістральні літаки  
СМЛ – середньомагістральні літаки  
ДМЛ – дальньомагістральні літаки  
ВОИС – всемирная организация  
интеллектуальной собственности  
ИКАО – Международная организация  
гражданской авиации  
ТЗ – транспортний засіб  
ЄЕС – Європейське Економічне Співтовариство  
AAR CORP – Allen Aircraft Radio Corporation  
ВГ – відпрацьовані гази  
ТП – транспортні потоки  
ГІС – геоінформаційні системи  
ОС – оточуюче середовище  
ГДК – гранично-допустима концентрація  
АТП – автотранспортні підприємства  
ТО – технічне обслуговування  
Р – ремонт  
УЗ – ультразвук  
OSH – Occupational safety and health  
NIOSH – The National Institute for Occupational  
Safety and Health  
ГЕ – гідроекосистема  
ІЗВ – індекс забруднення води  
КДО – конструкція дорожнього одягу  
ЕБ – екологічна безпека  
ПВ – промислові відходи  
АДБМ – альтернативні дорожньо-будівельні  
матеріали  
МППВ – моделі поведінки з промисловими  
відходами  
ЗОР – змащувально-охолоджуючі рідини

*«Не все те отрута, що неприємне на смак».*

*«Хто думає про науку, той любить її,  
хто її любить, той ніколи не перестав вчитися,  
хоча б зовні він і здавався бездіяльним»*

**Григорій Сковорода**

## **Вступ**

Визнаючи сучасний глобальний виклик, що породжує **«трілемма енергетики»** – забезпечення збалансованості між енергетичною безпекою, економічним розвитком охороною довкілля, а також зусилля всіх країн для досягнення стійкого розвитку **хіммотологія** як наука має унікальну специфічну місію, що викремлює її серед інших прикладних наук і наукових напрямів. **Світова енергетична Рада** позиціонує концепцію сучасного енергетичного світогляду таким чином, що непотрібних ресурсів або «невдалих» технологій немає, але є недостатній або непродуманий вибір, небажання або невміння застосовувати нові технології на практиці.

Забезпечення балансу між трьома ключовими аспектами **енергетичної трілемми** – енергетичною безпекою, доступністю та екологічною стійкістю – є найважливішим завданням під час розроблення енергетичних стратегій. Один з ефективних методів вирішення завдання трілемми в світовому масштабі – міжнародне співробітництво та інтеграція. Вони є ключем до розкриття невикористаного потенціалу енергетичних ресурсів, природних маршрутів транспортування енергії та можливостей її зберігання, зокрема, у транспортному секторі.

Беручи до уваги Європейську Енергетичну Хартію, прийняту в Заключному документі Гаазької конференції з Європейської Енергетичної Хартії, підписаному в Гаазі 17-го грудня 1991 року, підписання якої дозволяє державам і Організаціям Регіональної економічної інтеграції приєднуватися до Договору з Енергетичної Хартії від 1994 року,

також рішення, прийняте Конференцією з Енергетичної Хартії на її 23-й Сесії у Варшаві

2012 р. нами було розпочато процес підготовки матеріалів, спрямованих на досягнення цілей енергетичної трілемми через підготовку рукопису матеріалів, присвячених проблемам раціонального використання паливно-мастильних матеріалів у транспортному секторі. Ці проблеми вже понад 50 років прийнято називати **хіммотологічними**. Раціональне використання паливно-мастильних матеріалів, енергоефективність, екологічність входять

число найважливіших проблем сучасності. Їх рішення значною мірою визначає стабільний розвиток світової економіки і збереження комфортних умов людства.

Відповідальною за забезпечення цілісності у вирішенні безлічі завдань енергетичної трілемми стала **хіммотологія**. З філософської точки зору можна сміливо стверджувати, що консолідує функцію системної інтеграційної комунікації вчених і практиків енергетичної, машинобудівної, хімічної, нафтопереробної та нафтохімічної галузей економіки разом з експлуатантами техніки для вирішення еволюційних завдань науково-технічного прогресу виконує саме ця наука.

Авторами систематизовано унікальні доробки вчених і практиків різних країн світу з питань раціонального використання паливно-мастильних матеріалів і технічних рідин у транспортному секторі економіки. Величезну роль у вирішенні вищезазначених завдань відіграє міжнародна науково-технічна конференція «Проблеми хіммотології», що є унікальним майданчиком, платформою інформаційного метаболізму у даній сфері, що закладає вагому «целину» у вирішенні завдань й досягнення цілей енергетичної трілемми.



*«Not everything that tastes bad is a poison».*

*«Those, who think about science, loves it.  
And those, who loves it, never stops studying,  
even if he seems to be inactive»*

*Hrigorii Skovoroda*

## Introduction

Recognizing the modern global challenge generated «**energy trilem**», providing balance between energy safety, economic development and environmental protection and efforts of of states around the world for reaching sustainable development, **Chemmotology** as a science has a unique specific mission that emphasizes it among other applies sciences and scientific directions. **The World Energy Council** locates the concept of modern energy outlook in such a manner that there are no unuseful resources or unsuccessful technologies. But there is insufficient or unreasoned choice, unwell or uncapability to apply new technologies in practice.

Providing balance between three key aspects of **energy trilem** – energy safety, acceccability and environmental stability is the most important task during development of energy strategies. One of effective methods of sovling trilem's tasks in the world's scale is international collaboration and integration. They are the key to revealing unused ppotential of energy resources, natural routes of energy transfer and possibilities for its storage, in particular in transport sector.

Taking intoaccount European Energy Charter, adopted in Final document of the hague Convention on European Energy Charter, which was signed on 17<sup>th</sup> December 1991 and that allows states and Regional economic integration organizations to associating to Energy Charter Agreement since 1994, and also taking into account decision, adopted by the Conference on Energy Charter at 23<sup>rd</sup> Session in Warsaw in 2012, we started the process of preparing materials, directed on reaching objectives of energy trilem through preparing manuscripts devoted to the problem of the rational use of fuels and lubricants in transport sector. During more than 50 years these problems are used to be called **chemmotological**. Rational use of fuels and lubricants, energy efficiency, environmental safety are included into the list of the most important problems of the modern world. Solving these problems determines in a great manner the sustainable development of the world economy and keeping comfort conditions for human being.

Chemmotology became responsible for providing integrity in solving numerous tasks of energy trilem. From the philosophical point of view we can state that exactly this science paly's consolidating function of systematic integrative communication of scientists and praticians of energy, machine building, chemical, oil processing and petrochemical industries along with exploitants of equipment for solving evolution tasks of scientific-technical progress.

Authors have systemated unique works by scientists and praticians worldwide on questions of the rational use of fuels, lubricants and technical liquids in transport sector of economy. The great role in solving these questions is played by International scientific-technical conference "Problems of Chemmotology" thatis the unique platform of informational metabolism in the given sphere, which build up solving and reaching objectives of the energy trilem.

## РОЗДІЛ I

### ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ХІММОТОЛОГІЇ

УДК 662.7(043.2)

#### I-1. ХІММОТОЛОГІЯ ЯК ПРИКЛАДНА НАУКА – ІНТЕГРОВАНІЙ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ СТАЛОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Олександр Аксьонов, Сергій Бойченко, Казимир Лейда*

На сучасному рівні використання палива людство ще не вирішило проблему високоефективного його спалювання з метою отримання максимальної кількості корисної енергії.

Як відомо, споживання двигуном транспортного засобу палива визначається його енергетичною ефективністю, тобто кількістю теплоти, що виділилася під час згорання 1 кг палива. Підраховано, що сьогодні тільки 12 % енергії, що виділяє паливо під час згорання, витрачається на рух автомобіля. На сьогодні на одного жителя Землі за рік видобувається 10 т природних копалин. З них тільки 1 % (100 кг) є корисними, а інша частина забруднює атмосферу, ґрунт, водойми. Ефективність використання палива можна представити енергетичним балансом рухомого автотранспортного засобу (табл. 1).

Таблиця 1

Енергетичний баланс автотранспортного засобу	
12 % енергії палива, що спалюється	88 % енергії палива, що спалюється
2,4 % – опір качінню	42 % – система охолодження
3,2 % – опір повітрю	22 % – відпрацьовані гази
6,4 % – сили інерції	13 % – тертя в двигуні
	9 % – тертя в трансмісії
	2 % – привод допоміжного обладнання

Сьогодні найсучасніші бензинові двигуни мають ефективний коефіцієнт корисної дії (ККД) у межах 20–40 %, дизельні – 42–44 %, газові – 38–45 %, газотурбінні – до 50 %.

ККД використання палива у двигунах внутрішнього згорання (ДВЗ) визначається формулою

$$\text{ККД} = \frac{0,55E_1}{Q(0,55 q_1 L_1)} + \frac{0,45E_2}{0,45 q_2 L_2} \cdot 100 \%$$

де  $E_1, E_2$  – теоретично необхідна кількість енергії відповідно для міського та шосейного режимів;  $Q$  – теплота згорання палива;  $q_1, q_2$  – визначена витрата палива відповідно для міського та шосейного режимів;  $L_1, L_2$  – пробіг автомобіля у міському та шосейному режимах руху відповідно.

Сучасну паливну ефективність ДВЗ можна описати його енергетичним балансом (рис. 1). У ДВЗ під час спалювання палива енергія розподіляється таким чином: *паливо* (100 %) = *система охолодження* ( $\approx 30$  %) + *сили тертя в двигуні* (10 %) + *відпрацьовані гази* ( $\approx 22$  %) + (*обертання колінчастого вала* + *привід механізмів* = *корисна робота*  $\approx 13$  %) *частина палива, що не згоріла* ( $\approx 25$  %).



Рис. Узагальнений енергетичний баланс ДВЗ

Рисунок наочно репрезентує низьку паливну ефективність сучасних ДВЗ. Але, у той же час, вищенаведені аргументи свідчать про те, що людство має значний «запас» енергії з точки зору можливості та необхідності удосконалення технічних засобів, що як джерело енергії використовують продукти переробки нафти або суміжні (замінні, альтернативні).

Раціональне використання паливно-мастильних матеріалів (ПММ), енергоефективність, екологічність входять в число найважливіших проблем сучасності. Їх рішення значною мірою визначає стабільний розвиток світової економіки і збереження комфортних умов людства.

Наукою, що стала відповідальною за забезпечення цілісності в рішенні безлічі завдань цих проблем, є хімотологія.

Сучасна дефініція науки хімотологія трактується так. Це – наука про технологічні процеси, властивості, якість та методологію раціонального використання палив, олів, мастил і технічних рідин під час експлуатації техніки. При цьому необхідно розглядати як нафтові, так і альтернативні ПММ.

Знання транспортного засобу та його грамотна експлуатація передбачає не тільки знання конструкції, кінематичних, динамічних, температурних характеристик, але й фізико-хімічних властивостей конструкційних експлуатаційних матеріалів, необхідних для аналізу та прогнозування фізико-хімічних процесів під час використання конкретного палива або мастильного матеріалу.

Наприклад, літак – це величезна кількість металевих і композиційних деталей, що синхронно летять на швидкості 900 км/год (0,85 від швидкості звуку, це типова швидкість Boeing 787 Dreamliner) на висоті 10 км. Пара-трійка мільйонів деталей виготовляється

збирається в один виріб – і літак летить, забезпечуючи комфорт пасажиром і прибутком власникам. Забезпечити надійний і економічний спільний політ цих деталей, пов'язавши найрізноманітніші вимоги (вантажопідйомність, витрата палива, дальність польоту, шум пид час зльоту та посадки, вимоги до довжини розбігу і посадки, необхідність легкого обслуговування на землі, відсутність зледеніння, безпеку людей на борту тощо) можливо лише за допомогою системно-інженерного мислення, враховуючи вимоги самих різних фахівців, що представляють найрізноманітніші професійні та громадські групи.

наприклад, ~~система~~ механіка або система нахарапериву в гаді сакетністод. Хімотологія, як і, прийомом в науці і техніці, що охоплює проєктування, створення, випробування та експлуатацію складних систем. Певною мірою це прикладне втілення теорії систем, в якому термін «система» використовується особливим чином, маючи на увазі образ мислення для пояснення когерентних зв'язків між елементами системи, синергізму та емерджентності. Тут «система» виражає не тільки сутність, але й ставлення до сутності об'єкта, підкреслює клас властивостей, що цікавлять точки зору, – звідси багатогранність описів і величезна кількість можливих способів декомпозиції системи і виділення підсистем.

Як відомо з наукових праць класиків хімотології, у будь-якому виді техніки та обладнання, де використовуються палива, мастильні матеріали і технічні рідини, об'єктивно існує універсальна чотириланцюгова хімотологічна система. Ця система враховує взаємозв'язок між якістю палив, мастильних матеріалів, надійністю техніки та умовами її експлуатації.

Це ілюстративно демонструє рис. 2, що інтегровано ілюструє міждисциплінарність хімотології, саму хімотологічну систему, її ієрархічність, хімотологічні когерентні зв'язки, структуру, сутність, синергізм і емерджентність хімотологічних процесів. Тут яскраво видно як взаємодіючі елементи та когерентні процеси на прикладі авіаційного двигуна призводять до синергетичного та емерджентного ефектів – екологічності, ефективності, надійності та довговічності техніки.

філософської точки зору можна сміливо стверджувати, що консолідує функцію системної інтеграційної комунікації вчених і практиків машинобудівної, хімічної, нафтопереробної та нафтохімічної галузей економіки разом з експлуатантами техніки для вирішення еволюційних завдань науково-технічного прогресу виконує прикладна наука хімотологія. Наприклад, нафтопереробники виробляють бензин, дизельне та інші види палива для подальшого використання у ДВЗ. Знати ПММ і технічні рідини (ТР) означає мати чітке розуміння взаємозв'язку показників, що характеризують якість із фізико-хімічними та енергетичними процесами, що протікають під час їх використання в конкретних умовах, а також взаємозв'язок з їх хімічним і груповим складом.

Брак такого аналізу й прогнозування унеможливує досягнення цілі, технічного та соціального ефектів. Це ще одне яскраве свідчення явища синергізму у функціонуванні хімотологічної системи.

Як відомо, розглядати будь-яку наукову проблему неможливо без стрункої світоглядної системи. Світогляд, що вибирає конкретна цивілізація, визначає весь характер дій соціуму та його вплив на навколишнє природне середовище. Виходячи з цього, екологічна сутність хімотології полягає в максимально можливій мінімізації негативного впливу ПММ і ТР на екосистему.

Класика системного підходу свідчить, що для вирішення будь-якої проблеми характерні наступні елементи: 1) хто-небудь (або деяка група) повинен бути поставлений перед проблемою, тобто необхідно існування приймаючого рішення; 2) мета, бажання приймаючого рішення, спрямовані на вирішення проблемної ситуації, тобто його мета

підстави для постановки проблеми і досягнення цієї мети; 3) приймає рішення повинен мати вибір серед альтернативних дій, які призводять до досягнення мети.

Таким чином, можна стверджувати, що хімотологічна система «двигун - паливо - мастильні матеріали - технічні рідини» є управлінським завданням (теоретико-методологічним інструментом), в якій застосовуються і прескриптивні, і дескриптивні методи. Тут простежується когерентність хімотології з кібернетикою (що зображено зв'язками у верхній частині рис. 2).

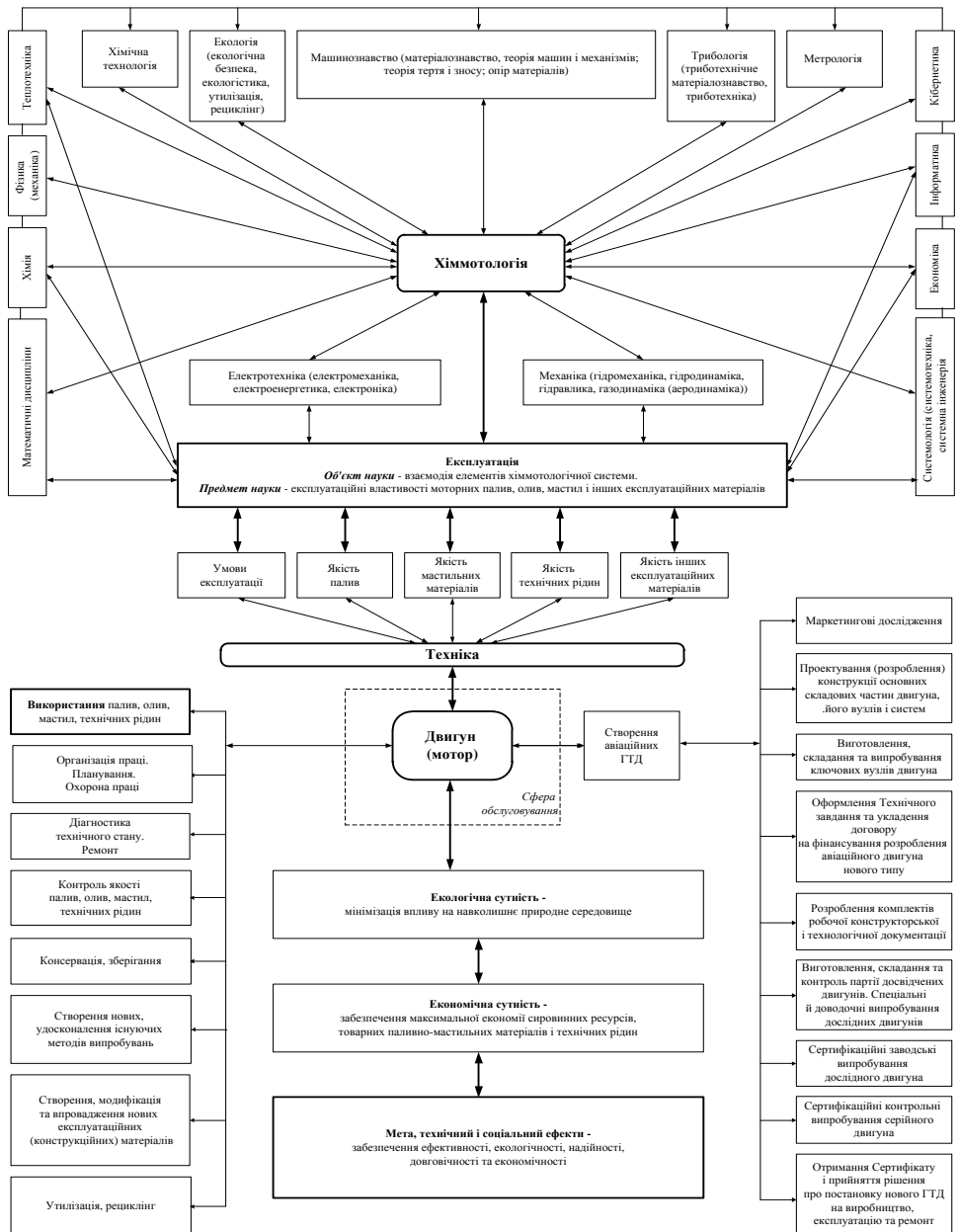


Рис. 2. Феноменологічна модель хімотології

На кожному етапі створення двигуна (права частина рис. 2), його експлуатації та використанні ПММ і ТР також свідчить про необхідність прийняття рішень (ліва частина рис. 2), що в підсумку втілюється в синергетичному результаті – забезпечення ефективної, екологічної, надійної та економічної експлуатації техніки.

Узагальнено про роль хімотології як прикладної науки свідчить важливість вирішуваних нею завдань: забезпечення енергетичної та екологічної безпеки економіки країни, раціональне використання традиційних і альтернативних палив, мастильних матеріалів і технічних рідин, під час експлуатації сучасної та перспективної техніки.

#### РЕФЕРАТ

*Олександр Аксьонов, Сергій Бойченко, Казимир Лейда,  
Національний авіаційний університет, chemmotology@ukr.net*

### **ХИМОТОЛОГИЯ ЯК ПРИКЛАДНА НАУКА – ІНТЕГРОВАНІЙ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ІНСТРУМЕНТ СТАЛОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Авторами розглянуто сучасні аспекти раціонального використання сучасних палив та мастильних матеріалів. На сучасному рівні використання палива людство ще не вирішило проблему високоефективного його спалювання з метою отримання максимальної кількості корисної енергії. Знання транспортного засобу та його грамотна експлуатація передбачає не тільки знання конструкції, кінематичних, динамічних, температурних характеристик, але й фізико-хімічних властивостей конструкційних експлуатаційних матеріалів.

**Ключові слова:** хімотологія, палива, мастильні матеріали, раціональне використання.

#### РЕФЕРАТ

*Александр Аксенов, Сергей Бойченко, Казимир Лейда,  
Национальный авиационный университет, chemmotology@ukr.net*

### **ХИМОТОЛОГИЯ КАК ПРИКЛАДНАЯ НАУКА – ИНТЕГРИРОВАННЫЙ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТРУМЕНТ ПОСТОЯННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАЦИОНАЛЬНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Авторами рассмотрены современные аспекты рационального использования современных топлив и смазочных материалов. На современном уровне использования топлива человечество еще не решило проблему высокоэффективного его сжигания с целью получения максимального количества полезной энергии. Знание транспортного средства и его грамотная эксплуатация предусматривает не только знание конструкции, кинематических, динамических, температурных характеристик, но и физико-химических свойств конструкционных эксплуатационных материалов.

**Ключевые слова:** химмотология, топлива, смазочные материалы, рациональное использование.

#### ABSTRACT

*Alexander Aksenov, Sergii Boichenko, Kazimierz Lejda,  
National Aviation University, chemmotology@ukr.net*

### **CHEMMOTOLOGY AS THE APPLIED SCIENCE – INTAGRATED THEORETICAL AND METHODOLOGICAL INSTRUMENT OF SUSTAINABLE PROVIDING OF THE RATIONAL OPERATION OF THE FUELS AND LUBRICANTS**

The modern aspects of rational operation of modern fuels and lubricating materials are considered by authors. Up-to-date fuel usage by humanity has not not solved the problem of its high-efficiency incineration with the purpose of receipt of maximal amount of useful energy, yet. Competency in transport vehicle and its proper opeartion foresees not only competence in construction, kinematics, dynamic, temperature descriptions, but also physical and chemical properties of construction operating materials.

**Key words:** chemmotology, fuels, lubricating materials, rational usage.

## **I-2. РАСШИРЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИММОТОЛОГИИ НА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС**

*Евгений Серегин , Сергей Волгин*

□ ставшем уже классическим определением химмотологии в качестве прикладной науки о качестве, эксплуатационных свойствах и рациональном применении топлив, смазочных материалов и специальных жидкостей (далее – горюче-смазочных материалов или ГСМ) в технике обусловлено рассмотрение химмотологических процессов в составе триады «техника – ГСМ – эксплуатация».

За более чем полвека, прошедшие после выделения химмотологии в качестве самостоятельной науки, были сформулированы основные ее понятия, термины и определения, сформирована своя, характерная для этой науки методологическая база. Выявлен и опубликован общий закон химмотологии: «эксплуатационные свойства ГСМ определяются (обуславливаются) химическим составом входящих в них веществ, структурой и энергетическим состоянием их молекул. Интенсивность проявления указанных свойств зависит от конструкционных особенностей двигателей (механизмов) и внешних условий, воздействующих на них».

Развитие химмотологии происходило одновременно с развитием техники в сторону улучшения тактико-технических характеристик (далее – ТТХ) и создания ее новых видов, совершенствованием технологии производства ГСМ и значительным изменением их химического состава, расширением внешних условий (от земных до космических) эксплуатации техники.

□ этот период началась целенаправленная подготовка специалистов – химмотологов различного уровня.

Регулярно проводились, в том числе в университетах Украины, научно-технические конференции по химмотологии, проходили защиты кандидатских и докторских диссертаций, систематически публиковались в виде научных статей и монографий результаты научных исследований и практических достижений. В результате за это время сформировалась парадигма химмотологии, и наука получила всеобщее признание научной обществу.

Учитывая, что в индустриальном обществе в будущем роль техники и рационального использования энергоресурсов будет только возрастать, неизбежно дальнейшее развитие и химмотологии.

этой точки зрения, не смотря на отмеченные огромные достижения в становлении химмотологии за последние полвека (что для новой науки срок очень небольшой), необходимо рассмотреть степень проникновения этой науки в различные области техники.

Наибольшие требования к надежности массовой техники предъявляются в авиации. Очевидно в связи с этим, на опыте применения ГСМ в авиационной технике зародились первые, названные затем квалификационными, методы оценки эксплуатационных свойств авиабензинов и авиакеросинов, в том числе определения октанового числа, сортности, термостабильности, противоизносных свойств, характеристик сгорания и др.

Первые комплексы методов оценки эксплуатационных свойств, позволяющие лабораторных условиях с помощью модельных установок проводить достаточную для допуска к применению всестороннюю оценку качества испытуемого образца ГСМ, разработаны также для авиакеросинов.

Однако даже в авиационной технике до сих пор осталось вне поля химмотологического освещения применение твердых и газообразных топлив.

Определение химмотологии как науки предусматривает рассмотрение рационального применения в технике всех энергоносителей независимо от их агрегатного состояния

нормальных условиях. С этой точки зрения в первую очередь следует отметить недостаточное изучение и распространение законов химмотологии на применение твердых топлив (смесей синтетических химических веществ, каменного угля, торфа, растительности др.) в различных видах техники. Применение твердых топлив имеет давнюю историю. Они занимают львиную долю в балансе энергопотребления в мире. Оценка качества углей осуществляется с использованием только лабораторных методов и ограничивается физическими показателями (гранулометрический состав, механическая и термическая прочность, плотность и др.), элементным анализом (содержание в органической массе таких элементов как углерод, водород, азот, кислород и органическая сера), показателями технического анализа (влажность, зольность, содержание серы, фосфора, выход летучих веществ, теплота сгорания). Основными факторами, влияющими на качество, являются транспортировка, условия и время хранения.

Газообразные топлива различного химического состава также широко применяются настоящее время в различных видах техники, в том числе (котельные установки и др. нагревательные устройства, автотранспорт, газотурбинные установки различного назначения).

□ настоящее время в качестве газомоторного топлива в автомобильной технике используются сжатый природный газ, биометан и сжиженный природный газ. Указанные топлива могут сильно отличаться по компонентному составу и своим моторным качествам. Поэтому помимо требований к теплотворной способности природного газа нормируются показатели, определяющие работоспособность газотранспортного газоиспользующего оборудования, а также показатели, определяющие их моторные свойства (детонационную стойкость).

В последние годы проведены работы по применению углеводородных газов и авиатехнике (вертолеты и др. летательные аппараты (ЛА)). Все эти работы безусловно основывались на проводимых исследованиях, однако, судя по содержанию научно-технических химмотологических конференций, они еще не находятся под флагом химмотологии.

Химмотология еще недостаточно проникла и в решение вопросов рационального применения топлив в топливных элементах, которые с каждым годом находят все более широкое практическое применение, а также в других принципиально новых энергетических установках.

По аналогии с топливами следует отметить недостаточное развитие химмотологии и в обосновании рационального применения смазочных и рабоче-консервационных материалов всего спектра агрегатного состояния (твердые, газовые и др.).

Развитие техники приводит к необходимости разработки и применения также новых технических жидкостей, в том числе работающих в самых экстремальных условиях по температуре, давлению, контактам с другими материалами, радиации и др. видам воздействия.

Использование в химмотологии характерных подходов, применяемых при оценке и обеспечении качества твердых и газообразных топлив, позволит расширить информативность проведения химмотологических исследований. Распространение накопленного опыта рассмотрения свойств ГСМ в трехзвенной системе «техника – ГСМ – эксплуатация» на твердые и газообразные топлива позволит получать более полную

системную информацию при оценке их свойств, что повысит надежность прогнозирования результатов применения, а также предоставит дополнительные возможности для управления протекающими химмотологическими процессами.

Изложенное выше свидетельствует, что химмотология, находясь на ранней стадии своего развития, еще не в полной мере охватывает все вопросы, относящиеся к своей области, отраженной в химмотологической триаде «техника – ГСМ – эксплуатация». Требуется расширение спектра исследуемых веществ в качестве ГСМ применительно



использованию в традиционных и принципиально новых энергетических установках и технических устройствах.

Для успешного решения этой задачи необходимо усилить обмен информацией между специалистами, работающими в областях разработки и эксплуатации всех видов техники с использованием различного состава и агрегатного состояния ГСМ.

Научные публикации и личные контакты специалистов на различного рода встречах (симпозиумах, конференциях и др.) способствуют их взаимному обогащению и дальнейшему развитию химмотологии. При организации таких конференций особенно важно привлекать к участию авторитетных специалистов, имеющих научные и практические достижения в своей отрасли, но еще недостаточно использующих достижения химмотологии в смежных областях.

Наука не может быть ведомственной или национальной, но она развивается и используется в различных отраслях производства по-разному. Объединение, под общей парадигмой химмотологии, ученых и практиков, работающих в разных отраслях, принесет несомненный успех нашей науке в целом и увеличит ее вклад в научно-технический прогресс в обществе.

#### РЕФЕРАТ

*Євгеній Серегін, Сергій Волгін,*

*Державний науково-дослідний інститут хімотології, volginsn@mail.ru*

#### **РОЗШИРЕННЯ ВПЛИВУ ХІМОТОЛОГІЇ НА НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ПРОГРЕС**

Авторами розглянуті основні періоди розвитку прикладної науки хімотології. А саме період, за який сформувалася парадигма хімотології, і наука отримала загальне визнання наукової громадськості. Позначено, що розвиток хімотології відбувався одночасно з розвитком техніки у бік поліпшення тактико-технічних характеристик і створення її нового вигляду, удосконаленням технології виробництва ПММ і значною зміною їх хімічного складу, розширенням зовнішніх умов (від земних до космічних) експлуатації техніки. Автори прийшли до висновку, що враховуючи, що в індустріальному суспільстві в майбутньому роль техніки і раціонального використання енергоресурсів тільки зростатиме, неминучий подальший розвиток і хімотології.

**Ключові слова:** хімотологія, технічний прогрес, раціональне використання, палива, мастильні матеріали.

#### РЕФЕРАТ

*Евгений Серегин, Сергей Волгин,*

*Государственный научно-исследовательский институт химмотологии, volginsn@mail.ru*

#### **РАСШИРЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМОТОЛОГИИ НА НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС**

Авторами рассмотрены основные периоды развития прикладной науки химмотологии. А именно период, за который сформировалась парадигма химмотологии, и наука получила всеобщее признание научной общественности. Обозначено, что развитие химмотологии происходило одновременно с развитием техники в сторону улучшения тактико-технических характеристик и создания ее новых видов, совершенствованием технологии производства ГСМ и значительным изменением их химического состава, расширением внешних условий (от земных до космических) эксплуатации техники. Авторы пришли к выводу, что учитывая, что в индустриальном обществе в будущем роль техники и рационального использования энергоресурсов будет только возрастать, неизбежно дальнейшее развитие и химмотологии.

**Ключевые слова:** химмотология, технический прогресс, рациональное использование, топлива, смазывающие материалы.

#### ABSTRACT

*Eugen Seregin, Sergey Volgin,*

*The State Research Institute of chemmotology, volginsn@mail.ru*

#### **EXPANSION OF THE CHEMMOTOLOGY INFLUENCE ON SCIENTIFIC AND TECHNICAL PROGRESS**

The basic periods of development of the applied science of chemmotology are considered by authors. Namely period which the paradigm of chemmotology was formed for, and science got universal confession of

scientific public. It is marked that development of chemmotology took a place simultaneously with development of technique toward the improvement of performance characteristics and creation of its new kinds, by perfection of technology of production of F&L and considerable change of their chemical composition, expansion of external engineering operation conditions (from earthly to space). Authors came to the conclusion, that taking into account that in industrial society the role of technique and rational usage of energy resources will only increase in the future, further development is inevitable.

**Key words:** chemmotology, technical progress, rational usage, fuels, lubricating materials.

УДК 665.7

### **I-3. СОСТОЯНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ БАЗЫ ХИММОТОЛОГИИ**

*Николай Гришин, Александр Орешенков*

Возникновение в середине прошлого столетия химмотологии как самостоятельной науки стало объективной реальностью научно-технического прогресса. Развитие парка новой техники, необходимость повышения ее надежности, а также рост добычи

переработки нефти диктовали необходимость обобщения результатов ранее проведенных исследований и их систематизации для обеспечения эффективности перспективных разработок. Этой работой занимались специалисты в области применения ГСМ у нас в стране и за рубежом, но окончательное оформление химмотологии как самостоятельной отрасли знаний стало возможным благодаря коллективу ученых 25 ГосНИИ МО, возглавляемого в то время заслуженным деятелем науки и техники РСФСР, д.т.н., проф. Константином Карловичем Папок. В общем случае химмотология рассматривает вопросы оптимизации качества ГСМ для обеспечения заданной надежности машин и механизмов и сохранения их технических характеристик в условиях эксплуатации. Для успешного решения столь сложных задач уже к концу 1960-х годов была создана методология химмотологии, в основе которой лежит четырехэтапная система испытаний, ставшая надежным инструментом теории и практики рационального применения ГСМ в технике.

За 50-летний период развития химмотологии сформирован ряд научных школ по направлениям исследований, включающих: теоретическое обоснование и практическую реализацию системы испытаний ГСМ; научные основы создания и применения топлив, смазочных материалов, специальных жидкостей, консервационных и рабоче-консервационных материалов, технических средств службы горючего, а также фундаментальные исследования физико-химических процессов, протекающих в химмотологических системах.

В итоге скоординированной деятельности научных школ института химмотологии, Всероссийского научно-исследовательского института по переработке нефти, Украинского института по проектированию нефтеперерабатывающих и нефтехимических предприятий, Российского научного центра «Прикладная химия», Центрального института авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, Национального авиационного университета, Института нефтехимического синтеза им. А.В. Топчиева, Военных академий материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева, бронетанковых войск и ракетных войск стратегического назначения им. Петра Великого и, конечно, школы Российского государственного университета нефти и газа им. И.М. Губкина, реализующих вышеперечисленные направления исследований, на базе трудов выдающихся российских и зарубежных ученых к химмотологическим системам были адаптированы фундаментальные теории окисления, горения, трения, износа, коррозии и другие.

В результате проведенных учеными-химмотологами совместно с технологами, машиностроителями, эксплуатантами, экологами и представителями других научных специальностей исследований на базе установленных закономерностей и механизмов протекания химмотологических процессов сформулированы основные научные принципы

создания ГСМ с заданными эксплуатационными свойствами, разработаны технологии их производства, созданы обеспечивающие эксплуатацию различной техники продукты, предложена их классификация по назначению, разработаны научные основы унификации и нормирования, высокоэффективные технологии применения, хранения, транспортирования, перекачки, очистки от загрязнений, заправки, регенерации, утилизации, нейтрализации и др. топлив, смазочных и консервационных материалов, специальных жидкостей. Изданы десятки книг по химмотологии – справочники, монографии, учебные пособия и, наконец, «Энциклопедия химмотологии», авторами которых являются члены научно-технического союза химмотологов.

В настоящее время научные школы химмотологии продолжают активно развиваться. Исследования проводят не только в специализированных, но и в химмотологических испытательных центрах, действующих при исследовательских организациях и вузах страны, область научной деятельности которых включает химию нефти, машиностроение, теплотехнику и т.п. Однако следует отметить, что специфической проблемой химмотологии является незавершенность ее теоретической базы как необходимой составляющей каждой науки. Эта незавершенность заключается в отсутствии системы общих законов и закономерностей, определяющих связи между звеньями химмотологической триады: «техника – ГСМ – эксплуатация» и решающих основную задачу химмотологии – количественного описания, в том числе с использованием математических моделей высокого уровня, зависимости характеристик надежности (безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость) от качества ГСМ, выраженного через значения их основных эксплуатационных свойств (безопасность, воспламеняемость, горючесть, защитная способность, испаряемость, конструкционная совместимость, охлаждающая способность, прокачиваемость, склонность к отложениям, смазочная способность, сохраняемость и др.).

К сожалению, подавляющее число прикладных задач химмотологии или их составных частей продолжают решать методом «прямого эксперимента», каждый раз проходя весь цикл испытаний в полном объеме. Анализ динамики развития химмотологии показывает, что к настоящему времени накоплен огромный экспериментальный материал, продуктивная обработка которого без научно- обоснованных технических принципов, приемов и правил не представляется возможной. Сегодня явно недостаточны использование теоретических положений, заимствованных из сопредельных наук, и их адаптация к химмотологическим системам. Необходимо формирование теоретических положений, характерных только для химмотологии и отличающих ее от других прикладных наук как залог успешного анализа поведения ГСМ в технике и прогнозирования ее надежности. Кроме того, внедрение в практику обобщения экспериментальных данных соответствующих теоретических положений позволяет отойти от упрощенного механического описания результатов и перейти к форме количественных зависимостей или различного рода критериев состояния

ГСМ, непосредственно сопоставимых с аналогичными показателями, получаемыми смежных с химмотологией прикладных науках, широко использующих математический аппарат. Перефразируем величайшего российского генетика Николая Ивановича Вавилова: «...в настоящее время мы вошли в тесную связь экспериментальных исследований разработкой...», но, конечно, не эволюции биологического развития, а концепции химмотологии. Сегодня теория химмотологии необходима как воздух. Без ясной теории науки, по крылатому выражению Жюль Анри Пуанкаре, «...в математике нет символов...».

Необходимость развития теории объясняется не только технической, но и экономической целесообразностью. В силу хронического ограничения финансовых возможностей целесообразно находить пути резкого сокращения объемов проведения экспериментальных исследований в решении тех или иных практических задач при сохранении надежности вырабатываемых рекомендаций. Имеющийся экспериментальный материал химмотологии обуславливает необходимость проведения регулярной деятельности

области развития теоретической составляющей этой науки. Активная концентрация сил на указанном направлении одновременно позволит «подтянуть» химмотологию до уровня смежных с ней технических дисциплин, имеющих гораздо большую историю своего развития, и обеспечит возможность прогнозирования надежности машин и механизмов любых условиях эксплуатации, в том числе на стадии их конструирования.

Специалисты-химмотологи достаточно активно ведут работы по созданию регрессионных математических моделей высокого уровня, устанавливающих связь показателей надежности техники с качеством нефтепродукта, в частности разработана упрощенная математическая модель ДВС, в которой для имитации динамики давления в цилиндре используется индикаторная диаграмма двигателя, а смешанное трение аппроксимируется зависимостью Герси-Штрибека, базирующейся на соотношении баланса мощности двигателя и его нагрузки, создаваемой асинхронным генератором, а также обусловленной трением в цилиндро-поршневой группе, что позволяет оценить влияние износа и загрязнения пары «поршень–цилиндр» на смазочную способность и КПД двигателя. В работе приведена критериальная модель фрикционного износа, в которую введен критерий объемного износа (физический смысл критерия заключается в отношении импульса увлекаемого износного материала к импульсу силы трения), позволяющий: оптимизировать выбор параметров критериальной модели; формировать уравнения связи между величиной и условиями износа; прогнозировать величины износа в различных эксплуатационных условиях; рассчитывать квалификационные нормативы для лабораторной установки. В работе рассмотрены методы виртуализации квалификационных испытаний на основе применения критериальных моделей.

Эффективность указанных методов продемонстрирована на примерах моделирования химической стабильности жидкости в гидростатических условиях с целью определения параметров процедуры оптимизации состава смеси по критерию достижения наилучших характеристик, а также использования результатов прогнозирования фрикционного износа.

#### РЕФЕРАТ

*Микола Гришин, Олександр Орешенков,  
Державний науково-дослідний інститут хімотології, 25gosniihim@mil.ru*

#### СТАН ТЕОРЕТИЧНОЇ БАЗИ ХІМОТОЛОГІЇ

Наведено короткий аналіз розвитку хімотології. Вказана її специфічна проблема – незавершеність теоретичної бази як необхідної складової кожної науки. Наголошено на необхідності формування теоретичних положень, характерних тільки для хімотології і відрізняють її від інших наук як запорука успішного аналізу працездатності ПММ в техніці і прогнозування її надійності. Запропоновано методику віртуальної кваліфікації, що поєднує прогнозування зносу, зокрема вузла тертя агрегату, на основі теорії подібності та калібрування цього прогнозу за результатами факторного аналізу результатів моделювання зносу. Продемонстровано ефективність зазначеної методики.

**Ключові слова:** хімотологія, теоретична база, віртуальна кваліфікація, зношування.

#### РЕФЕРАТ

*Николай Гришин, Александр Орешенков,  
Государственный научно-исследовательский институт химмотологии, 25gosniihim@mil.ru*

#### СОСТОЯНИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ БАЗЫ ХИМОТОЛОГИИ

Приведен краткий анализ развития химмотологии. Указана ее специфическая проблема – незавершенность теоретической базы как необходимой составляющей каждой науки. Отмечена необходимость формирования теоретических положений, характерных только для химмотологии и отличающих ее от других наук как залог успешного анализа работоспособности ГСМ в технике и прогнозирования ее надежности. Предложена методика виртуальной квалификации, сочетающая прогнозирование износа, в частности узла трения агрегата, на основе теории подобия и калибровки этого прогноза по результатам факторного анализа результатов моделирования износа. Продемонстрирована эффективность указанной методики.

**Ключевые слова:** химмотология, теоретическая база, виртуальная квалификация, износ.

## ABSTRACT

*Nikolay Grishin, Alexander Oreshenkov,*

*The State Research Institute of chemmotology, 25gosniihim@mil.ru*

### CONDITION OF THEORETICAL FOUNDATION OF CHEMMOTOLOGY

In this article brief analysis of chemmotology evolution is described. A specific problem is pointed out – incompleteness of theoretical foundation as essential component of every science. A necessity to form theoretical issues is indicated, these are distinctive only for chemmotology and make the difference between this science and other branches. These issues should guaranty more efficient analysis of POL usage and forecast vehicles and machinery working efficiency and reliability more precisely. The method of virtual qualification is offered, it includes the forecast of wearing, particularly of wearing of the friction assembly units. This method is based on similarity theory and forecast calibration by factorization of wear simulation data. The efficiency of this method is demonstrated.

**Key words:** chemmotologe, theoretical foundation, virtual qualification, wear.

УДК 621.891

### I-4. BIODIESEL (FAME) IMPACT ON THE WORK OF DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINE

*Edgar Sokolovskij, Jonas Matijošius*

Upon emergence of the first internal combustion engines, they started developing and gaining popularity so rapidly, that today we cannot even imagine living without them. However, along with the continuous technologic and industrial development, negative aspects also appeared. Environmental pollution is rapidly and continuously increasing throughout the world, and natural resources are depleting fast, which led to the need to start searching for alternative energy sources, which could prevent or at least delay the impending crisis.

R. Diesel, the inventor of the diesel engine, himself tried to use pure oil as fuel in his engine. However, it turned out that peanut oil used at that time was too viscous and was no longer suitable for rapidly developing engines. Austrian scientist M. Mitelbach resolved this problem in the eighth decade. He came up with the idea to inter-esterify oil and methanol, adapting it for standard engines. The first biodiesel plant was built soon afterwards, but more intense production of biodiesel started only in the next decade.

All innovations bring winds of change. Biodiesel is a new type of fuel for internal combustion engines, thus its impact on the vehicle and engine characteristics is worth examining.

The aim of the research is to examine the impact which biodiesel has on the performance of internal combustion engines considering economic and environmental characteristics.

The used biodiesel may either be blended with mineral diesel in different portions or pure. Pure biodiesel is an excellent solvent, therefore all the particles that come in contact therewith must be resistant to it. Thus replacement of certain elements of systems of fuel filling or the supply of fuel to the engine may be required in vehicles of older generation. The body of the vehicle requires particular protection, because biodiesel may damage paint. Being a good solvent, biodiesel dissolves sediment accumulated in the fuel tank and fuel supply system, which may lead to clogging fuel filter immediately after having started to use biodiesel. Replacing it with a new filter will help solving such problems. Countries where temperature falls to  $-20^{\circ}$  in the winter time usually switch to mineral diesel or diesel partially blended with fatty acid methyl esters (FAME). In such a case, the filter is once again likely to clog when switching to biodiesel.

Some biodiesel gets to engine oil through piston rings. Mineral diesel evaporates quickly, while the temperature of biodiesel evaporation is high and thus dilutes the oil. However, lubrication properties of biodiesel itself are good enough and at least partially compensate changed properties of engine oil. The comparison of mineral diesel and biodiesel reveals that the calorific value of biodiesel is by about a tenth lower. On the other hand, cetane number of biodiesel is higher,

contains oxygen, thus it burns better in the engine. Consumption of biodiesel is expected to stay below 10% compared to mineral diesel; moreover, a lower price of biofuel should completely cover this difference. A diesel engine has been observed in certain cases to use almost the same amounts of biofuel and mineral diesel.

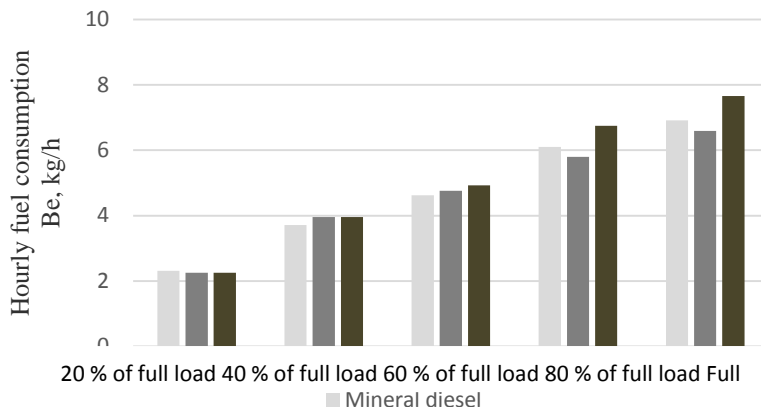


Fig. 1. Fuel consumption in diesel engine in AUDI 80 TDi

When using the blend (consisting of 30 % of biodiesel and 70 % of mineral diesel), fuel consumption remains unchanged compared to pure mineral diesel. When using pure diesel, fuel consumption increase by 2,2–7,6 % depending on the load. Biodiesel blends with mineral diesel improve fuel lubricity.

From the environmental perspective, rapid disintegration of biodiesel under neutral conditions in the natural environment is considered a positive property of biodiesel (fatty acid methyl esters (FAME)). Only the fuels, at least 90 % of which disintegrate within 21 days, are considered to be biofuels, and it has been determined that up to 98 % of pure FAME and only up to 60 % of mineral diesel disintegrate within 21 days.

Different methods for determining biodegradability are applied in the US. One of them is the measurement of CO<sub>2</sub> emitted by microorganisms. CO<sub>2</sub> emissions are proportional to the amount of carbon used by microorganisms. When measuring CO<sub>2</sub> emissions, the relative amount (of theoretical amount) of accumulated CO<sub>2</sub> in case of FAME accounted for 70–89 % in 28 days, while in case of mineral diesel it was a mere 18 %. This allows attributing FAME to easily disintegrating compounds. The rate of biodegradability of FAME blends with mineral diesel is proportionate to FAME content in the blend.

Gas emissions into the environment in operation of AUDI 80 TDi engine were examined using the following fuels:

- fuel A – 100 % mineral diesel;
- fuel B – 75 % (by volume) of mineral diesel and 25 % of FAME;
- fuel C – 50 % (by volume) of mineral diesel and 50 % of FAME;
- fuel D – 25 % (by volume) of mineral diesel and 75 % of FAME;
- fuel E – 100 % FAME.

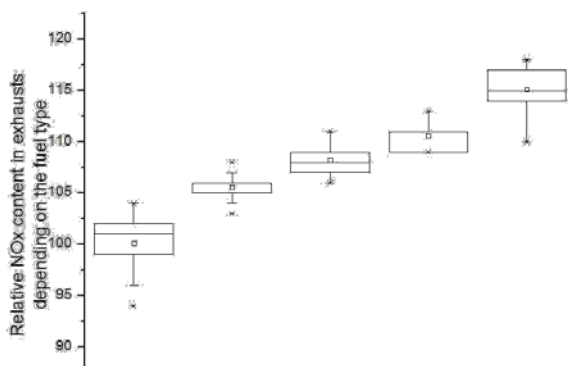


Fig. 2. Relative NO<sub>x</sub> content in exhausts depending on the fuel type

The summarising test results, considering the impact of the used fuel on the environment, were received calculating relative NO<sub>x</sub> and CO emissions, when mineral diesel emissions are equated to 100 %. The relative NO<sub>x</sub> content (in percent) in exhausts working with different fuels is presented in Figure 2, while relative CO content (in percent) in exhausts is presented in Figure 3.

The obtained data reveals that having replaced mineral diesel with pure FAME, higher NO<sub>x</sub> amounts (about 13 %) are emitted into the environment, while the relative CO content in exhausts when working with pure FAME decreases by 5,7 % compared to mineral diesel.

In summary of the presented results, it can be concluded that the assessment of relative NO<sub>x</sub> and CO emissions revealed that FAME can be characterised as having better impact on the environment. Compared to mineral diesel, FAME lags behind solely in terms of NO<sub>x</sub> emissions into the environment with engine exhausts. This problem may be solved by respectively regulating the engine, installing a catalytic converter in the exhaust system or using FAME and mineral diesel blends. When using biodiesel, increased consumption should not exceed 10%. Moreover, a lower price of fuel should completely outweigh this difference.

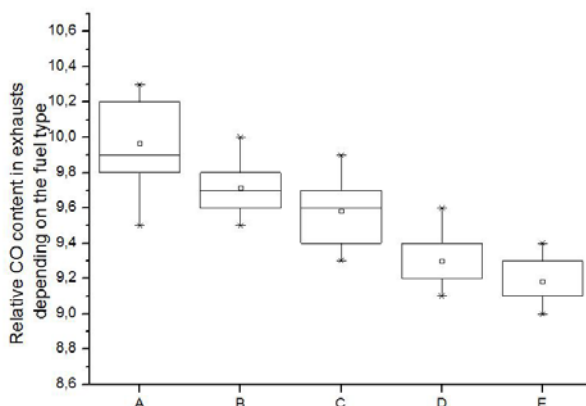


Fig. 3. Relative CO content in exhausts depending on the fuel type

When using a blend (of 30 % of biodiesel and 70 % of mineral diesel), fuel consumption remains unchanged compared to pure mineral diesel. When using pure biodiesel, fuel consumption increases by 2,2–7,6 % depending on loads. Considering the above, biodiesel can be stated to be alternative fuel, which can replace mineral diesel in the future.

## РЕФЕРАТ

*Едгар Соколовський, Йонас Матіюсіус,*

*Вільнюський Технічний Університет ім.Гедимінеса, edgar.sokolovskij@vgtu.lt; jonas.matijosius@vgtu.lt*

### **ВПЛИВ БІОДИЗЕЛЮ (МЕЖК) НА РОБОТУ**

### **ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРАННЯ**

Світове виснаження запасів нафтової сировини вимагає пошуку нових альтернатив. Одним з таких виробництво біодизелю з біомаси та його використання у чистому вигляді або у вигляді сумішей з мінеральним дизельним паливом. У роботі розглянуто вплив біодизелю на роботу дизельного двигуна внутрішнього згорання, його екологічні та економічні характеристики. У статті також проаналізовано витрату палива та зміну викидів NO<sub>x</sub> та СО за використання у двигуні паливних сумішей з різним вмістом біодизелю (МЕЖК).

**Ключові слова:** біодизель, мінеральне дизельне паливо, витрата палива, відпрацьовані гази двигунів.

## РЕФЕРАТ

*Эдгар Соколовский, Йонас Матюсиус,*

*Вильнюсский Технический Университет, edgar.sokolovskij@vgtu.lt; jonas.matijosius@vgtu.lt*

### **ВЛИЯНИЕ БИОДИЗЕЛЯ (МЭЖК) НА РАБОТУ**

### **ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

Мировое истощение запасов нефтяного сырья требует поиска новых альтернатив. Одним из таких является производство биодизеля из биомассы и его использование в чистом виде либо в виде смесей с минеральным дизельным топливом. В работе рассмотрено влияние биодизеля на работу дизельного двигателя внутреннего сгорания, его экологические и экономические характеристики. В статье также проанализировано расход топлива и изменение выбросов NO<sub>x</sub> и СО при использовании в двигателе топливных смесей с разным содержанием биодизеля (МЭЖК).

**Ключевые слова:** биодизель, минеральное дизельное топливо, расход топлива, отработанные газы двигателей.

## ABSTRACT

*Edgar Sokolovskij, Jonas Matijosius,*

*Vilnius Gediminas Technical University, edgar.sokolovskij@vgtu.lt; jonas.matijosius@vgtu.lt*

### **BIODIESEL (FAME) IMPACT ON THE WORK OF DIESEL INTERNAL COMBUSTION ENGINE**

The worldwide depletion of oil resources requires searching for new alternatives. One of the options is producing biodiesel from biomass and using it pure or mixing it with mineral diesel. This article examined the impact that biodiesel has on the work of diesel internal combustion engine, its environmental and economic characteristics. The article also analyses fuel consumption and the change of NO<sub>x</sub> and CO exhausts when supplying various fuel blends with biodiesel (FAME) to the engine.

**Key words:** biodiesel, mineral diesel, fuel consumption, engine exhaust emissions.

УДК 621.892

## **1-5. ОСОБЛИВОСТІ ПІДБОРУ БАЗОВОГО КОМПОНЕНТУ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА МОТОРНИХ ОЛИВ**

*Андрій Григоров, Кирило Шевченко*

Базові оливи (компоненти) є основною складовою під час виробництва товарних моторних олив і визначають їх фізико-хімічні та експлуатаційні властивості, від яких залежить надійна робота як окремих агрегатів, вузлів, так і транспортних засобів у цілому. Отже, враховуючи значне збільшення в Україні спеціальної техніки й безпосередньо автомобільного парку, виробництво вітчизняних товарних олив для їх забезпечення є досить перспективним напрямом нафтопереробної галузі.

Відомо, що виробництво товарних олив складається з двох основних стадій – виробництва базових олив і введення в них пакету присадок для отримання певного рівня експлуатаційних властивостей.



Згідно з API 1509 базовий компонент – це змащувальний компонент, що отримують різні виробники, але за одними і тими ж специфікаціями, що задовольняє одним і тим же вимогам специфікації виробника, і який ідентифікують за певною формулою або ідентифікаційним номером продукту.

Базові оливи відрізняються за своєю природою, так як вони можуть бути як продуктами переробки нафти ( мінеральні оливи), так і синтезованими з вуглеводневих речовин (синтетичні оливи). Їх хімічний склад залежить від материнської сировини та методів синтезу у разі синтетичних олив.

Одним з напрямів поліпшення експлуатаційних властивостей моторних олив збільшення терміну їх заміни досягається підвищенням якості базових олив через ускладнення технологічного процесу їх виробництва. Базові оливи за класифікацією API поділяються на п'ять груп: ГРУПА I – містять менш ніж 90 % насичених вуглеводнів та більш ніж 0,03 % сірки та мають індекс в'язкості у межах 80–120 од.; ГРУПА II – містять не менш ніж 90 % насичених вуглеводнів та не більш ніж 0,03% сірки і мають індекс в'язкості у межах 80–120 од.; ГРУПА III – містять не менш ніж 90% насичених вуглеводнів та не більш ніж 0,03 % сірки і мають індекс в'язкості більш ніж 120 од.; ГРУПА IV – полі- $\alpha$ -олефіни; ГРУПА V – базові оливи інших типів, що не увійшли до групи 1–4 (складні спирти та ефіри).

Моторні оливи, що виробляються на вітчизняних НПЗ, у своїй більшості містять базові оливи I-ої та II-ої груп цієї класифікації, отже називаються мінеральними, та традиційно широко представлені на вітчизняному ринку моторних олив. До позитивних властивостей мінеральних моторних олив слід віднести добрі змащувальні, протизносні властивості, що зумовлені наявністю полярних смолистих речовин.

Оливи, де в як основу використовують суміші олив I -ої, II - ої та III-ої або IV-ої груп, у залежності від вмісту олив IV-ої групи, називають частково синтетичними або напівсинтетичними. Ці оливи мають хороші термоокиснювальні та в'язкісно-температурні властивості й виробляються на вітчизняних НПЗ, хоча і в незначній кількості.

Моторні оливи, що виробляються повністю на базових оливах IV-ої і V-ої груп, називаються синтетичними. Вони характеризуються відмінними реологічними властивостями, що забезпечують надійний пуск двигуна в холодну пору року, а також підвищену термостабільність й низьку випаровуваність. Слід зазначити, що сучасні моторні оливи серії «Long Life», що мають більший термін служби до заміни та є енергозберігаючими, виготовляються виключно на базі синтетичних компонентів.

Зважаючи на це, спробуємо дослідити основні показники якості базових олив (див. табл. 1) різної природи, та підібрати базу, що, на нашу думку, можна використовувати для виробництва якісних вітчизняних моторних олив.

Таблиця 1

Результати лабораторного дослідження

Найменування показника	Н VI-2	VH VI-4	ПАОМ-4	ПАО М-6	И-40	ОК	ОКЛО
$v^{40}$ , мм <sup>2</sup> /с	9,52	18,56	18,73	34,9	54,88	25,98	62,03
$v^{100}$ , мм <sup>2</sup> /с	2,69	4,1	4,15	6,3	7,16	4,72	8,18
VI, од.	124	123	126	132	85	98	99
$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	814,2	824,1	820,2	829,7	883,7	857,8	915,5
$t_{сп.}$ , °C	184	215	210	235	230	190	212
$t_{заст.}$ , °C	мінус 35	мінус 27	мінус 42	мінус 31	мінус 18	мінус 21	мінус 22

Об'єктами дослідження виступали такі оливи: И-40, відпрацьована моторна олива після регенерації легким крекінгом (ОК), відпрацьована моторна олива після кислотно-

лужної очистки (ОКЛО), оливи гідрокрекінгу марок HVI-2, VHVI-4, та синтетичні оливи марок ПАОМ-4, ПАОМ-6 (полі- $\alpha$ -олефіни оливи, що складають більше 1/3 всіх синтетичних олив).

Результати дослідження, показали, що по значенню кінематичної в'язкості, визначеною за температури 40 та 100 °С, базові оливи можна розмістити у певній послідовності (див. рис. 1). Найбільше значення кінематичної в'язкості спостерігається у регенованої ОКЛО та мінеральної оливи И -40, найменше у гідрокрекінгових олив HVI-2, VHVI-4. Синтетичні компоненти ПАОМ-4, ПАОМ-6 займають проміжне значення між мінеральними (регенерованими) маслами та гідрокрекінговими.

Важливою характеристикою в'язкісно-температурних властивостей олив є показник індексу в'язкості, що в значній мірі залежить від хімічного складу оливи. Так, самі високі значення індексу в'язкості ( $VI > 125$ ) прогнозовано спостерігаються у спеціально синтезованих олив вузького фракційного складу. Досить високі значення індексу в'язкості у олив гідрокрекінгу можна пояснити досить глибокою очисткою нафтової сировини від високомолекулярних парафінових вуглеводнів та смолисто-асфальтенових речовин. Ці речовини зазвичай присутні у звичайних дистилатних оливах, таких як И-40, тому вони мають найнижчі значення індексу в'язкості ( $VI < 90$ ). Стосовно регенованих олив слід відмітити, що вони займають проміжне значення між мінеральними та синтетичними оливами та їх властивості певною мірою будуть визначатися глибиною регенерації.

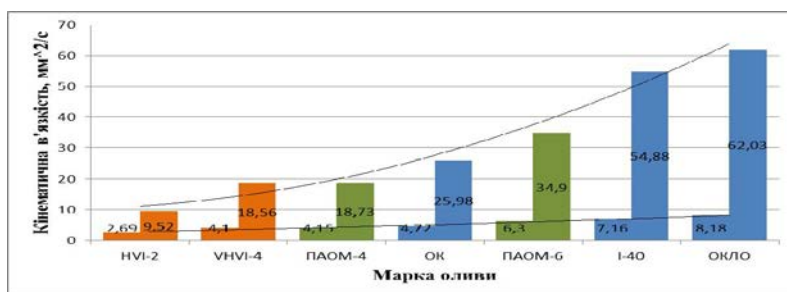


Рис. 1. Кінематична в'язкість за температури 40 та 100 °С

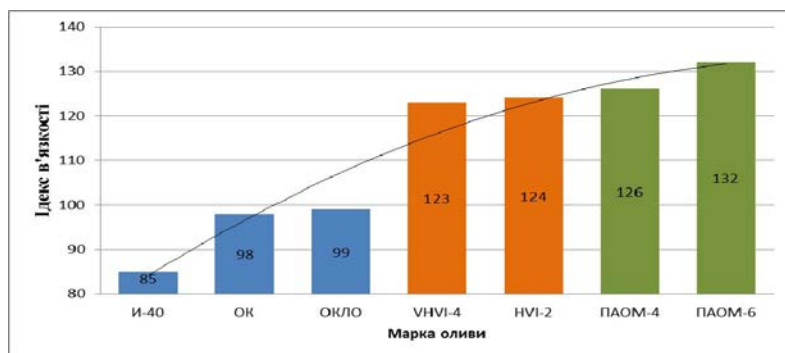


Рис. 2. Індекс в'язкості базових олив

Узагальнюючи отриману інформацію зрозуміло, що кращими компонентами для виробництва моторних олив є синтетичні та гідрокрекінгові. При додаванні у них полімерних, депресорних та інших присадок можна отримати енергозберігаючі моторні оливи, що можна експлуатувати досить довгий час в широкому діапазоні температур навколишнього середовища. Такі оливи дорого коштують і їх доцільно використовувати в автомобілях закордонного виробництва у відповідності до керівництва з експлуатації.

Моторні оливи, що у своєму складі містять лише частку синтетичних або гідрокрекінгових компонентів, а в цілому представлені мінеральними oliвами, будуть характеризуватися вигідним співвідношенням ціни до якості.

Враховуючи те, що в Українському автомобільному парку до сих пір працює техніка зі значним строком експлуатації, у якій спостерігається значна втрата оливи, через зношанність вузлів та агрегатів, то є економічно доцільним використання моторних оливи на базі мінеральних та регенованих компонентів. Додаючи до них пакети присадок, можна отримати якісні оливи, що повністю будуть відповідати вимогам нормативній документації до моторних оливи.

#### РЕФЕРАТ

*Андрій Григоров, Кирило Шевченко,*

*Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», grigorovandrey@ukr.net*

#### ОСОБЛИВОСТІ ПІДБОРУ БАЗОВОГО КОМПОНЕНТУ

#### ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА МОТОРНИХ ОЛИВ

Базові оливи можуть бути продуктами переробки нафти (мінеральні оливи) і синтезованими з вуглеводневих речовин (синтетичні оливи). Їх хімічний склад залежить від материнської сировини та методів синтезу у разі синтетичних оливи. Один з напрямків поліпшення експлуатаційних властивостей моторних оливи і збільшення терміну їх заміни досягається підвищенням якості базових оливи шляхом ускладнення технологічного процесу їх виробництва. З метою підбору бази, яку, на нашу думку, можна використовувати для виробництва якісних вітчизняних моторних оливи, у лабораторних умовах були досліджені базові оливи різної природи.

**Ключові слова:** товарна олива, базовий компонент, присадки, експлуатаційні властивості, індекс в'язкості.

#### РЕФЕРАТ

*Андрей Григоров, Кирилл Шевченко,*

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,*

*grigorovandrey@ukr.net*

#### ОСОБЕННОСТИ ПОДБОРА БАЗОВЫХ КОМПОНЕНТОВ

#### ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ МОТОРНОГО МАСЛА

Базовые масла могут быть продуктами переработки нефти (минеральные масла) и синтезированными из углеводородных веществ (синтетические масла). Их химический состав зависит от материнского сырья и методов синтеза в случае синтетических масел. Одно из направлений улучшения эксплуатационных свойств моторных масел и увеличение срока их замены достигается повышением качества базовых масел путем усложнения технологического процесса их производства.

целью подбора базы, которую, по нашему мнению, можно использовать для производства качественных отечественных моторных масел, в лабораторных условиях были исследованы базовые масла различной природы.

**Ключевые слова:** товарное масло, базовый компонент, присадки, эксплуатационные свойства, индекс вязкости.

#### ABSTRACT

*Andrey Grigorov, Kirill Shevchenko,*

*National Technical University «Kharkov Polytechnic Institute», grigorovandrey@ukr.net*

#### FEATURES OF THE BASIC COMPONENT

#### SELECTION DURING MOTOR OIL PRODUCTION

Basic oils may appear as a product of the oil processing (mineral oil) or can be synthesized from hydrocarbon substances (synthetic oil). Their chemical composition depends on maternal raw material and the methods of synthesis in the case of synthetic oil. One of the directions of the motor oil operating properties improvement and increasing the term of their replacement, is achieved by improving the quality of basic oils by the complication of their production technological process. To select the base, which in our opinion, may be used to produce high-quality domestic motor oils, basic oils of different nature have been investigated in laboratory conditions.

**Key words** commodity oil, basic component, additives, operating properties, viscosity index.

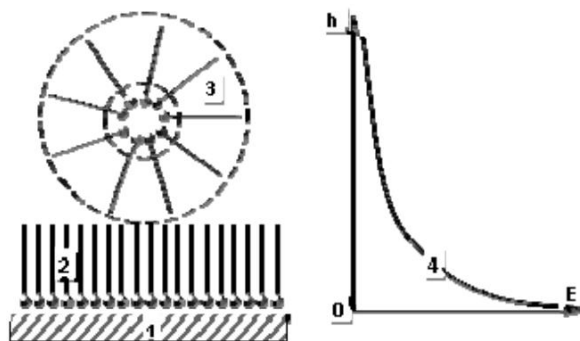
## І-6. ФАЗОВИЙ СТАН ОЛИВOROЗЧИННИХ ПАР В БАЗОВИХ ОЛИВАХ ДЛЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ

*Сергій Воронін, Артур Каграманян*

Відомо, що як функціональні присадки до рідких мастильних матеріалів застосовують оливорозчинні поверхнево-активні речовини (ПАР). У залежності від типу ПАР

вуглеводневого складу базової оливи в мастильному матеріалі можуть утворюватися істинні або мицелярні (колоїдні) розчини. Істинні розчини ПАР утворюються при більшій енергії взаємодії молекул ПАР з розчинником, ніж між собою. Мицелярні розчини утворюються у разі великих сил взаємодії ПАР між собою. Основними факторами, що впливають на тип розчину ПАР є їх концентрація, будова і ступінь поверхневої активності молекули та температура. За інших рівних умов істинні розчини утворюються за малих концентрацій ПАР, а по мірі збільшення концентрації до певних критичних значень ККА та КKM, утворюються колоїдні розчини, тобто ПАР перебувають у мономірному стані – концентрація нижче ККА; дімерному стані – від ККА до КKM та мицелярному стані – вище КKM.

Логічно припустити, що від фазового стану ПАР в базовій оливі буде залежати інтенсивність процесу її фізичної адсорбції на поверхнях тертя, як наслідок ефективність антифрикційної, протизношувальної, антикорозійної та протизадирної дії ПАР. Наприклад, Г.І. Фукс висував гіпотезу щодо негативного впливу мицел ПАР на процес адсорбції та формування полімолекулярного граничного шару, а саме, – «Прилипає к поверхності метала, мицеллы могут блокировать адсорбцию и диффузию молекул». Було запропоновано фізичні уявлення щодо природи такого негативного впливу. Наявність мицел унеможливує створення на поверхні тертя полімолекулярного шару, оскільки силове поле поверхні зменшується зворотно пропорційно 3–4 ступеню відстані, а полярні групи молекул ПАР знаходяться в ядрі мицели, рис. 1.



1 – поверхня монокристалу; 2 – моношар; 3 – «зворотна» мицела; 4 – крива зміни напруженості силового поля поверхні Рис. 1 – Формування граничної плівки ПАР за наявності мицел

Таким чином, одною з важливих задач хімотології є забезпечення потрібного фазового стану присадок – ПАР в розчині базової оливи, що відповідав би максимальній адсорбційній здатності присадок. Вирішення вказаної задачі лежить, у тому числі, в площині розвитку методів прогнозування та керування фазовим станом оливорозчинних ПАР в технічних оливах, як на етапі їх створення, так й під час роботи у трибосистемах.

Розглянемо процес агрегації ПАР у вуглеводневих розчинах на прикладі жирних кислот, а саме – стеаринової кислоти, будова та характеристики молекули якої достатньо

вивчені. При досягненні певної критичної концентрації молекули об'єднуються в агрегати – надмолекулярні структури. Такий процес пов'язаний із зміною енергії Гіббса в розчині ПАР на величину  $G$

$$G = RT \ln(C_M(KK)), \quad (1)$$

де  $R$  – універсальна газова постійна, Дж/(моль•К);  $T$  – температура розчину, К;  $C_M(KK)$  – критична концентрація, моль/м<sup>3</sup>.

Відомо, що процес агрегації ПАР протікає у два етапи, а саме, при досягненні ККА молекули утворюють димери, а при досягненні КKM переважна кількість молекул знаходиться в міцелярному стані, тоді із залежності (1) можна отримати наступні температурні залежності:

$$\text{– для ККА: } C_M(KKA) = e^{-\frac{G_{KKA}}{RT}}; \quad (2)$$

$$\text{– для КKM: } C_M(KKM) = e^{-\frac{G_{KKM}}{RT}}. \quad (3)$$

Критичні концентрації  $C_M(KKA)$ ,  $C_M(KKM)$  залежать від природи ПАР, природи розчинника та температури, а значення відповідних їм змін енергії Гіббса  $G_{KKA}$ ,  $G_{KKM}$  отримуються експериментально для окремих ПАР, розчинених в заданому розчині. Залежності (2) та (3) дозволяють будувати діаграми фазового стану ПАР, розчинених в неполярних вуглеводневих розчинниках. Скориставшись існуючими експериментальними даними, побудуємо таку діаграму для стеаринової кислоти, рис. 2.

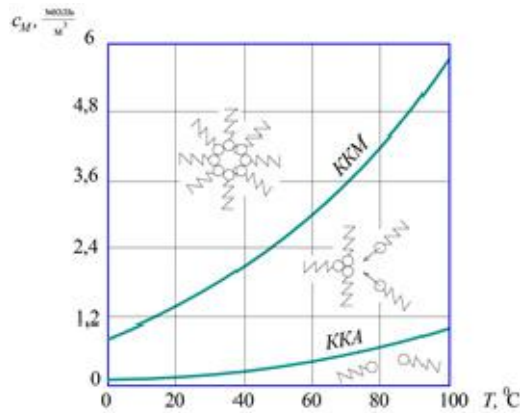


Рис. 2. Діаграма фазового стану молекул стеаринової кислоти в неполярному вуглеводневому розчині

На рисунку 2 є три характерних області: перша – за малих концентрацій ПАР відповідає мономерному стану молекул; друга – ККА, за якої утворюються димери з молекул та починають формуватися «зворотні» міцели; третя – КKM де переважна більшість молекул утворює «зворотні» міцели. За наявності експериментальних даних по  $C_M(KK)$  та  $G_{KK}$ , можна побудувати аналогічні діаграми для інших оливоорозчинних ПАР.

Одною з головних характеристик фазового стану ПАР, що знаходиться в колоїдному розчині є число агрегації. Воно також є функцією концентрації, за інших рівних умов. При подальшому дослідженні процесу агрегації ПАР у неполярному розчині основними припущеннями вважаємо рівномірність розподілу по об'єму мономерів, димерів та міцел, як показано на рисунку 3, а димери є центрами подальшого міцелоутворення.

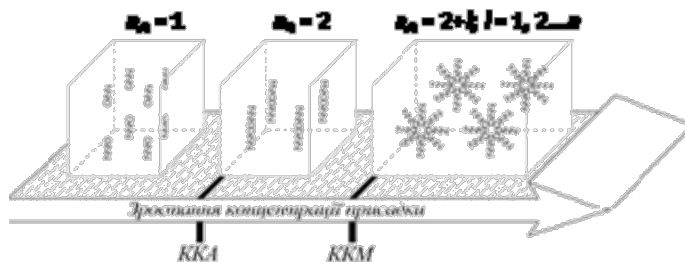


Рис. 3. Зміна числа агрегації молекул ПАР у розчині

Тоді, по досягненню  $C_{M(KKA)}$  отримаємо для щільності димерів у розчині базової оливи, шт/м<sup>3</sup>

$$N_D(T) = \frac{C_{M(KKA)} N_A}{2}, \quad (4)$$

де  $N_A$  – число Авогадро.

Враховуючи залежності (2), (3) та (4), а також прийняті припущення, отримаємо наступну залежність для числа агрегації:

$$n_A = \frac{C_M}{\sigma_{KKA}} \left( 1 - e^{-RT} \right), \quad (5)$$

де  $C_M$  – поточне значення концентрації, починаючи з  $C_{KKA}$ .

Отримана залежність (5) встановлює закономірність зміни числа агрегації молекул ПАР в неполярному розчині від концентрації та температури. Нижче наведені результати розрахунків, виконаних для стеаринової кислоти в неполярній базовій оливі, рис. 4.

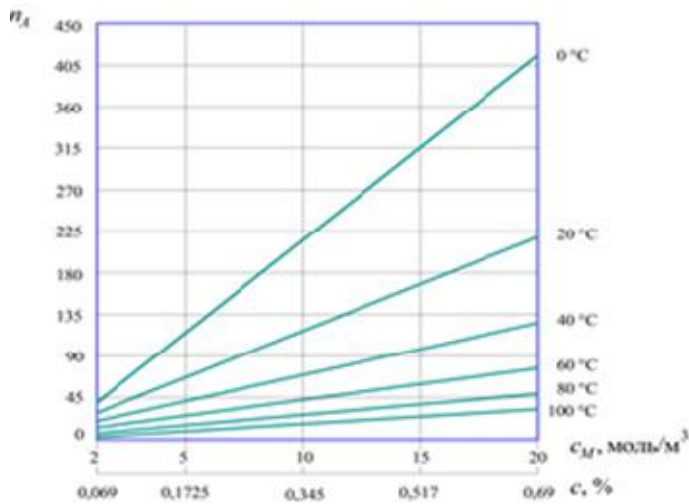


Рис. 4. Зміна числа агрегації у розчині від концентрації

З рисунку 4 виходить, що число агрегації молекул ПАР суттєво залежить як від температури, так й від концентрації розчині. Температура впливає на число агрегації нелінійно, на відміну від концентрації. Для наочності уведена відсоткова шкала, що підтверджує дані попередніх дослідників.

## РЕФЕРАТ

*Сергій Воронін, Артур Каграманян,*

*Український державний університет залізничного транспорту, voronin.sergey@ukr.net*

### **ФАЗОВИЙ СТАН ОЛИВOROЗЧИННИХ ПАР В БАЗОВИХ ОЛИВАХ ДЛЯ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ**

статті розглядаються можливі фазові стани ПАР в розчинах базових олив для технічних систем. Виділяються основні причини негативного впливу «зворотних» мицел ПАР на процес їх фізичної адсорбції під час формування граничного мастильного шару на монокристалічній твердій поверхні. Наводяться результати теоретичних досліджень фазового стану ПАР в базових оливах, в залежності від концентрації ПАР і температури розчину, а саме: діаграма фазового стану стеаринової кислоти неполярній вуглеводневій рідині, а також метод і результати розрахунку числа агрегації молекул мицел для такого колоїдного розчину.

**Ключові слова:** олива, поверхнево-активна речовина, фазовий стан.

## РЕФЕРАТ

*Сергей Воронин, Артур Каграманян,*

*Украинский государственный университет железнодорожного транспорта, voronin.sergey@ukr.net*

### **ФАЗОВОЕ СОСТОЯНИЕ МАСЛОРАСТВОРИМЫХ ПАВ В БАЗОВЫХ МАСЛАХ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

статье рассматриваются возможные фазовые состояния ПАВ в растворах базовых масел для технических систем. Выделяются основные причины негативного влияния «обратных» мицелл ПАВ на процесс их физической адсорбции при формировании граничного смазочного слоя на монокристаллической твердой поверхности. Приводятся результаты теоретических исследований фазового состояния ПАВ в базовых маслах, в зависимости от концентрации ПАВ и температуры раствора, а именно: диаграмма фазового состояния стеариновой кислоты в неполярной углеводородной жидкости, а также метод и результаты расчета числа агрегации молекул в мицеллах для такого коллоидного раствора.

**Ключевые слова:** масло, поверхностно-активное вещество, фазовое состояние.

## ABSTRACT

*Serhii Voronin, Artur Kahramanyan,*

*Ukrainian State University of Railway Transport, voronin.sergey@ukr.net*

### **PHASE STATE OF THE OIL-SOLUBLE SAS IN THE BASIC OIL FOR TECHNICAL SYSTEMS**

This article discusses the possible phase states of surfactant in solution of basic oils for technical systems. The main reasons for the negative impact of the "inverse" surfactant micelles on the process of physical adsorption in the formation of a boundary lubricant layer on the solid single-crystal surface, are distinguished. The results of theoretical studies of the phase states in surfactant base oils, depending on the concentration of the surfactant and the temperature of the solution, namely: phase state diagram of stearic acid in a non-polar hydrocarbon liquid, method and results of calculation the aggregation number of molecules in the micelles for such a colloidal solution, are presented.

**Key words:** oil, surface-active substance, phase state.

УДК 539.193+541.65+661.721.42

## **I-7. ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ МОТОРНИХ ПАЛИВ**

*Олексій Целіщев, Марина Лорія*

Відомо, що одним зі способів покращення якості моторних палив, що фактично являють собою суміш вуглеводнів, є додавання спеціальних присадок. Найбільш розповсюдженими з них є метанол, метилтретбутиловий ефір, толуол. Створення простого та дешевого способу синтезу цих сполук з компонентів бензину, наприклад, прямогонного, з метою покращення якісних показників моторного палива є важливим і актуальним завданням. Для вирішення цього завдання запропоновано використати кавітаційний вплив на вуглеводневу суміш у присутності водного розчину перекису водню.

Метою роботи є експериментальне визначення дії перекису водню на процес кавітаційної переробки бензину з метою покращення його якісних показників.

Характерною особливістю запропонованого процесу є те, що він відбувається лише кавітаційному полі. Для створення кавітаційного поля нами запропоновано використати динамічну кавітацію. Під час проходження бензину через кавітаційне поле реактора відбувається часткове руйнування лінійних вуглеводнів з утворенням алкільних радикалів подальша рекомбінація цих радикалів. Через це відбувається ізомеризація лінійних вуглеводнів. Внаслідок цього октанове число бензину, що пройшов кавітаційну обробку збільшується на 2–5 одиниць.

Використання кавітаційного реактора та розробленої установки кавітаційної переробки вуглеводнів дозволить створити умови, за яких вказані речовини зможуть утворюватися безпосередньо з компонентів бензину. Механізм процесу кавітаційної обробки насичених вуглеводнів в кавітаційному полі наведено в.

роботі запропоновано аналіз способів активації метану в «м'яких» умовах.

Автори роботи навели аналіз фізико-хімічних методів одержання гідроксильного радикала.

Аналіз вищезгаданих робіт показав, що перспективним напрямком для промислової реалізації є кавітаційний спосіб одержання метанолу. Рушійною силою цього процесу є динамічна кавітація перекису водню. Для того щоб здійснити цей процес, слід реалізувати генератор гідроксильних радикалів у кавітаційному реакторі. Щоб розробити такий реактор, слід провести розрахунки основних його параметрів.

Для дослідження впливу концентрації перекису водню на процес кавітаційної переробки бензину як сировини було обрано низькооктановий бензин виробництва ВАТ «Літнік».

Для встановлення залежності октанового числа бензину після кавітаційної обробки без перекису водню було поставлено серію дослідів, в яких досліджуваний бензин витратою 5 л/хв прокачувався через кавітаційну установку. Витрата розчину перекису водню складала 0 л/хв. Тиск змінювався від 0 до 30 МПа. Діаметр сопла складав 1 мм. Результати дослідження зміни октанового числа (ОЧ) від зміни тиску перед форсункою наведені на рис. 1.

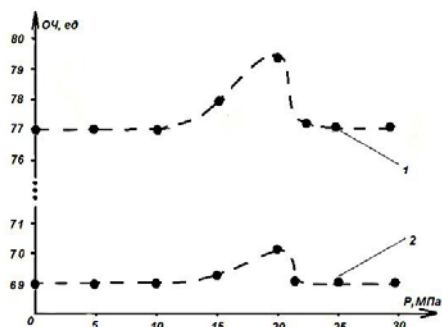


Рис. 1. Зміна октанового числа під час кавітаційної обробки низькооктанового бензину без перекису водню: 1 – дослідницький метод; 2 – моторний метод

Як слід з аналізу залежностей, що наведено на рис. 1, за тиску меншому за 10 МПа ніяких змін з досліджуваним бензином не відбувається. При збільшенні тиску з 10 МПа до 20 МПа, ОЧ зростає з 69 до 70,5 одиниць за моторним методом і з 77 до 79,7 од. за дослідницьким. Результати хроматографічного аналізу вказують на те, що після кавітаційної обробки в бензині з'явився толуол. Концентрація толуолу склала ~ 3 %. При цьому масова концентрація гексану зменшилася з 9,15 % до 5,92 %. Також незначно збільшилася кількість



ізопарафінів з 31,22 % до 32,61 %. Відбувається це через процес кавітації, що проходить бензині. Внаслідок кавітаційного впливу руйнуються зв'язки С-С в алканах (переважно гексані) і надалі відбувається утворення ізопарафінів і толуолу.

Максимальне ОЧ, що вдалося досягти відповідає тиску 20 МПа. При подальшому збільшенні тиску спостерігається зворотній ефект – ОЧ починає зменшуватися. За тиску вище 23 МПа ніяких змін в складі бензину вже не відбувається. Пояснюється це тим, що за таких параметрів за форсункою весь бензин переходить в паровий стан і ефекту кавітації не відбувається.

Для визначення впливу зміни концентрації перекису водню у водному розчині, що подається в кавітаційний реактор, на процес кавітаційної обробки бензину було поставлено серію дослідів, в якій витрата бензину складала 5 л/хв, а витрата водного розчину перекису водню складала 0,5 л/хв. Концентрація перекису водню у водному розчині змінювалася в діапазоні від 0 до 20 %. Тиск перед форсункою складав 20 МПа. Результати досліджень наведено на рис. 2.

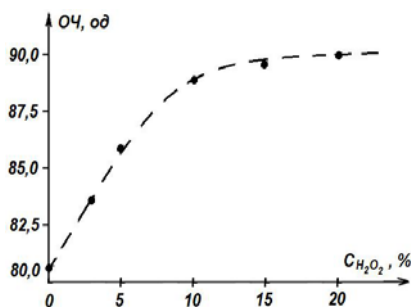


Рис. 2. Залежність октанового числа бензину (дослідницький метод) від концентрації перекису водню у водному розчині при співвідношенні «бензин – розчин перекису водню» 10:1

аналізу залежності, що наведено на рис. 2, можна зробити висновок, що додавання до бензину, що подається в кавітаційний реактор, водного розчину перекису водню з концентрацією до 10 % призводить до суттєвого збільшення ОЧ. Таким чином вдалося підвищити цей показник до 88 од. Подальше збільшення концентрації перекису водню не призводить до подальшого суттєвого збільшення ОЧ. Так при концентрації перекису водню 20 % октанове число за дослідницьким методом склало 89,9 од.

хроматографічного аналізу впливає, що кількість піків на хроматограмі склала 132, яких ідентифіковано – 110. Внаслідок кавітаційної обробки масова частка парафінів (алканів) зменшилася з 33,31 до 18,60 %. При цьому збільшилася масова частка ізопарафінів 30,23 % до 33,04 %, а масова частка ароматичних вуглеводнів збільшилася з 10,17 % до 16,73 %.

Крім того, в досліджуваних пробах було визначено толуол у кількості 4,5 % та метанол у кількості 4,2 %, яких не було визначено у вихідному бензині.

Аналіз наведених даних дозволяє стверджувати, що внаслідок кавітаційної обробки низькооктанового бензину у присутності перекису водню в бензині утворюється метанол та толуол. Крім того, відбувається процес часткової ізомеризації алканів. Усе це призводить до збільшення ОЧ числа бензину на 10–12 од. Отже пряму конверсію алканів ряду С5–С10 (бензинів) в метанол можна розглядати як спосіб підвищення якості моторних палив. Це доказує правильність розробленого у теоретичного обґрунтування процесу взаємодії алканів гідроксильним радикалом.

Таким чином, під час проведення досліджень:

Досліджено процес кавітаційної переробки бензину та виявлено, що утворення метанолу та толуолу, особливо з парафінів, призводить до зростання ОЧ бензину після переробки.

Визначено в умовах експерименту, що у результаті впливу перекису водню на процес кавітаційної переробки бензину підвищується ОЧ бензину за дослідницьким методом на 14,8 од. з (з 74,9 до 88,7) та за моторним на 12,7 од. (з 72,2 до 84,9).

Доведено, що кавітаційну обробку бензинів з перекисом водню можна розглядати як спосіб підвищення якості моторних палив (бензину).

#### РЕФЕРАТ

*Олексій Целищев, Марина Лорія,*

*Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, atp00@ukr.net*

#### ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ МОТОРНИХ ПАЛИВ

Досліджено процес кавітаційної переробки бензину з метою покращення його якісних показників. Визначена дії перекису водню на процес кавітаційної переробки бензину. Встановлено, що в наслідок кавітаційної обробки низькооктанового бензину у присутності перекису водню в бензині утворюється метанол та толуол. Доведено, що бензин, що оброблено кавітаційним способом з перекисом водню, можна використовувати для двигунів внутрішнього згорання, що серійно випускаються.

**Ключові слова:** кавітаційна переробка бензину, октанове число, метанол, толуол, перекись водню.

#### РЕФЕРАТ

*Алексей Целищев, Марина Лория,*

*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, atp00@ukr.net*

#### ИССЛЕДОВАНИЕ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ

Исследован процесс кавитационной переработки бензина с целью улучшения его качественных показателей. Определено воздействие перекиси водорода на процесс кавитационной переработки бензина. Установлено, что в следствие кавитационной обработки низькооктанового бензина в присутствии перекиси водорода в бензине образовывается метанол и толуол. Доказано, что бензин, который обработан кавитационным способом с перекисью водорода, можно использовать для двигателей внутреннего сгорания, которые выпускаются серийно.

**Ключевые слова:** кавитационная переработка бензина, октановое число, метанол, толуол, перекись водорода.

#### ABSTRACT

*Alexey Tselischev, Maryna Loriya,*

*East Ukrainian National University, atp00@ukr.net*

#### STUDY OF THE MOTOR FUELS CAVITATIONAL TRANSFORMATION

The process of cavitation processing of petrol in order to improve its quality indicators, is investigated. The effects of hydrogen peroxide in the process of cavitation processing of gasoline, are determined. It is found that in consequence of the cavitation treatment of low-octane gasoline in the presence of hydrogen peroxide, methanol and toluene are formed in gasoline. It is proved that gasoline, which has been treated by the cavitation process with hydrogen peroxide, may be used for internal combustion engines, which are commercially available.

**Key words:** cavitation processing of gasoline, octane number, methanol, toluene and hydrogen peroxide.

УДК 665.753.4.038

#### I-8. ЗАСТОСУВАННЯ МЕТИЛОВИХ ЕСТЕРІВ ЖИРНИХ КИСЛОТ НЕХАРЧОВИХ ЖИРІВ В СУМІШЕВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВАХ

*Олена Шевченко, Валерія Каменєва*

умовах дефіциту на Україні нафтового палива (видобуток нафти й газового конденсату складає 4 млн т, дотація – більше 10 млн т) найбільш перспективним, відносно дешевим способом є отримання біопалива з рослинних олій (ріпакової, соняшnikової та ін.). Реакцію метаноліза з олій та жирів отримують паливо композицію метилових естерів

жирних кислот (МЕЖК) і гліцерин. У даний час в Європі (Німеччина, Франція, Австрія та ін. країни) виробляється більше 1,5 млн т біопалива.

Для України традиційним джерелом тригліцеридів є соняшник або ріпак, ціна олій цих культур складає близько 20–22, 16–18 грн/кг відповідно. Але існують й інші види сировини. В Україні є значна кількість технічних жирів, що не можуть бути використані для виготовлення мила через невідповідність нормам за кольором, прозорістю, забруднення домішками та ін. (ГОСТ 25292-82). Зокрема йдеться про суміш свино-яловичого жиру, що є відходом м'ясопереробки, курячий та риб'ячий жири. Такий жир можна використовувати як сировину для синтезу МЕЖК. У порівнянні з високоякісними рослинними оліями, вони мають невисоку вартість приблизна ціна таких жирів: свино-яловичий – 10 грн, курячий – та риб'ячий – 6 грн за кілограм. Технічний свино-яловичий жир спалюється або закопується у могильники. Курячий та риб'ячий жири використовуються лише частково як домішок до кормів для тварин, інша, більша частина, може служити для виготовлення МЕЖК. За місяць українські підприємства отримують лише курячого жиру близько 1000 т

Як показує досвід експлуатації дизельних двигунів різного призначення, конвертація їх на біодизель не вимагає ніякої зміни в конструкції дизеля. Незважаючи на деяке збільшення до 10% витрати біодизеля під час роботи двигуна на ньому (метилові ефіри є кисневмісним паливом), значно, на 25–50%, зменшується емісія шкідливих речовин відпрацьованими газами, що дозволяє використовувати цей вид палива для двигунів під час їх роботи в екологічно вразливих місцях (міська зона, зона відпочинку, кар'єрні розробки та ін.). Переваги біодизельного палива перед нафтовим добре відомі.

Таблиця 1

Обсяги утворення курячого жиру на підприємствах України

Найменування підприємства	Кількість курячого жиру т/міс
ПАО «Миронівський хлібопродукт»	200–250
ТМ «Гаврилівські курчата»	100–120
ЗАТ «Птахокомбінат» Дніпровський»	30–35
Інші підприємства	500

По-перше, біодизельне паливо має кращі екологічними характеристиками: воно практично не містить сірки і ароматичних вуглеводнів;

через атоми кисню, що містяться в молекулах біодизельного палива, досягається більш повне згорання палива, тобто відбувається значне зменшення кількості незгорілих вуглеводнів і сажі у відпрацьованих газах; у т.ч. практично відсутні канцерогенні вуглеводні ароматичного ряду, наприклад бенз- $\alpha$ -пірен;

більш високе цетанове число. Для мінерального дизпалива 45–48. Для біодизеля (метиловий ефір) не менше 51.

По-друге, біодизельне паливо більш безпечне під час зберігання й транспортуванні, оскільки володіє високою температурою спалаху та легко розкладається мікроорганізмами під час попадання в ґрунт.

Ще одна перевага біодизельного палива – високі змащувальні властивості, що покращують його експлуатаційні характеристики, що сприяють збільшенню терміну служби двигуна й паливного насоса в середньому на 60%.

Хоча МЕЖК і мають багато властивостей подібних до нафтового дизельного палива, за деякими параметрами все ж поступаються йому, завдяки своїй хімічній структурі. Проблеми виникають з такими показниками як окисна стабільність, низькотемпературні характеристики. Будь-який біодизель у чистому вигляді має досить високу граничну температуру фільтрованості, помутніння й застигання. Часто виникає необхідність обладнання машини ще одним паливним баком. Додатковий бак оснащують датчиком температури та нагрівальною спіраллю в якій тече змащувально-охолоджуюча рідина

автомобіля. Переключити систему на бак з біодизелем можна коли паливо в ньому достатньо нагріте.

МЕЖК – хороший розчинник. Наліт, що утворюється в наслідок роботи двигуна на традиційному дизельному паливі, руйнується під час переходу на біодизель і викликає засмічення фільтрів та інжекторів, тому виникає необхідність їх заміни.

На неадаптованих автомобілях МЕЖК під час тривалого контакту з гумовими трубками та ущільненнями розчиняє їх. Особливо схильні до деструкції поліпропілен, полівініл та деякі види гуми. На поліуретанові деталі, фторопласт, тефлон, вітон біодизель такого руйнівного впливу не чинить.

Усунути деякі недоліки можна також правильним підбором сировини, технології переробки або змішуванням з традиційним дизельним паливом.

Проведено експериментальне дослідження сумішевих дизельних палив з МЕЖК з нехарчових олій й жирів. Вивчені фізико-хімічні показники зразків палив, що приведені в табл. 2. Визначено показники, що потребують корегування.

Таблиця 2

Фізико-хімічні характеристики сумішевого дизельного палива з МЕЖК з різної сировини

№ з/п	Найменування показника	ДП+РО	ДП+КЖ	ДП+СО
1	Густина за температури 15 С, кг/м <sup>3</sup>	835	845	840
2	Кінематична в'язкість за температури 40 С, мм <sup>2</sup> /с	3,6	3,5	3,5
3	Температура спалаху в закритому тиглі, С	55	55	55
4	Зольність, мас.%	0,01	0,03	0,01
5	Випробування на мідній пластинці (3 год за темп. 50 С)	1а	1а	1а
6	Кислотне число, мг КОН на г	0,3	0,5	0,7
7	Йодне число, г йода на 100 г	40	69,59	40,99
8	Вміст сірки, мг/кг,	22	50	23
9	Змашуюча властивість: діаметр плями зносу за температури 60 С, мкм	360	320	350

## РЕФЕРАТ

*Олена Шевченко, Валерія Каменєва,*

*ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», e\_shevchenko@ua.fm*

### **ЗАСТОСУВАННЯ МЕТИЛОВИХ ЕСТЕРІВ ЖИРНИХ КИСЛОТ З НЕХАРЧОВИХ ЖИРІВ В СУМІШЕВИХ ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВАХ**

Розглянута доцільність одержання метилових естерів жирних кислот з технічних жирів, що не можуть бути використані для виготовлення цільового продукту через невідповідність нормам за кольором, прозорістю, забруднення домішками та ін.

Вивчено можливість введення в дизельне паливо максимальної кількості МЕЖК, з метою збільшення ресурса дизельного палива в Україні, переваги з боку екологічних показників суміші, змашувальної здатності. Визначено недоліки, що привносить біодизельний компонент, запропоновані варіанти їх усунення.

Розроблена паливна композиція, що відповідає державним стандартам України на паливо дизельне та може бути використана як паливо для дизельних автомобілів без удосконалення та переобладнання їх паливної системи.

**Ключові слова:** сумішеве дизельне паливо, естери жирних кислот.

## РЕФЕРАТ

*Елена Шевченко, Валерия Каменева,*

*ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»,*

*e\_shevchenko@ua.fm*

### **ПРИМЕНЕНИЕ МЕТИЛОВЫХ ЭФИРОВ ЖИРНЫХ КИСЛОТ ИЗ НЕПИЩЕВЫХ ЖИРОВ В СМЕСЕВЫХ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВАХ**

Рассмотрена целесообразность получения метиловых эфиров жирных кислот из технических жиров, которые не могут быть использованы для изготовления целевого продукта из-за несоответствия нормам по цвету, прозрачности, загрязненности примесями и др.

Изучена возможность введения в дизельное топливо максимального количества МЭЖК, с целью увеличения ресурса дизельного топлива в Украине, преимущества экологических показателей смеси, смазочной способности. Определены недостатки, которые приносит биодизельный компонент, предложены пути их устранения.

Разработана топливная композиция, соответствующая государственным стандартам Украины на дизельное топливо, которая может быть использована в качестве топлива для дизельных автомобилей без совершенствования и переоборудование их топливной системы.

**Ключевые слова:** смесевое дизельное топливо, эфиры жирных кислот.

#### ABSTRACT

*Elena Shevchenko, Valeria Kameneva, Ukrainian State University of Chemical Technology, e\_shevchenko@ua.fm* **APPLICATION OF FATTY ACIDS METHYL ESTERS MADE OF NONFOOD FATS IN MIXED DIESEL FUELS**

The reasonability of fatty acids methyl esters obtaining from inedible fats, which couldn't be used to produce the target product due to color, transparency, pollution and others standards inconsistency, is reviewed.

The possibility of FAME maximum quantity additions to diesel fuel to increase diesel fuel resources in Ukraine, is studied. The benefits of the ecological indices of the mixture and lubricating properties are examined as well. The drawbacks caused by the biodiesel component are defined, and the means of their removal are proposed.

The fuel composition, which conforms Ukrainian state diesel fuel standards and could be used as a fuel for diesel cars without their fuel system modification and improvement, is developed.

**Key words:** mixed diesel fuel, fatty acids esters.

УДК 662.758.2

### **І-9. ВПЛИВ ПРИСАДОК НА ОСНОВІ НАНОРОЗМІРНИХ СФЕРОЇДАЛЬНИХ КАРБОНОВИХ КЛАСТЕРІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕТАНОЛЬНИХ БЕНЗИНІВ**

*Ольга Гайдай, Ярослав Березницький, Наталія Хімач,  
Володимир Пилявський, Євген Полункін*

Через широке розповсюдження біобензинів у світовій практиці виконується пошук упровадження різних сполук та їх сумішей як додатків для зменшення негативного впливу таких палив на роботу двигунів. Однак, більшість існуючих сполук та присадок на їх основі є монофункціональними і додаються у високих концентраціях.

Завдяки унікальним властивостям нанорозмірних сфероїдальних карбонів кластерів вони можуть знайти використання як додаток до ПММ, що одночасно покращують декілька експлуатаційних характеристик. Введення таких сполук до складу бензинів не потребує високих концентрацій присадки.

Мета роботи – створення етанольних моторних палив з покращеними експлуатаційними характеристиками.

У даному дослідженні як мікродобавки до етанольного палива для поліпшення експлуатаційних властивостей досліджували нанорозмірні вуглецеві структури, що складаються з багатоповушкових вуглецевих сфер – оніони (CNOs – carbon nanoions).

Внаслідок їх поганої розчинності (менше 0,001%, мас.) у вуглеводневих і спиртових малов'язких рідинах, вплив таких речовин на характеристики моторних палив в світі досліджено не було. З метою покращення розчинності одержаних нанокластерів в оксигенатних компонентах палив була проведена хімічна модифікація поверхні вуглецевих кластерів бромованими.

Для дослідження бромованих оніонів (CNOs-Br) як багатофункціональної присадки до етанольного палива авторами дослідження була приготовлена базова рецептура

етанольного палива E-85, що містить 85%, об. етанолу і 15%, об. нафтового бензину з октановим числом 95.

Для отримання присадки до етанольних палив модифіковані нанокластери CNOs-Br були розчинені у абсолютваному етанолі і введені у базову рецептуру палива E-85 в концентрації 0,01%, мас.

Методами скануючої та трансмісійної електронної мікроскопії показано, що карбонові наночастки мають сферичну форму, розмір індивідуальних часток складає 5–40 нм. Детальне вивчення розмірів зразків карбонових наноматеріалів за допомогою атомно-силової мікроскопії показало, що середній розмір наночасток лежить в діапазоні 5–9 нм.

При дослідженні розчинів синтезованих наночасток методом динамічного розсіювання лазерного світла було встановлено, що гідродинамічний діаметр карбонових нанокластерів, сольватованих у спиртових розчинниках, значно перевищував розмір індивідуальних часток добавки і, в залежності від природи розчинника, становив 20–1000 нм.

Згідно з запропонованою нами моделлю, зміни властивостей рідкої фази обумовлені процесом утворення доменів – супрамолекулярних сольватованих угруповань молекул рідини навколо нанорозмірних часток (рис.1).

Формування упорядкованих надмолекулярних структур – доменів – супроводжується додатковою наведеною поляризацією молекул середовища внаслідок їх орієнтації і зміщення електронної густини під впливом полярних бромованих карбонових наночасток (рис.2).

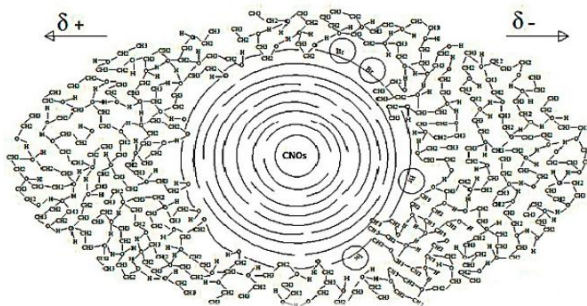


Рис. 1. Схема утворення доменів з молекул етанолу навколо наночасток

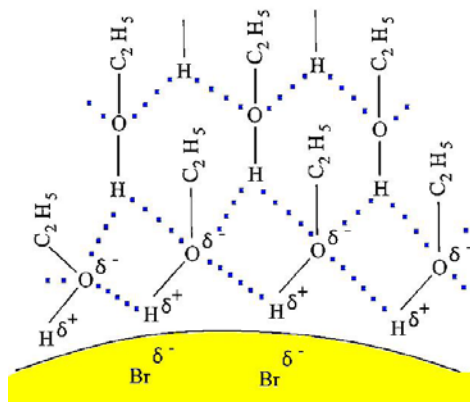


Рис. 2. Орієнтаційне упорядкування молекул етанолу під дією полярних наночасток – бромованих сфероїдальних карбонових кластерів

Упорядкована структура доменів з орієнтацією вуглеводневих фрагментів молекул розчинника до зовнішньої поверхні таких надмолекулярних об'єктів, а гідроксильних груп – до центротворюючих нанокарбонових часток, істотно змінює фізико-хімічні властивості і хімотологічні характеристики середовища.

Виявлено, що додавання до сумішевого етанольного палива нанокарбонових кластерів CNOs-Br сприяє суттєве підвищення тиску насиченої пари, що покращує пускові характеристики палива. Знайдене явище пояснюється зниженням парціального тиску полярних структуротворюючих компонентів палива (етанол) з відповідним зростанням парціального тиску неполярних компонентів (н-пентан), що не беруть участь у формуванні доменів.

Досліджено вплив синтезованих сфероїдальних карбонових кластерів на *корозійні властивості* етанольних палив. Встановлено зниження корозійної активності кольорових металів при наявності у складі палив присадок нанокластерів (0,01 %, мас.). Це пояснюється зниженням діелектричної проникності етанольного палива за рахунок формування у ньому доменів. Використання запропонованих присадок у складі палива запобігає виникненню корозії металів і не потребує додаткового введення інгібіторів корозії.

Досліджено вплив нанокарбонових кластерів на *трибологічні властивості* етанольних моторних палив. Виявлено зменшення пошкодження металевої поверхні пар тертя паливних насосів при введенні в етанольне паливо карбонових нанокластерів. Це свідчить про протікання процесів тертя в гідродинамічному режимі у зв'язку з підвищеною несучою здатністю такого палива.

Встановлений ряд зниження протизносних властивостей за показником зношування у часі: E-85 + CNOs-Br > E-85 > A-95, а також за показником критичного осьового навантаження до задиру: E-85 + CNOs-Br > A-95 > E-85, що підтверджує високі протизносні властивості розроблених сумішевих палив у порівнянні з нафтовим паливом A-95.

Для визначення *повноти згорання палив* та впливу присадки CNOs-Br на дальність пробігу автомобілів на різних видах палива нами було проведено порівняльні ходові випробування товарного автомобільного бензину A-92 (базове паливо «АвтоЗА3»), сумішевого палива E-85 (базова рецептура) та сумішевого палива E-85+CNOs-Br на полігоні Запорізького автомобільного заводу («АвтоЗА3») за однакових умов з виміром дальності пробігу автомобіля.

Встановлено, що дальність пробігу автомобіля та витрати палива запропонованої рецептури з присадкою відрізняються від відповідних результатів, отриманих на автомобільному бензині A-92 лише на 5,1 %. Отримані результати можна пояснити збільшенням повноти згорання вуглеводневих компонентів палива додаванням до його складу нанокарбонової присадки. Утворені супрамолекулярні угруповання молекул етанолу частками нанокластеру покращують випаровуваність вуглеводневої фракції через формування мікротетерогенних областей в об'ємі рідкого палива і, тим самим, забезпечуючи кращу повноту згорання сумішевого етанольного палива.

Запропонована і обґрунтована нова концепція впливу мікрокількостей присадок на основі бромованих нанорозмірних сфероїдальних карбонових кластерів на зміну пускових, корозійних і трибологічних властивостей етанольних моторних палив. Поліпшення експлуатаційних властивостей палив в присутності нанорозмірних присадок пояснюється зміною надмолекулярної структури палив через формування доменів в дисперсійному середовищі сольвенту навколо наночасток присадки. Таким чином, змінюючи структуру палива, внесена в мікрокількостях присадка на основі нанокарбонових кластерів, проявляє поліфункціональну дію.

## РЕФЕРАТ

*Ольга Гайдай, Ярослав Березницький, Наталія Хімач, Володимир Пилявський, Євген Полункін, Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України, [Gaidaj@ukr.net](mailto:Gaidaj@ukr.net)*

### **ВПЛИВ ПРИСАДОК НА ОСНОВІ НАНОРОЗМІРНИХ СФЕРОЇДАЛЬНИХ КАРБОНОВИХ КЛАСТЕРІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕТАНОЛЬНИХ БЕНЗИНІВ**

Наведено новий спосіб подолання недоліків етанольних моторних палив додаванням до їх складу поліфункціональних присадок на основі нанорозмірних карбонових кластерів. Показано, що модифіковані нанокластери сприяють формуванню надмолекулярної структури етанольних палив у вигляді доменів сольвенту навколо наночастинок. Орієнтаційні локальні впорядкування цих супрамолекулярних структур змінюють такі фізико-хімічні властивості оксигенатних палив, як діелектрична проникність і несуча здатність рідкої фази при динамічному механічному навантаженні. Знайдено, що структурування етанольного палива з утворенням доменів збільшує повноту згорання палива за рахунок формування мікрогетерогенних областей в об'ємі рідкого палива. Показано, що введення у етанольне паливо присадок на основі нанорозмірних карбонових кластерів дозволяє створити високоефективне моторне паливо з поліпшеними експлуатаційними характеристиками.

**Ключові слова:** етанольне паливо, нанорозмірні карбонові кластери, структуроутворення, корозійні властивості, трибологічні характеристики моторних палив.

## РЕФЕРАТ

*Ольга Гайдай, Ярослав Березницький, Наталія Хімач, Владимир Пилявский, Евгений Полункин, Институт биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины, [Gaidaj@ukr.net](mailto:Gaidaj@ukr.net)*

### **ВЛИЯНИЕ ПРИСАДОК НА ОСНОВЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ СФЕРОИДАЛЬНЫХ КАРБОНОВЫХ КЛАСТЕРОВ НА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ЭТАНОЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ**

Приведен новый способ преодоления недостатков этанольных моторных топлив посредством введения в их состав полифункциональных присадок на основе наноразмерных карбоновых кластеров. Показано, что модифицированные нанокластеры способствуют формированию надмолекулярной структуры этанольных топлив в виде доменов сольвента вокруг наночастиц. Ориентационное локальное упорядочение этих супрамолекулярных структур изменяет такие физико-химические свойства оксигенатных топлив, как диэлектрическая проницаемость и несущая способность жидкой фазы при динамической механической нагрузке. Найдено, что структурирование этанольного топлива образованием доменов увеличивает полноту сгорания топлива за счет формирования микрогетерогенной областей в объеме жидкого топлива. Показано, что введение в этанольное топливо присадок на основе наноразмерных карбоновых кластеров позволяет создать высокоэффективное моторное топливо с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

**Ключевые слова:** этанольное топливо, наноразмерные карбоновые кластеры, структурообразование, коррозионные свойства, трибологические характеристики моторных топлив.

## ABSTRACT

*Olga Gaidaj, Yaroslav Bereznytsky, Natalia Himach, Vladimir Pylyavskyy, Eugen Polunkin, Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry of the NAS of Ukraine, [Gaidaj@ukr.net](mailto:Gaidaj@ukr.net)*

### **INFLUENCE OF MULTIFUNCTIONAL ADDITIVES BASED ON CARBON NANOSCALE CLUSTERS ON ETHANOL GASOLINE PERFORMANCE PROPERTIES**

A new way to overcome the disadvantages of ethanol motor fuels by introducing of multifunctional additives, based on carbon nanoscale clusters in their composition, is given. It is shown that the modified nanoclusters contribute to the formation of supramolecular structure of ethanol fuels in the form of solvent domains around the nanoparticles. Orientational local ordering of these supramolecular structures change such physicochemical properties of oxygenate fuels, as dielectric constant and the load-bearing capacity of the liquid phase in the dynamic mechanical load. It is found that structuring of ethanol fuel with formation of domains increases completeness of combustion of fuel due to formation microheterogeneous areas in volume of liquid fuel.

It is shown that the introduction of additives based on carbon nanoscale clusters into the ethanol fuel allows to create a high-performance motor fuel with improved performance.

**Key words:** ethanol fuel, nanoscale carbon clusters, structure formation, corrosion properties, tribological characteristics of motor fuels.



## I-10. ЗМІНА СКЛАДУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ МІНЕРАЛЬНИХ МОТОРНИХ ОЛИВ ПІСЛЯ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ

*Богдан Корчак, Олег Гринишин, Тарас Червінський*

процесі експлуатації автотранспортних засобів моторні оливи поступово втрачають свої первинні експлуатаційні властивості та змінюють хімічний та груповий вуглеводневий склад – «старіють». Зміна показників якості оливи обумовлена фізичними та хімічними процесами, що відбуваються у двигуні. Кількісні зміни призводять до зменшення вмісту оливи в картері двигуна та накопичення у ній продуктів «старіння».

«Старіння» оливи відбувається внаслідок дії двох основних чинників: внутрішніх – зумовлених порушенням стабільності оливи (випаровування, розклад, окиснення тощо) та зовнішніх – зумовлених забрудненням оливи паливом, водою та механічними домішками.

Оскільки запобігти утворенню відпрацьованих оливи неможливо, а споживання оливи з кожним роком зростає, дуже важливим і актуальним є глибоке вивчення зміни фізико-хімічних властивостей і складу мінеральних моторних оливи, щоб в перспективі підібрати максимально ефективний, екологічно безпечний і економічний метод регенерації або утилізації.

Виконаний аналіз показав, що системні результати досліджень зміни усіх властивостей й складу моторних оливи станом на сьогодні не опубліковані.

Мета роботи – вивчити зміну експлуатаційних властивостей та групового вуглеводневого складу мінеральних моторних оливи внаслідок їх експлуатації. Визначити склад неорганічної частини цих оливи. Ідентифікувати продукти «старіння». Для досягнення мети необхідно було порівняти склад і властивості вихідних моторних оливи з складом властивостями відпрацьованих оливи, що пройшли робочий цикл у ДВЗ.

Як вихідні мінеральні моторні оливи для досліджень були використані оливи марок NORMAL 15W40 та M-10 ДМ. Вихідна олива марки NORMAL 15W40 призначена для використання у бензинових ДВЗ. Вона характеризувалась наступними показниками якості: кінематична в'язкість за 50° та 100° С – відповідно 68,44 та 14,38 мм<sup>2</sup>/с; індекс в'язкості – 130; кислотне число – 1,9 мг КОН/г; вміст води – 0,06 %; коксівність – 1,06 %; зольність – 0,39 %. Відпрацьована олива марки NORMAL 15W40 була вилучена з картера бензинового двигуна легкового автомобіля марки ВАЗ 21099. Вона характеризувалась наступними показниками: кінематична в'язкість за 50° та 100° С – відповідно 69,81 та 13,96 мм<sup>2</sup>/с; індекс в'язкості – 105; кислотне число – 2,5 мг КОН/г; вміст води – 0,15 %; коксівність – 1,71 %; зольність – 0,53 %.

Вихідна олива марки M-10ДМ призначена для використання у дизельних двигунах. Вона характеризувалась наступними показниками якості: кінематична в'язкість за 50° та 100° С – відповідно 60,13 та 11,40 мм<sup>2</sup>/с; індекс в'язкості – 95; кислотне число – 1,6 мг КОН/г; вміст води – 0,06 %; коксівність – 1,44 %; зольність – 0,71 %. Відпрацьована олива марки M-10ДМ була вилучена з картера дизельного двигуна з турбонадувом сільськогосподарського трактора марки Т-150 після закінчення весняно-осінніх польових робіт у західному регіоні Львівської обл. Вилучена олива характеризувалась кінематичною в'язкістю за 50° та 100° С відповідно 51,65 та 10,22 мм<sup>2</sup>/с; індексом в'язкості 88; кислотним числом 2,7 мг КОН/г; вмістом води 0,14 %; коксівністю 2,30 %; зольністю 0,94 %.

Для встановлення імовірного механізму перетворень груп вуглеводнів, що входять до складу моторних оливи, внаслідок їх експлуатації в ДВЗ визначали груповий вуглеводневий склад вихідних (свіжих) та відпрацьованих оливи (рис. 1).

Встановлено, що досліджувані оливи складаються в основному з парафіно-нафтоєвих та моноциклічних ароматичних вуглеводнів. Під час експлуатації оливи

відбувається зміна групового складу олив. Зокрема зменшується вміст парафіно-нафтових вуглеводнів і збільшується вміст ароматичних вуглеводнів і асфальто-смолистих речовин.

Вказані закономірності є результатом таких перетворень :

вміст асфальто-смолистих речовин підвищується внаслідок процесів ущільнення та окиснення ароматичних вуглеводнів;

вміст ароматичних вуглеводнів підвищується внаслідок процесів деструкції та циклізації аліфатичних вуглеводнів;

частина парафіно-нафтових вуглеводнів окиснюється з утворенням кисневмісних продуктів.

Раніше встановлено, що під час використання оливи, мають місце процеси термодеструкції та ущільнення молекул вуглеводнів оливи. Встановлено, що поліциклічних нафтових вуглеводнях розрив кільця відбувається з утворенням моно- та біциклічних нафтових вуглеводнів.

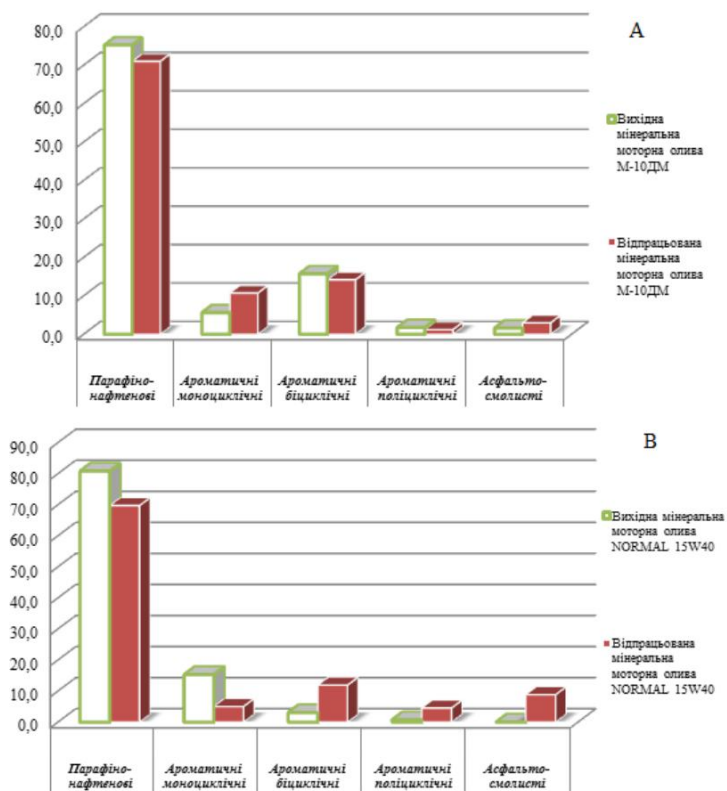


Рис. 1. Зміна групового вуглеводневого складу олив М-10ДМ (а) і NORMAL 15W40 (b)

Моно- та біциклічні нафти внаслідок реакцій дегідрування утворюють моно-і біциклодіолефінові та ароматичні вуглеводні:

Утворені ненасичені моно-, бі- та поліциклічні нафтові структури мають низьку стабільність і здатні до реакцій ущільнення, що призводить до зменшення вмісту усіх нафтових сполук у відпрацьованій оливі та зростання вмісту асфальто-смолистих речовин.

Відомо, що крім вуглеводнів і асфальто-смолистих речовин до складу товарних моторних олив входить незначна кількість неорганічного походження. Вони вносяться в оливу з присадками, що використовуються для покращення окремих показників якості олив,

також можуть потрапляти в оливу під час експлуатації ДВЗ. Результати рентгенофлуоресцентного дослідження вихідних та відпрацьованих олив наведені в табл. 1 і 2.

Таблиця 1

Елементний склад неорганічної частини вихідної та відпрацьованої оливи М-10ДМ

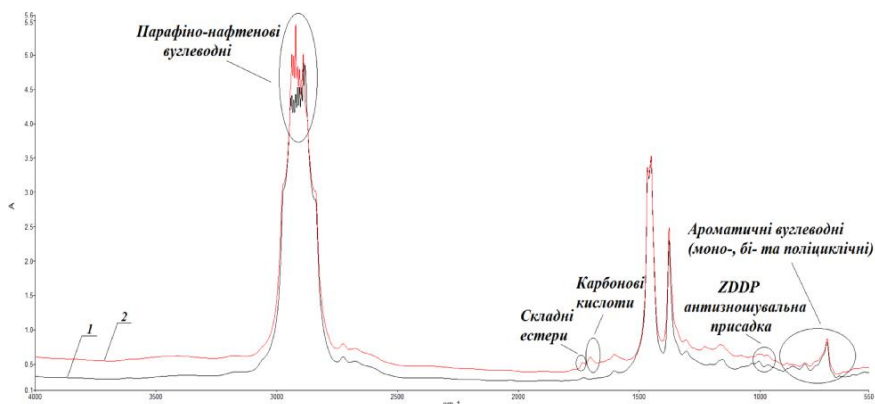
Елемент	М-10ДМ		
	Вміст в оливі, ppm		Походження в оливі/двигуні
	Вихідна олива	Відпрац. олива	
P	1024,34	2950,99	Антизношувальні, антиокиснювальні присадки. Входить до складу металевих деталей двигуна в незначній кількості; робить поверхні хімічно інертними.
S	2383,09	6166,21	Антиокиснювальні присадки. Входить до складу металевих деталей двигуна в незначній кількості; робить поверхні хімічно інертними.
Ca	7561,90	16006,38	Мийно-диспергуючі присадки.
Ti	13,82	53,79	Модифікатори тертя. Входить до складу деталей турбін, пружин і клапанів.
Mn	1,92	7,09	Мийно-диспергуючі присадки. Легуюча добавка в деяких сталях. Може входити в склад матеріалу валів, клапанів, зубчастих коліс і підшипників кочення.
Fe	10,34	307,10	Мийно-диспергуючі присадки. Є основним конструкційним матеріалом і входить до складу найважливіших деталей: блока циліндрів, головки блоку циліндрів, клапанів, колінчастого і розподільного валів. Підвищений вміст заліза в відпрацьованій оливі зазвичай свідчить про зношування деталей двигуна.
Zn	1021,58	4033,07	Антизношувальні присадки. Входить до складу поршневих кілець та клапанів.
Sr	1,32	4,14	Мийно-диспергуючі присадки. Легуюча добавка в деяких сталях. Може входити в склад матеріалу валів, клапанів, зубчастих коліс і підшипників кочення.
Zr	0,12	-	Мийно-диспергуючі присадки.
Mo	0,36	1,48	Модифікатори тертя, інгібітори корозії, антифрикційні добавки. Зносостійкий метал, найчастіше зустрічається в поршневих кільцях та підшипниках.
Pb	1,20	26,90	Модифікатори тертя, інгібітори корозії, антифрикційні добавки, реметалізатори. Застосовується в покриттях на основі бабіту і для легування сплавів, що використовуються в шатунах і втулках корінних підшипників колінчастого вала.

Аналізуючи зміну кількості неорганічних компонентів встановлено, що в результаті експлуатації ДВЗ в моторних оливах відбуваються такі зміни:  
 спрацьовування присадок, що входять до складу вихідної (свіжої) оливи;  
 накопичення окремих неорганічних компонентів внаслідок вигорання частини оливи та доливання певної кількості свіжої оливи в картер двигуна;  
 потрапляння в моторну оливу продуктів зношування деталей двигуна.

Аналіз ІЧ-спектрів вихідних і відпрацьованих моторних олив підтвердив результати раніше визначеного групового вуглеводневого складу, а також дав змогу ідентифікувати продукти «старіння» оливи (рис. 2).

Елементний склад неорганічної частини вихідної  
та відпрацьованої оливи NORMAL 15W40

Елемент	NORMAL 15W40		
	Вміст в оливі, ppm		Походження в оливі/двигуні
	Вихідна олива	Відпрац. олива	
Mg	256,90	549,75	Антикорозійні, мийно-диспергуючі та присадки, що підвищують термічну стабільність. Входить до сплаву корпусу блоків двигуна, використовується в покриттях.
Si	19,44	139,97	Антипінні присадки. Міститься в хімічних речовинах, які входять до складу кондиціонерів охолоджуючої рідини. Карбід кремнію використовується в конструкції поршнів, щоб зменшити їх коефіцієнт розширення.
P	2053,85	2797,05	див.табл.1
S	2823,43	6401,21	див.табл.1
Ca	1959,79	1445,68	див.табл.1
Cr	-	52,63	Входить до складу конструкційних матеріалів, з яких виготовляють поршневі кільця, втулки, вали, шестерні та підшипники кочення.
Mn	-	8,80	див.табл.1
Fe	49,11	696,36	див.табл.1
Ni	0,90	5,81	Антиокиснювальні, протизношувальні присадки. Міститься в підшипниках кочення, шестернях, напрямних втулках клапанів.
Cu	-	74,05	Міститься в підшипниках ковзання, втулках. Входить до складу радіаторів.
Zn	4062,64	4360,95	див. табл.1
As	4,27	2,99	Зменшення вмісту вказує на спрацьованість присадок
Rb	1,46	1,99	Зменшення вмісту вказує на спрацьованість присадок
Sr	-	2,16	див.табл.1
Mo	-	48,15	див.табл.1
Pb	6,18	16,11	див.табл.1



a)

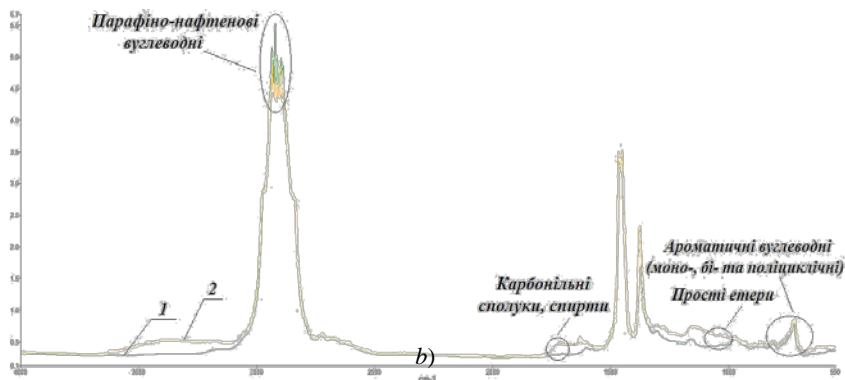


Рис. 2. ІЧ-спектри вихідної (1) та відпрацьованої (2) мінеральних моторних олив М-10ДМ (а) та NORMAL 15W40 (b)

процесі використання оливи відбувається утворення і накопичення продуктів старіння, до яких належать: спирти, альдегіди, кетони, органічні кислоти тощо. Присутність таких продуктів в ІЧ-спектрі відпрацьованої оливи, що містять С=О групу підтвержені смугами поглинання за  $1740\text{--}1690\text{ см}^{-1}$ . Водночас у спектрі вихідної оливи відсутні смуги поглинання характерні для альдегідів, кетонів тощо. Карбонові кислоти у відпрацьованій оливі були ідентифіковані смугами поглинання карбоксильної групи в області  $1720\text{--}1680\text{ см}^{-1}$ , чого не спостерігається в ІЧ-спектрі вихідної оливи. Це підтверджує також високе значення кислотного числа відпрацьованої оливи.

Присутність естерів, як продуктів старіння оливи, підтверджується у відпрацьованій оливі М-10ДМ в області  $1740\text{--}1730\text{ см}^{-1}$ , що відповідає смузі поглинання С=О групи аліфатичних естерів, а також смугою поглинання в області за  $1235\text{--}1225\text{ см}^{-1}$ , що характерно для валентних коливань С-О зв'язку. Аналізуючи ІЧ-спектри олив можемо констатувати відсутність естерів у вихідній оливі М-10ДМ.

Наявність карбонільної групи С=О, що міститься в альдегідах, кислотах та спиртах виявлена в ІЧ-спектрі відпрацьованої оливи NORMAL 15W40, та підтверджена смугами поглинання при  $1725\text{--}1620\text{ см}^{-1}$ , чого не спостерігається в ІЧ-спектрі вихідної оливи (рис.2).

Присутність спиртів, як продуктів старіння оливи, була виявлена у відпрацьованій оливі в області  $1725\text{--}1695\text{ см}^{-1}$ , що підтверджується смугою поглинання С=О групи, а також смугою поглинання в області  $1165\text{--}1125\text{ см}^{-1}$ , що характерно для деформаційних коливань С-О групи. Порівнюючи ІЧ-спектр відпрацьованої оливи можемо констатувати відсутність спиртів у вихідній оливі NORMAL 15W40.

Прості етери були ідентифіковані у відпрацьованій оливі в області  $1125\text{--}1025\text{ см}^{-1}$  асиметричними валентними коливаннями С-О-С зв'язку, однак у вихідній оливі ці коливання відсутні.

ІЧ-спектрі вихідної оливи в області  $1020\text{--}960\text{ см}^{-1}$  виявлено смугу поглинання, характерну для протизношувальних присадок ZDDP. Інтенсивність смуги поглинання для цієї присадки в ІЧ-спектрі відпрацьованої оливи є дещо меншою, що вказує на спрацювання присадки.

Таким чином, результатами даних досліджень вважаємо:

Вивчено зміну експлуатаційних властивостей та групового вуглевод-невого складу вихідних і відпрацьованих моторних олив. Встановлено, що у відпрацьованій оливі відбувається зниження вмісту парафіно-нафтенових вуглеводнів і підвищення вмісту ароматичних вуглеводнів та асфальто-смолистих речовин.

Встановлено, що внаслідок експлуатації ДВЗ змінюється склад неорганічної частини моторних олив. Це пояснюється спрацюванням присадок, потраплянням в оливу

продуктів зношування деталей двигуна, а також доливанням оливи в картер двигуна для підтримання необхідного робочого рівня.

Методом ІЧ-спектроскопії підтверджено механізм утворення кисневмісних продуктів «старіння» оливи: кислот, етерів тощо.

Отримані результати можуть бути використані для розроблення оптимального методу регенерації відпрацьованих моторних оливи.

#### **РЕФЕРАТ**

*Богдан Корчак, Олег Гринишин, Тарас Червінський, Національний університет*

*«Львівська політехніка», kor4ak93@gmail.com*

#### **ЗМІНА СКЛАДУ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ МІНЕРАЛЬНИХ МОТОРНИХ ОЛИВ ПІСЛЯ ЇХ ВИКОРИСТАННЯ**

В роботі подано й описано отримані результати проведених досліджень з вивчення зміни експлуатаційних властивостей оливи в процесі їх використання у бензиновому й дизельному ДВЗ. Як вихідні свіжі та відпрацьовані нафтові оливи були використані оливи марок NORMAL 15W40 (вилучена з картера бензинового двигуна легкового автомобіля) та М-10ДМ (вилучена з картера дизельного двигуна з турбонаддувом сільськогосподарського трактора марки Т-150 після закінчення весняно-осінніх польових робіт у західному регіоні Львівської обл.). За результатами рентгено-флуоресцентного аналізу встановлено, що у вихідних та відпрацьованих оливах присутні метали, що входять до складу як присадок, так і структури деталей ДВЗ. ІЧ-спектральним методом аналізу встановлено, що у складі відпрацьованих мінеральних моторних оливи, порівняно з вихідними, присутні продукти «старіння» оливи: спирти, кетони, альдегіди, етери, естери, карбонові кислоти тощо, які загалом підвищують кислотне число оливи й призводять до утворення шламів, нагарів й лаків, що є однією з причин перегріву й руйнування деталей ДВЗ.

**Ключові слова:** іч-спектроскопія, рентгено-флуоресцентний, експлуатаційні властивості, продукти старіння.

#### **РЕФЕРАТ**

*Богдан Корчак, Олег Гринишин, Тарас Червинский,*

*Национальный университет «Львовская политехника», kor4ak93@gmail.com*

#### **ИЗМЕНЕНИЕ СОСТАВА И СВОЙСТВ МИНЕРАЛЬНЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ ПОСЛЕ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

Особое место среди загрязняющих отходов человеческой деятельности занимают отработанные нефтяные масла различных областей использования. В процессе их использования в их составе образуются и накапливаются токсичные, канцерогенные соединения, попадание которых в окружающую среду недопустимо. По результатам рентгено-флуоресцентного анализа установлено, что исходных и отработанных маслах присутствуют металлы, которые входят в состав как присадок, так структуры деталей ДВС.

ИК-спектральным методом анализа установлено, что в составе отработанных минеральных моторных масел по сравнению с исходными, присутствуют продукты «старения» масел: спирты, кетоны, альдегиды, простые и сложные эфиры, карбоновые кислоты и т.п., которые, в общем, повышают кислотное число масел и приводят к образованию нагаров и лаксов, что является одной из причин перегрева и разрушения деталей ДВС.

**Ключевые слова:** ик-спектроскопия, рентгено-флуоресцентный, эксплуатационные свойства, продукты старения.

#### **ABSTRACT**

*Bohdan Korchak, Oleg Grynysyn, Taras Chervinskiy,*

*Lviv Polytechnic National University, kor4ak93@gmail.com*

#### **THE CHANGE OF MINERAL ENGINE OILS COMPOSITION AND PROPERTIES AFTER OPERATION**

Obtained results of research of the oils performance attributes change during operation in diesel and gasoline internal combustion engine, are discussed. Initially, fresh and waste oils of such brands as NORMAL 15W40 (taken from the crankcase of gasoline engine) and M-10DM (taken from the crankcase of diesel engine with turbocharging farm tractor T-150 after spring and autumn field works on the western area of Lviv

region), were used. According to the results of X-ray fluorescence analysis, the fresh and waste oils contain metals, which are included into composition of additives and ICE pieces structure as well.

Applying IR-spectral methods of analysis has been established that the composition of waste mineral oils, in comparison to the fresh oils, contain the products, which cause the oils' "aging": ketones, aldehydes, ethers, esters, carboxylic acids etc., which boost the acid number of oils and induce the development of sludge, soot and varnishes, which is one of the reasons overheating and ICE pieces destruction.

**Key words:** IR-spectroscopy, X-ray fluorescence, operational properties, aging products.

УДК 665.753:66.095.13[665.334.9+547.261/.264]

## **I-11. ВПЛИВ ПОДОВЖЕННЯ ВУГЛЕЦЕВОГО ЛАНЦЮГА СПИРТОВОЇ ГРУПИ ЕСТЕРІВ НА ВЛАСТИВОСТІ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА**

*Степан Зубенко, Михайло Охріменко, Сергій Коновалов,  
Любов Патриляк, Анжела Яковенко*

Альтернативні палива для ДВЗ на базі біокомпонентів здатні значною мірою замінити традиційні палива мінерального походження. Підвищення питомої частки таких палив структурі споживання дозволило б значно знизити екологічне навантаження на навколишнє середовище та зменшити рівень енергетичної залежності країн, що є традиційними імпортерами нафти та нафтопродуктів, до яких належить і Україна.

Станом на сьогодні біодизель є найрозповсюдженішим альтернативним моторним паливом у світі після біоетанолу. Світові об'єми його виробництва за 2015 рік склали близько 24 млн тонн нафтового еквіваленту.

Традиційним виробництвом біодизельного палива в промислових масштабах є гомогенно-каталітична лужна переестерифікація природних тригліцеридів метанолом одержанням суміші МЕЖК. Залучення як агента переестерифікації низки нижчих спиртів дозволило б розширити спиртово-сировинну базу виробництва біодизельного палива та відмовитись від використання токсичного та екологічно небезпечного метанолу. Крім цього, подовження вуглецевого ланцюга вихідного спирту дозволило б одержувати естери з відмінними, порівняно з продуктами на основі метанолу, фізико-хімічними та хімотологічними властивостями.

Найбільш привабливою заміною метилового спирту як агента переестерифікації виглядають біовідновлювальні спирти – передусім етанол та бутанол-1. Етилові естери жирних кислот, характеризуючись дещо відмінними, але загалом вельми близькими до метилових фізико-хімічними властивостями, вже здобули досить широкого розповсюдження як біокомпонент палив для дизельних двигунів. Щодо біобутанолу, сучасні технології його біосинтезу дозволяють одержувати порівняно дешевий продукт, а проблема його виробництва здобуває дедалі більший інтерес у дослідників. На сьогодні в Україні є всі можливості для виробництва біобутанолу із рослинної сировини вітчизняного походження: незначне переоснащення наявних спиртових заводів могло б забезпечити випуск продукту, дешевшого за етанол.

Питанням синтезу естерів жирних кислот із залученням як переестерифікуючих агентів ряду нижчих спиртів C1–C4 присвячена чимала кількість робіт. Однак більшість з них фокусується на встановленні параметрів синтезу, не порівнюючи при цьому властивості продуктів з різною довжиною спиртового ланцюга естерів або порівнюючи лише деякі окремі характеристики.

Тому метою даної роботи було одержання очищених естерів жирних кислот на основі ріпакової олії та нижчих лінійних спиртів C1–C4 для встановлення впливу довжини спиртового фрагменту молекул естерів на низку їх фізико-хімічних і експлуатаційних властивостей.

Як сировину для одержання естерів жирних кислот використовували нерафіновану ріпакову олію. Метиліві – МЕЖК, етилові (ЕЕЖК), н-пропілові (ПЕЖК) та н-бутилові (БЕЖК) естери синтезували лужною гомогенно-каталітичною переестерифікацією вихідної олії відповідним спиртом (температура процесу – близько 20 °С, мольне співвідношення спирт/олія – 5–7:1, каталізатор – КОН, 1,8 % мас. відносно олії, час синтезу – 30 хв). Після синтезу зі збагаченого естерами шару під вакуумом відганяли залишковий спирт. Суміш після відгонки піддавали вакуумній дистиляції за залишкового тиску 0,1–0,5 мм рт. ст. Продукти дистиляції практично позбавлені кольору; показники їх чистоти й фізико-хімічні та експлуатаційні властивості наведено в таблиці.

Таблиця

Властивості синтезованих продуктів

Найменування показника	МЕЖК	ЕЕЖК	ПЕЖК	БЕЖК
Температура дистиляції, °С	171–182	167–177	184–196	177–200
Вміст естерів, %	99,2	99,4	91,7	99,9
Показник заломлення $n_D^{20}$	1,4540	1,4548	1,4536	1,4558
Кінематична в'язкість, $\text{мм}^2/\text{с}$	4,11	4,30	4,90	5,49
Густина, $\text{г}/\text{см}^3$	0,8770	0,8738	0,8702	0,8720
Температура застигання, °С	мінус 15	мінус 19	мінус 22	мінус 27
Гранична температура фільтрованості, °С	не визначали	мінус 14	не визначали	мінус 19
Цетанове число	59	65	61	62

Вміст естерів в очищених продуктах і їх жирнокислотний склад визначали хроматографічно (Agilent 7890A GC, колонка HP-5 30 м/ 0,32 мм/ 0,25 мкм) згідно з європейським стандартом EN14103 із використанням метилгептадеканоату як внутрішнього стандарту. Жирнокислотний склад усіх продуктів виявився близьким: С14 – 1,4 %, С16 – 4,9 %, С18:1 – 86,8 %, С18:2 – 2,2 %, С22 – 3,3 %, С24 – 1,1 %. Щодо загального вмісту естерів, то МЕЖК, ЕЕЖК та БЕЖК виявилися вельми чистими продуктами (концентрація естерів > 99 % мас.). Нижчий вміст естерів в ПЕЖК (91,7 % мас.) зумовлений, найімовіріше, неоптимальністю використаних умов синтезу для н-пропанолу як переестерифікуючого агенту.

Кінематична в'язкість продуктів (за ДСТУ ГОСТ 33) закономірно зростає з подовженням алкільного ланцюга спиртової групи естерів з 4,11  $\text{мм}^2/\text{с}$  для МЕЖК до 5,49  $\text{мм}^2/\text{с}$  для БЕЖК. Для перших трьох продуктів даний показник відповідає вимогам (3,5– 5,0  $\text{мм}^2/\text{с}$ , 40 °С) як українських стандартів на метиліві (ДСТУ 6081) та етилові (ДСТУ 7178) естери, так і європейського стандарту EN 14211 на метиліві естери. Кінематична в'язкість БЕЖК дещо перевищує вимоги вказаних стандартів, однак задовольняє вимогам стандарту США ASTM D 6751 (1,9–6,0  $\text{мм}^2/\text{с}$ , 40 °С) для метилових та етилових естерів жирних кислот.

Густина продуктів за 20 °С, визначена згідно ГОСТ 3900, з подовженням спиртового фрагменту молекул естерів незначно спадає, вписуючись в межі, зазначені вищезгаданими нормативними документами. Нижча густина для ПЕЖК, порівняно з БЕЖК, що випадає із загальної тенденції, зумовлена, на нашу думку, недостатньою чистотою продукту.

Температура застигання ( за ГОСТ 20287) з ростом алкільного ланцюга спиртової частини молекул естерів помітно знижується, сягаючи мінус 27 °С для БЕЖК.

Більш адекватною оцінкою поведінки дизпалива в системі подачі палива за низьких температур є показник граничної температури фільтрованості. Даний показник було визначено (згідно ГОСТ 22254) тільки для ЕЕЖК та БЕЖК. Для бутилового продукту (мінус 19 °С) він виявився нижчим, ніж для етилового (мінус 14 °С). За цим показником обидва продукти повністю відповідають вимогам до літніх дизельних палив (ДСТУ 7688) та біодизельних палив марки D, а бутилові естери також і вимогам до біодизельних палив



марки Е (гранична температура фільтрованості палива не вища за мінус 5, мінус 10 та мінус °С відповідно).

Величина цетанового числа (згідно ГОСТ 3122) усіх синтезованих продуктів задовольняє вимогам згаданих стандартів ( $\geq 51$ ) на метилові та етилові естери. Для продуктів на основі спиртів С<sub>2</sub>–С<sub>4</sub> його величина вища, ніж для метанольного продукту, що відповідає відомим закономірностям збільшення цетанового числа з ростом довжини молекул вуглеводнів. Однак факт спаду величин цетанових чисел для ПЕЖК та БЕЖК, порівняно з ЕЕЖК, не узгоджується з загальними закономірностями для вуглеводневих палив, що може свідчити про відмінний характер перебігу початкової стадії горіння нафтового дизпалава та палива естерового типу.

#### РЕФЕРАТ

*Степан Зубенко, Михайло Охрімєнко, Сергій Коновалов, Любов Патрисяк, Анжела Яковенко, Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України, okhrimenko\_m@ukr.net*

#### **ВПЛИВ ПОДОВЖЕННЯ ВУГЛЕЦЕВОГО ЛАНЦЮГА СПИРТОВОЇ ГРУПИ ЕСТЕРІВ НА ВЛАСТИВОСТІ БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА**

Визначено низку фізико-хімічних та хімотологічних властивостей очищених продуктів переестерифікації ріпакової олії лінійними насиченими спиртами С<sub>1</sub>–С<sub>4</sub>. З подовженням спиртового фрагменту молекул естерів жирних кислот зростають в'язкість і знижується густина продуктів, температура застигання та температура граничної фільтрованості палива. Цетанові числа етилових, н-пропілових та н-бутилових естерів є вищими, ніж метилових; найвищим цетановим числом характеризуються етилові естери. Перелічені показники усіх продуктів, за винятком в'язкості для бутилових естерів, відповідають вимогам до біодизельного палива.

**Ключові слова:** вуглецевий ланцюг, спиртова група естерів, біодизельне паливо.

#### РЕФЕРАТ

*Степан Зубенко, Михаил Охрименко, Сергей Коновалов, Любовь Патрисяк, Анжела Яковенко, Институт биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины, okhrimenko\_m@ukr.net*

#### **ВЛИЯНИЕ УДЛИНЕНИЯ УГЛЕРОДНОЙ ЦЕПИ СПИРТОВОЙ ГРУППЫ ЭФИРОВ НА СВОЙСТВА БИОДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**

Определен ряд физико-химических и химотологической свойств очищенных продуктов переестерификации рапсового масла линейными насыщенными спиртами С<sub>1</sub>–С<sub>4</sub>. С удлинением спиртового фрагмента молекул эфиров жирных кислот возрастают вязкость, и снижается плотность продуктов, температура застывания и температура предельной фильтруемости топлива. Цетановые числа этиловых, н-пропиловых и н-бутиловых эфиров выше, чем метиловых; самым высоким цетановым числом характеризуются этиловые эфиры. Перечисленные показатели всех продуктов, за исключением вязкости для бутиловых эфиров, соответствуют требованиям к биодизельному топливу.

**Ключевые слова:** углеродная связь, спиртовая группа эстеров, биодизельное топливо.

#### ABSTRACT

*Stephen Zubenko, Michael Okhrimenko, Sergey Konovalov, Lyubov Patryliak, Angela Yakovenko, Institute of Bioorganic Chemistry and Petrochemistry of the National Academy of Sciences of Ukrain, okhrimenko\_m@ukr.net*

#### **INFLUENCE OF LENGTHENING OF CARBON CHAIN OF A SPIRIT GROUP OF ETHERS ON BIODIESEL FUEL PROPERTIES**

A number of physicochemical and chemotological properties of transesterification of rapeseed oil with saturated linear alcohols C<sub>1</sub>–C<sub>4</sub>, was determined. Products density, pour point and cold filter plugging point of fuel, decrease and viscosity increases when lengthening the alcohol fragment of fatty acid esters molecules. Cetane numbers of ethyl, n-propyl and n-butyl esters are higher than the same of methyl esters; ethyl esters are characterized by the highest cetane number. Listed properties of all products, with exception of viscosity of butyl esters, meet the requirements for biodiesel.

**Key words:** carbon chain, spirit group of ethers, biodiesel fuel.

*Владислав Волошинець, Богдан Кочірко*

Багато макромолекул, що містять різні за властивостями функціональні групи здатні самоорганізовуватися в об'єкти тривимірної структури. Баланс взаємодій між хімічними групами різної природи визначає всі характерні особливості будови супрамолекулярних структур з морфологією здатною до регулювання. Протилежна природа взаємодій між цими групами обумовлює можливість створення асоціативних внутрішньо- та міжмолекулярних структур з низькою ентропією.

Полімери з огляду на можливість самоорганізації, містять два центри міжмолекулярних взаємодій (ММВ) – кисневмісні та алкільні групи різної величини. Для полярних кисневмісних груп характерна диполь-дипольна або орієнтаційна, для неполярних груп ( $-\text{CH}_2-$ ,  $-\text{CH}_3$ ) дисперсійна взаємодія. Енергія ММВ між кисневмісними групами в 3–4 рази більша за енергію взаємодій гідрофобних груп, що входять до складу бічного та основного макромолекулярного ланцюгів. Відомо, що нафтопродукти є складними композиціями, що містять неполярні компоненти – парафіни, нафтеніві, ароматичні структури і характеризуються малими значеннями діелектричної проникності середовища. Таке середовище, протилежне за властивостями до гідрофільних груп, підсилює полярні взаємодії між кисневмісними групами та послаблює між гідрофобними, змінюючи баланс сил, що визначають поведінку макромолекул.

Гребенеподібні полі(мет)акрилати, кополімери вінілацетату з етиленом та інші полімери, що знайшли застосування як в'язкісні та депресорні присадки, за балансом взаємодій кисневмісних та  $-\text{CH}_2-$  груп є близькими до оптимальних з огляду їх впливу на властивості нафтопродуктів. Виходячи з неполярності нафтопродуктів та значної спорідненості їх компонентів до гідрофобних ділянок макромолекул, можна вважати, що полімери здатні формувати захисні прошарки на поверхні дисперсних частинок або формувати альтернативні структури в неполярному середовищі, що стабілізуються орієнтаційними взаємодіями між естерними групами.

Застосування кисневмісних функціональних мономерів – малеїнового ангідриду, N-вініл-2-пірролідону, вінілацетату, тетраметиленсаліцилат-метакрилату, що змінюють баланс міжмолекулярних взаємодій у макромолекулах впливає на регулювання в'язкісних депресорних властивостей полімерних присадок. Це дає змогу досягнути високих індексів в'язкості та значної депресорної дії у оливах різної природи.

Оцінка ефектів міжмолекулярних взаємодій у полімерах дозволяє цілеспрямовано синтезувати вискоєфективні в'язкісні та депресорні присадки зміною балансу гідрофобних гідрофільних взаємодій у макромолекулах – зміною величини алкільних замісників, доданням функціональних груп кополімеризацією модифікувальних мономерів з базовими мономерами.

#### РЕФЕРАТ

*Владислав Волошинець<sup>1</sup>, Богдан Кочірко<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка», <sup>2</sup>ТОВ «НДІ Масма», voloshinets@yandex.ru*

#### **ОСОБЛИВОСТІ ПОВЕДІНКИ ПОЛІМЕРІВ В НАФТОПРОДУКТАХ**

Застосування кисневмісних функціональних мономерів – малеїнового ангідриду, N-вініл-2-пірролідону, вінілацетату, тетраметиленсаліцилат-метакрилату, що змінюють баланс міжмолекулярних взаємодій у макромолекулах впливає на регулювання в'язкісних і депресорних властивостей полімерних присадок. Це дає змогу досягнути високих індексів в'язкості та значної депресорної дії у оливах різної природи. Оцінка авторами ефектів міжмолекулярних взаємодій у полімерах дозволяє цілеспрямовано синтезувати вискоєфективні в'язкісні та депресорні присадки зміною балансу гідрофобних і гідрофільних взаємодій у макромолекулах – зміною величини алкільних замісників,

додованням функціональних груп кополімеризацією модифікувальних мономерів з базовими мономерами.

**Ключові слова:** полімери, нафтопродукти, присадки, вязкість.

#### РЕФЕРАТ

*Владислав Волошинец<sup>1</sup>, Богдан Кочирко<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка», <sup>2</sup>ТОВ «НИИ  
«Масма», voloshinets@yandex.ru*

#### ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ПОЛИМЕРОВ В НЕФТЕПРОДУКТАХ

Применения кислородсодержащих функциональных мономеров – малеинового ангидрида, N-винил-2-пирролидону, винилацетату, тетраметилсалицилат-метакрилата, что изменяют баланс межмолекулярных взаимодействий в макромолекулах влияет на регуляцию вязкостных и депрессорных свойств полимерных присадок. Это дает возможность достичь высоких индексов вязкости и значительного депрессорной действия в маслах разной природы. Оценка авторами эффектов межмолекулярных взаимодействий в полимерах позволяет целеустремленно синтезировать высокоэффективные вязкостные и депрессорные присадки изменением баланса гидрофобных и гидрофильных взаимодействий в макромолекулах – изменением величины алкильных заместителей, добавлением функциональных групп кополимеризацией модифицирующих мономеров с базовыми мономерами.

**Ключевые слова:** полимеры, нефтепродукты, присадки, вязкость.

#### ABSTRACT

*Vladislav Voloshinets<sup>1</sup>, Bogdan Kochirko<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>National University «Lviv Politechnika», <sup>2</sup>TOV «Research institute «MASMA», voloshinets@yandex.ru*

#### FEATURES OF THE BEHAVIOR OF POLYMERS IN OIL PRODUCTS

Application of oxygen-containing functional monomers – maleinic anhydride, N-vinyl-2-pyrrolodone, vinylacetate, tetramethylsalicylate-metakrylate, that change the balance of inter-molecular interactions in macromolecules, influence on adjusting viscosity and depressor properties of polymeric additives. It enables to attain the high indices of viscosity and considerable depressor action in oils of different origin. Estimation of intermolecular interactions by authors in polymers, allows to synthesize purposefully the high-efficiency viscosity macromolecules – by the change of size of alkyl deputies, addition of functional groups by copolymerization of modifying the monomers with base monomers.

**Key words:** polymers, petrochemicals, additives, viscosity.

УДК 621.891:539.375(043.2)

### I-13. ЭГД-ЗАДАЧА С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГРАНИЧНЫХ СЛОЯХ ТРИБОСИСТЕМ

*Алексей Вакалюк, Александр Стельмах, Карим Бадир*

Суть эластогидродинамической (ЭГД) задачи заключается в определении давления смазочных слоев, которыми разделены поверхности трения, и определение их минимальной толщины в области максимальных контактных напряжений. Однако эксперимент показывает, что ряд основных положений ЭГД-теории не согласуется экспериментами.

данной работе предложен ряд дополнений к основным положениям ЭГД-теории акцентом на динамические процессы в граничных слоях трибосистем.

Новизна заключается в том, что экспериментально выявленные процессы, протекающие в диффузорных областях контактов, где градиент контактных напряжений отрицательный, а его амплитуда обуславливает закономерный разрыв сплошности течений, является тем недостающим звеном для корректного решения ЭГД-задачи.

Современная ЭГД-теория смазки основана на фундаментальных работах О. Рейнольдса, Н.П. Петрова, А. Зоммерфельда и др. При постановке ЭГД-задачи используют известное дифференциальное уравнение О. Рейнольдса, которое отражает

гидродинамические процессы, протекающие в трибоконтакте радиального подшипника скольжения. В своей известной работе «Гидродинамическая теория смазки и ее применение опытам Тоуэра» О. Рейнольдс подчеркнул несколько весьма важных и со временем упущенных ограничений применимости его теории:

1) теория применима для радиальных подшипников скольжения с минимальным зазором, величина которого не превышает половины разницы радиусов вала и отверстия подшипника, то есть не учитывается упругое деформирование поверхностей под действием осевой нагрузки N;

2) в подшипнике смазочная среда полностью заполняет зазор и находится неразрывном жидком состоянии;

3) изначально при составлении уравнения рассматривался симметричный контакт с сужающейся (конфузорной) областью контакта (КО) по направлению движения вала, и, после достижения минимального зазора, с расширяющейся (диффузорной) областью (ДО). Это соответствует реальному подшипнику скольжения. Однако ряд суждений, основанных на результатах опытов Тоуэра, привел к упрощению постановки задачи, которая сводилась к определению величины избыточного давления во вкладыше, образующем с валом лишь конфузорный зазор.

В современных работах рассматривается также лишь конфузорный участок ЭГД-контакта, где создается избыточное давление в слоях смазки. Поэтому большинство расчетов гидромеханических характеристик (ГМХ) радиальных подшипников скольжения основаны на решениях уравнения О.Рейнольдса относительно функции безразмерных гидродинамических давлений  $\bar{p}(\varphi, \bar{z})$ :

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \left( \frac{\bar{h}^3 \bar{\rho}}{12 \bar{\mu}_3} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \varphi} \right) + \frac{\partial}{\partial \bar{z}} \left( \frac{\bar{h}^3 \bar{\rho}}{12 \bar{\mu}_3} \frac{\partial \bar{p}}{\partial \bar{z}} \right) = \frac{\bar{\omega}}{2} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\bar{h} \bar{\rho}) + \frac{\partial}{\partial \tau} (\bar{h} \bar{\rho}) \quad (1)$$

при граничных условиях Свифта-Штибера (СШ), записанных в виде следующих ограничений функции

$$\bar{p}(\varphi, \bar{z}) : \quad \bar{p}, \bar{z} = a \quad \bar{p}^a \quad \bar{p}(\varphi, \bar{z}) \quad \bar{p}(\varphi = 2, \bar{z}); \quad \bar{p}, \bar{z} = 0. \quad (2)$$

где  $\bar{h}$ ,  $\bar{\rho}$ ,  $\bar{\mu}_3$ ,  $a$ , соответственно безразмерные: толщина смазочного слоя, плотность и вязкость смазочной жидкости, гидродинамическое давление, ширина подшипника;  $\varphi$ ,  $\bar{z}$  координаты по углу и ширине подшипника;  $\bar{p}^a$  безразмерное значение атмосферного давления;  $\bar{\omega}$  безразмерное значение относительной угловой скорости вала; безразмерное время.

Альтернативными условиям СШ при решении задач с «абсолютно жестким» подшипником – граничные условия Якобсона-Флоберга-Ольсона (ЯФО):

$$\bar{p}, \bar{z} = a \quad 0; \quad \bar{p}(\varphi, \bar{z}) \bar{p}(\varphi = 2, \bar{z}); \quad \bar{p}_{раз}, \bar{z} = \frac{\bar{p}}{\bar{p}_{раз}}, \bar{z} = 0; \quad \bar{p}^{вс}, \bar{z} = 0, \quad (3)$$

1983 года наибольшего признания при решении ЭГД-задачи подшипника скольжения получило обобщенное уравнение Гарольда Элрода

$$\frac{\bar{h}^3}{12} g - \frac{\bar{h}^3}{12} g - \frac{\bar{h}}{z} - \bar{h} \quad (4)$$

Здесь учитывается область кавитации путем введения функции степени заполнения зазора  $\theta, z$ , что обеспечивает выполнение условий неразрывности с помощью функции переключения  $g(\theta)$  и  $\beta$  — безразмерного коэффициента сжимаемости смазочной среды.

Алгоритмы, с помощью которых решается уравнение (4) при граничных условиях ЯФО, носят название «алгоритмов сохранения массы». Безразмерная толщина смазочного слоя подшипника, которая входит в уравнение (2), определяется выражением:

$$\bar{h}, p, T \quad \bar{h}_{rig}, \bar{W}, p, T, \quad (5)$$

где  $h_{rig}$  — безразмерная толщина смазочного слоя в «абсолютно жестком» подшипнике;

$\bar{W}, p, T$  безразмерные упругие перемещения поверхностей подшипника под

действием нагрузок;  $T$  — тепловые поля вала и подшипника. Обращает на себя внимание, что в граничных условиях как СФ так и ЯФО давление в граничных слоях всегда больше давления окружающей среды (атмосферного), что не находит своего экспериментального подтверждения прямыми измерениями. Экспериментально в диффузорной области контакта всегда происходит разрежение граничных слоев и нуклеация газовой фазы.

Исходя из ЭГД-теории смазки, при малых нагрузках и достаточно высоких скоростях трение скольжения должно протекать безызносно, то есть без адгезии поверхностей. Это положение не согласуется с практикой и объясняется тем, что реальное разрежение граничных слоев в диффузорной области (ДО) контакта приводит к возникновению условий квазисухого трения: происходит увеличение локальных напряжений и одновременная десорбция граничных слоев. О высокой степени разрежения граничных слоев смазки свидетельствует понижение давления в них, вплоть до давления насыщенных паров даже вакуумного масла ВМ-4, при сверхмалых максимальных контактных напряжениях (до 0,2 МПа) и линейной скорости скольжения (до 0,01 м/с), что обуславливает трение практически сухих поверхностей и их адгезионное изнашивание. С увеличением нагрузки и скорости скольжения, степень разрежения граничных слоев в ДО возрастает пропорционально вплоть до критических значений перехода масла в двухфазную газо-паровоздушную масляную суспензию в объеме.

□ реальном подшипнике скольжения в условиях действия осевой нагрузки  $N$  (рис. 1, а) при движении вала в радиальном направлении  $[0 \dots \pi \dots 2\pi]$  периодически изменяются величина зазора  $h$  и давление в граничных слоях  $p$ . Учитывая динамические процессы

граничных слоев смазки, протекающие в каждой зоне трибоконтакта, в зависимости от изменения зазора относительно линии центров вала и подшипника  $dh/dx$  в радиальном направлении, выделяется шесть характерных областей, принципиально отличающихся по распределению градиентов давления  $dP/dx$  в граничных слоях смазки (рис. 1, б):

I Конфузорная бесконтактная область, где  $\sigma = 0, dh/dx < 0$  и  $dP/dx > 0$ ;

II Конфузорная упругодеформированная область, где  $\sigma > 0, dh/dx < 0$  и  $dP/dx > 0$ ;

III Переходная область минимального зазора ( $\sigma = \sigma_{max}, h = h_{min}$  и  $dP/dx \approx 0$ );

IV Диффузорная упругодеформированная, где  $\sigma > 0, dh/dx > 0$  и  $dP/dx < 0$ ;

V Диффузорная бесконтактная  $\sigma = 0, dh/dx > 0$  и  $dP/dx < 0$ ;

VI Переходная область максимального зазора  $\sigma = 0, h = h_{max}$  и  $dP/dx \approx 0$ .

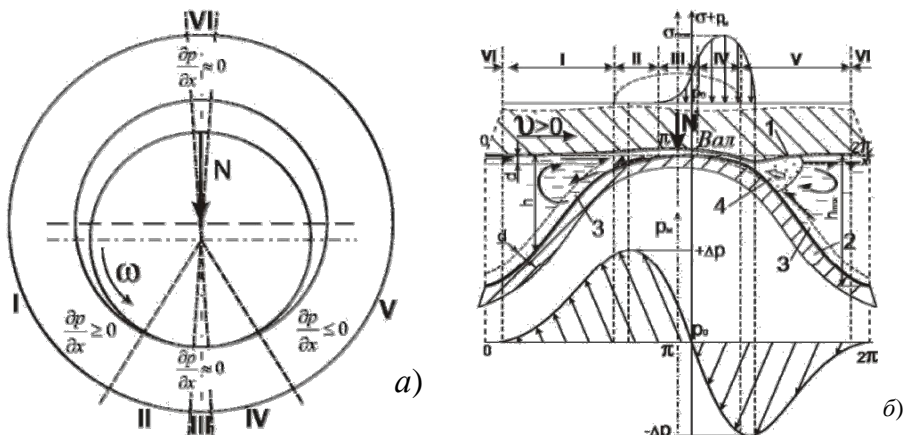


Рис. 1. Шесть характерных областей в радиальном подшипнике скольжения, где в радиальном направлении движения вала изменяются давление в граничных слоях  $p$  и величина зазора  $h$  (а), и физическая модель ДПГС подшипника скольжения, образованного поверхностью трения вала 1 (развернуто в плоскость), и подшипника 2, заполненного смазкой с ЭЖК-слоями 3 при скольжении, 4 – газ

Таблица 1

Экспериментальные качественные соотношения параметров в характерных областях радиального подшипника скольжения

Конфузорные области		Переходные области		Диффузорные области	
I (КО I)	II (КО II)	III (ПО III)	VI (ПО VI)	IV (ДО IV)	V (ДО IV)
Напряжения $\sigma$ сжатых силой $N$ идеальных поверхностей в линейном контакте шириной $b$ на воздухе по Г.Герцу в статике, [МПа]					
$\sigma \approx p_0$	$\sigma \approx p_0$	$\frac{(\sigma - p_0)^2}{\sigma_{\max}^2} + x^2/b^2 = 1$	$\sigma \approx p_0$	$\sigma \approx p_0$	$\sigma \approx p_0$
Давление в граничных слоях $p_m$ по оси действия нагрузки $N$ в статике, Н					
$p^m \approx p_0$	$p^m \approx p_0$	$p^m \approx \sigma + p_0$	$p^m \approx p_0$	$p^m \approx p_0$	$p^m \approx p_0$
Объемное давление масла в граничных слоях $p$ при трении идеально гладких поверхностей, [Па]					
$p > p_0$	$p > p_0$	$p \approx p_0$	$p \approx p_0$	$p < p_0$	$p < p_0$
Градиент давления в смазочных слоях $dp/dx$ [Па/м]					
$dp/dx > 0$	$dp/dx > 0$	$dp/dx \approx 0$	$dp/dx \approx 0$	$dp/dx < 0$	$dp/dx < 0$
Ускорение граничных слоев вала $dv/dt$ , [м/с <sup>2</sup> ]					
$dv/dt \approx 0$	$dv/dt < 0$	$dv/dt \approx 0$	$dv/dt \approx 0$	$dv/dt > 0$	$dv/dt \approx 0$
Плотность смазочной среды $\rho$ , [кг/м <sup>3</sup> ]					
$\rho \approx p_0$	$\rho > p_0$	$\rho \approx p_0$	$\rho > p_0$	$\rho \ll p_0$	$\rho < p_0$
Температура $T$ , °C					
$dT/dx > 0$	$dT/dx \gg 0$	$dT/dx \approx 0$	$dT/dx \approx 0$	$dT/dx \ll 0$	$dT/dx < 0$

Именно в диффузорной, IV-й области возникает ряд самых неблагоприятных для поверхностей трения процессов и условий, вызванных интенсивным разрежением определенного количества вещества, поступившего из переходной области III:

-при всестороннем растяжении смазки в диффузорном зазоре возникает дополнительная нагрузка под действием давления окружающей среды, т.е. дополнительное сжатие поверхностей. Это обстоятельство следует учитывать, так как понижение давления в граничных слоях диффузорной области приводит к увеличению дополнительной нагрузки

прижатия поверхностей до десятков и сотен МПа, так как давление насыщенных паров масел, например ИПМ-10, составляет 10–5 Па;

-давление в смазочном слое понижается до значений порога кавитации. Это явление следует рассматривать как трибокавитацию, принципиально отличающуюся от известных гидравлической и акустической;

-в этой области смазка представляет собой тонкие мультимолекулярные слои на поверхностях трения, разделенных газопаровоздушной полостью разрежения, обуславливающего их физическую десорбцию.

Экспериментальные качественные соотношения параметров ЭГД трибоконтакта характерных областях радиального подшипника скольжения (табл. 1) позволили предложить новый дифференцированный подход при теоретическом определении ГМХ подшипников.

Таким образом, ЭГД-задача с учетом динамических процессов, протекающих в граничных слоях, сводится к определению доминирующих параметров трибосистемы, обуславливающих возникновение условий квазисухого трения и изнашивания поверхностей, а именно: степень разрежения, обуславливающего дополнительную нагрузку, и соответствующее фазовое состояние граничных слоев (пар).

#### РЕФЕРАТ

*Олексій Вакалюк, Олександр Стельмах, Карім Бадир,*

*Національний авіаційний університет, stelmah@nau.edu.ua*

#### ЭГД-ЗАДАЧА З УРАХУВАННЯМ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ГРАНИЧНИХ ШАРАХ ТРИБОСИСТЕМ

роботі наводиться ЕГД-задача з урахуванням динамічних процесів, що протікають в граничних шарах, котра зводиться до визначення домінуючих параметрів трибосистеми, що обумовлюють виникнення умов квазисухого тертя і зношування поверхонь, а саме: ступінь розрідження, що обумовлює додаткове навантаження, і відповідний фазовий стан граничних шарів (пара).

**Ключові слова:** динамічні процеси, ступінь розрідження, граничні шари.

#### РЕФЕРАТ

*Алексей Вакалюк, Александр Стельмах, Карим Бадир,*

*Национальный авиационный университет, stelmah@nau.edu.ua*

#### ЭГД-ЗАДАЧА С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ГРАНИЧНЫХ СЛОЯХ ТРИБОСИСТЕМ

работе приводится ЭГД-задача с учетом динамических процессов, протекающих в граничных слоях, которая сводится к определению доминирующих параметров трибосистемы, обуславливающих возникновение условий квазисухого трения и изнашивания поверхностей, а именно: степень разрежения, обуславливающего дополнительную нагрузку, и соответствующее фазовое состояние граничных слоев (пар).

**Ключевые слова:** динамические процессы, степень разрежения, граничные слои.

#### ABSTRACT

*Alexey Vakalyuk, Alexander Stelmakh, Karim Badir,*

*National Aviation University, stelmah@nau.edu.ua*

#### EHD-PROBLEM WITH ALLOWANCE DYNAMIC PROCESSES IN BOUNDARY LAYERS TRIBOSYSTEMS

The paper presents EHD problem with the dynamic processes taking place in the boundary layer, the problem is reduced to the determination of the dominant tribosystem parameters that lead to the occurrence of conditions of quasi dry friction and wearing surfaces, namely, the degree of vacuum, causes additional stress and corresponding phase state boundary layers (steam).

**Key words:** dynamic processes, vacuum degree, the boundary layers.

## **I-14. ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

*Людмила Баб'як, Олена Шицук*

Стрімкий розвиток світової економіки супроводжується високими темпами споживання первинних джерел енергії. Структура та обсяг споживання первинних енергоносіїв головних споживачів – це транспорт, промисловість, електроенергетика, сфера послуг і торгівля, житлово-комунальне господарство.

Основними економічними чинниками, що визначають доцільність використання альтернативної сировини для одержання моторних палив це насамперед наявність достатньої кількості запасів сировини та технічні й економічні показники видобутку первинних ресурсів. Вартісна оцінка первинних джерел енергії, що використовують для одержання моторних палив чи заміників органічного палива ґрунтується на приблизних відомостях щодо світових запасів енергії. Це пояснюється недостатньою розвідкою ресурсів та умовністю їх поділу на «технічно-можливі» та «економічно доцільні» для видобутку.

Протягом останніх років проводяться експериментальні та експлуатаційні дослідження щодо безпосереднього використання твердого палива в ДВЗ у вигляді кам'яновугільного пилу або його суспензії з рідким паливом.

Варто відзначити, що проект раціонального теплового двигуна, розроблений ще Р. Дизелем, його опис та принцип роботи, викладений в «Теорії і конструкції раціонального теплового двигуна» передбачав як паливо використовувати саме вугільний пил, а рідке паливо лише згадано.

Дослідження, проведені в політехнічному інституті Вірджинії (США), довели можливість роботи дизельних двигунів на вугільній пульпі: суміш 15 % вугілля (діаметр частинок близько 2 мкм) з реактивним паливом. Використання вугільного пилу як моторного палива різко зменшить витрати на експлуатацію автомобіля. Встановлено, що коефіцієнт корисної дії цього двигуна мало відрізняється від к.к.д. дизельного двигуна, що працює на рідкому паливі, і складає ~31 %.

Тому дослідження щодо безпосереднього використання твердого палива в ДВЗ вигляді кам'яновугільного пилу або його суспензії з рідким паливом є надзвичайно актуальними.

Пилоподібне паливо є сумішшю частинок розміром 1–300 мкм з переважанням зерен розміром 20–50 мкм залежно від ступеня помелу. Одержання необхідного ступеня помелу досягають багаторазовим подрібненням, висушуванням, розмелюванням вугілля у спеціальних шарових, барабанних чи шахтних млинах.

Спалювання пилоподібного палива є економічним, тому для цього використовують низькосортне вугілля. Спалюють пилоподібне вугілля всіх марок і сортів, насамперед усе високосортне вугілля відсівів після сортування, проте вологість кам'яного вугілля не повинна перевищувати 10–12 %, бурого – 30–35 %.

Пилоподібне паливо чи дисперсні паливні системи (ДПС) усе ширше застосовують. Це зумовлено низкою чинників: збільшенням частки вугілля і важкого рідкого палива в енергетиці; залученням до використання відходів паливних галузей промисловості; вимогами до захисту довкілля; підвищенням ефективності горіння палива. Останній чинник можна поставити і на перше місце, оскільки саме він визначає повноту згорання палива, ступінь сажоутворення, вміст продуктів неповного згорання в димових газах, що і визначає економічність згорання палива.

Вугільні суспензії бувають водновугільними та вуглеолівними. У першому випадку дисперсним середовищем слугує вода, в другому – рідкі вуглеводні: бензин, гас, дизельне паливо, мазут, метанол чи вугільна смола. Можна застосовувати і складніші системи, що



містять окрім вугілля і вуглеводневого середовища, наприклад, до 10–15 % води, що забезпечує вищу стабільність системи, покращує процес згорання і знижує на 30–40 % вміст оксидів азоту (NO<sub>x</sub>) у продуктах згорання. Інколи до складу суспензій вводять присадки – вапняк чи доломіт, що зв'язують оксиди сірки, що утворюються під час згорання сірковмісного вугілля і мазутів.

Ефективним способом забезпечення потреби в паливі є застосування водновуглемазутних сумішей (ВВМС). Згорання ВВМС відбувається інтенсивніше від мазуту, хоча теплота згорання нижча на 20–25 %. Стабільність цих суспензій є достатньою. Склад ВВМС приблизно такий (%): вугілля – 35–40; мазут – 50–55; вода – 10–15. Теплота згорання такої суміші становить 29–31 кДж/кг (7000–7500 ккал/кг).

Висококонцентрована водновугільномазутна емульсія повинна відповідати вимогам гідротранспортування (прийнятна текучість), прямого спалювання (стійке горіння без додавання високореакційних палив) і тривалого зберігання (стабільність властивостей).

Одержання ВВМС зводиться до селективного підбору такого поєднання великих і дрібних зерен вугілля, за якого досягається максимальна густина їх упакування. Водночас кількість рідкої фази (води) повинна бути мінімально допустимою.

Оптимальний гранулометричний склад ВВМС можна забезпечити бімодальним помелом вугілля (за дві стадії). Одну частину вугілля – близько 30–40 % від загальної кількості – подрібнюють до порошку з розміром частинок 20–30 мкм, а іншу – з верхньою межею 250–350 мкм. Потім ці дві частини перемішують у млині грубого помелу або у мішалці. Перемішування здійснюють з одночасним введенням водного розчину хімічної добавки у кількості 0,3–0,5 % мас. ВВМС. В'язкість суміші певною мірою залежить від рН середовища, рівноважне значення якого повинно бути близько 7–9. Варто зазначити, що додавання хімічної добавки не завжди покращує стабільність, тому необхідно використовувати додаткову добавку для зменшення розшарування водно-вугільно-мазутної суспензії.

Дисперсні паливні системи у деяких випадках мають певні переваги над натуральними паливами, перспективи і масштаби їх застосування безперервно зростають. Проблему використання горючих відходів можна розв'язати тільки перетворенням їх на ДПС. Ефективність використання ДПС визначають їх властивостями, а саме: стійкістю, в'язкістю, транспортабельністю тощо.

#### РЕФЕРАТ

*Людмила Баб'як, Олена Шищак,*

*Національний університет «Львівська політехніка», lvbabyak@gmail.com*

#### **ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ ДЛЯ ДВИГУНІВ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

Проведено аналіз експериментальних та експлуатаційних досліджень використання альтернативних моторних палив. Встановлено економічну доцільність застосування твердого палива в двигунах внутрішнього згорання у вигляді кам'яновугільного пилу або його суспензії з рідким паливом.

**Ключові слова:** альтернативна сировина, пилоподібне паливо, емульсія.

#### РЕФЕРАТ

*Людмила Баб'як, Елена Шищак,*

*Національний університет «Львівська політехніка», lvbabyak@gmail.com*

#### **ЕКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

Проведен анализ экспериментальных и эксплуатационных исследований применения альтернативных моторных топлив. Установлено экономическую целесообразность использования твердого топлива в двигателях внутреннего сгорания в виде каменноугольной пыли или ее суспензии с жидким топливом.

**Ключевые слова:** альтернативное сырье, пылеподобное топливо, эмульсия.

## ABSTRACT

*Liudmila Babiak, Olena Shyshchak,*

*Lviv Polytechnic National University, lvbabyak@gmail.com*

### ECONOMIC ADVISABILITY OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES FOR CARRIER ENGINES

Experimental and operational research analysis of alternative operation has been conducted. The economic advisability of solid fuel operation in the combustion engines, as coal dust or suspension with liquid fuel, has been established.

**Key words:** alternative raw material, powder-like fuel, emulsion.

УДК 621.892.8(043)

### I-15. МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА ТРЕНИЯ ФЕРРОМАГНЕТИКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ

*Михаил Свирид, Игорь Трофимов, Катерина Ткаченко, Елена Касьяненко*

Новые шаги в трибологии прецизионных сопряжений определяются наноуровнем поверхностных взаимодействий, что требует создания моно граничных слоёв. Взаимодействие поверхностей базируется на качестве «третьего тела», и определяет свойства механического градиента фрикционного контакта.

**Постановка задачи:** определить механизм изнашивания на местах фактической поверхности контакта (ФПК) под действием магнитного поля (МП).

Учитывая что, микроструктурная динамика, изменение химического состава материала, генерация потока дефектов кристаллического строения и продуктов износа протекают на масштабных уровнях порядка 10–100 нм, а топографические изменения поверхности трения, определяющие плотность потока механической энергии, формируются на уровнях порядка 0,1–1,0 мм. Пластичность – одно из свойств металлов, влияющее на процессы трения и изнашивания, и определяет механизмы разрушения. Влияние МП на пластичность таких металлов как Cu, Al, Ag описывается механизмом магнитоэластического эффекта (МПЭ), суть которого заключается в смещении краевых дислокаций кристаллов помещенных в электромагнитное поле, с индукцией до 1 Тл. В металлах наблюдаются перемещения дислокаций и изменение микротвердости, это и позволяет управлять пластическими свойствами металлов в процессе их деформирования. Причиной изменения микротвердости, может быть движение дислокаций, что сказывается на МПЭ. Установлено также, что МП оказывает влияние на перемещение дислокаций и их границ, что может привести к ускоренному массопереносу по дислокационному или дислокационно-диффузионному механизму. Этот эффект наблюдается в переменном МП и отсутствует в постоянном МП.

Учитывая, трёхмерное пластическое деформирование поверхностей трения, на уровне зёрен и их конгломератов, проходит глубинное изгибание зёрен, сопровождающееся их изломом. Это способствует образованию крупных продуктов износа, которые будут являться абразивными частицами для плоскостей трения. Механизм трения в МП проходит в более тонких поверхностных слоях на уровне дефектов дислокационной структуры, за счёт пластичности материала, что уменьшает коэффициент трения.

**Идея** – воспроизвести механизм трения в МП, на базе чего определить условия восстановления поверхности до уровня конструкторских требований (параметров).

**Гипотеза.** Мы предполагаем, что силовое направленное МП будет концентрировать магнитозависимые (пара- и ферро-магнитные) частицы износа и не менее зависимые модификаторы масла, зачастую состоящих из окислов железа, удерживать их в зоне трения для последующего нанесения на активные места поверхности трения.

**Цель.** Воссоздать модель трения в МП, определить условия износ/восстановление пары ШХ-15 по стеклу, определить как будут сортироваться составляющие материала в МП.

**Задачи** – определить модель трибосистемы в МП;

-дать объяснение распределению элементов пара- и диамагнитного происхождения в зоне трения между поверхностями;

Объект научного исследования это процессы, происходящие на местах ФПК под влиянием МП.

Предмет научного исследования это изучение закономерностей процессов восстановления под влиянием МП.

Физическими объектами проведения исследований были взяты поверхности трения образцов стали ШХ-15 по стеклу, с целью определения износа полупары, обойти перенос второго материала, по схеме трения «палец-плоскость», с нормальной нагрузкой 0,35кг при скорости трения 0,2м/с и силой МП 0,1 Тл. Микроструктура поверхностных слоев исследовалась на металлографическом микроскопе МИМ-7.

**Аналитическое обоснование.** Процесс трения есть совокупность механических актов взаимодействия, по площади равной, не более, 0,1% от площади трения. Соударение микроконтактов происходит за время  $10^{-7}$ – $10^{-8}$  с, с площадью в среднем  $10^{-2}$ – $10^{-4}$  см<sup>2</sup>, за время  $10^{-5}$ – $10^{-3}$  с. В мгновенном фрикционном контакте, отслаиваются частицы износа с характеристиками парамагнетика (так как трущаяся поверхность значительно превышает температуру точки Кюри). Частица износа с трудом удерживается в зоне контакта, но движущееся масло уносит её. С понижением температуры ниже точки Кюри, В МП обретёт состояние ферромагнетика (частицы ШХ-15), а магнитная восприимчивость увеличится

5 тысяч раз. Такие магнитные параметры активно направят их в зону ФПК. В этих, мгновенно существующих точках, плотно упаковываются ферромагнитные и парамагнитные частицы материалов, величина которых, может достигать 100 мкм. Чем меньше частица, тем сильнее она намагничивается и удерживается в зоне ФПК. Напряженность поля вне поверхности частицы износа в многокомпонентной среде смазочного материала, при действии на него электростатической или магнитной обработки будет увеличиваться многократно.

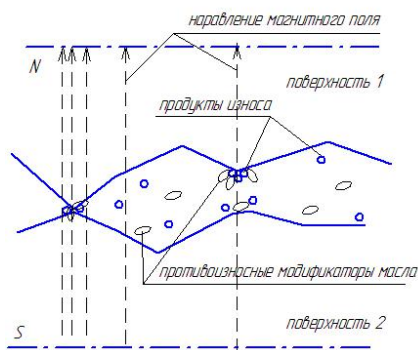


Рис. 1. Модель поверхности трения в направленном магнитном поле.

Масляная среда, при прокатке вдоль зоны трения вымывает продукты износа, и чем они больше, тем легче выносятся потоком масла за пределы пятна контакта.

увеличением силы МП дипольные моменты молекул присадки ориентируются по вектору направления силовых линий, а частицы займут места вдоль наибольшей плотности линий магнитного поля рис.1.

Поведение пара- и ферро-магнитного материала определяет параметры износа поверхностей рис. 2. Концентрация частиц и модификаторов масла поддерживается действием магнитного поля, на поз.1 за счёт низкой нагрузки 0,1 МПа, наблюдается добавка размеру на поверхность трения. В последующих позициях 2 и 3 фактор нагрузки начинает превалировать над усилием силовых линий магнитного поля, поэтому результаты значительно ниже. Процессы восстановления стали проходят за счёт продуктов износа и противоизносных модификаторов масла. Направлений МП вдоль дорожки трения, позициях 3,4,5 (рис.2.) не влияет на ферромагнитную составляющую находящуюся в масле, что приводит к износу ШХ-15.

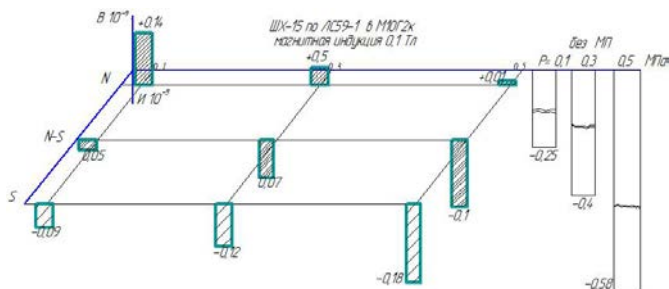
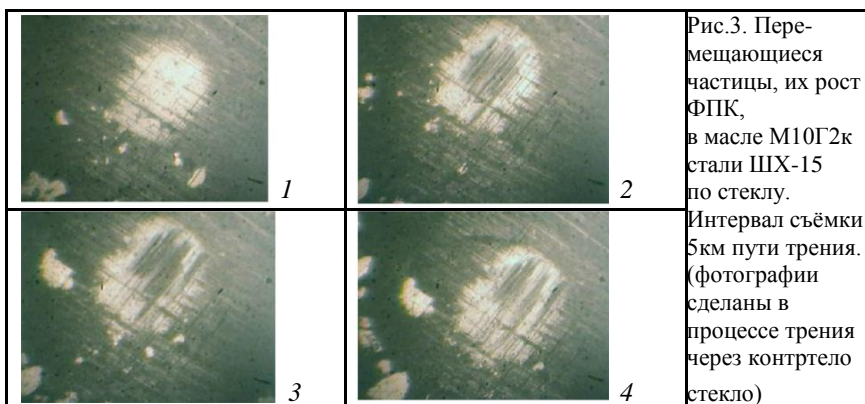


Рис. 2. Гистограммы трибопараметров стали ШХ-15 в среде масла М10Г2к по контртелу стеклу. В МП нагрузкой,  $P_{0.1}$  – 1, 4, 7, 10;  $P_{0.3}$  – 2, 5, 8, 11;  $P_{0.5}$  – 3, 6, 9, 12; направление МП: в образце 1–3 полюс N; между полюсами 4–6=N-S; от образца в контртело 9–11 полюс S; 10,11,12 без магнитного поля

Третье направление силового поля от полюса N к полюсу S, обратное первому случаю, подчиняется уносу ферромагнитной стали в сторону стекла и вымыванием их зоны трения.

Процесс трибовосстановления (рис. 3) проходит на режиме расположения стального образца напротив полюса N, при нагрузке 0,1 МПа, и определяется увеличением относительного линейного размера стального образца. На фотографии рис.3.; поз. 1 – видно как начинает развиваться пятно контакта и накапливаются продукты износа; поз. 2 – следующим этапом они намазываются на поверхность (образовывается темное пятно); поз.3 – намазывание проходит более плотным слоем; на 4-м снимке мы наблюдаем истирание слоя с поверхности контакта. Так как наиболее деформированной частью контакта будет центр пятна то именно на этом месте наибольшая плотность дефектов кристаллической решетки как точечных, так и линейных. Направление силовых линий МП было направлено в плоскость трения от наблюдателя.



Таким образом, условия трения предусматривают послойное истирание с последующим нанесением нового слоя из частиц конгломератов износа и противоизносных присадок масла.

Таким образом, трибомагнитная методика нанесения покрытий на пары трения сопряжена с значительными трудностями связанными с физическими свойствами магнитного поля в материале. Направленные магнитные линии всегда замкнуты, что создаёт симметричное воздействие на материал или сопряжённые пары материалов. Так как все материалы магнитно зависимы и по разному воспринимают МП структурными составляющими, что является необходимостью, располагать выбранную структуру в разных частях магнитного потока.

#### РЕФЕРАТ

*Михайло Свирид, Игор Трофімов, Катерина Ткаченко, Олена Касьяненко,  
Національний авіаційний університет, svirid\_mn@ukr.net*

#### **МОДЕЛЬ МЕХАНІЗМА ТЕРТЯ ФЕРРОМАГНЕТИКА ПІД ДІЄЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ**

Представлені експериментальні результати трибологічних характеристики стали ШХ- 15 спрямованому магнітному полі. Особлива увага приділена ферромагнітній складовій часток зносу модифікаторів олії М10Г2к які накопичуються в мастильній рідині в процесі тертя. Визначено, як магнітне поле впливає на перерозподіл ферромагнітних складових модифікаторів протизносу складових сталі. Представлена фізична модель переміщення матеріалу, між площинами тертя, залежно від напрямку магнітного поля.

**Ключові слова:** механізм тертя, ферромагнетик, магнітне поле, масла.

#### РЕФЕРАТ

*Михаил Свирид, Игорь Трофимов, Катерина Ткаченко, Елена Касьяненко,  
Национальный авиационный университет, svirid\_mn@ukr.net*

#### **МОДЕЛЬ МЕХАНИЗМА ТРЕНИЯ ФЕРРОМАГНЕТИКА ПОД ДЕЙСТВИЕМ МАГНИТНОГО ПОЛЯ**

Представлены экспериментальные результаты трибологических характеристик стали ШХ-15 в направленном магнитном поле. Особое внимание уделено ферромагнитной составляющей частиц износа и модификаторов масла М10Г2к которые накапливаются в смазочной жидкости в процессе трения. Определено, как магнитное поле влияет на перераспределение ферромагнитных составляющих противоизносных модификаторов и составляющих стали. Представлена физическая модель перемещения материала, между плоскостями трения, в зависимости от направления магнитного поля.

**Ключевые слова:** механизм трения, ферромагнетик, магнитное поле, масла.

#### ABSTRACT

*Mikhail Svyryd, Igor Trofimov, Katerina Tkachenko, Elena Kasyanenko,  
National Aviation University, svirid\_mn@ukr.net*

#### **MODEL OF THE MECHANISM OF FERROMAGNETIC FRICTION UNDER MAGNETIC FIELD IMPACT**

Experimental results tribological characteristics of SHKH-15 steel in the directed magnetic field, are presented. The special attention is focused on the ferromagnetic constituent of wearing particles and modifiers of M10G2k oil, which accumulates in a lubricating liquid during the process of friction. It is determined how the magnetic field influences on the redistribution of ferromagnetic constituents of steel antiwear modifiers and constituents. The physical model of material moving between the friction planes, depending on direction of the magnetic field, is presented.

**Key words:** mechanism of friction, ferromagnetic, magnetic field, oils.

## I-16. ВЛИЯНИЕ АГРЕГАТНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ СМАЗКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРИБОСИСТЕМ

*Александр Стельмах, Карим Бадиур, Алексей Сидельников*

**Актуальность проблемы** заключается в необходимости повышения эффективности трибосистем путем управления динамическими процессами в трибоконтакте, в том числе ранее неизвестных. К ним относится и агрегатно-фазовое состояние смазочной среды в циркуляционных системах смазки.

**Цель работы** – путем анализа основных положений эластогидродинамической смазки с позиций адгезионно-гидро-динамической модели трения и изнашивания обратить внимание химмотологов на такой важный фактор состояния смазочной среды, как ее агрегатно-фазовое состояние.

**Новизна** – раскрыты противоречия основных положений ЭГД-теории с экспериментально установленными закономерностями, подтверждающими необходимость учета влияния агрегатно-фазового состояния на эффективность трибосистем. Наши исследования подтвердили важность и перспективность учета упругости материалов, что привело к развитию эластогидродинамической теории (ЭГДТ) трения, когда высокие давления в масляном клине вызывают упругую деформацию контактирующих тел, в результате чего фактическая площадь контакта возрастает, максимальные напряжения уменьшаются и, таким образом, минимальная толщина смазочного слоя между деталями увеличивается (рис. 1).

Самую распространённую и теоретически обоснованную эластогидродинамическую (ЭГД) теорию смазки представляют с помощью классической схемы ЭГД-контакта (рис.2). Неподвижная плоская поверхность при сжатии и без перемещения с неподвижной поверхностью  $h_x$  реализует контакт протяженностью  $[-aOa]$ . Под действием сил сжатия без трения в поверхностях возникают контактные напряжения  $p_n$ , а при движении со скоростью  $V$  давление в граничном слое  $p_x$  отождествляется с контактными напряжениями, где выделяют наличие пика Петрусевича в области выхода движущейся поверхности из контакта, где толщина смазочного слоя  $h_{min}$  минимальна.

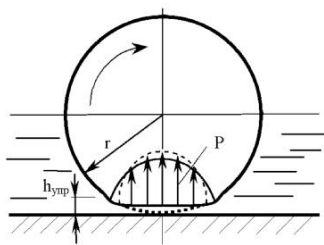


Рис. 1. Схема эластогидродинамического эффекта в подшипнике скольжения

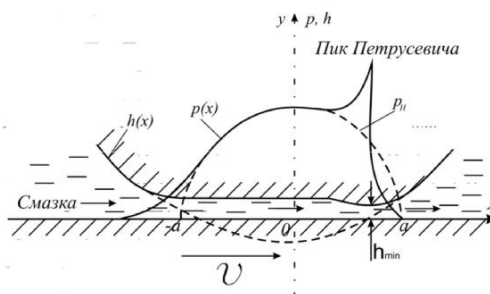


Рис. 2. Характерные признаки ЭГД-контакта

Новизна ЭГД-теория построена на следующих основных положениях.

Ресурс областей ЭГД-контакта определяется предельно допустимой толщиной смазочного слоя, которая должна превышать сумму высот микронеровностей контактирующих поверхностей.

Считается, что смазочная пленка в контакте, образованная жидкой средой, является однофазной ньютоновской жидкостью на протяжении всего контакта.

Пленка смазки в ЭГД-контакте практически параллельна в его центральной части сужается в районе выхода движущейся поверхности из него.

4. Напряжения в поверхностях ЭГД-контакта отождествляются с давлением смазочном слое.

Контактные напряжения в поверхностях соответствуют расчетным значениям по Г. Герцу и отмечается наличие второго максимума давления (так называемый пик Петрусевича) в области выхода подвижного элемента трибосистемы из ЭГД-контакта.

Считается, что толщина слоя смазочного материала в ЭГД-контакте, как определяющий критерий работоспособности узлов трения, находится в диапазоне 0,1–1 мкм при герцевском давлении 1 ГПа, а время прохождения смазки через контакт составляет  $10^{-3}$ – $10^{-5}$  с.

Из базовых положений ЭГД-теории смазки следует, что для повышения ресурса трибосистем необходимо реализовывать обильное смазывание контакта и избегать возможности возникновения условий масляного голодания. Теоретически трение ЭГД-контакта является безыносным, однако, реальная эксплуатация трибосистем качения

скольжения показала, что все они изнашиваются, что объясняют неустойчивостью режима трения на пусковых режимах. В ряде случаев обильное смазывание ЭГД-контакта приводит к увеличению интенсивности изнашивания и выкрашивания поверхностей или к термическому разрушению. Увеличение расхода смазочного материала для обеспечения более интенсивного теплоотвода от ЭГД-контакта оказалось малоэффективным способом и, как показала практика, является причиной дополнительного теплообразования.

Экспериментально установлено, что с увеличением скорости скольжения в ЭГД-контакте сила трения в области малых скоростей возрастает. Затем, достигнув максимальных значений, уменьшается, что объясняют уменьшением вязкости масляного клина за счет увеличения температуры в смазочном слое. Исследования влияния скорости качения на реологические характеристики трансмиссионных смазочных материалов показали, что эффективная вязкость смазочного слоя с увеличением скорости существенно уменьшается, а толщина смазочного слоя увеличивается. Это объясняет повышением эффективности смазки за счет снижения напряжений сдвига смазочных слоев и локализации вектора напряжения сдвига в них, когда влияние твердых поверхностей минимально.

Путём совместного решения гидродинамической и упруго-деформационной задач взаимодействия среды и поверхностей трибоконтакта, с учетом реологических термодинамических процессов, протекающих в среде, были получены формулы для силы трения и других параметров трибосистем. Эти зависимости оказались настолько громоздкими, что в практике конструкторско-инженерных расчетов они не используются. Коэффициент трения реальных трибосистем на один два порядка больше расчетных и достигает значений 0,01–0,1, что характерно для следующего, еще более нагруженного режима – трения в условиях граничной смазки. При этом поверхности хоть и с очень малой интенсивностью, но изнашиваются, особенно в пуско-остановочных циклах эксплуатации узлов.

Учитывая упругую деформацию поверхностей трения, ЭГД-теория трения между двумя поверхностями трактуется, как сопротивление перемещению одних слоёв смазки, движущихся в направлении движения поверхностей, относительно других слоёв, находящихся в покое. При реализации гидро- и эластогидродинамического эффектов в трибосистемах скольжения коэффициент трения привлекательно мал 0,0001 и 0,005 соответственно, но габариты таких подшипников слишком велики, а удельные нагрузки слишком малы, чтобы их использовать во всех узлах трения. Даже при незначительном повышении нагрузки трибосистема становится крайне неустойчивой и начинает входить в режим, выделенный в трибологии как отдельная отрасль знаний – трение в условиях граничной смазки.

Авторы ЭГД-теории контактной гидродинамики смазки деталей машин сетовали на отсутствие средств быстрого расчета контактных напряжений с учетом шероховатостей поверхностей, физико-химических свойств конструкционных и смазочных материалов других факторов из-за громоздкости формул. Сейчас имеется быстродействующая вычислительная техника и современная математическая программная среда, которые позволяют с лёгкостью производить самые сложные расчеты параметров практически любых динамических процессов, в том числе и процессы трения в трибосистемах практически мгновенно. Однако на практике многочисленные теоретические наработки области трения и изнашивания практически нигде не используются. На наш взгляд, это связано с недостаточно полным представлением о самой природе процесса трения.

Многочисленные экспериментальные данные и опыт эксплуатации трибосистем с ЭГД-контактами показал, что они на практике не безызысны, что предполагает теория ЭГДТС. С малой интенсивностью, но поверхности изнашиваются.

Обращает на себя внимание термоэффект, который был обнаружен и изучался профессором Н.Ф.Дмитриченко. При трении качения, в динамике, достоверно наблюдалось возникновение в смазочном слое зоны с повышенной температурой, которая находилась области входа поверхностей в ЭГД-контакт, то есть перед контактом. Объяснить такое распределение температур, когда принято считать, что самое интенсивное тепловыделение происходит в области выхода поверхностей из контакта, с позиций существующих теорий не удаётся. Поэтому обнаруженное явление рассматривается, как эффект.

Экспериментальные данные, полученные в лаборатории нанотриботехнологий НИЧ НАУ, легли в основу компрессионно-вакуумной гипотезы о природе трения и трибокавитационном механизме изнашивания. Основным положением этой гипотезы является самопроизвольное возникновение относительно минимального зазора каждого элементарного трибоконтакта двух характерных областей. В области уменьшения зазора по направлению скольжения и/или качения, т.е. конфузорной, происходит повышение давления граничных слоев смазки и возникновение вторичного течения, противоположного направлению движения. В этой области при высоких скоростях трение происходит между набегающими с движущейся поверхности слоями граничной смазки и слоями вторичного обратного течения, вызванного градиентом давлений в сужающейся зоне трибоконтакта.

диффузорной области увеличения зазора по направлению качения и/или скольжения, происходит разрежение граничных слоев и уменьшение давления в них относительно давления окружающей среды до значений, равных и меньших давления насыщенного паров смазочной среды. Здесь возникает вторичное течение, направленное из окружающей среды в контакт и против движения. Эти течения также вызваны градиентом давлений, но отрицательным в направлении движения. При этом в диффузорных областях ЭГД-контактов, особенно при высоких скоростях (больше 0,1 м/с), происходит нарушение однородности смазочного слоя с образованием маслопаровоздушных полостей пузырьковой кавитации, которая характеризуется самопроизвольным возникновением паровоздушных пузырьков и их схлопыванием у поверхности трения, что также приводит к её нагреву.

отличие от ЭГД-теории, компрессионно-вакуумная гипотеза трения основана на принципиально новых положениях:

Толщина смазочного слоя в ЭГД-контакте не отражает его трибологические свойства, так как в диффузорных областях даже при малых скоростях скольжения происходит разрежение смазочной среды, что приводит к ее фазовому переходу из жидкого масловоздушное состояние. Следовательно, о какой-либо, в том числе минимальной толщине субстанции неопределенного масла – паровоздушного агрегатного состояния говорить не приходится. Поэтому минимально допустимая толщина смазочного слоя не может служить однозначным критерием ресурса трибосистем с ЭГД-контактом.

Смазочная пленка в ЭГД-контакте, а именно в его диффузорной области, не является однофазной ньютонов-ской средой, а представляет собой масловоздушную два



граничных слоя трущихся поверхностей с паровоздушным вакуумированным пространством между ними.

Пленка ЭГД-контакта, образованного криволинейными поверхностями при трении, не параллельна в его центральной части, а является адекватным отражением распределения герцевских контактных напряжений, под действием которых она упруго деформируется. То есть, минимальная толщина слоя в статических условиях сжатия будет находиться в области максимальных контактных напряжений.

Экспериментально наблюдаемая в области выхода поверхности трения из контакта минимальная толщина смазочного слоя и отмечаемый в соответствии с ЭГД-теорией пик контактных напряжений Петрусевича вызваны вакуумированием смазочного слоя в диффузорной области контакта.

В процессе трения в смазочном слое относительно его минимального зазора самопроизвольно возникает сжатие смазочных слоев в конфузорной и их растяжение – в диффузорной областях ЭГД-контакта. Таким образом, давление в смазочном слое не тождественно поверхностным контактным напряжениям, определяемым по Г.Герцу. Это значит, что понятия «контактные напряжения», «давление в смазочном слое» и «давления на трущихся поверхностях» необходимо скорректировать в соответствии с экспериментальными данными, положенными в основу компрессионно-вакуумной гипотезы трения и трибокавитационного механизма изнашивания.

В отличие от ЭГД-теории, в рамках компрессионно-вакуумной гипотезы трения через ЭГД-контакт смазочная среда поступает из конфузорной в диффузорную область ровно в том количестве, сколько его находится в минимальном зазоре, в том числе и в упруго-напряженном состоянии сжатия, что не противоречит закону сохранения количества вещества.

Для проверки эффективности использования масловоздушной смеси в трибосистеме скольжения был проведен ряд экспериментов на лабораторных машинах трения АСБ-01 и АСБ-02, где в качестве рабочей среды использовались моторные масла МС-20 и ИПМ-10. Применение паровоздушной масляной суспензии, по сравнению с ее жидким однофазным состоянием, приводило к существенному (на 20–30 %) уменьшению сил трения и на 5–7 °С снижению температуры нагрева среды при прочих равных условиях трения (нагрузка, скорость). На рис. 3 представлен вид однофазной жидкой среды в начале трения при частоте вращения модельного вала  $200 \text{ мин}^{-1}$  при отсутствии трибоконтакта и самопроизвольного ее перехода в двухфазное масло-паровоздушное состояние через 10 мин

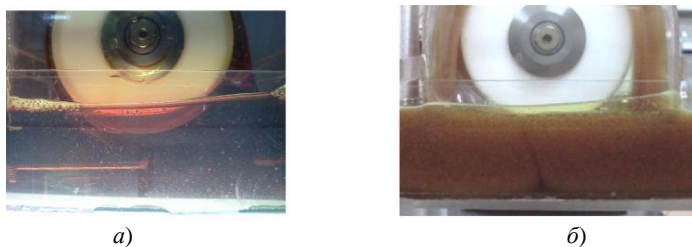


Рис. 3. Вид однородной однофазной прозрачной смазочной среды в однофазном (а) и двухфазном (б) состояниях: а – при отсутствии трибоконтакта и постоянной частоте вращения модельного вала  $200 \text{ мин}^{-1}$ ; б – образование двухфазной непрозрачной масло-паровоздушной смеси при трибокавитации

линейном контакте после 10 мин трения и частоте вращения вала до  $350 \text{ мин}^{-1}$ , которая увеличилась за счет двухфазности смазочной среды

трения после создания линейного трибоконтакта, что привело к образованию двухфазной масло-паровоздушной смеси в диффузорной области контакта, что, в свою очередь, привело к самопроизвольному увеличению скорости до  $350 \text{ мин}^{-1}$ . В течение этих 10 мин

наблюдалось насыщение объема масла микропузырьками, образованными в диффузорной области ЭГД-контакта. При этом сила трения скольжения уменьшалась на 30–40 %.

Таким образом, агрегатное состояние смазочных материалов в ходе их трибологических испытаний является одним из первостепенных факторов, определяющих силу трения и интенсивность изнашивания модельных трибосистем. Трибокавитация в контактах и барботажи в смазочных материалах при определенных условиях нагружения трибосистем приводят к возникновению масловоздушной смеси, что необходимо учитывать при оценке качества смазочных материалов.

#### РЕФЕРАТ

*Олександр Стельмах, Карім Бадір, Олексій Сидельников,  
Національний авіаційний університет, stelmah@nau.edu.ua*

#### **ВПЛИВ АГРЕГАТНО-ФАЗОВОГО СТАНУ МАСТИЛА НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ТРИБОСИСТЕМ**

Показано, що агрегатно-фазовий стан змащувальних матеріалів у процесі їх трибологічних випробувань є одним з найважливіших факторів, визначаючих силу тертя та інтенсивність зношування модельних трибосистем. Трибокавітація в контактах і барботажи в змащувальних матеріалах при певних умовах навантаження трибосистем призводять до виникнення масло-повітряної суміші, що необхідно враховувати при оцінці якості змащувальних матеріалів.

**Ключові слова:** барботажи, трибокавітація, швидкість ковзання, масло-повітряна суміш.

#### РЕФЕРАТ

*Александр Стельмах, Карим Бадир, Алексей Сидельников,  
Национальный авиационный университет, stelmah@nau.edu.ua*

#### **ВЛИЯНИЕ АГРЕГАТНО-ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ СМАЗКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРИБОСИСТЕМ**

Показано, что агрегатно-фазовое состояние смазочных материалов в ходе их трибологических испытаний является одним из первостепенных факторов, определяющих силу трения и интенсивность изнашивания модельных трибосистем. Трибокавитация в контактах и барботажи в смазочных материалах при определенных условиях нагружения трибосистем приводят к возникновению масловоздушной смеси, что необходимо учитывать при оценке качества смазочных материалов.

**Ключевые слова:** барботажи, трибокавитация, скорость скольжения, масловоздушная смесь.

#### ABSTRACT

*Alexander Stelmakh, Karim Badir, Alexey Sidelnikov, National Aviation University, stelmah@nau.edu.ua*

#### **INFLUENCE OF AGGREGATE AND PHASE STATE OF GREASE ON EFFICIENCY TRIBOSYSTEMS**

It is shown that the aggregate- phase state of the lubricants during their tribological tests, is one of the primary factors that determine the friction and wear rate of the model tribosystems. Friction cavitation in contacts and bubbling in lubricants under certain conditions of tribosystems loading, give rise to oil-air mixture that must be considered when the lubricants quality assessment.

**Key words:** bubbling, friction cavitation, sliding speed, oil-air mixture.

УДК 620.621.539

#### **I-17. ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОДНОРІДНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ**

*Олексій Кулініч, Володимир Варюхно, Олександр Сидоренко,  
Олег Білякович, Олександра Данилейко*

В області випробувань визначення впливу мастильних матеріалів на однорідність експлуатаційних характеристик покриттів є актуальним.

Відомі технічні рішення, з використанням мультифрактального аналізу структур, який базується на генерації тим чи іншим засобом міри при розбитті структури поверхневого покриття на чарунки. Простір, що займає поверхнева структура називають носієм міри. Мультифрактальний підхід представляє фрактальну міру, що взаємопов'язана фрактальними множинами, що змінюються по степеневому закону з різними показниками. Це означає, що множина є структурно-однорідною й має підмножини з різною фрактальною розмірністю. Для опису мультифрактальних структур використовується ряд показників до яких, в тому числі, відносяться як основні спектр фрактальної розмірності і дисперсія реєстрованого спектра.

Недоліком відомого засобу є його низька точність, так як оцінка характеристик поверхневого шару описується загальними показниками і відсутністю чисельних значень однорідності його стану.

метою підвищення інформативності методу визначенням втомних змін характеристик поверхневого шару покриттів, а також підвищення достовірності визначення параметрів як міцнісних характеристик, що визначаються однорідністю матеріалу.

Вирішення мети досягається тим що в процесі оцінки зміни технологічних характеристик поверхневого шару визначають коефіцієнт однорідності властивостей покриття по зміні значень якого роблять висновки, щодо втомних змін експлуатаційних властивостей покриття (наприклад зносостійкість, пластичність, виносливість та ін.).

При визначенні коефіцієнта однорідності застосовують метод мультифрактального аналізу заданої ділянки поверхневого шару. При цьому ресструють спектр відображеного від поверхні світового проміння, який є носієм інформації структурних змін у покритті пов'язаних з експлуатаційними навантаженнями, що приводять до його пошкодження.

Реалізація способу включає наступні етапи:

- на еталонному зразку, що має найкращі показники по відповідним параметрам, що забезпечуються оптимальними технологічними режимами, визначають еталонне значення дисперсії  $D_{ET}$  спектра фрактальної розмірності;

- на вибраній ділянці покриття після циклічного експлуатаційного навантаження, визначають комплекс значень дисперсій  $D_1, D_2, \dots, D_m$ ;

- для визначення експлуатаційних характеристик вводять коефіцієнт  $K$  однорідності властивостей покриття, який визначається як відношення дисперсії  $D_{ET}$  зразку до  $D_i$  вибраної ділянки

$$K_i = D_{ET} / D_i.$$

Далі будують графік залежності зміни коефіцієнта  $K$  від кількості циклів  $m$ . Користуючись кривою залежності, роблять висновок про зміну експлуатаційних характеристик покриття і ступенів експлуатаційного пошкодження, в залежності від значення коефіцієнта  $K$ . Так, якщо значення коефіцієнта  $K < 1$ , то ділянка покриття має більшу неоднорідність властивостей, а значить менший показник опору втомленості. Чим ближче  $K$  до 0, тим більша різниця у властивостях між еталонним зразком і вибраною ділянкою. За  $K \geq 1$  покриття має високу ступінь однорідності й експлуатаційні властивості близькі до оптимальних.

Таким чином використання даного способу дозволить виявити не тільки зміни, пов'язані з втомлюваністю поверхневих шарів матеріалів під впливом мастильних матеріалів а й чисельно їх характеризувати запропонованим критерієм однорідності.

#### РЕФЕРАТ

*Олексій Кулініч, Володимир Варюхно, Олександр Сидоренко, Олег Білякович, Олександра Данилейко, Національний авіаційний університет, kafedra\_ta@mail.ru*

### **ВИЗНАЧЕННЯ ВПЛИВУ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОДНОРІДНІСТЬ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРИТТІВ МЕТОДОМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛІЗУ**

Визначення експлуатаційних характеристик покриттів полягає в тому, що вибрана ділянка розбивається на чарунки, проводиться їх мультифрактальний аналіз, вираховуються показники спектру фрактальної розмірності і дисперсії реєстрованого спектру. Визначають дисперсію спектра фрактальної розмірності еталонного покриття і дисперсію зареєстрованого спектра, як характеристика відхилення зареєстрованого спектра від еталонного визначають коефіцієнт однорідності властивостей покриття як відношення вказаних дисперсій.

**Ключові слова:** мастильні матеріали, мультифрактальний аналіз, еталон, дисперсія.

#### РЕФЕРАТ

*Алексей Кулинич, Владимир Варюхно, Александр Сидоренко, Олег Билякович, Александр Данилейко, Национальный авиационный университет, kafedra\_ta@mail.ru*

### **ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОДНОРОДНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКРЫТИЙ МЕТОДОМ МУЛЬТИФРАКТАЛЬНОГО АНАЛИЗА**

Определялось влияния смазочных материалов на однородность эксплуатационных характеристик покрытий методом мультифрактального анализа.

Определение эксплуатационных характеристик покрытий заключается в том, что выбранная область разбивается на ячейки, проводится их мультифрактальный анализ, вычисляются показатели спектра фрактальной размерности и дисперсии регистрируемого спектра. Определяют дисперсию спектра фрактальной размерности эталонного покрытия и дисперсию зарегистрированного спектра, в качестве характеристик отклонения зарегистрированного спектра от эталонного определяют коэффициент однородности свойств покрытия как отношение указанных дисперсий.

**Ключевые слова:** смазочные материалы, мультифрактальный анализ, эталон, дисперсия.

#### ABSTRACT

*Olexey Kulinich, Vladimir Variuhno, Olexander Sidorenko, Oleg Bilyakovich, Alexander Danilejko, National Aviation University, kafedra\_ta@mail.ru*

### **ASSESSMENT OF THE IMPACT OF LUBRICANTS ON THE UNIFORMITY**

#### **OF THE OPERATIONAL FEATURES OF COATINGS BY MULTIFRACTAL ANALYSIS**

Determination of the performance characteristics of coatings is that the selected area is divided into cells, their multifractal analysis is done, fractal dimension spectrum and dispersion of registered spectrum are calculated. The spectrum dispersion of fractal dimension of reference surface and the dispersion of registered spectrum are determined. As characteristics of deviation of the registered spectrum from the reference spectrum, the coefficient of the coating properties uniformity, as the ratio of these dispersions, is determined

**Key words:** lubricants, multifractal analysis, etalon, dispersion.

УДК 620.621.539

### **I-18. ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ТЕРМІНУ ВИКОРИСТАННЯ ТА ПІДБОРУ ТРАНСМІСІЙНИХ ОЛИВ**

*Микола Дмитриченко, Олег Білякович, Володимир Варюхно, Анатолій Савчук*

Як відомо, як основні параметри, що визначають ефективність мастильної дії в умовах граничного режиму мащення, як правило, прийнято використовувати значення товщини граничного мастильного шару (ГМШ) та коефіцієнта тертя, що можуть бути оцінені у процесі трибовипробувань на відповідному лабораторному обладнанні.

Значення товщини мастильної плівки при граничному режимі тертя визначається меншому ступені в'язкістю оливи, а в більшому – фізико-хімічними властивостями мастильного середовища, динамікою їх зміни, комплексом факторів, що відображають такі

особливості взаємодії робочих поверхонь зубчатих коліс, як їх вихідний стан, припрацювання, швидкісні, теплові і навантажувальні режими експлуатації, характер зміни цих параметрів у часі.

Очевидно, що товщина ГМШ у зубчатому зчепленні впливає на його довговічність, для забезпечення оптимальної товщини мастильної плівки у вищевказаних трибосполученнях мастильний матеріал повинен підбиратись відповідно до умов експлуатації.

Відомо, що між величинами товщини ГМШ і коефіцієнтом тертя при граничному режимі мащення існує певна кореляція, причому, чим більше значення товщини ГМШ, тим менше значення  $f$ .

На нашу думку, аналіз закономірностей зміни значень товщини ГМШ та коефіцієнта тертя протягом тривалого періоду експлуатації трансмісійних олив є підставою для розробки методу визначення раціонального терміну використання олив в агрегатах трансмісії транспортних засобів (далі – методу).

Сутність методу – визначення параметрів мастильної дії проб трансмісійних олив (товщини ГМШ та коефіцієнту тертя) у стані постачання та олив, що злиті з реальних агрегатів транспортних засобів з певною періодичністю, при моделюванні роботи зубчатих зчеплень та аналіз графічних залежностей зміни вищезазначених параметрів від величини пробігу підконтрольних транспортних засобів (ПТЗ).

Даний метод може бути реалізований при виконанні декількох етапів досліджень.

На першому етапі необхідно здійснити відбір проб трансмісійних олив за спеціально розробленою програмою натурних триботехнічних випробувань у залежності від величини пробігу ПТЗ з періодичністю 10000 км пробігу. Причому значення максимального пробігу ПТЗ, при якому потрібно здійснювати відбір проб, повинно перевищувати нормативне значення для певної марки оливи у 1,5–1,9 рази.

На другому етапі проводяться триботехнічні випробування на лабораторній установці фіксацією значень товщини ГМШ та коефіцієнту тертя в середовищі досліджуваних проб оливи до стабілізації зазначених параметрів мастильної дії. Умови випробувань повинні бути максимально наближені до реальних умов роботи зубчатих зчеплень в агрегатах трансмісії транспортних засобів.

На третьому етапі потрібно побудувати графічні залежності значень товщини ГМШ та коефіцієнту тертя від величини пробігу ПТЗ, за характером проходження яких робиться висновок щодо терміну раціонального використання конкретної марки трансмісійної оливи.

Як приклади на рис. 1 і рис. 2 наведено залежності значень товщини ГМШ та коефіцієнта тертя від величини пробігу ПТЗ, отриманих після випробувань у середовищі оливи ТАД-17і, проби якої були відібрані у діапазоні 0–90000 км пробігу ПТЗ.

Аналіз наведених залежностей свідчить про можливість ефективного використання ТАД-17і у даному діапазоні пробігу ПТЗ – граничні значення параметрів мастильної дії оливи, ознакою яких є різке падіння товщини граничного мастильного шару та, відповідно, суттєве зростання коефіцієнту тертя у контактній зоні трибосполучення, не були зафіксовані.

Як відомо, існуючі методи оцінки якості олив, а отже, і їх ресурсу, за фізико-хімічними параметрами не дають можливості реально визначити вплив мастильних середовищ на зносостійкість вузлів тертя деталей машин.

В свою чергу, зносостійкість пар тертя багато в чому залежить від структурного стану поверхневого шару.

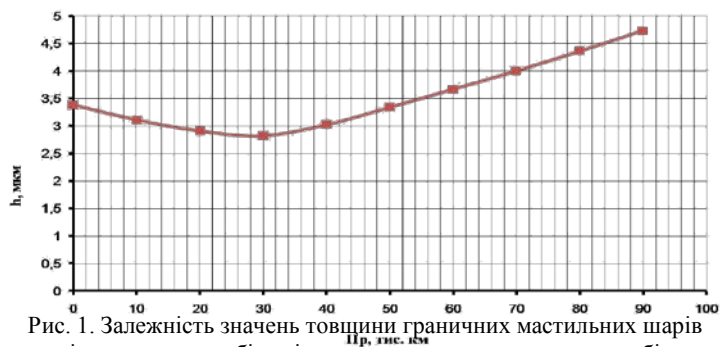


Рис. 1. Залежність значень товщини граничних мастильних шарів від величини пробігу підконтрольних транспортних засобів

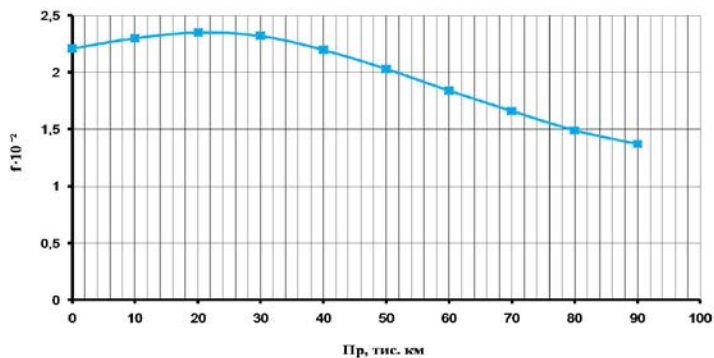


Рис. 2. Залежність значень коефіцієнту тертя від величини пробігу підконтрольних транспортних засобів

зв'язку з вищевикладеним, на підставі результатів проведених досліджень, нами запропонований метод оцінки ресурсу оливи, який полягає в оцінці однорідності структурного стану поверхневого шару трибосполучень після попередніх випробувань в мастильних середовищах з різним залишковим ресурсом (рис. 3).

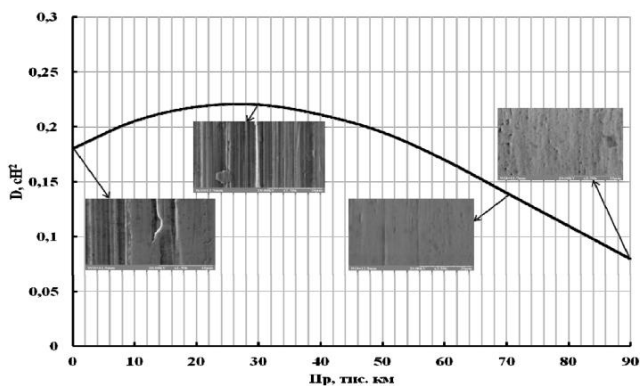


Рис. 3. Залежність показника однорідності стану поверхневого шару від величини пробігу підконтрольних транспортних засобів:  
 $D$  – дисперсія глибини впровадження індентора вздовж траси сканування

Для визначення мікромеханічних характеристик і структурного стану поверхневих шарів досліджуваних зразків після трибовипробувань у мастильних середовищах з різним залишковим ресурсом був реалізований метод локального й скануючого мікро-і наноіндентування за допомогою відповідного апаратурного комплексу.

До речі, параметром однорідності стану шару виступає дисперсія глибини впровадження індентора –  $D$ , що оцінює розкид деформаційних і міцностних властивостей уздовж траси сканування, яка чисельно визначається, як площа під обгинаючою спектральної щільності.

За характером проходження наведеної графічної залежності можна оцінювати термін раціонального використання конкретної марки оливи, виходячи із її впливу на структурний стан контактних поверхонь з позицій їх однорідності (розкиду міцностних і деформаційних властивостей, опору зношуванню та ефективності екрануючої дії).

#### РЕФЕРАТ

*Микола Дмитриченко, Олег Білякович, Володимир Варюхно, Анатолій Савчук, Національний транспортний університет, Національний авіаційний університет, kafedra\_ta@mail.ru*

#### ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ РАЦІОНАЛЬНОГО ТЕРМІНУ ВИКОРИСТАННЯ ТА ПІДБОРУ ТРАНСМІСІЙНИХ ОЛИВ

Аналіз закономірностей зміни значень товщини граничного трибовипробування та коефіцієнта тертя протягом тривалого періоду експлуатації трансмісійних олив є підставою для розробки методу визначення раціонального терміну використання олив в агрегатах трансмісії транспортних засобів.

Запропоновано розроблений метод визначення параметрів мастильної дії проб трансмісійних олив (товщини граничного трибовипробування та коефіцієнту тертя) у стані постачання та олив, що злиті реальних агрегатів транспортних засобів з певною періодичністю, при моделюванні роботи зубчатих зчеплень та аналіз графічних залежностей зміни параметрів від величини пробігу підконтрольних транспортних засобів.

**Ключові слова:** граничний шар, трибовипробування, мастила, моделювання, транспорт.

#### РЕФЕРАТ

*Николай Дмитриченко, Олег Билякович, Владимир Варюхно, Анатолий Савчук, Национальный транспортный университет, Национальный авиационный университет, kafedra\_ta@mail.ru*

#### К ОПРЕДЕЛЕНИЮ РАЦИОНАЛЬНОГО СРОКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ И ПОДБОРА ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ

Анализ закономерностей изменения значений толщины граничного слоя при трибологических испытаниях и коэффициента трения в течение длительного периода эксплуатации трансмиссионных масел является основанием для разработки метода определения рационального срока использования масел в агрегатах трансмиссий транспортных средств.

Предложен разработанный метод определения параметров смазочного действия проб трансмиссионных масел в состоянии поставки и масел, что слиты с реальных агрегатов транспортных средств с определенной периодичностью. При моделировании работы зубчатых сцеплений проанализировано зависимости изменения параметров от величины пробега подконтрольных транспортных средств.

**Ключевые слова:** граничный слой, трибологического испытания, смазки, моделирование, транспорт.

#### ABSTRACT

*Mykola Dmytrichenko, Oleg Bilyakovich, Vladimir Varyuhno, Anatoliy Savchuk, National Aviation University, kafedra\_ta@mail.ru*

#### ACCORDING TO DETERMINATION OF RATIONAL PERIOD OF OPERATION AND SELECTION OF TRANSMISSION OILS

Analysis of patterns of change of trybotest thickness limit values and friction coefficient over a long period of operation of transmission oils, are the basis for the development of rational method of determining the period of the oils operation in units of transmission vehicles.

Designed method of determining of options of lubricating action of sample of transmission oils is proposed (thickness of limit trybotest and friction coefficient) in the state of supply and oils, which merged with the real units of vehicles at regular intervals, the modeling of gear clutches and analysis of graphical dependencies of parameters according to the value of control vehicles run.

**Key words:** boundary layer, trybotests, lubricants, modeling, transport.

УДК 621.891:539.375(043.2)

## 1-19. МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ МАСЛО-ПАРОГАЗОВОЙ СУСПЕНЗИИ СМАЗОЧНОЙ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ

*Александр Стельмах, Алексей Сидельников, Иван Матвеев*

При стоянке, эксплуатации и на переходных пуско-остановочных режимах двигателей современная химмотология и ее неотъемлемый раздел «Трибология» традиционно рассматривают рабочие жидкости, в том числе и смазочные материалы, как однородные капельные жидкости. Фактические реологические свойства смазочных материалов на различных режимах эксплуатации двигателей, связанные с увеличением их температуры, учитывают только вязкостно-температурными характеристиками, которые нормируются известными методами и средствами испытаний ГСМ.

Между тем в процессе эксплуатации всегда наблюдается возникновение и обогащение однородной исходно жидкой рабочей среды микро- и субмикро-пузырьками, концентрация которых с увеличением скоростей и нагрузок агрегатов возрастает и на крейсерских режимах эксплуатации стабилизируется. В работе экспериментально показано, что генераторами таких микропузырьков являются диффузные области трибоконтактов (трибокавитация) наряду с барботажными воздушными полостями. Принципиальное отличие микропузырьков, генерируемых трибоконтактами, от образованных аэрацией пустот, заключается в том, что механизм их образования вызван всесторонним растяжением смазочных слоев, Это приводит к локальному испарению молекул жидкости в направлении ядер кавитации, которыми служат растворенные газы или микрозагрязнения.

**Цель** данной работы – объяснить нелинейность характеристики подшипников с позиций адгезионно-гидродинамической (АГД) модели трения и изнашивания. Исходя из АГД-модели, процессы, протекающие в эласто-гидродинамическом контакте, представляются несколько более сложными (рис. 1). При движении нижней плоской поверхности со скоростью  $V$  в конфузурной области из-за набегающего потока граничных слоев возникают вторичные, обратные движению течения смазочной среды (показано стрелками).

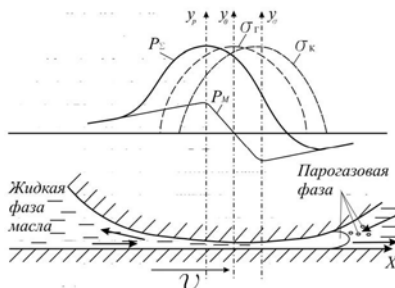


Рис. 1. Схема контактно-гидродинамических процессов с позиций АГД-модели

**Новизна** заключается в установленных закономерностях: в диффузной, расширяющейся области, при определенных скоростях возникает масло-паровоздушная фаза смазки и вторичные, обратные движению, течения из среды в контакт. Это происходит



соответствии с экспериментально-наблюдаемой закономерностью распределения давления смазочном слое  $P_m$ , которое в конфузорной области выше, а в диффузорной ниже давления окружающей среды. При этом реактивные давления, возникающие на поверхности неподвижного криволинейного трибоэлемента  $P$ , представляют собой сумму герцевских напряжений  $\sigma_r$  и давления в смазочном слое  $P_m$ , а контактные напряжения  $\sigma_k$  следует рассматривать, как разницу герцевских напряжений  $\sigma_r$  и давления в смазочном слое  $P_m$ . При этом под термином «контактные напряжения», следует понимать те напряжения, которые возникают лишь в области разрежения, то есть в диффузорной части контакта, так как в конфузорной – поверхности раздвигаются граничными слоями с высоким давлением.

Характеристики сил трения при скольжении в среде авиационного моторного масла МС-20 проводились на лабораторном приборе трения АСБ-01. Линейный контакт создавался поверхностью образующей цилиндр ролика (модель вала) с плоской гранью неподвижного параллелепипеда (модель подшипника скольжения). В неподвижном образце было вмонтировано приемное устройство в виде щели с сечением 0,3x5 мм. Осевая нагрузка составляла 20 Н, ширина контакта – 9 мм. Контакт помещался в специальную ванночку, которая заполнялась маслом МС-20. На расстоянии 2 мм от самого контакта в области входа вала в контакт размещалось приемное устройство в виде щели, которое через внутренние каналы образца-параллелепипеда сообщалось с датчиком давления. Это позволило экспериментально определять давление  $P$  в конфузорной области контакта и величину силы трения  $F_{тр}$  по изменению мощности электропривода постоянного тока при различных скоростях скольжения одновременно. Оптическая прозрачность неподвижного образца и ванночки, изготовленная из стекла, позволяли наблюдать за течениями в околоконтактной области, а также за агрегатным состоянием масла МС-20.

Линейная скорость скольжения поверхности образующей цилиндр фторопластового ролика изменялась плавно от 0,4 до 2,5 м/с, с шагом 0,2 м/с и выдержкой в течение 10 мин, когда все параметры стабилизировались. При постоянной осевой нагрузке 2 Н, комнатной температуре и атмосферном давлении окружающей среды измерялись давление смазки через приёмное устройство и потери мощности электропривода. Графики зависимостей силы трения  $F_{тр0}$  и давления  $P_0$  в слоях смазки от скорости скольжения через 1 мин после установления определенной скорости  $v_{л}$ , представлены на рис. 2. Аналогичные зависимости были получены при тех же скоростях, но через 10 мин трения.

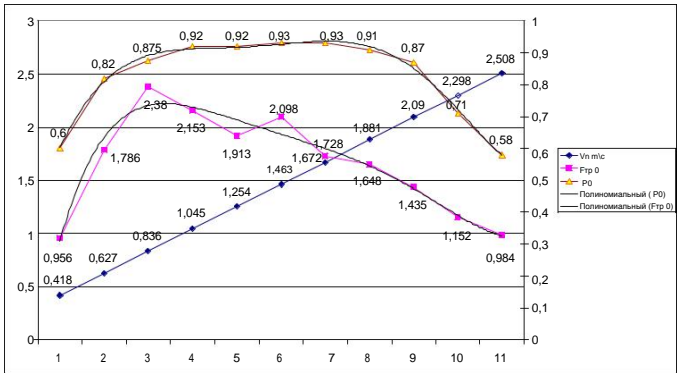


Рис. 2. Зависимость силы трения  $F_{тр0}$  и избыточного давления  $P_0$  от скорости линейного скольжения  $v_{л}$  через 1 мин после выхода на скоростной режим

Как видно из полученных зависимостей (рис. 2), при данных условиях трения в режиме жидкостной смазки с увеличением скорости сила трения возрастает от 0,1 до 0,6 м/с, после чего наблюдается ее уменьшение. Давление в конфузорной области контакта ведет

себя аналогично: синхронно с силой трения возрастает до максимальных значений, после чего оно уменьшается также как и сила трения. Визуальное наблюдение показало, что с увеличением скорости в прозрачном масле МС-20 происходило возникновение воздушных пузырьков. Во времени их количество возрастало. Повышение скорости скольжения приводило к росту интенсивности их образования в масле МС-20. При скорости 0,6 м/с масло теряло прозрачность и при дальнейшем увеличении частоты вращения ролика превращалось в непрозрачную однородную масловоздушную смесь в виде суспензии белого цвета. Объёмная температура масла к концу серии испытаний повышалась на 4 °С.

Таким образом, использованием масловоздушной смеси вместо гомогенной однофазной жидкой смазки достигается повышение эффективности трибосистем, что подтверждает основные положения АГД-модели. Это явление наблюдается при пуске холодных ДВС.

Таким образом, причиной нелинейного изменения силы трения (увеличения до максимума и дальнейшего уменьшения) при увеличении скорости скольжения ЭГД-контакта, обильно смазанного моторным маслом является переход его из гомогенного прозрачного жидкого состояния в мезогенную масло-воздушную фазу суспензии.

Образование масловоздушной суспензии, вызванное увеличением скорости вращения вала, приводит к увеличению коэффициента сжатия и растяжения исходно жидкой смазочной среды. Уменьшение сил сжатия смазочных слоёв в конфузорной области контакта и разрежения в диффузорной приводит к снижению интегральной вязкости, скорости вторичных обратных течений, температуры и силы трения.

При проведении трибологических лабораторных испытаний смазочных материалов следует учитывать фактическое фазовое состояние смазочной среды (особенно при испытаниях смазочных материалов и присадок к ним на средних и больших скоростях трения), для чего необходимо использовать соответствующий датчик контроля типа динамического вискозиметра конфузорного типа.

Так как фазовое состояние смазочных материалов оказывает существенное влияние на результаты трибо-логических испытаний при оценке эффективности смазок с разными исходными реологическими свойствами, то необходимо непрерывно его контролировать и нормировать.

#### **РЕФЕРАТ**

*Олександр Стельмах, Олексій Сидельников, Иван Матвеев,  
Національний авіаційний університет, stelmah@nau.edu.ua*

#### **МЕХАНІЗМ УТВОРЕННЯ ОЛИВНО-ПАРОГАЗОВОЇ СУСПЕНЗІЇ ЗМАЩУВАЛЬНОГО СЕРЕДОВИЩА В ПРОЦЕСІ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДВИГУНІВ**

Представлено механізм утворення оливно-парогазової суспензії змащувального середовища в процесі експлуатації двигунів, котрий полягає у всебічному розтягуванні змащувальних шарів третьових контактів маслосистеми. Експериментально доказано, що зі збільшенням швидкості ковзання спостережуване зменшення сили тертя пов'язано з насиченням змащувального середовища мікро- і субмікропорожнинами масло-парогазової суміші. Запропоновано враховувати фазовий склад змащувального середовища при проведенні лабораторних випробувань.

**Ключові слова:** масло-парогазова суспензія, змащувальні шари.

#### **РЕФЕРАТ**

*Александр Стельмах, Алексей Сидельников, Иван Матвеев,  
Национальный авиационный университет, stelmah@nau.edu.ua*

#### **МЕХАНИЗМ ОБРАЗОВАНИЯ МАСЛО-ПАРОГАЗОВОЙ СУСПЕНЗИИ СМАЗОЧНОЙ СРЕДЫ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЕЙ**

Представлен механизм образования масло-парогазовой суспензии смазочной среды в процессе эксплуатации двигателей, заключающийся во всестороннем растяжении смазочных слоев трущихся контактов маслосистемы. Экспериментально доказано, что с увеличением скорости скольжения наблюдаемое уменьшение силы трения связано с насыщением смазочной среды микро- и субмикро-

полостями паровоздушной смеси. Предложено учитывать фазовый состав смазочной среды при проведении лабораторных испытаний.

**Ключевые слова:** масло-парагазовая суспензия, смазочные слои.

#### ABSTRACT

*Alexander Stelmakh, Alexey Sidelnikov, Ivan Matvieiev,  
National Aviation University, stelmah@nau.edu.ua*

#### MECHANISM OF FORMATION OF THE OIL-COMBINED-CYCLE LUBRICATING MEDIUM SUSPENSION DURING ENGINE OPERATION

The paper presents the mechanism of formation of oil-gas-vapor suspension of the lubricant during operation of engines, comprising the full tension of lubricating oil system layers of rubbing contacts. It is experimentally proved that with an increase in the sliding velocity, observed decrease in the frictional force is due to the saturation of the lubricating medium of micro- and sub -microcavitary vapor-air mixture. It is proposed to take into account the phase composition of the lubricant in laboratory tests.

**Key words:** oil-vapor-gas suspension, lubricant layers.

УДК 621.891(043.2)

#### I-20. ПРИБОРЫ ТРЕНИЯ С ОПТИЧЕСКИМ КАНАЛОМ СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ О МЕХАНИЗМЕ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

*Александр Аксенов, Александр Стельмах, Владимир Бондарь, Елена Ковальчук*

Трибосистема, например, радиальный подшипник скольжения (80 % всех узлов трения в технике) является высоко динамичной системой, хотя состоит лишь из трёх элементов (вал или шип, втулка или подшипник и среда) и реализует трение под воздействием всего двух внешних факторов: сила сжатия двух поверхностей в контакте и скорость их относительного скольжения. Для наблюдения тех или иных динамических явлений в сложных многофакторных системах, к которым относится трибосистема, разрабатывается и создается специальная исследовательская аппаратура, позволяющая из всего многообразия протекающих процессов вычлнить те главные, которые представляют научный интерес. Однако многие явления, которые подлежат изучению, зачастую скрыты от прямого наблюдения в силу непрозрачности элементов механических систем конструкций, внутри которых протекают те или иные процессы. К таким системам относятся узлы трения или трибосистемы. Детали узлов трения машин традиционно изготавливаются из непрозрачных различных стальных конструкционных материалов и сплавов цветных металлов, их трущиеся поверхности образуют трибоконтакт, где и протекает вездесущее явление природы – трение, тщательно скрытое от прямых наблюдений.

Природа и физика трения по сей день являются предметом научных дискуссий. Для их изучения разработано множество лабораторных приборов, с помощью которых исследователи проверяют выдвигаемые новые идеи и гипотезы, ищут те или иные экспериментальные закономерности, моделируют конкретные проблемные трибосистемы целью повышения их эффективности. Благодаря таким лабораторным машинам трения получают различные зависимости, анализируя которые, формулируют новые положения о физических процессах, протекающих при трении. На их основе возникают и развиваются новые теории, вооружившись которыми инженер мог бы конструировать трибосистему учетом условий эксплуатации. Однако сегодня с уверенностью можно констатировать тот факт, что разработка и создание современных новых машин и механизмов практически во всех конструкторских бюро происходит традиционно: модификация хорошо работавших в эксплуатации изделий, созданных на основе многолетних собственных эмпирических результатов лабораторно-стендовых и ходовых испытаний, путём множественных стендовых проб и ошибок. Трибосистемы, как неотъемлемые и ключевые элементы конструкций, хорошо работавшие при длительной эксплуатации в предыдущих изделиях,

также претерпевают некоторую модификацию, но не принципиальную. Другими словами, современные теоретические разработки трибологии практически не используются на практике, они носят в основном пояснительный и в лучшем случае – прогнозный характер. Ранее, лет сорок назад, авторы теорий трения, например, контактной гидродинамики смазки деталей машин, сетовали на отсутствие средств быстрого расчета контактных напряжений с учетом шероховатостей поверхностей, физико-химических свойств конструкционных и смазочных материалов и других факторов из-за громоздкости формул. Сейчас имеется быстродействующая вычислительная техника и современная математическая программная среда, которые позволяют с лёгкостью производить самые сложные расчеты параметров практически любых динамических процессов, в том числе и процессов трения в трибосистемах, практически мгновенно. Однако на практике многочисленные теоретические наработки в области трения и изнашивания фактически не используются. На наш взгляд, это связано с недостаточно полным представлением о самой природе процесса трения.

Существующие известные теории, гипотезы и положения о трении и изнашивании трибосистем стали классическими и не подвергаются сомнению. На их основе строились соответствующие методики и техника экспериментов, которые полностью обеспечивали экспериментальное подтверждение соответствующих теорий. Поэтому получаемые отклонения результатов экспериментов от теоретических обоснований относились к разряду ошибок, погрешностей измерений и пр., а экспериментальная техника исследований создавалась традиционно: машины трения для определения толщины смазочного слоя, приборы трения для измерения реологии смазочных материалов, приборы определения электрических свойств жидкостей в условиях сжатия и т.д. К таким классическим приборам можно отнести одну из первых разработок. Все последующие машины трения, по сути, были модификациями этой машины, где толщина смазочного слоя измерялась по величине электрического пробоя, разности электрических потенциалов и пр., то есть косвенно. Возможность исследования контактного давления и течений в смазочной среде на таких приборах не предусматривалась. Проникнуть в контакт и сканировать по нему узкими приёмными каналами, которые мгновенно засоряются продуктами износа, для измерения давления действительно весьма сложная инженерная задача. Но главной причиной практического отсутствия исследований гидро-динамики в контакте трибосистем все же является непоколебимость авторитетных теорий трения, которые не учитывали течения граничных слоёв смазки в трибоконтакте, кроме как перемещение молекул, адсорбированных на трущихся поверхностях вместе с поверхностями.

**Цель работы** заключается в создании новых приборов, позволяющих изучать гидродинамические процессы упруго-деформированного контакта с позиций адгезионно-гидро-динамической модели трения и изнашивания. Эта модель опирается на экспериментальные данные, согласно которой рассматриваются контактные струйные течения смазки, направленные в обратную сторону скольжения, и нуждается в дополнительных экспериментальных доказательствах.

**Новизна** заключается в создании и апробации новых лабораторных машин трения скольжения с физически прозрачными деталями модельной трибосистемы на рис. 1.

качестве модели цапфы подшипника скольжения использовался плоский параллелепипед, изготовленный из органического стекла, каждая грань которого полировалась до полной прозрачности. Разновысотность неровностей нижней рабочей поверхности этого параллелепипеда после полировки не превышала 20 нм. В качестве модели шипа (вала подшипника скольжения) использовался диск наружным диаметром 80 мм и толщиной 9 мм, изготовленный из фторопласта-4. Этот образец закреплялся на валу, установленном на двух опорах качения в корпусе, и приводился во вращение двигателем постоянного тока через планетарный редуктор и центральное шлицевое соединение. Рабочая, то есть трущаяся поверхность, образующая цилиндр фторопластового ролика (контробразца), шлифовалась, без разборки привода и без снятия ролика с опор. Это сводило радиальные и осевые биения

рабочей поверхности до уровня таковых вала, установленного на двух разнесённых шарикоподшипниках (не более 0,1 мкм). Разновысотность неровностей рабочей поверхности была менее 50 нм. Контакт рабочей поверхности, образующей цилиндр ролика, при первом соприкосновении с плоской гранью параллелепипеда с помощью регулировочных винтов устанавливался на верхней поверхности ролика так, чтобы визуально образовывался равномерный контакт.

Подача модельной смазочной среды в зону контакта производилась из заполненной ею ванночки, в которую была погружена нижняя часть ролика путём подхвата поверхностями вращающегося ролика. Так как прозрачный параллелепипед располагался сверху над роликом, то это позволяло легко наблюдать контактные течения при реализации трения скольжения.

Подвляющее большинство исследовательских машин трения традиционно изготавливается так, чтобы зона контакта была полностью погружена в смазочную среду, которая своим объемным гидромеханическим течением при трении скрывает от прямого наблюдения течения, возникающие непосредственно в зоне контакта. Кроме этого практически все реальные трибосистемы скольжения реализуют контакт в нижнем секторе вала.

Для исследований контактной гидродинамики подхватывающая схема подачи рабочей среды и верхнее положение контакта, хотя и редко встречающаяся на практике, более привлекательна, чем традиционное нахождение контакта внизу и его полное погружение в среду. Поэтому кроме прибора трения АСБ-01, нами был разработан и изготовлен лабораторный прибор АСБ-02 с нижним положением контакта, погружаемого в смазочную среду. На рис. 2 показаны линии тока жидкости в контактной зоне при трении скольжения ролика по плоской грани параллелепипеда и образование кавитационных полостей – трибокавитация.

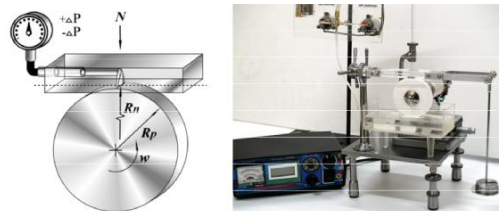


Рис. 1. Схема (слева) и внешний вид (справа) машины трения скольжения АСБ-01 с физически прозрачной трибосистемой

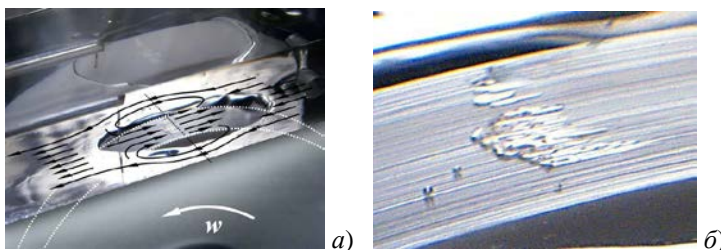


Рис. 2. Линии тока смазочной среды (а) и трибокавитация (б), наблюдаемые в динамике при трении на лабораторном приборе АСБ-01 с оптическим каналом съема информации

На рис. 3 представлены данные распределения давлений, измеряемых приемным устройством, изготовленным внутри прозрачного образца с выходом на рабочую поверхность, позволяющие получить экспериментальные зависимости влияния исходных

параметров трибосистемы на силу сопротивления движению, что оценивается измерительными приборами.

Для изготовления каналов измерения давления прозрачный элемент трибосистемы является наиболее приемлемым, так как позволяет производить непрерывный мониторинг состояния приемного устройства и каналов на предмет отсутствия их загрязнений, приводящих к дросселированию. Это позволит создавать новые технологические приемы с целью повышения эффективности бесконтактных и контактных трибосистем скольжения, а также разрабатывать новые смазочные материалы и присадки к ним по критерию порога трибокавитации.

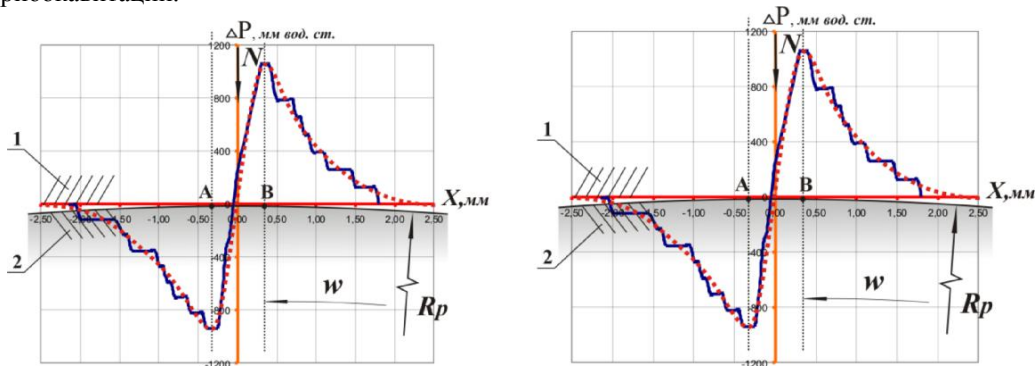


Рис. 3. Распределение перепада давления в граничных слоях керосина ТС-1 относительно атмосферного  $\Delta P$ , т.е. разница между измеренным и атмосферным давлением по координате сканирования  $X$  перпендикулярно контакту при скольжении, где  $[AB]$  – ширина линейного контакта контробразца 1 и ролика 2 радиусом  $R_p$ ,  $\omega$  – частота вращения,  $N$  – осевая нагрузка,  $X$  – координаты сканирования:

а) вращение по часовой стрелке; б) вращение против часовой стрелки

Благодаря исследованиям контактно-гидродинамических процессов на приборах АСБ-01 и АСБ-02 разработаны основные положения компрессионно-вакуумной гипотезы трения и трибокавитационного механизма изнашивания, которые находят свое подтверждение.

Приборы трения АСБ- 01 и АСБ-02 позволяют получать новую информацию о контактно-гидродинамических течениях в граничных слоях, трибокавитационных явлениях диффузорной области контакта, вести постоянный мониторинг состояния приемного устройства определения локального давления в граничных слоях и его распределения путем сканирования контактных и околоконтактных областей благодаря реализации в них дополнительного оптического канала съема информации.

#### РЕФЕРАТ

*Олександр Аксенов, Олександр Стельмах, Володимир Бондарь, Олена Ковальчук,  
Національний авіаційний університет, stelmah@nau.edu.ua*

#### ПРИЛАДИ ТЕРТЯ З ОПТИЧНИМ КАНАЛОМ ЗНІМАННЯ ІНФОРМАЦІЇ ПРО МЕХАНІЗМ ТЕРТЯ КОВЗАННЯ

Розроблені нові прилади тертя ковзання в лінійному контакті АСБ-01 і АСБ-02 з оптичним каналом йому інформації о механізмі тертя дозволяють візуально спостерігати за течією мастила в областях входу модельного вала в контакт і виходу з нього. Така нова інформація дає можливість вивчати зміну агрегатного стану мастила, спостерігати зародження вторинних течій, турбулентності і трибокавітації.

**Ключові слова:** лінійний контакт, оптичний канал знімання інформації, трибокавітація.

## РЕФЕРАТ

*Александр Аксенов, Александр Стельмах, Владимир Бондарь, Елена Ковальчук,  
Национальный авиационный университет, Украина, Киев, stelmah@nau.edu.ua*

### **ПРИБОРЫ ТРЕНИЯ С ОПТИЧЕСКИМ КАНАЛОМ СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ О МЕХАНИЗМЕ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ**

Разработанные новые приборы трения скольжения в линейном контакте АСБ-01 и АСБ-02 с оптическим каналом съема информации о механизме трения позволяют визуально наблюдать за течениями смазки в областях входа модельного вала в контакт и выхода из него. Такая новая информация дает возможность изучать изменения агрегатного состояния смазки, наблюдать зарождение вторичных течений, турбулентность и трибокавитацию.

**Ключевые слова:** линейный контакт, оптический канал съема информации, трибокавитация.

## ABSTRACT

*Alexander Aksenov, Alexander Stelmah, Volodymyr Bondar, Elena Kovalchuk,  
National Aviation University, stelmah@nau.edu.ua*

### **FRICION INSTRUMENTS WITH THE OPTICAL CHANNEL OF READING INFORMATION ABOUT MECHANISM OF SLIDING FRICTION**

Developed new instruments of sliding friction in linear contact ASB-01 and ASB-02 with the optical channel of output of information about the mechanism of friction, can visually monitor the lubricant flow in the model of the shaft contact entrance areas and outlet ones. This new information makes it possible to study the changes in the aggregate state of lubrication, to observe the emergence of secondary flows, turbulence and friction cavitation.

**Key words:** line contact, optical information reading channel, friction cavitation.

УДК 62.229.315 (043.2)

### **I-21. ФИЗИКА ПРОЦЕССА БЕСКОНТАКТНОЙ МАГНИТНО-ТУРБУЛЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ**

*Алексей Куцев, Иван Матвеев, Елена Ковальчук, Виктор Коба*

В производстве и в техобслуживании трибосистемы качения подвергают очистке. Известны различные методы и технологий удаления загрязнений. С учетом конструктивных технологических различий, а также особенностей эксплуатации подшипников, наибольшее распространение получили ультразвуковые методы их очистки. При этом для разрыхления и ослабления связей загрязнений с подложкой, и последующего их удаления используют преимущественно гидродинамическое воздействие. Как показали результаты исследований, даже такой относительно эффективные методы не всегда обеспечивают требуемый уровень чистоты. В первую очередь эта задача актуальна для приборных и других прецизионных подшипников.

**Цель** – построение основы физико-математической модели поведения частиц загрязнений и изучения влияния сил, действующих в процессе очистки на компоненты загрязнений рабочих поверхностей подшипника.

**Новизна.** С целью повышения эффективности существующих и разработки новых методов и технологий очистки узлов машин и механизмов в лаборатории нанотриботехнологий НАУ были проведены исследования, направленные на построение основы физико-математической модели поведения частиц загрязнений и изучения влияния сил, действующих в процессе очистки на компоненты загрязнений рабочих поверхностей подшипника.

качестве объекта исследования был выбран шарикоподшипник серии 203. Характер потока моющей жидкости, проходящей через подшипник, поддерживался турбулентным, как наиболее распространенный в известных методах и способах. Реализуется его способность эффективно реструктурировать загрязнения и удерживать их в потоке моющей среды.

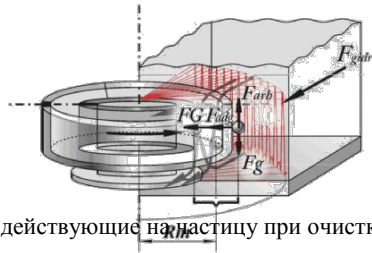


Рис. 1. Силы, действующие на частицу при очистке подшипника

учетом этих условий, следует обратить внимание на то, что при очистке известными методами на частицу, находящуюся на поверхности тракта качения подшипника, действуют следующие силы (рис.1): гравитационная составляющая  $F_g$ , сила Архимеда  $F_{arh}$ , сила гидродинамического сопротивления  $F_{gidro}$ , сила адгезии  $F_{adg}$ , магнитная составляющая доменов  $F_m$ .

Гравитационные силы отражают взаимодействие двух тел с массами  $m_1$  и  $m_2$

$$F_g = \frac{m_1 m_2}{r^2}, \text{ (Н)}, \quad (1)$$

где  $6,67 \cdot 10^{-11} \frac{\text{м}^3}{\text{кг}^2 \text{с}^2}$ ,  $r$  – расстояние между телами.

В качестве моющей среды преимущественно используются углеводородные жидкости поверхностно активные вещества. Керосины относят к низкомолекулярным углеводородным соединениям. Молекулы керосина в среднем содержат 8 метиленовых групп (рис. 2).

Таким образом, расстояние между поверхностями, смоченными мономолекулярным слоем керосина составит 1,774 нм. Масса частицы диаметром 0,1–10 мкм находится в диапазоне  $0,4 \cdot 10^{-21}$ – $0,4 \cdot 10^{-14}$  кг. С учетом этих значений из формулы (1) следует, что для частицы загрязнения размером 0,1–10 мкм гравитационная составляющая в среде керосина для случая с подшипником серии 208 (масса внутреннего кольца – 0,038 кг) будет находиться в диапазоне от  $3,23 \cdot 10^{-16}$  до  $3,23 \cdot 10^{-9}$  Н и зависит от размера частицы.

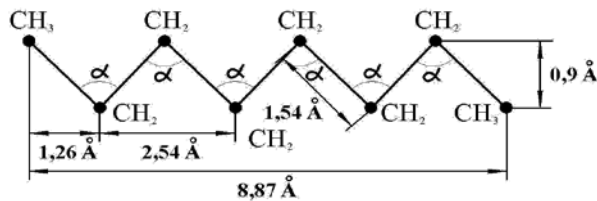


Рис.2. Структура молекулы керосина

Силу Архимеда  $F_{arh}$ , действующую на частицу в промывающем растворе, описывает выражение

$$F_{arh} = \rho q V. \quad (2)$$

Силы гравитационного притяжения Земли, действующие на частицы загрязнения, определяются их размерами  $F = m g_0$ , и составляют для указанных выше условий  $0,39 \cdot 10^{-20}$ – $0,39 \cdot 10^{-13}$  Н. С учетом разделения частиц загрязнений мономолекулярным слоем керосина, адгезионной составляющей силы можно пренебречь. Силы Ван-дер-Ваальса проявляются на



расстоянии диаметров атомов. Так как расстояние между поверхностями частицы и обоймы не менее 2-х длин молекул керосина, то силами межатомного притяжения также можно пренебречь.

Согласно формуле Н.Е. Жуковского сила лобового сопротивления частицы сферической формы в потоке моющей среды определяется формулой

$$F_x = 0,2 \pi d_c^2 \rho u^2 \quad (3),$$

где  $d_c$  – диаметр частицы, м;  $\rho$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;  $u$  – скорость потока жидкости относительно частицы, м/с.

в случае использования в качестве моющей среды керосина при скорости потока  $u = 1,2$  м/с, достаточной для образования турбулентного характера течения в каналах подшипника качения, сила лобового сопротивления рассматриваемой частицы составит от  $7,24 \cdot 10^{-12}$  до  $7,24 \cdot 10^{-8}$  Н.

Исходя из вышеизложенного, основной силой, воздействующей на загрязнения в процессе очистки поверхности, является гидродинамическая сила. Экспериментальное и теоретическое исследования подтверждают уменьшение скорости движения моющей жидкости в приграничных слоях, а также то, что значительное количество особо мелких частиц затенено неровностями поверхности. Существенно, что шероховатость может служить и турбулизатором потока. Наличие в таком течении поперечных пульсаций скоростей жидкости (в поперечном сечении) способствует переносу твердых частиц в массу моющей среды и поддержанию их во взвешенном состоянии.

При условии формирования взвеси фрагментов загрязнения обеспечивается перемещение элементарных объемов жидкости указанными пульсациями скоростей  $v_{oz}$ . Следовательно, сила сопротивления подъему  $F_y$  определяется формулой

$$F_y = 3\pi \mu d_c v_{oz} \quad (4)$$

где  $\mu$  – коэффициент динамической вязкости, м·л·кг·с<sup>-2</sup>;  $d_c$  – диаметр частицы, м;  $v_{oz}$  – скорость поперечной пульсации, м/с.

Тогда, для частиц диаметром  $0,1-10 \cdot 10^{-6}$  м в керосине (при 20 °С  $\mu = 12,8$ ;  $\rho = 800$  кг/м<sup>3</sup>) при  $u = 1,2$  м/с сила сопротивления подъему состави  $1,5 \cdot 10^{-5}-1,5 \cdot 10^{-3}$  Н. Следовательно, при определенном значении скорости  $v_{oz}$  (степени турбулизации потока) худшие условия для подъема в потоке будут для крупных и тяжелых частиц взвеси. При ламинарном течении жидкости ( $v_{oz} = 0$ ) подъем частиц и удержание их в объеме во взвешенном состоянии сильно затруднено.

учетом этого фактора гидродинамическая составляющая воздействующих сил примет вид

$$\vec{F} = \vec{F}_x + \vec{F}_y \quad (5)$$

где  $F_x$  и  $F_y$  – векторные составляющие силы по осям  $x$  и  $y$  соответственно.

Анализ литературных источников, а также результаты проведенных авторами экспериментов показали, что на границах доменов конструкционных материалов имеют место достаточно сильные магнитные поля, что вместе с остаточной намагниченностью деталей значительно препятствует отрыву и удалению из рабочих поверхностей частиц загрязнений ферромагнитной природы. С учетом этого рассматриваемую систему можно представить совокупностью пар диполей (рис.3.).

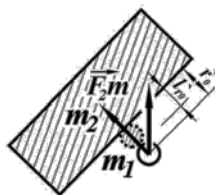


Рис. 3. Магнитное взаимодействие частицы загрязнения ферромагнитной природы с обоймой подшипника

Для частицы  $m_1$  загрязнения, на поверхности которого магнитная индукция  $B$  составляет 10 мТл (при допущении идентичности материала загрязнения и деталей подшипника), напряженность магнитного поля будет иметь вид:

$$H = \frac{B}{\mu_0 \mu_m} 1,45 (A / м), \quad (6)$$

где  $\mu_m$  – магнитная проницаемость материала. Тогда намагниченность будет соответствовать

$$M_m = \frac{B}{\mu} H 7956,3 (A / м) \quad (7)$$

Для рассматриваемой частицы с объемом  $V_{m1}$  в диапазоне от  $5,24 \cdot 10^{-22}$  до  $5,24 \cdot 10^{-16}$  м<sup>3</sup> и объема обоймы подшипника  $V_{m2} = 4,9 \cdot 10^{-6}$  м<sup>3</sup> момент диполя равен

$$P = M_m V q l, \quad (8)$$

где  $V$  – объем частицы либо обоймы подшипника,  $q$  – заряд диполя,  $l$  – плечо диполя.

Магнитная сила взаимодействия частицы в поле внутреннего кольца подшипника составит

$$F_m = \frac{\mu_0 q_1 H}{4\pi} \quad (9)$$

и для рассматриваемого случая будет принимать значения от  $2,9 \cdot 10^{-14}$  до  $2,9 \cdot 10^{-7}$  Н.

Таким образом, отрыв частиц загрязнений размером менее 5 мкм с деталей сложных и затененных рабочих поверхностей, а также удержание их во взвеси мощного раствора крайне затруднено.

Причиной снижения эффективности очистки известными методами есть сложный профиль полостей трибосистем качения, затрудняющий удаление частиц микро-, субмикро- и наноразмера.

Сопоставление сил удержания частиц загрязнений на поверхностях трибосистем качения подтвердило необходимость особого рассмотрения магнитного взаимодействия исследуемых объектов на доменном уровне.

#### РЕФЕРАТ

*Олексій Куцев, Іван Матвеев, Олена Ковальчук, Віктор Коба,  
Національний авіаційний університет, stelmah@nau.edu.ua*

#### **ФІЗИКА ПРОЦЕСУ БЕЗКОНТАКТНОЇ МАГНІТНО-ТУРБУЛЕНТНОЇ ОЧИСТКИ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ**

Показано, що найбільш ефективним способом очистки тертьових поверхонь підшипників кочення є безконтактна магнітно-турбулентна дія як на поверхні, так і на мікрочастинки феромагнітної та іншої

природы, а физика процессу такої очистки полягає в перемагнічуванні поверхонь тіл різної маси з фіксованою частотою.

**Ключові слова:** підшипники кочення, магнітно-турбулентна очистка.

#### РЕФЕРАТ

*Алексей Куцнев, Иван Матвеев, Елена Ковальчук, Виктор Коба,  
Национальный авиационный университет, stelmah@nau.edu.ua*

#### ФИЗИКА ПРОЦЕССА БЕСКОНТАКТНОЙ МАГНИТНО-ТУРБУЛЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Показано, что наиболее эффективным способом очистки трущихся поверхностей подшипников качения является бесконтактное магнитно-турбулентное воздействие как на поверхности, так и на микрочастицы ферромагнитной и другой природы, а физика процесса такой очистки заключается в перемагничивании поверхностей тел различной массы с фиксированной частотой.

**Ключевые слова:** подшипники качения, магнитно-турбулентная очистка.

#### ABSTRACT

*Alexey Kushchev, Ivan Matvieiev, Elena Kovalchuk, Victor Koba, National Aviation  
University, stelmah@nau.edu.ua*

#### PHYSICS OF THE CONTACTLESS MAGNETIC TURBULENCE CLEANING OF ROLLING BEARINGS

It is shown that the most effective way to clean the friction surfaces of rolling bearings, is a contactless magnetic turbulent effect on both the surface and the microparticles of ferromagnetic and other origin, and the physics of such purification process is based on magnetic reversal of surfaces of bodies of different masses with fixed frequency.

**Key words:** rolling bearings, magnetic turbulent cleaning.

УДК 629.7.058(043.2)

#### I-22. ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

*Валерий Шмаров, Александр Стельмах, Владимир Бондарь, Алексей Вакалюк*

Применение новейших технологий при разработке ГСМ приводит к значительному уменьшению износа деталей трибосистем с увеличением контактных нагрузок и нуждается в выполнении большого объема трибологических испытаний. Для уменьшения погрешности испытаний и корректной оценки эффективности ГСМ необходима надежная, высокоточная контрольно-измерительная аппаратура, а также обеспечение высокой воспроизводимости условий их проведения. Соответственно разработка новых средств и методов для повышения достоверности результатов трибоиспытаний актуальна как в научных, так и прикладных аспектах.

**Цель** – повышение эффективности трибологических исследований путем автоматизации приборов трения современными программно-аппаратными модулями.

**Новизна** заключается в разработке специальных оптимизированных электронных модулей для автоматизации машины трения АСК-01.

Современный этап развития науки характеризуется переходом на качественно новый уровень исследований, который определяется широким использованием средств и методов сбора, анализа, обработки и передачи информации, а также формирования баз данных. Применение такого подхода освобождает исследователя от рутинной работы при поиске информации для решения поставленных задач.

настоящее время при разработке и проектировании автоматизированных систем используют модули программированных контроллеров ведущих производителей, таких как: Advantech, Action Instruments, Control Microsystems, National Instruments и других.

Программируемые контроллеры имеют открытую архитектуру, широкую номенклатуру

интеллекту-альных модулей ввода/вывода, каналы связи с интерфейсами RS-232, RS-485, Ethernet, встроенные функции архивации. Современные контроллеры значительно расширяют возможности систем автоматизированного управления, так как могут обеспечить реализацию практически всех необходимых функций: сбора, обработки, хранения информации, контроля и управления технологическими процессами, индикации значений параметров, предупредительной и аварийной сигнализации и т.п.

Центральным элементом информационно-управляющей системы стает программное обеспечение, которое позволяет оперативно формировать разнообразные алгоритмы управления исполнительными устройствами и модулями сбора информации. На основе технологии SCADA-систем, таких как LabViem, Trace Mode 5, Genesis32, InTouch7.1, Citect, iFix создают информационно-измерительные системы, системы диагностирования, идентификации, автоматические системы управления и др.

Несмотря на всю универсальность SCADA-систем использование программируемых контроллеров ведущих фирм экономически нецелесообразно. Так, при исследовании физических, химических и других свойств конструкционных и ГСМ в ходе разработки и применения новых методик испытаний в научно-исследовательских лабораториях возникает необходимость автоматизации испытательной системы для корректной оценки триботехнических свойств материалов путем контроля и управления режимами с использованием методов математического моделирования на основе ряда исходных параметров.

Программно-аппаратный комплекс управления и контроля процесса трибологических испытаний является совокупностью базы данных и всего комплекса аппаратных, программных средств накопления, обработки, а также хранения информации. Экспериментально полученные результаты, характеризующие эксплуатационные свойства тех или других ГСМ и присадок к ним, подлежат последующей обработке с применением современных приемов систематизации данных средствами вычислительной техники.



Рис. 1. Структурная схема программно-аппаратного комплекса

В состав программно-аппаратного комплекса входят (рис. 1.)

машина трения АСК-01, в которую интегрированы датчики, модули первичной обработки информации, построенные по известному принципу работы и на основе аппаратных и программных модулей системы активного контроля параметров энергосиловых установок и аппаратно-программной информационно-измерительной системы, исполнительные устройства, модули формирования сигналов для их управления;

персональный компьютер со специализированным пакетом программ обработки, хранения, изменения и поиска экспериментально полученных данных, характеризующих эксплуатационные свойства тех или других ГСМ.

Специализированный программный пакет обеспечивает:  
управление исполнительными устройствами в ручном или в автоматическом режимах;

обработку и визуальное отображение информации о процессах, протекающих при трении скольжения в испытуемом ГСМ;

сохранение измерительной информации в электронном виде, создание базы данных, документальное оформление протоколов проведенных испытаний смазок.

В данном комплексе реализуются следующие возможности программного обеспечения (рис. 2):

1. Управление, контроль и отображение рабочих параметров и режимов машины трения АСК-01:

механические (частота оборотов вала, путь трения, скорость подачи испытуемого ГСМ, количество оборотов, контактные нагрузки, скорость нагрузки);

системы охлаждения и нагрева ГСМ.

Отображение экспериментально определяемых и расчетных характеристик, а также параметров испытания ГСМ:

температура ГСМ на входе и выходе из контакта;

сила трения, коэффициент трения и крутящий момент;

радиально-осевое отклонение рабочей поверхности контрообразца;

параметры окружающей среды.

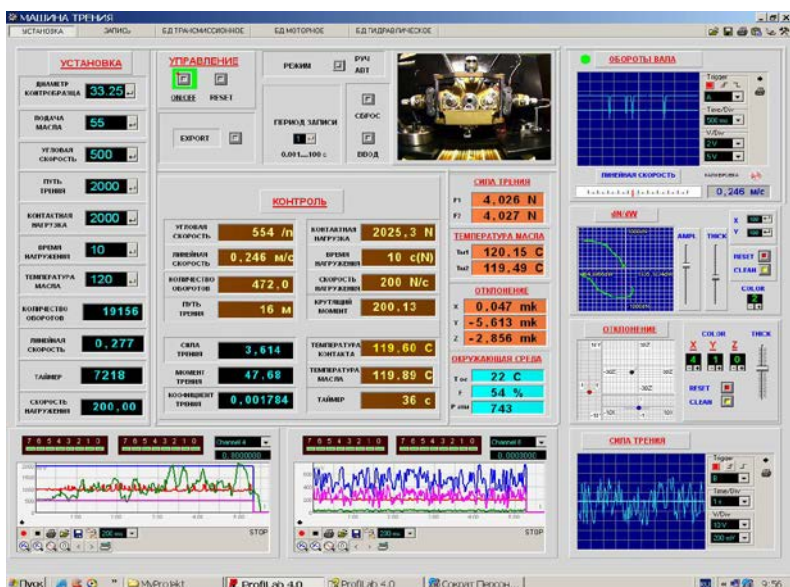


Рис. 2. Внешний вид графического интерфейса программы

Графический интерфейс в совокупности с программными модулями математической обработки экспериментальных данных позволяют создать наглядную, удобную и относительно простую систему управления режимами трения скольжения и регистрации триботехнических параметров. Интерфейс программы обеспечивает возможность визуально наблюдать в реальном времени основные графические зависимости, в том числе силы трения, углы абсолютного отклонения контрообразца относительно трехкоординатных осей, нагрузочные и скоростные характеристики. Специализированные подпрограммы, отвечающие за проведение лабораторных испытаний в соответствии с предварительно

разработанной и апробированной экспресс-методикой, дают возможность производить сравнительную оценку противоизносных и антифрикционных свойств ГСМ с учетом параметров шероховатости поверхностей трения.

Программно-аппаратный комплекс управления и контроля процесса трибологических испытаний позволяет воспроизводить с высокой точностью процесс испытаний, а также возможность формировать электронный массив данных триботехнических характеристик ГСМ и присадок к ним (рис. 3), что является предметом интереса предприятий разработчиков, производителей и потребителей товарных смазочных материалов.

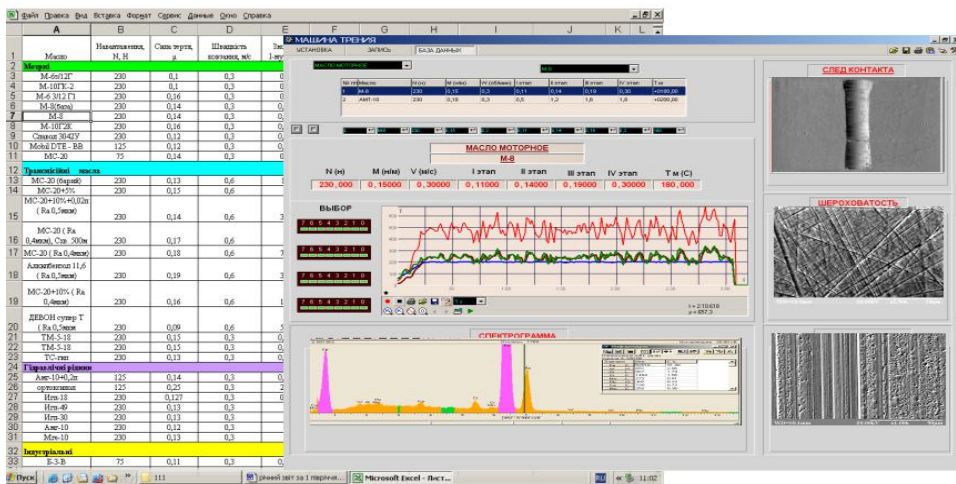


Рис. 3. База данных триботехнических свойств ГСМ

Таким образом, использование аппаратных и программных модулей систем в машине трения АСК-01 с разработанными программными модулями математической обработки экспериментальных данных и формирования алгоритма управления позволило за короткое время и с минимальными финансовыми и аппаратными затратами спроектировать и создать эффективный, удобный и относительно простой программно-аппаратный комплекс управления и контроля процесса трибологических испытаний. Комплекс обеспечивает возможность оптимизировать режимы трения скольжения и регистрацию триботехнических параметров ГСМ, исключая человеческий фактор (субъективное принятие решений) при проведении испытаний.

Интерфейс программного обеспечения позволяет формировать алгоритмы управления по заданным входным параметрам. Визуальное наблюдение в реальном времени необходимых графических зависимостей, в том числе силы трения, крутящего момента, температуры в контакте, углов абсолютного отклонения контрообразца относительно горизонта, и др. разрешает проводить сравнительную оценку ГСМ при различных режимах испытаний.

Для проведения испытаний ГСМ на программно-аппаратном комплексе разработана и апробирована методика, разрешающая в лабораторных условиях исследовать моторные и трансмиссионные масла со штатными присадками. Методика предусматривает получение сравнительных оценок противоизносных и антифрикционных свойств ГСМ с учетом конфигурации шероховатости рабочих поверхностей и дает возможность подобрать оптимальные компоненты трибосистем для повышения их ресурса и надежности.

Программно-аппаратный комплекс управления и контроля процесса трибологических испытаний в совокупности с лазерным сканирующим дифференциально-фазовым микроскопом-профилометром ЛДФСМП, растровым электронным микроскопом РЭМ-106И, а также многоступенчатыми методиками лабораторных испытаний обеспечивают формирование электронной базы данных триботехнических характеристик ГСМ и присадок к ним, что является предметом особого внимания предприятий, разработчиков, производителей и потребителей товарных смазочных материалов.

#### РЕФЕРАТ

*Валерій Шмаров, Олександр Стельмах, Володимир Бондар, Олексій Вакалюк,  
Національний авіаційний університет, stelmah@nau.edu.ua*

#### ПРОГРАМНО-АППАРАТНИЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛІННЯ І КОНТРОЛЮ ПРОЦЕСУ ТРИБОЛОГІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ

Розглядається програмно-апаратний комплекс управління та контролю процесу трибологічних випробувань у сукупності з лазерним скануючим диференційно-фазовим микроскопом-профіло-метро ЛДФСМП, растровим електронним микроскопом РЕМ-106И, а також багатоступінчастими методиками лабораторних випробувань. Комплекс забезпечує формування електронної бази даних триботехнічних характеристик паливно-мастильних матеріалів і присадок до них, що є предметом особливої уваги підприємств-розробників, виробників і споживачів товарних мастильних матеріалів.

**Ключові слова:** трибологічні випробування, експлуатаційні властивості, програмно-апаратний комплекс.

#### РЕФЕРАТ

*Валерий Шмаров, Александр Стельмах, Владимир Бондарь, Алексей Вакалюк,  
Национальный авиационный университет, stelmah@nau.edu.ua*

#### ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Рассматривается программно-аппаратный комплекс управления и контроля процесса трибологических испытаний в совокупности с лазерным сканирующим дифференциально-фазовым микроскопом-профилометром ЛДФСМП, растровым электронным микроскопом РЭМ-106И, а также многоступенчатыми методиками лабораторных испытаний. Комплекс обеспечивает формирование электронной базы данных триботехнических характеристик горюче-смазочных материалов и присадок к ним, что является предметом особого внимания предприятий, разработчиков, производителей и потребителей товарных смазочных материалов.

**Ключевые слова:** трибологические испытания, эксплуатационные свойства, программно-аппаратный комплекс.

#### ABSTRACT

*Valery Shmarov, Alexander Stelmakh, Vladimir Bondar, Alexei Vakalyuk,  
National Aviation University, stelmah@nau.edu.ua*

#### SOFTWARE AND HARDWARE SYSTEM OF THE MANAGEMENT AND CONTROL OF TRIBOLOGICAL TESTING PROCESS

The hardware and software system of management and control of tribological testing process in conjunction with the laser scanning microscope of differential-phase-profilometer LDFSMP, scanning electron microscope SEM-106I, as well as multi-stage methods of laboratory testing, are considered. The complex provides the formation of an electronic database of the tribotechnical characteristics of lubricants and additives, it is the subject of specific attention of industrial developers, manufacturers and consumers of commodity lubricants.

**Key words:** tribological tests, performance characteristics, hardware and software system.

**I-23. РЕГЕНЕРАЦІЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛИВ**

*Антоніна Кустовська, Валерій Єфіменко, Наталія Атаманенко, Олександр Єфіменко*

Проблема екологічної безпеки застосування мастильних матеріалів невід'ємна від утилізації відпрацьованих олиव, які на теперішній час спричиняють найбільший негативний вплив на довкілля.

За цих умов повторне використання відпрацьованих олив після їх регенерації має вкрай важливе значення як в екологічному, так і в економічному сенсі. Сутність регенерації полягає в очищенні оливи від механічних домішок та води, відгонці паливних фракцій, а також видаленні органічних кислот, смол та інших продуктів окиснення, доведення складу регенованої оливи до необхідних норм додаванням присадок. Із 100 тонн відпрацьованих олив можливо одержати 60–80 тонн регенованого продукту, тоді як із 100 тонн нафтової сировини – усього 10 тонн свіжих олив та мастил.

таких країнах, як Німеччина, Бельгія, Італія понад 50 % відпрацьованих олив від збору надходить на установки регенерації, тоді як в Україні 90 % обсягів цієї сировини скидається в навколишнє середовище або використовується некваліфіковано.

Основними критеріями заміни будь-якої оливи, окрім спрацювання пакету присадок, утворення продуктів окиснення. Нагрівання олив, навіть до їх експлуатаційних температур, за наявності кисню зменшує термоокиснювальну стабільність вуглеводнів призводить до виникнення твердої фази у вигляді осаду і смол, що, відкладаючись на деталях масляної системи, змінюють її змащувальні характеристики та викликають забруднення фільтрів, знижують ефективності теплообмінних пристроїв. Тому, в процесах регенерації відпрацьованих моторних олив вирішальне значення має їх очистка від кислих продуктів та смол.

Для регенерації відпрацьованих нафтових олив застосовують різноманітні фізичні, фізико-хімічні і хімічні процеси, що полягають у видаленні з них продуктів старіння та забруднень і відновленні фізико-хімічних показників якості та експлуатаційних властивостей. До таких процесів належать: термічні (піроліз, газифікація), кислотне та лужне очищення, гідрогенізаційні процеси, коагуляція, адсорбційне, біологічне очищення тощо.

Одним із таких процесів є окисаційне очищення. На кафедрі хімічної технології переробки нафти та газу НУ «Львівська політехніка» запропоновано та розроблено лабораторну установку термоокиснювальної регенерації відпрацьованих моторних олив.

Ідея процесу термоокиснювальної регенерації полягає в доокисненні цих продуктів у жорстких умовах до утворення асфальтово-смолистих речовин і відділення їх вакуумною перегонкою. Унаслідок цього передбачається зменшення вмісту у відпрацьованих оливах первинних продуктів окиснення та відновлення їх експлуатаційних показників.

На думку самих же авторів неоліком запропонованого методу регенерації олив є те, що його не можна використовувати як самостійний метод, доцільним є застосування як однієї зі стадій багатоступеневого процесу регенерації в поєднанні з відомими сорбційними або гідрогенізаційними методами.

Сьогодні одним з найбільш економічних і ефективних способів зниження кислотності нафтопродуктів може бути адсорбційна очистка олив і мастил природними алюмосилікатами. Україна, на території якої містяться широкі поклади цих мінералів, має бути зацікавлена в розробці і вдосконаленню саме цих технологій.

Метою роботи є оптимізація підходів до вибору способу підготовки природного адсорбенту та підвищення ефективності його використання для зменшення кислотності нафтопродуктів.



Нами було досліджено зразки породи Черкаського палигорськіту різного гранулометричного складу природні і хімічно активовані (табл. 1). Хімічний склад вихідної породи:  $\text{SiO}_2$  – 52,85;  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 10,53;  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 7,86;  $\text{MgO}$  – 7,21;  $\text{CaO}$  – 0,30;  $\text{Na}_2\text{O}$  – 0,38;  $\text{H}_2\text{O}$  – 9,94;  $-\text{H}_2\text{O}$  – 9,75 (% мас.).

Таблиця 1

Технологічні характеристики зразків адсорбенту		
№	Фракційний склад, мм	Хімічна активація
1	0,50 – 1,00	–
2	0,50 – 1,00	1М НСІ, 6 год, 96 <sup>o</sup> С
3	0,075 – 0,25	–

Адсорбційну очистку проводили методом перколяції (співвідношення діаметра до висоти адсорбційної колонки – 1/17, термостатування за 50<sup>o</sup>С). Очистці піддавали турбінну оливу Тп-22С. Концентрація кислих сполук в досліджуваній оливі – 1,753 м-екв/дм<sup>3</sup>. Кислотність оливи визначали методом потенціометричного титрування. Ступінь очищення оливи від продуктів окиснення визначали вимірюванням оптичної густини очищеної оливи відносно вихідного зразка.

Нами було проведено дослідження адсорбції на природному палигорськіті сполук кислого характеру (рис. 1), та порівняння її з адсорбцією смол і осадів (рис. 2). Попередня підготовка адсорбенту суттєво впливає на якість очищення оливи від кислот (рис. 1). Так, при зміні гранулометричного складу від 0,5–1,0 (крива 1) до 0,075–0,250 мм (крива 2) ефективність адсорбенту суттєво зростає.

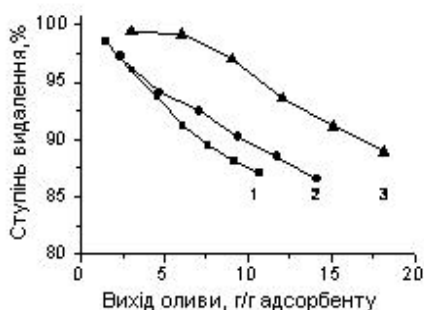


Рис. 1. Залежність ступеня видалення адсорбентом сполук кислого характеру від виходу очищеної оливи (нумерація кривих відповідає номерам зразків табл. 1)

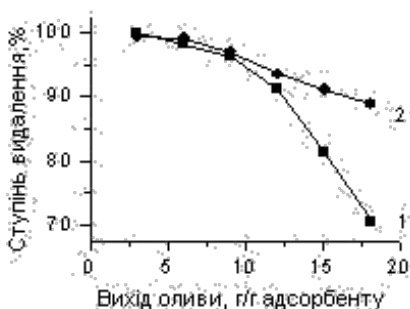


Рис. 2. Видалення смол і осадів (1) та кислот (2) в процесі перколяційної очистки

коли врахувати, що адсорбенти не піддавались попередній термічній обробці, то для термоактивованих за 200 °С зразків можна очікувати багато кращих результатів завдяки збільшенню концентрації високоенергетичних адсорбційних центрів в результаті видалення адсорбованих з повітряносухого палигорського молекул води.

Порівняння кривих 1 і 2 (рис. 1) дозволяє зробити висновок, що кислотна активація майже не впливає на здатність адсорбента вилучати кислоти з оливи. Це можна пояснити перебіганням двох взаємопротилежних процесів: з одного боку зовнішня поверхня адсорбенту стає більш розвиненою, з іншого боку зменшується кількість активних адсорбційних центрів.

Нами було проведено дослідження селективності адсорбенту до смол і осадів (рис. 2). Порівняльна характеристика показала, що палигорський виявляє більшу селективність до кислот (крива 2), ніж до продуктів їх поліконденсації – смол і осадів (крива 1).

Таким чином, встановлено, що застосування природних алюмосилікатів дозволяє ефективно очищати оливи від сполук кислого характеру. Природний палигорський без термоактивації вилучає до 90% кислот.

Показано, що зразок гранулометричного складу 0,075–0,25 мм більш ефективний, ніж – 0,5–1,0 мм. Подальше подрібнення адсорбента є недоцільним з технологічної точки зору – зменшення розміру гранул призводить до зниження швидкості процесу перколяції.

Відзначено високу активність дослідженого зразка в процесі видалення кислот без попередньої кислотної активації. Це дозволяє вилучити стадію кислотної активації з процесу підготовки адсорбенту.

#### РЕФЕРАТ

*Антоніна Кустовська, Валерій Єфименко, Наталія Атаманенко, Олександр Єфіменко,  
Національний авіаційний університет, e.valeri.ua@mail.ru*

#### РЕГЕНЕРАЦІЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛИВ

Розглянуті питання, пов'язані з можливістю використання природного сорбенту – палигорського Черкаського родовища – в процесах очищення відпрацьованих олив. Досліджено вплив гранулометричного складу і попередньої хімічної активації на адсорбційну активність мінералу по відношенню до сполук кислого характеру та продуктів їх конденсації в процесі перколяції. Показано, що палигорський дозволяє ефективно очищати оливу від сполук кислого характеру, навіть без попередньої термічної активації. При цьому він виявляє більшу селективність до кислот, ніж до продуктів їх конденсації.

**Ключові слова:** відпрацьовані оливи, регенерація, очистка, палигорський.

#### РЕФЕРАТ

*Антонина Кустовская, Валерий Ефименко, Наталья Атаманенко, Александр Ефименко,  
Национальный авиационный университет, e.valeri.ua@mail.ru*

#### РЕГЕНЕРАЦИЯ ТА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ

Рассмотрены вопросы, связанные с возможностью использования природного сорбента – палигорскита Черкасского месторождения – в процессах очистки отработанных масел. Исследовано влияние гранулометрического состава и предварительной химической активации на адсорбционную активность минерала по отношению к соединениям кислого характера и продуктам их конденсации в процессе перколяции. Показано, что палигорскит позволяет эффективно очищать масло от соединений кислого характера, даже без предварительной термической активации. При этом он проявляет большую селективность к кислотам, чем к продуктам их конденсации.

**Ключевые слова:** отработанные масла, регенерация, очистка, палигорскит.

#### ABSTRACT

*Antonina Kustovska, Valery Efimenko, Natalia Atamanenko, Alexander Efimenko, National Aviation University, e.valeri.ua@mail.ru*

#### REGENERATION AND OPERATION OF DEPLETED OILS

The problems concerning the possibility of using natural sorbent paligorskite of Cherkassy deposit, in processes of depleted oil treatment, are discussed. Influence of granulometric composition and preliminary

chemical activation on mineral's adsorption activity in relation to acidic compounds and their condensation products in the percolation process, are investigated. It is shown that paligorskite can effectively treat oils from acidic compounds, even without prior thermal activation. Besides, it shows greater selectivity towards acids, than towards their condensation products.

**Key words:** waste oils, regeneration, treatment, paligorskite.

УДК 662.769.7(043.2)

## I-24. WODÓR JAKO ALTERNATYWNE PALIWO DO SILNIKÓW SPALINOWYCH

*Kazimierz Lejda, Sergii Boichenko*

### 1. WPROWADZENIE

Struktura wykorzystania pierwotnych nośników energii aktualnie bardzo szybko ulega zmianie. Główne źródło pozyskiwania energii jest realizowane w procesach spalania paliw stałych, płynnych i gazowych. Jest to tzw. energia konwencjonalna, wykorzystująca nieodnawialne zasoby, tzn. węgiel kamienny i brunatny, ropę naftową oraz gaz ziemny. Wykorzystanie tej energii wymaga jednak wielu skomplikowanych procesów, które kolejno obejmują: wydobycie surowca energetycznego, jego przeróbkę oraz wykorzystanie w odpowiednich technologiach spalania do celów praktycznych.

Według szacunkowych danych w roku 2010 zużycie ropy naftowej pokrywało ok. 34 % potrzeb energetycznych świata, gazu ziemnego w ok. 23 %, węgla w ok. 28 %, energii jądrowej i wodnej w ok. 12 %, natomiast paliwa alternatywne jedynie w ok. 3 %.

Pośród pierwotnych źródeł energii ropa naftowa jest surowcem, który w sposób decydujący wpływa na bezpieczeństwo energetyczne poszczególnych krajów i regionów świata. Ocenia się natomiast, że przy obecnym tempie wydobycia jej zasoby mogą zostać wyczerpane już po 60–100 latach, według różnych szacunków.

Oprócz wymienionych źródeł energii pierwotnej do tej grupy zaliczamy również energię jądrową, której udział w bilansie energetycznym świata systematycznie rośnie. W tym przypadku jednak energię uzyskujemy w wyniku zachodzących reakcji a nie podczas spalania surowców.

Spalanie paliw kopalnych w tak dużych ilościach, które wynikają z rozwoju gospodarki światowej, powoduje destrukcyjne oddziaływanie na otaczające nas środowisko naturalne. Dotyczy to w sposób zasadniczy zanieczyszczenia powietrza produktami spalania, głównie dwutlenkiem węgla CO<sub>2</sub>. Przez długi okres czasu w przeszłości wśród specjalistów panowało przekonanie, że CO<sub>2</sub> jest gazem naturalnym i stanowi ważne ogniwo obiegu węgla w przyrodzie. Gwałtowny wzrost stężenia dwutlenku węgla w atmosferze w XX wieku, wynikający z rozwoju prawie wszystkich branż gospodarki światowej, uzmysłowił decydentom gospodarczym i politycznym o poważnym zagrożeniu, jaki niesie ze sobą ten produkt spalania. Jest on jednym z głównych gazów, który odpowiada za pogłębiający się efekt cieplarniany.

Spalanie kopalnych surowców energetycznych jest również bezpośrednią lub pośrednią przyczyną emisji innych zanieczyszczeń, takich jak tlenki azotu NO<sub>x</sub>, tlenek węgla CO, węglowodory HC, tlenki siarki SO<sub>x</sub>, cząstki stałe PM (Particulate Matter) i inne. Oprócz CO<sub>2</sub> coraz większego znaczenia nabiera również emisja SO<sub>x</sub> i NO<sub>x</sub>, które są m.in. przyczyną „kwaśnych deszczy” powodujących działanie erozyjne na grunty, lasy i architekturę budowlaną.

Coraz bardziej dostrzega się konieczność pozyskiwania energii ze źródeł niekonwencjonalnych. Są to odnawialne źródła energii, które występują w przyrodzie, jak woda, słońce, wiatr, ewentualnie pochodzące z działalności ludzkiej, jak biomasa, biogaz itp. Troska o środowisko naturalne, począwszy od lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku, znacznie zwiększyła zainteresowanie odnawialnymi źródłami energii. W kilku krajach o wysokim stopniu rozwoju gospodarczego i społecznego doprowadziło to do opracowania metod pozyskiwania energii z wymienionych źródeł na zaawansowanym poziomie technologicznym. Podpisanie Protokołu w

Kioto w grudniu 1997r., dotyczącego przeciwdziałania ociepleniu klimatu spowodowało, że odnawialne źródła energii weszły w nowy i ważny etap rozwoju.

Bogactwo otaczającej nas energii odnawialnej jest ogromne. Jak podają niektóre źródła, według wiarygodnych szacunków, wykorzystanie tylko energii płynących rzek mogłoby zaspokoić ok. 80 % światowego popytu na energię (aktualnie dostarczają ok. 1–2 %). Wykorzystanie energii wiatrowej mogłoby zapewnić do 5 % światowego zapotrzebowania, a energii prądów morskich prawie połowę światowych potrzeb energetycznych. Z pewnością największym źródłem energii jest słońce. Roczna ilość dostarczanej przez słońce energii dochodzącej do naszego globu jest ponad 10 000 razy większa niż cała energia potencjalnych palnych zasobów naszej planety (tzn. węgla, drewna, gazu i ropy naftowej).

Podstawowym współczesnym źródłem energii wykorzystywanym do napędu środków transportu są paliwa pochodzące z ropy naftowej – benzyna i olej napędowy. Szacuje się, że popyt na ropę naftową przez kraje OECD (Organization for Economic Cooperation and Development - Organizacja Współpracy Gospodarczej i Rozwoju) osiągnie maksimum za ok. 20 lat. W krajach spoza tej organizacji wzrost zapotrzebowania może trwać nieco dłużej, z uwagi na większy przyrost liczby pojazdów w stosunku do krajów rozwiniętych, gdzie występuje nasycony rynek motoryzacyjny. Przewiduje się, że popyt na paliwo przez kraje spoza OECD w 2030r. przewyższy zapotrzebowanie państw należących do tej organizacji.

Obecnie po drogach całego świata porusza się ok. 760 mln samochodów, a szacunki analityków motoryzacyjnych prognozują prawie 3-krotny wzrost tej liczby do roku 2050. Jest to branża gospodarki będąca olbrzymim konsumentem energii, opartej w ok. 97 % na bazie produktów z ropy naftowej. Środki transportu samochodowego są aktualnie odbiorcą ok. 25 % łącznej światowej produkcji energii.

Przytoczone dane odnośnie prognoz zapotrzebowania na energię przez rozwijający się sukcesywnie transport samochodowy (indywidualny i zbiorowy osób oraz przewóz towarów) zmuszają do refleksji nad dalszym rozwojem branży motoryzacyjnej. Prowadzone są intensywne badania przez koncerny samochodowe, korporacje paliwowe oraz ośrodki naukowo-badawcze prowadzące prace rozwojowe dotyczące środków transportu, nad alternatywnymi źródłami energii do ich napędu. Jednym z potencjalnych źródeł tej energii może w najbliższej przyszłości stać się wodór, którego zasoby na naszym globie są praktycznie nieograniczone.

## **2. CHARAKTERYSTYKA WŁAŚCIWOŚCI WODORU**

Wodór jest najbardziej rozpowszechnionym pierwiastkiem chemicznym na kuli ziemskiej i jak dowodzą dotychczasowe badania, może być jednym z najlepszych nośników energii. Zasoby wodoru są olbrzymie, jednak jego wytworzenie wymaga dostarczenia energii z zewnątrz, ponieważ występuje głównie w związkach chemicznych. Stąd też nie jest traktowany jako źródło energii ale nośnik energii pozyskiwany różnymi metodami. Tendencje światowe do tworzenia źródeł energii w sposób przyjazny dla środowiska naturalnego zalecają ich produkcję z wykorzystaniem tzw. „czystej energii” (np. energii wiatrowej, słonecznej, wodnej itp.). Produkcja nie powinna zatem pochodzić ze źródeł powodujących degradację środowiska biologicznego, w jakimkolwiek stopniu zagrażającym organizmom ludzkim, faunie i florze. Na chwilę obecną najkorzystniejszymi metodami produkcji wodoru pozostaje elektroliza (wykorzystanie energii elektrycznej) oraz pozyskiwanie z biomasy (wykorzystanie źródeł odnawialnych). Koszty produkcji wodoru tymi technologiami są jednak aktualnie bardzo wysokie, niemniej stanowią perspektywę dla tego źródła energii wytwarzanego metodami przyjaznymi dla środowiska. Należy mieć świadomość, że energia elektryczna należy do kategorii tzw. „czystej energii”, natomiast jej wytworzenie w bilansie całościowym generuje do środowiska znaczną ilość zanieczyszczeń (elektrownie węglowe, gazowe, na paliwa ciężkie – mazut).

Zasadniczą zaletą przemawiającą za użyciem wodoru jako paliwa w pojazdach samochodowych jest jego obojętny wpływ na środowisko naturalne. Produktem spalania jest para wodna a nie dwutlenek węgla CO<sub>2</sub> oraz inne składniki pochodne tego procesu, charakterystyczne dla paliw węglowodorowych. Eliminuje to emisję CO<sub>2</sub> do atmosfery, który jest jednym z głównych

gazów potęgujących efekt cieplarniany i wynikające z tego powodu skutki zmian klimatycznych. Perspektywa skutecznej ochrony środowiska powinna stanowić podstawowy warunek dalszego rozwoju cywilizacyjnego.

Aktualnie wodór jest szeroko stosowany w różnych procesach chemicznych, w tym również w technologiach produkcyjnych benzyny i oleju napędowego, głównych źródeł napędu silników spalinowych w transporcie. Wykorzystanie wodoru do napędu środków transportowych jest natomiast aktualnie zbyt skromne, pomimo dużego zaangażowania instytucji naukowych i koncernów motoryzacyjnych w badaniach nad tą problematyką. Ciągłe nie zdecydowano jednoznacznie, w jakim kierunku należy aplikować wodór w celach transportowych. Istnieje bowiem możliwość zasilania silników spalinowych ciekłym lub gazowym wodorem, ewentualnie pojazdu bez silnika ogniwami paliwowymi.

### 2.1. Właściwości fizykochemiczne wodoru

Pod wieloma względami wodór jest pierwiastkiem o cechach wyjątkowych. Przede wszystkim, jest najbardziej rozpowszechniony we wszechświecie. Przykładowo, na jeden atom krzemu przypada w zaokrągleniu ok. 40000 atomów wodoru i stanowi on ok. 92,7 % liczby wszystkich występujących atomów (np. hel ok. 7,1 %, a pozostałe ok. 0,2 %). W tabeli 1 przedstawiono ilościowo rozpowszechnienie niektórych pierwiastków w naszej galaktyce.

Tabela 1

Rozpowszechnienie wodoru i innych pierwiastków we wszechświecie

Lp.	Pierwiastek	Rozpowszechnienie, liczba atomów
1	Wodór	40000
2	Hel	3100
3	Tlen	22
4	Neon	8,6
5	Azot	6,6
6	Węgiel	3,5
7	Krzem	1,0
8	Magnez	0,91
9	Żelazo	0,60

Zdecydowanie najwięcej wodoru występuje w wodzie, której zasoby na kuli ziemskiej praktycznie są niewyczerpalne. Stosunkowo mało jest go jednak w skorupie ziemskiej, gdzie szacunkowo określa się go na ok. 0,15 % oraz w atmosferze ziemskiej – ok. 0,1 ppm. Znaczne ilości wodoru występują natomiast w materii organicznej, związkach nieorganicznych i niektórych surowcach. Zawartość wodoru w niektórych wymienionych związkach i surowcach zawarto w tabeli 2.

Wodór jest najlżejszym pierwiastkiem chemicznym, którego masa atomowa wynosi 1,0078 (liczba atomowa 1). Jako pierwiastek posiada trzy izotopy: wodór (H), tryt (T), deuter (D). Izotop wodoru (H), będący składnikiem wody, występuje w bardzo dużych ilościach (ok. 99,99 %). Tryt

jest izotopem radioaktywnym, zawierającym dwa neutrony w jądrze a jego okres połowicznego rozpadu wynosi ok. 12,3 lat. Bardzo rzadko występuje w wodzie, gdzie jeden atom trytu przypada na 1018 atomów wodoru. Deuter (D) jest składnikiem tzw. „ciężkiej wody” (D<sub>2</sub>O), a jego rozpowszechnienie wynosi ok. 0,015 % (jedna cząsteczka D<sub>2</sub>O przypada na ok. 7000 cząstek H<sub>2</sub>O w zwykłej wodzie). Deuter ma zastosowanie jako moderator i chłodziwo w energetyce jądrowej.

W postaci gazowej wodór występuje w cząsteczkach dwuatomowych (jako H<sub>2</sub>). Jest produktem w procesie reformingu oraz krakingu katalitycznego benzyn, koksowania węgla, pirolizy olefinowej i innych pochodnych procesów chemicznych. Jest wytwarzany w procesach przerobczych odpadów komunalnych, przemysłowych, osadów ściekowych, biomasy oraz gazyfikacji odpadów rafinerijnych.

Zawartość wodoru w niektórych surowcach i związkach

Lp.	Związek/surowiec	Zawartość H <sub>2</sub> [% m/m]	Związek/surowiec	Zawartość H <sub>2</sub> [% m/m]
1	Woda	11,1	Węgiel brunatny	5–9
2	Amoniak	17,6	Węgiel kamienny	2–6
3	Siarkowódór	5,9	Smoła węglowa	5–6
4	Hydrazyna	12,5	Koks	0,2–2,0
5	Wodorek litowo-glinowy	10,5	Odpady komunalne	5,5–6,5
6	Borowodorek magnezu	14,8	Osady ściekowe	3,5–4,0
7	Cukry proste	6,7	Biomasa	4,6–6,5
8	Gaz ziemny	23–25	Olej z pirolizy biomasy	7,4–8,0
9	Ropa naftowa	9–13	Biogaz	16–18

O praktycznym wykorzystaniu każdego pierwiastka lub związku chemicznego decydują jego właściwości fizykochemiczne. Wodór, w zależności od temperatury, występuje w trzech stanach skupienia:

- ciekłym (14–20 K; –259 do –253 °C),
- gazowym (powyżej temp. wrzenia 20 K; –253 °C),
- stałym (poniżej temp. 14 K; –259 °C).

Biorąc pod uwagę przydatność wodoru jako paliwa energetycznego należy zwrócić uwagę, że w warunkach atmosferycznych jest on gazem, stąd zasadnicze trudności w jego użytkowaniu, wymagające magazynowania pod ciśnieniem lub w postaci tzw. cieczy kriogenicznej (ciecze w temperaturze poniżej 200K nazywane są kriogenicznymi). Występuje bowiem wyjątkowo wąski zakres stanu ciekłego wodoru (14 –20 K). Mając najmniejszą masę atomową ze wszystkich pierwiastków, wodór charakteryzuje się również najmniejszą gęstością, zarówno gazu oraz cieczy. Wodór gazowy o objętości 1m<sup>3</sup> stanowi jedynie ok. 84g, co w stosunku do gęstości powietrza wynosi zaledwie ok. 7 %. Natomiast 1m<sup>3</sup> ciekłego wodoru posiada masę ok. 70,8 kg i w stosunku do wody wynosi to również niecałe 7 %. Po rozprężeniu 1-go cm<sup>3</sup> ciekłego wodoru otrzymujemy ok. 850 cm<sup>3</sup> wodoru w postaci gazowej. Przytoczone dane są niezwykle istotne w przypadku aplikacji wodoru jako źródła napędu w środkach transportu.

Podczas spalania wodoru następuje wytwarzanie energii w postaci ciepła, a produktem spalania jest woda. Dane fizykochemiczne wodoru świadczą o tym, że charakteryzuje się on największym stosunkiem energii do masy, stąd też jego przydatność jako paliwa w pojazdach kosmicznych. Duża wartość ciepła spalania powoduje jednak ok. 2,5-krotnie większą siłę eksplozji wodoru w odniesieniu do innych paliw węglowodorowych. Porównanie wartości górnych i dolnych ciepła spalania wodoru i najbardziej popularnych paliw silnikowych zawiera tabela 3.

Tabela 3

Ciepło spalania wodoru i paliw silnikowych

Lp.	Paliwo	Górne ciepło spalania (25 C, 1 atm), kJ/g	Dolne ciepło spalania (25 C, 1 atm), kJ/g
1	Wodór	141,86	119,93
2	Benzyna	47,50	44,50
3	Olej napędowy	44,80	42,50
4	Propan	50,36	45,60
5	Metanol	19,96	18,05
6	Metan	55,53	50,02

Analiza parametrów fizykochemicznych wodoru dowodzi, że jego zastosowanie oraz zabudowa instalacji paliwowej na pojeździe zależą od stanu skupienia, tzn. zasilania w formie

gazowej lub ciekłej. Determinuje to wiele szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych celem zapewnienia oczekiwanych parametrów operacyjnych, ekologicznych niezawodnościowych samochodu.

## **MOŻLIWOŚCI APLIKACJI WODORU DO ZASILANIA SILNIKÓW SPALINOWYCH**

Wodór jako paliwo do silników o zapłonie iskrowym

Jak już wcześniej wspomniano, wodór jest paliwem, który ze względu na swoje właściwości fizyko-chemiczne jest bardziej przydatny do zasilania silników o zapłonie iskrowym. Mimo to, jego wykorzystanie ciągle jest przedmiotem dyskusji i wywołuje wiele kontrowersji. Głównym powodem jest mała objętościowa gęstość energii. W mieszance benzynowo-powietrznej o składzie stechiometrycznym benzyna zajmuje tylko ok. 2 % objętości, podczas gdy wodór aż ok. 29,6 %. Porównywanie efektywności pracy silnika spalinowego zaprojektowanego dla zasilania benzyną w stosunku do analogicznego zasilanego wodorem wydaje się dużym uproszczeniem, ponieważ jest to porównywanie dwóch różnych systemów doprowadzających paliwo do cylindra, które ponadto posiada odmienne właściwości. Podstawowe różnice determinujące proces spalania wynikają z krańcowych rozbieżności parametrów, takich jak: gęstość, minimalna energia zapłonu, objętościowa i masowa gęstość energii, szybkość i temperatura spalania, szczelina tłumienia płomienia itp..

Prace nad silnikami wodorowymi koncentrują się na spalaniu mieszanki ultraubogiej, z możliwością płynnego przechodzenia do coraz bogatszych, ale przy stałym ustawieniu przepływu powietrza. Wymaga to precyzyjnego sterowania przepływem wodoru dla optymalnych składów mieszanki, w korelacji do bieżącego obciążenia silnika. Należy zwrócić uwagę na fakt, że cząsteczka  $H_2$  ma najmniejszą gęstość spośród wszystkich gazów co powoduje, że dyfunduje bardzo szybko, wpływając na homogenność mieszaniny.

Spalanie mieszanek ultraubogich zachodzi w niższej temperaturze niż o pozostałych składach, dlatego też w silniku wodorowym można tak dobrać warunki przebiegu spalania, aby emisja toksyn w spalinach była prawie zerowa. Jednak ten efektywny i „czysty” proces spalania wodoru występuje w przypadku niskich obciążeń silnika. W przypadku natomiast dużych obciążeń zbyt mała energia zapłonu mieszanki wodór-powietrze powoduje znaczne podwyższenie temperatury spalania, co przekłada się na wydzielanie znacznych ilości  $NO_x$ .

Mimo intensywnie prowadzonych badań w światowych koncernach motoryzacyjnych, wodór jako samodzielne paliwo do iskrowych silników spalinowych ma przed sobą jeszcze wiele poszukiwań, aby osiągnąć zadowalające efekty dla pełnej komercjalizacji. Wydaje się, że o wiele szybciej będzie możliwe wprowadzenie spalania mieszanek złożonych z czystego wodoru i obecnie stosowanych paliw węglowodorowych. Dlatego też prowadzone są równoległe badania rozwojowe nad wprowadzaniem wodoru jako dodatku do paliw konwencjonalnych, takich jak benzyna, gaz ziemny, LPG.

Wodór jako paliwo do silników o zapłonie samoczynnym

W silnikach o zapłonie samoczynnym uzyskujemy znacznie wyższe wartości sprawności cieplnej w porównaniu do silników o zapłonie iskrowym. Podczas gdy sprawność cieplna silników o ZI osiąga wartości rzędu 23–25 %, to dla silników o ZS wynosi ona ok. 43–46 %. W stosowanych aktualnie w silnikach o zapłonie samoczynnym sterowanych elektronicznie zasobnikowych układach zasilania typu Common Rail, uzyskujemy znaczne zmniejszenie zużycia paliwa w stosunku do silników o zapłonie iskrowym. Odpowiednio dla silników o ZS kształtuje się to na poziomie 170–180 [g/kW h], natomiast w silnikach o ZI wynosi to ok. 200–210 [g/kW h]. Sprawność i funkcjonalność silników Diesla zależy w zasadniczym stopniu od rodzaju i właściwości zastosowanego paliwa. Determinuje ono bowiem jakość tworzonej mieszanki, opóźnienie samozapłonu, przebieg procesu spalania, a co za tym idzie, generowane parametry operacyjne i ekologiczne silnika.

Podstawowym paliwem do silników o zapłonie samoczynnym jest olej napędowy, będący mieszaniną węglowodorów, które mają temperaturę wrzenia w granicach 150–380 °C. Skład

węglowodorowy olejów napędowych zależy od parametrów ropy naftowej, z której je wytworzono, także, od zastosowanego procesu technologicznego. Właściwości oleju napędowego różnią się zasadniczo od paliw benzynowych. Przydatność do silników spalinowych oleju napędowego określa się głównie poprzez analizę takich wielkości, jak: liczba cetanowa, gęstość, lepkość, właściwości niskotemperaturowe, ciepło spalania, temperatura wrzenia i inne.

Ostatnie lata, dotyczące badań nad alternatywnymi źródłami energii do środków transportu, charakteryzują się znacznymi osiągnięciami w tym zakresie. Potwierdzono przydatność do zasilania silników o ZS olejów roślinnych (głównie oleju rzepakowego), szczególnie w formie dodatków do oleju napędowego w dość szerokich udziałach objętościowych. Prowadzone są również prace nad stosowaniem węglowodorowych paliw gazowych jako dodatków oraz odnośnie biogazu pozyskiwanego z odpadów organicznych. W tabeli 4 podano podstawowe właściwości oleju napędowego, oleju roślinnego oraz wodoru (brakujące wartości były trudne do ustalenia w dostępnej literaturze).

Tabela 4

Charakterystyka oleju napędowego, oleju roślinnego i wodoru

Lp.	Właściwości	Olej napędowy	Olej roślinny	Wodór
1	Gęstość, kg/m <sup>3</sup>	840	917	82
2	Dolna wartość opałowa, MJ/kg	42,49	39,77	119,81
3	Szybkość płomienia, m/s	0,3	–	2,7
4	Liczba cetanowa	45–55	40–45	–
5	Temperatura samozapłonu, C	280	–	585
6	Pozostałość po koksowaniu	0,1	0,59	0,0

Jak uzasadniono w punkcie 3.1 artykułu, ze względu na posiadane właściwości wodór jest paliwem bardziej predestynowanym do zasilania silników o ZI. Realizowane są jednak prace nad wykorzystaniem wodoru również w silnikach Diesla. Aktualnie badania dotyczą oceny wpływu dodatku wodoru do olejów napędowych i roślinnych na przebieg procesu spalania, uzyskiwane parametry eksploatacyjne i emisję toksyn w spalinach. Z dotychczasowych wyników badań wynika, że dodatek wodoru do oleju napędowego lub rzepakowego wywiera zauważalny wpływ na niektóre parametry silnika. W zależności od ilości dodanego wodoru następuje zmiana sprawności cieplnej, zwiększenie czasu opóźnienia samozapłonu, wzrost szybkości narastania ciśnienia i inne. Ponadto, co należy uznać za istotne, następuje spadek emisji CO, HC i zadymienia spalin oraz niestety – wzrost poziomu NOx.

Należy przypuszczać, że prace nad wykorzystaniem wodoru do silników o ZS będą nadal prowadzone, a ich efekty mogą przynieść zupełnie nieoczekiwane o wiele bardziej spektakularne efekty.

#### 4. PODSUMOWANIE

Pojazd samochodowy, niezależnie od rozwoju innych gałęzi transportu, stał się podstawowym i najbardziej powszechnym środkiem komunikacji i przewozu towarów, bez którego w chwili obecnej trudno wyobrazić sobie funkcjonowanie każdego kraju, regionu czy też lokalnej społeczności. Koncerny motoryzacyjne ustawicznie zwiększają produkcję samochodów i udoskonalają ich walory trakcyjne i użytkowe, celem spełnienia rosnących wymagań klientów indywidualnych oraz różnych branż gospodarki. Początek obecnego trzeciego tysiąclecia wskazuje wyraźnie, że mamy do czynienia z wyjątkowo intensywnym rozwojem w dziedzinie motoryzacji, szczególnie w zakresie zastosowania w pojazdach alternatywnych źródeł energii i środków napędu.

Poszukiwanie wymienionych nowych rozwiązań jest zdeterminowane aktualnymi i ważnymi problemami naszej cywilizacji spowodowanymi w dużej mierze przez przemysł samochodowy. Eksploatacja pojazdów generuje wiele poważnych zagrożeń, do których możemy zaliczyć: skażenie środowiska naturalnego, emisję hałasu, wpływ na globalne ocieplenie, produkcję odpadów wymagających kosztownych metod recyklingu oraz utylizacji itp. Rozwiązanie tych



problemów z pewnością nie jest łatwe, wymaga bowiem kosztownych i szeroko zakrojonych kompleksowych badań oraz wyważonych działań legislacyjnych.

Wiele z wymienionych zagrożeń dotyczących m.in. deficytu energii pozyskiwanej ze źródeł tradycyjnych oraz ograniczeń w degradacji środowiska można znacznie zmniejszyć wykorzystując w pojazdach samochodowych wodór jako źródło napędu. Zasoby wodoru na kuli ziemskiej są olbrzymie i wydaje się w pełni uzasadnionym, że w przyszłości może on stać się głównym nośnikiem energii. Mankamentem pozostaje fakt, że wodór występuje głównie w związkach chemicznych i jego pozyskanie wymaga dostarczenia energii z zewnątrz. Powszechnie znana metoda otrzymywania wodoru z elektrolizy wody jest aktualnie na skalę przemysłową wyjątkowo kosztowna, ponieważ wymaga wykorzystania energii elektrycznej. Wodór można otrzymać również jako produkt w innych procesach, jak np. podczas reformingu benzyn, krakingu katalitycznego, pirolizy olefinowej, koksowania węgla lub gazyfikacji pozostałości rafineryjnych. Istotne z punktu widzenia ochrony środowiska i odnawialnych źródeł energii jest również to, że wodór może być wytwarzany z odpadów komunalnych, przemysłowych, biomasy i innych surowców zawierających w swoim składzie związki wodorowe. Tak duże możliwości pozyskiwania wodoru skłaniają do powszechnej opinii wśród analityków światowej energetyki, że pierwiastek ten należy uznać za najbardziej przyszłościowy nośnik energii, w tym w aplikacjach motoryzacyjnych.

#### РЕФЕРАТ

*Казимир Лейда, Сергій Бойченко,  
Жешувська Політехніка, klejda@prz.edu.pl*

#### ВОДЕНЬ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНЕ ПАЛИВО ДЛЯ ДВИГУНІА

Розглянуто потенціал водню, як джерела енергії для двигунів внутрішнього згорання. У багатьох аспектах Водень має більш високі показники якості у порівнянні з використанням традиційних вуглеводневих палив, особливо в екологічних аспектах. Продуктом згорання є водяна пара. При цьому вуглекислий газ та інші забруднені речовини відсутні. Фізико-хімічні властивості водню були розглянуті, а також була проведена оцінка сумісності водню та бензинових і дизельних двигунів.

**Ключові слова:** Водень, двигун внутрішнього згорання, умови використання.

#### РЕФЕРАТ

*Казимир Лейда, Сергей Бойченко,  
Жешувская Политехника, klejda@prz.edu.pl*

#### ВОДОРОД КАК АЛЬТЕРНАТИВНОЕ ТОПЛИВО ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

Рассмотрено потенциал водорода, как источника энергии для двигателей внутреннего сгорания. Во многих аспектах водород имеет более высокие показатели качества по сравнению с использованием традиционных углеводородных топлива, особенно в экологических аспектах. Продуктом сгорания является водяной пар. При этом углекислый газ и другие загрязняющие вещества отсутствуют. Физико-химические свойства водорода были рассмотрены, а также была проведена оценка совместимое водорода и бензиновых и дизельных двигателей.

**Ключевые слова:** водород, двигатель внутреннего сгорания, условия применения.

#### ABSTRACT

*Kazimierz Lejda, Sergii Boichenko,  
Rzeszów University of Technology, klejda@prz.edu.pl*

#### HYDROGEN AS THE ALTERNATIVE FUEL FOR COMBUSTION ENGINES

The article considers hydrogen as a potential source of power for the car combustion engines. In many aspects hydrogen has more favorable properties in comparison to commonly used hydrocarbon fuels, especially in the environmental aspect.

The product of combustion is water vapor and not carbon dioxide CO<sub>2</sub> and other pollution resulting from this process. Physicochemical properties of hydrogen were characterized and the evaluation of suitability for applications in spark ignition and diesel engines was conducted.

**Key words:** hydrogen, combustion engine, application conditions.

## І-25. НОВІ НАПРЯМИ ДІЯЛЬНОСТІ КОМПАНІЇ INNOSPEC ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПИТАНЬ БУРІННЯ, ВИДОБУТКУ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ

Андрій Пушак

ТОВ «ПАЛТЕХ» є офіційним представником компанії INNOSPEC та надає послуги по підборі присадок та додатків для нафти, газу та нафтопродуктів. Маючи широкий вибір продукції, компанія в змозі забезпечити якісними присадками для



нафто та газовидобувної промисловості, для зберігання та транспортування, для безпосередньої переробки нафти, для енергозабезпечення та кінцевих продуктів переробки, а саме палив для морського, авто та авіатранспорту. До асортименту продукції компанії належать антиоксиданти, змащувальні присадки, антистатичні присадки, стабілізатори палив, барвники та маркери для палив, цетанопідвищуючі та октанопідвищуючі присадки, деактиватори металів, добавки для збільшення виходу нафтопродуктів, багатофункціональні присадки для бензинів та дизельних палив, добавки для скрапленого газу, присадки для підвищення згорання важкого

нафтового палива та легкого котельного палива, присадки для авіаційних та судових палив, добавки для відновлення роботи сажового фільтру дизельних двигунів.

Таблиця 1

Типові показники та вимоги до присадок для дизельних палив

Назва випробування	Методика проведення випробування	Вимоги
Чистота інжектора палива	Peugeot XUD9 CEC F-23-01	< 20–85 % забруднення в 0,1 мм
Чистота інжектора палива	Peugeot XUD9	> 30 % очищення
Втрата потужності	Peugeot DW10 CEC F-98-08	< 2 % втрати потужності
Відновлення потужності	Peugeot DW10	Відновлення потужності до 99 %
Захист від корозії	ASTM D 665A ASTM D 665B	A (0 % корозії) B+ (< 5 % корозії)
Антипінні властивості	BNPé NF M 07-075	Висота піни < 100 мл Час руйнування < 10 с
Стабільність палива	ASTM D 2274  EN 15751	Зменшення розчинності базового палива Покращення індукційного періоду базового палива
Фільтрованість	IP 387	Не гірше ніж у базового дизельного палива
Змащувальна властивість	Будь-яка	Не гірше ніж у базового дизельного палива Не взаємодіє з мастилами
Взаємодія з водою	ASTM D 1094 ASTM D 7541	Не гірше ніж у базового дизельного палива

ТОВ «ПАЛТЕХ» успішно проводить стендові та польові випробування з використанням присадок на автополігоні у місті Мілбрук (Англія) на сучасних двигунах, що працюють під високим тиском.

Типові показники та вимоги до присадок для дизельних палив отримані під час польових випробувань на автодромі наведені у таблиці.

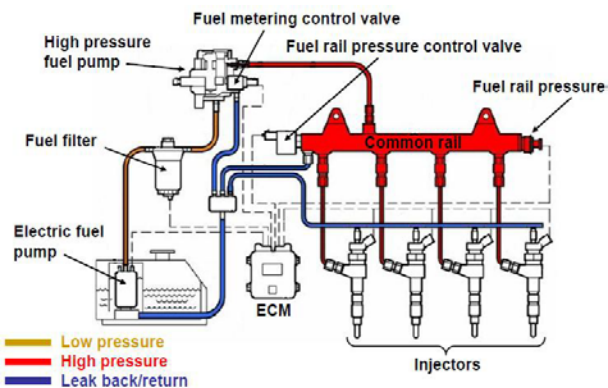
Новим напрямом діяльності компанії є вирішення проблем вітчизняного видобутку та транспортування нафти і газу. ТОВ «ПАЛТЕХ» співпрацює з вітчизняними видобувними компаніями та забезпечує необхідними хімічними матеріалами та сервісом як для буріння, так і для завершення роботи зі свердловинами та трубопровідними системами.

Компанією INNOSPEC розроблені новітні присадки та добавки для покращення експлуатаційних властивостей, зменшення незапланованих простоїв, збільшення строку служби бурового обладнання, мінімізація витрат по експлуатації, зменшення подачі розчину для буріння, запобігання пошкодження бурового інструменту і як наслідок збільшення ефективності буріння під час промислового видобутку. Такими додатками є: деемульгатори для видалення води з нафти; інгібітори парафінів, депресори та диспергатори для покращення низькотемпературних властивостей та транспортування нафти; інгібітори корозії та гідратуотворень для збільшення строку служби обладнання під час видобутку; поглиначі сірководню для запобігання утворенню корозії; добавки для осідання піни; поглиначі меркаптанової сірки, сульфідів заліза і кисню; біоциди для запобігання виникнення бактерій, що спричиняють появу корозії; кольматанти для боротьби з



поглинанням у бурових свердловинах ; інгібітори для запобігання втрат при бурінні.

Як наслідок, при використанні присадок та додатків компанії INNOSPEC збільшується ефективність закачування нафти та газу, підтримується цільність нафти та газу, покращення якості продуктів видобутку, збільшення строку служби устаткування для видобутку та зберігання , покращення безпеки у промислових умовах, мінімізація експлуатаційних затрат, вирішення питання стійкості потоку під час зниження температури навколишнього середовища та зменшення



## РЕФЕРАТ

*Андрій Пушак,  
INNOSPEC*

### **НОВІ НАПРЯМИ ДІЯЛЬНОСТІ КОМПАНІЇ INNOSPEC ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПИТАНЬ ДЛЯ БУРІННЯ, ВИДОБУТКУ ТА ТРАНСПОРТУВАННЯ НАФТИ ТА НАФТОПРОДУКТІВ**

Описуються асортимент продукції та основні послуги, що надає офіційний представник компанії INNOSPEC – ТОВ "Палтех", для вирішення питань для буріння, видобутку та транспортування нафти та нафтопродуктів, а також нові напрямки діяльності компанії в сфері видобутку та транспортування нафти і газу та переваги використання розроблених нею новітніх присадок та додатків.

**Ключові слова:** буріння, видобуток, транспортування, нафтопродукти, присадки, додатки.

## РЕФЕРАТ

*Андрій Пушак,  
INNOSPEC*

### **НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ КОМПАНИИ INNOSPEC ДЛЯ РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ ДЛЯ БУРЕНИЯ, ДОБЫЧИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ НЕФТИ И НЕФТОПРОДУКТОВ**

Описывается ассортимент продукции и основные услуги, которые оказывает официальный представитель компании INNOSPEC – ООО "Палтех", для решения вопросов для бурения, добычи транспортировки нефти и нефтепродуктов, а также новейшие направления деятельности компании в сфере добычи и транспортировки нефти и газа и преимущества использования разработанных ей новейших присадок та добавок.

**Ключевые слова:** бурение, добыча, транспортировка, нефтепродукты, присадки, добавки.

## ABSTRACT

*Andrew Pushak,  
INNOSPEC*

### **NEW DIRECTIONS OF ACTIVITIES PERFORMED BY "INNOSPEC" COMPANY FOR SOLVING PROBLEMS PERTAINING TO DRILLING, PRODUCTION AND TRANSPORTATION OF PETROLEUM AND PETROLEUM PRODUCTS**

The article describes the assortment of products and basic services provided by LLC "Paltech", the official representative of "INNOSPEC" company, for solving problems that pertain to drilling, production and transportation of petroleum and petroleum products, and new directions of activities performed by the company in the field of production and transportation of petroleum and gas. The article also considers advantages regarding the application of the newest oil additives invented by the company.

**Key words:** drilling, extraction, transportation, petroleum products, petroleum products, additions, additives.

УДК 541.18:541.183

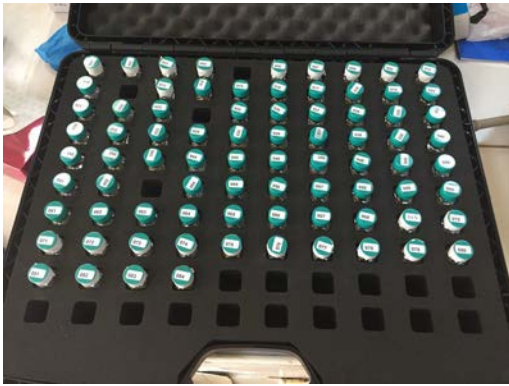
### **I-26. НОВІ НАПРЯМИ РОБОТИ АКРЕДИТОВАНОЇ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ПП «ЗАХІД-ІНОС»**

*Юлія Велігорська*

З метою забезпечення якості нафтопродуктів на українському ринку підприємство «Захід-Інос» спільно з представниками компаній ТОВ «Палтех» і ТОВ «Паливно-альтернативні технології» створили випробувальну лабораторію, та співпрацюючи з компанією INNOSPEC, проводить наукові дослідження впливу присадок на нафту, газ та нафтопродукти вітчизняного виробництва.

Лабораторія нафтопродуктів підприємства «Захід-Інос» (свідоцтво про атестацію

РХ – 1531/15) успішно пройшла процедури сертифікації системи менеджменту якості лабораторії в державній системі сертифікації ТОВ «ДІН ЛТД». Отримано сертифікат відповідності № UA 2 / 174.09767-16, який засвідчує, що система менеджменту якості



випробувальної лабораторії нафтопродуктів підприємства «Захід-Інос» в області діяльності з проведення випробувань нафтопродуктів за методами випробувань і закріпленої номен-клатурі продукції відповідає вимогам між-державного стандарту ГОСТ ISO 9001-2009 «Системи менеджменту якості. Вимоги».

Діяльність лабораторії спрямована на проведення випробувань нафти та таких нафтопродуктів як бітуми, бензини автомобільні, дизельне паливо, мазут, паливо пічне та оливи. Новим перспективним

напрямок діяльності лабораторії є дослідження впливу додатків та присадок для видобутку та транспортування газу та нафти, окиснення гудронів та забезпечення модифікації дорожніх бітумів для покращення якості доріг. Персонал лабораторії проводить дослідження ефективності використання наступних присадок для покращення якості нафти та нафтопродуктів, а саме:

деемульгаторів для видалення води та хлористих солей з нафти, що особливо важливо при наступній переробці нафти.

депресорів та диспергаторів для покращення низькотемпературних властивостей нафти при перекачуванні та транспортуванні нафти;

інгібіторів корозії при видобутку нафти та газу для забезпечення довготривалого використання видобувного обладнання;

біоцидів для запобігання росту бактерій, які викликають корозію та закупорки у трубопроводі; поглиначі сірководню та меркаптанової сірки для запобігання утворенню корозії та покращення захисних властивостей;

інгібіторів гідратуутворень для покращення експлуатаційних характеристик при видобутку газу;

інгібіторів парафінів для поліпшення транспортування нафти; розчинників асфальтенів для покращення процесу видобутку нафти;

присадок для бітумів (синтетичні воскові добавки) для виробництва низькотемпературного асфальту.



Підбір додатків до продуктів нафто та газовидобутку здійснюється фахівцями лабораторії індивідуально для кожного продукту та вимагає великої кількості випробувань. Окремі випробування за бажанням замовника можуть здійснюватись безпосередньо на території видобутку.

Персонал випробувальної лабораторії постійно проходить навчання і вдосконалює свої навички та кваліфікацію в Україні та за кордоном.

## РЕФЕРАТ

*Юлія Велигорська,  
ПП «ЗАХІД-ІНОС»*

### НОВІ НАПРЯМИ РОБОТИ АКРЕДИТОВАНОЇ ВИПРОБУВАЛЬНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ ПП «ЗАХІД-ІНОС»

Описуються рівень акредитації випробувальної лабораторії ПП «Захід-Інос», створеної спільно з представниками компаній ТОВ «Палтех» і ТОВ «Паливно-альтернативні технології», нові напрямки її діяльності в сфері випробування нафти та нафтопродуктів і проведення в співробітництві компанією INNOSPEC наукових досліджень впливу додатків та присадок на нафту, газ та нафтопродукти вітчизняного виробництва.

**Ключові слова:** випробування нафтопродуктів, добавки, присадки, нафта, газ.

## РЕФЕРАТ

*Юлия Велигорская,  
ЧП «ЗАХИД-ИНОС»*

### НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ АККРЕДИТИРОВАННОЙ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ ЛАБОРАТОРИИ ЧП «ЗАХИД-ИНОС»

Описывается уровень аккредитации испытательной лаборатории ЧП «Захід-Інос», созданной совместно с представителями компаний ООО «Палтех» и ООО «Паливно-альтернативні технології», новые направления её деятельности в сфере испытаний нефти и нефтепродуктов и проведения в сотрудничестве с компанией INNOSPEC научных исследований воздействия добавок и присадок на нефть, газ и нефтепродукты отечественного производства.

**Ключевые слова:** испытания нефтепродуктов, добавки, присадки, нефть, газ.

## ABSTRACT

*Julia Veligorskaya,  
"ZAKHID-INOS"*

### NEW DIRECTIONS OF ACTIVITIES PERFORMED BY THE ACCREDITED TESTING LABORATORY OF "ZAKHID-INOS" COMPANY

The article specifies the level of accreditation of the Testing Laboratory of "Zahid-Inos" company, created together with the representatives of LLC "Paltech" and LLC "Palyvno-alternatyvni Technologii", new directions of its activities related to testing of petroleum and petroleum products, and conducting a scientific research on the effects of oil additives, gas and petroleum products of the national production in cooperation with "INNOSPEC" company.

**Key words:** testing of petroleum products, additives, additions, petroleum, gas..

УДК 621.436.038

## I-27. ОБОСНОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БУТАНОЛСОДЕРЖАЩИХ ТОПЛИВ

*Георгий Кухаренко, Дмитрий Гершань*

Одной из проблем при эксплуатации транспортных средств является их сильная зависимость от дизельного топлива. Использование альтернативного дизельного топлива может сократить эту зависимость, а также уменьшить выбросы вредных веществ с отработавшими газами двигателей.

Базой для обеспечения высокого технического уровня двигателей является поиск путей совершенствования рабочего процесса.

Обоснование рабочего процесса дизелей при работе на альтернативных топливах является сложной задачей, требующей одновременного проведения расчетных и экспериментальных исследований.

Из известных видов дизельных альтернативных топлив внимание исследователей привлекают спирты. Среди спиртов перспективным альтернативным топливом считается

бутанол. Это, прежде всего, связано с его теплофизическими и термохимическими свойствами, которые близки к свойствам дизельного топлива.

Поэтому актуально в настоящее время проведение исследований рабочих процессов дизелей высокого экологического уровня при применении бутанолсодержащих топлив.

Цель – обоснования рабочего процесса дизеля при применении бутанолсодержащих топлив с учетом обеспечения требуемых энергетических и экологических показателей.

Научная новизна работы заключается в зависимостях для оценки экологических, топливно-экономических, мощностных показателей и реализации концепции совершенствования рабочего процесса дизелей при применении бутанолсодержащих топлив.

Основная часть. Проведены расчетные и экспериментальные исследования рабочего процесса дизеля 4ЧН 11/12,5 экологического уровня Евро-5 при применении топлива, содержащего до 30 % бутанола по объему.

Для проведения расчетных исследований разработана компьютерная программа моделирования рабочего процесса дизеля.

Рассматривалось влияние содержания бутанола в топливе на удельные мощностные, топливно-экономические и экологические показатели дизеля при изменении угла опережения впрыска топлива, расхода воздуха и степени рециркуляции отработавших газов.

При работе дизеля на смеси, имеющей меньшую теплотворную способность и плотность, отмечено уменьшение мощности и увеличение удельного эффективного расхода топлива во всем диапазоне исследованных режимов работы двигателя.

Была получена регрессионная зависимость для определения удельного выброса оксидов азота  $g_{NO_x}$  г/(кВт·ч) от угла опережения впрыска топлива, расхода воздуха и содержания бутанола в смеси:

$$g_{NO_x} = 2,55 \cdot 0,239375 \cdot \epsilon_{впр}^* \cdot 0,12625 \cdot G_{\epsilon}^* \cdot 0,03375 \cdot C_{\epsilon_{бут}}^* \cdot 0,150625 \cdot \epsilon_{впр}^{*2} \cdot 0,15625 \cdot G_{\epsilon}^{*2} \cdot 0,11625 \cdot C_{\epsilon_{бут}}^{*2} \cdot 0,05125 \cdot \epsilon_{впр}^* \cdot G_{\epsilon}^* \cdot 0,00125 \cdot \epsilon_{впр}^* \cdot C_{\epsilon_{бут}}^* \cdot 0,0425 \cdot G_{\epsilon}^* \cdot C_{\epsilon_{бут}}^* ,$$

где  $\epsilon_{впр}^*$ ,  $G_{\epsilon}^*$ ,  $C_{\epsilon_{бут}}^*$  – приведенные значения изменяемых параметров в натуральном масштабе измерений.

Ее анализ показал, что при использовании смесей дизельного топлива с бутанолом на режимах 100 и 75 % нагрузки 13-ступенчатого цикла ESC (A75, A100, B75, B100, C75, C100) наблюдался рост выброса оксидов азота.

Например, для режима C100 13-ступенчатого экологического цикла ESC зависимость удельного выброса оксидов азота от содержания бутанола в смеси с дизельным топливом и расхода воздуха при угле опережения впрыска топлива 8 град. ПКВ до в.м.т. представлена на рисунке 1.

Уменьшить выбросы оксидов азота можно изменяя расход воздуха и угол опережения впрыска топлива.

целью определения возможности снижения выбросов  $NO_x$  за счет изменения количества рециркулируемых газов при использовании смесей дизельного топлива с бутанолом была проведена серия расчетов.

Результаты их анализа показывают, что для смесей с содержанием бутанола до 30 % существует такое сочетание подачи топлива  $g_{ц}$  и степени рециркуляции  $\rho$ , при которых выбросы оксидов азота не будут превышать значений, соответствующих применению дизельного топлива.

Индикаторный КПД с ростом содержания бутанола в смеси повышается в относительных величинах до 5 % в зависимости от скоростного режима и концентрации

бутанола в топливе (рисунок 2). Что свидетельствует о эффективности протекания рабочего процесса.

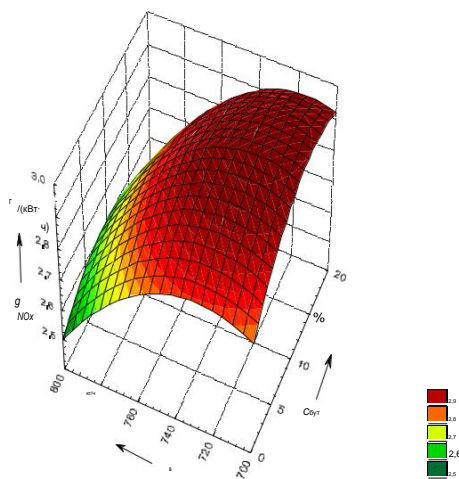


Рис. 1. Зависимость удельного выброса оксидов азота от содержания бутанола в смеси с дизельным топливом и расхода воздуха

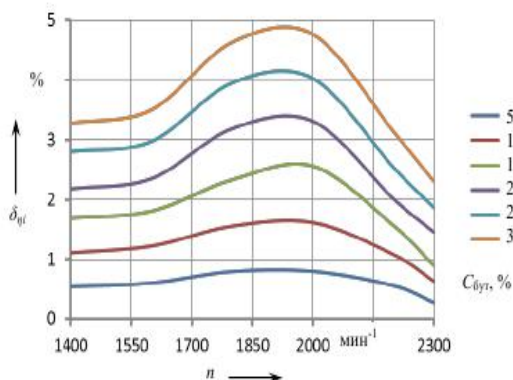


Рис. 2. Относительное изменение индикаторного КПД

На основании проведенных расчетных исследований выбран следующий состав спиртодизельной смеси: дизельное топливо 75 % и бутанол 15 %. При добавке в дизельное топливо до 15 % бутанола изменение показателей рабочего процесса незначительно для всего диапазона рассматриваемых режимов ( удельный индикаторный расход топлива увеличивается, среднее индикаторное давление падает не более чем на 2 %, а индикаторный КПД растет не менее чем на 1,5 %).

Проведены экспериментальные исследования показателей рабочего процесса дизеля, работающего на топливе, содержащем 15 % бутанола, на режимах внешней скоростной характеристики. Отмечено, что на опытном топливе двигатель работает устойчиво при этом характер протекания характеристики не нарушается.

При работе двигателя на спиртодизельной смеси произошло падение мощности двигателя по всей внешней скоростной характеристике на 0,9–4,5 кВт (2,3–6,5 %), Удельный эффективный расход топлива при этом вырос на 4,3–7,9 г/(кВт·ч) (2,1–3,9 %).



Дымность отработавших газов при работе двигателя на спиртодизельной смеси заметно снизилась на частоте вращения  $1000 \text{ мин}^{-1}$  – 15 % H<sub>2</sub>SU. Для других скоростных режимов снижение дымности составляет от 0,5 до 5,5 % H<sub>2</sub>SU. Снижение дымности обусловлено ростом коэффициента избытка воздуха.

Таким образом, основными результатами этой работы являются:

Обоснованы параметры таких перспективных направлений совершенствования рабочих процессов дизелей при применении бутанолсодержащих топлив, как рециркуляция отработавших газов, управление характеристиками впрыскивания топлива и расходом воздуха.

Теоретически и экспериментально доказана эффективность применения смеси дизельного топлива с бутанолом, содержащей 15 % бутанола, в качестве альтернативного топлива для дизелей.

#### РЕФЕРАТ

*Георгій Кухаренко, Дмитро Гершань,*

*Білоруський національний технічний університет, kux@tut.by*

#### **ОБГРУНТУВАННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ДИЗЕЛЯ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ БУТАНОЛВМИЩУЮЧИХ ПАЛИВ**

Представлено розрахункові та експериментальні результати дослідження робочого процесу дизеля 4ЧН 11/12,5 екологічного рівня Євро-5 при застосуванні сумішей дизельного палива з бутанолом.

Обґрунтовано параметри таких перспективних напрямків вдосконалення робочих процесів дизелів при застосуванні бутанолсодержащих палив, як рециркуляція відпрацьованих газів, управління характеристиками впорскування палива і витратою повітря.

Надані рекомендації щодо вибору складу бутанолсодержащего палива для дизелів високого екологічного рівня.

**Ключові слова:** дизель, робочий процес, бутанол, дослідження, обґрунтування.

#### РЕФЕРАТ

*Георгий Кухаренко, Дмитрий Гершань,*

*Белорусский национальный технический университет, kux@tut.by*

#### **ОБОСНОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ БУТАНОЛСОДЕРЖАЩИХ ТОПЛИВ**

Проведены расчетные и экспериментальные исследования рабочего процесса дизеля 4ЧН 11/12,5 экологического уровня Евро-5 при применении смесей дизельного топлива с бутанолом.

Обоснованы параметры таких перспективных направлений совершенствования рабочих процессов дизелей при применении бутанолсодержащих топлив, как рециркуляция отработавших газов, управление характеристиками впрыскивания топлива и расходом воздуха.

Даны рекомендации по выбору состава бутанолсодержащего топлива для дизелей высокого экологического уровня.

**Ключевые слова:** дизель, рабочий процесс, бутанол, исследование, обоснование.

#### ABSTRACT

*Kukharonak Heorhi, Hershana Dzmitry, Belarusian National Technical*

*University, kux@tut.by* **JUSTIFICATION OF THE WORKING PROCESS**

#### **OF DIESEL WHEN USING BUTANOL-CONTAINING FUELS**

Computational and experimental research of the working process of the ecological level Euro-5 4ЧН 11/12,5 diesel engine with the use of butanol-diesel blends have been conducted.

The parameters of such perspective directions of improving the working processes of diesel engines with the use of butanol-containing fuels, such as of exhaust gas recirculation, control of fuel injection characteristics and air flow have been justified.

Recommendations on the choice of the composition of butanol-containing fuel for high ecological level diesel engines have been given.

**Key words:** diesel, working process, butanol, research, justification.

## РОЗДІЛ II

### ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ТА ІНЖЕНЕРІЯ

УДК 665.637.8

#### II-1. ФУНКЦІЙНІ ПОХІДНІ ЕПОКСИДНИХ СМОЛ – КОМПОНЕНТИ БІТУМ-ПОЛІМЕРНИХ СУМІШЕЙ

*Михайло Братичак*

Одним із варіантів покращення експлуатаційних властивостей нафтових бітумів є введення в бітум на стадії компаундування полімерів різної будови. Вміст полімерних додатків у товарних бітумах може сягати 3–5 % мас. та суттєво покращувати деякі його характеристики. Роботи із введення в структуру нафтового бітуму полімерних додатків інтенсивно проводяться в останні роки на кафедрі хімічної технології переробки нафти та газу Національного університету «Львівська політехніка». Як полімерні добавки знаходять застосування нафтополімерні смоли з різними функційними групами та модифіковані феноло-формальдегідні олігомери.

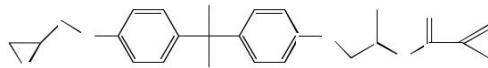
Розглянуто можливість використання як компонентів бітум-полімерних сумішей різних за природою функційних похідних епоксидних смол.

Як функційні похідні епоксидних смол вивчали олігомерні продукти, отримані внаслідок хімічного модифікування епоксидної смоли ЕД-24 метакриловою (олігомер I)

себаціновою (олігомер II) кислотами. Олігомер I містить у своїй структурі вільну епоксидну та метакрилатну групи, олігомер II – вільну епоксидну та карбоксильну групи. Як бітум використовували нафтовий дорожній бітум, відібраний на Львівській асфальто-бітумній базі.

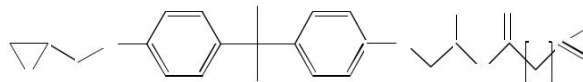
Для досліджень використовували:

Олігомер I формули:



отримували за авторським методом. Для олігомеру I знайдено: молекулярна маса (Mn) 420 г/моль, епоксидне число (е. ч.) 10,8 %, бромне число (Бр. ч.) 33,9 г Br<sub>2</sub>/100г продукту.

Олігомер II формули:



синтезували за інноваційною методикою. Для олігомеру II знайдено: Mn 550 г/моль, е. ч. 7,8 %, вміст карбоксильних груп 8,0 %.

Використаний для досліджень бітум, відібраний на Львівській асфальто-бітумній базі, характеризувався такими показниками: температура розм'якшення 319,0 К, penetрація 6,2·0,1 мм, дуктильність 75 см, показник “зчеплення зі склом” (адгезія) 41,5 %.

З метою встановлення умов приготування бітум-полімерних сумішей (БПС) найоптимальнішими властивостями вивчали вплив кількості олігомеру I або II, температури приготування суміші та тривалості процесу на експлуатаційні властивості отримуваних БПС. Деякі з отриманих результатів наведені в табл. 1–3.

Порівнюючі дані, наведені в табл. 1, знаходимо, що введення в бітум синтезованого олігомеру I приводить до збільшення температури розм'якшення та адгезії бітуму з одночасним зменшенням як дуктильності, так і penetрації готового виробу. Враховуючи

технологічні характеристики модифікованого бітуму, як оптимальну кількість олігомеру вибрано 3 мас. част. на 100 г вихідного бітуму. За цієї умови БПС характеризується, порівнянні з вихідним не модифікованим бітумом, значно вищою адгезією, що становить 47%, та дуктильністю 48,0 см.

Зменшення температури приготування БПС до 423 К призводить до значного зменшення як дуктильності виробу, так і його адгезії до скла. Водночас, збільшення температури отримання таких сумішей сприяє підвищенню адгезії та дуктильності виробу. Це дало можливість запропонувати температуру приготування таких сумішей – 463 К. Збільшення тривалості процесу приготування БПС, до складу яких входить олігомер I, сприяє незначному підвищенню як температури розм'якшення, так і адгезії, але при цьому значно зменшує дуктильність.

Таблиця 1

Умови приготування та характеристика БПС за участю олігомеру I

Температура процесу, К	Тривалість процесу, год.	Кількість олігомеру I на 100 г бітуму	Характеристика БПС			
			Температура розм'якшення, К	Дуктильність за 298 К, см	Пенетрація, за 298 К, 0,1 мм	Адгезія %
443	1	0	319,0	75,0	62	40,5
443	1	1	321,0	54,6	59	42,9
443	1	3	322,0	48,0	57	47,0
443	1	5	322,9	38,5	56	49,8
443	1	7	323,0	36,9	54	51,0
423	1	3	321,9	27,4	59	42,7
263	1	3	322,8	51,2	54	50,7
493	1	3	322,4	53,8	56	51,0
463	2	3	324,9	29,0	51	52,1
463	3	3	325,6	24,6	43	54,9

Виходячи із характеристики отриманих БПС, були запропоновані такі умови приготування сумішей, що містили олігомер I: температура процесу 463 К, тривалість процесу 1 год., кількість олігомеру I – 3 мас. част. на 100 г вихідного бітуму. За цих умов БПС характеризувалася: температурою розм'якшення 322,8 К, дуктильністю 51,2 см, пенетрацією 54·0,1 мм та адгезією до скляної поверхні 50,7 %. Отримані показники є дещо вищими, у порівнянні з немодифікованим бітумом, зокрема, що стосується адгезивних характеристик.

табл. 2 знаходимо, що збільшення кількості олігомеру II у суміші приводить до підвищення температури розм'якшення БПС. Водночас, спостерігається зменшення таких показників, як пенетрація і дуктильність. Крім цього, з табл. 2 знаходимо, що незалежно від кількості олігомеру II спостерігається значне, практично удвічі, збільшення адгезії плівок БПС до скляної поверхні. Виходячи з того, що вже при додаванні 1 г олігомеру II до суміші, адгезія плівок є значно вищою, але при цьому дуктильність зменшується на незначну величину, така кількість модифікатора була прийнята за найоптимальнішу.

Результати з вивчення впливу температури процесу на характеристику БПС також наведені в табл. 2, звідки знаходимо, що підвищення температури до 483 К, як і у випадку 463 К, приводить до підвищення адгезії, але при цьому зменшуються пенетрація та, значною мірою, дуктильність. Зменшення температури до 443 К незначно зменшує дуктильність, та суттєво зменшує адгезію, тому температура, що дорівнює 463 К (за кількості модифікатора 1 г) була вибрана для встановлення впливу тривалості процесу на характеристику БПС (табл. 2).

Умови приготування та характеристика БПС за участю олігомеру II

Температура процесу, К	Тривалість процесу, год.	Кількість олігомеру II на 100 г бітуму	Характеристика БПС			
			Температура розм'якшення, К	Дуктильність за 298 К, см	Пенетрація за 298 К, 0,1 мм	Адгезія %
463	1	0	321,0	89	38	47,0
	1	1	322,1	53	43	99,8
	1	3	322,4	31	42	99,9
	1	5	327,0	25	41	99,9
	1	7	329,2	17	40	99,9
	1	1	321,1	47	40	73,2
	0,5	1	320,0	46	40	80,5
	1	1	322,1	53	42	99,8
	2	1	321,5	27	32	99,8
483	1	1	321,1	31	38	99,9

табл. 2 знаходимо, що збільшення тривалості процесу приготування БПС до 2 год. значно зменшує дуктильність таких сумішей та пенетрацію, але при цьому адгезія БПС є досить високою. З іншого боку, зменшення тривалості процесу до 0,5 год. зменшує як дуктильність, так і адгезію. Тому тривалість процесу 1 год. була вибрана для приготування таких сумішей.

Отже, на основі проведених досліджень, були вибрані такі умови приготування БПС, що містили олігомер II: температура процесу 463 К, тривалість процесу 1 год., кількість олігомеру II – 1 г на 100 г вихідного бітуму.

Отримані при цьому БПС характеризуються такими показниками:

- температура розм'якшення 322,1 К;
- дуктильність 53 см;
- пенетрація 42·0,1 мм;
- адгезія до скляної поверхні 99,8 %.

метою встановлення причин погіршення чи покращення експлуатаційних характеристик БПС та визначення ролі, що відіграють полімерні компоненти, були проведені дослідження із встановлення структурно-групового складу таких сумішей (табл. 3).

Результати, наведені в табл. 3, вказують на перехід олів у смоли та асфальтени, що впливає на експлуатаційні властивості отриманих БПС.

Таблиця 3

Структурно-груповий склад БПС

Полімерний компонент та його кількість (г) на 100 г бітуму	Вміст, % мас.			
	Карбени і карбоїди	Асфальтени	Оливи	Смоли
Відсутній	0,057	25,3	50,0	24,2
Олігомер I, 3	відсутні	30,6	46,6	22,8
Олігомер II, 1	0,775	23,9	48,6	26,3

Таким чином, на підставі виконаних досліджень можна стверджувати, що функційні похідні епоксидних смол, що містять у своїй структурі, окрім вільної епоксидної групи, метакрилатну або карбоксильну, можуть бути рекомендовані як компоненти бітум-полімерних сумішей з метою покращення адгезійних властивостей останніх. Вміст функційної похідної епоксидної смоли становить 1–3 % мас. на 100 г бітуму і залежить від природи використаного олігомеру. При використанні як полімерний компонент запропонованих олігомерів має місце перехід олів бітуму в смоли та асфальтени.

## РЕФЕРАТ

*Михайло Братичак,*

*Національний університет "Львівська політехніка", mbratych@polynet.lviv.ua*

### **ФУНКЦІЙНІ ПОХІДНІ ЕПОКСИДНИХ СМОЛ – КОМПОНЕНТИ БІТУМ-ПОЛІМЕРНИХ СУМІШЕЙ**

Функційні похідні епоксидних смол, які містять у своїй структурі вільну епоксидну групу та метакрилатну або карбоксильну групи вивчені як компоненти бітум-полімерних сумішей. Встановлено вплив кількості функційної похідної епоксидної смоли, температури та тривалості процесу приготування суміші на головні показники бітум-полімерних сумішей.

**Ключові слова:** бітум-полімерні суміші, епоксидна смола, бітум.

## РЕФЕРАТ

*Михаил Братычак,*

*Национальный университет «Львовская политехника», mbratych@polynet.lviv.ua*

### **ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДНЫЕ ЭПОКСИДНЫХ СМОЛ – КОМПОНЕНТЫ БИТУМ-ПОЛИМЕРНЫХ СМЕСЕЙ**

Функциональные производные эпоксидных смол, в структуре которых содержатся свободная эпоксидная группа и метакриловая или карбоксильная группы, изучены в качестве компонентов битум-полимерных смесей. Установлено влияние количества функциональной производной эпоксидной смолы, температуры и продолжительности процесса приготовления смеси на основные показатели битум-полимерных смесей.

**Ключевые слова:** битум-полимерные смеси, эпоксидная смола, битум.

## ABSTRACT

*Michael Bratychak,*

*Lviv Polytechnic National University, mbratych@polynet.lviv.ua*

### **FUNCTIONAL DERIVATIVES OF EPOXY RESINS – COMPONENTS OF BITUMEN-POLYMERIC MIXTURES**

Functional derivatives of epoxy resins with free epoxy or methacrylate or carboxy group have been studied as components of bitumen-polymeric mixtures. The influence of epoxy resin functional derivative content, as well as the process temperature and time on the main operational characteristics of bitumen-polymeric mixtures, has been determined.

**Key words:** bitumen-polymeric mixtures, epoxy resin, bitumen.

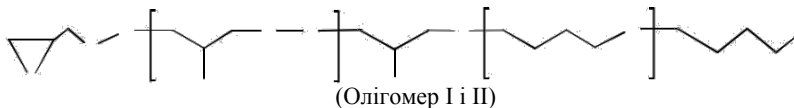
УДК 665.637.8

## **II-2. БІТУМ-ПОЛІМЕРНІ СУМІШІ НА ОСНОВІ БІТУМУ МАРКИ БНД 60/90 ТА МОДИФІКОВАНОЇ (ОЛІГО)ДІОЛАМИ ЕПОКСИДНОЇ СМОЛИ ЕД-20**

*Остан Івашків, Олена Астахова, Ксенія Гринишин*

Одним із ефективних способів підвищення якості дорожніх бітумів є регулювання їхніх властивостей внаслідок застосування різних модифікуючих додатків, зокрема, термопластів, еластопластів, термоеластопластів, ПАР тощо. Модифікування вищезазначеними речовинами бітумів проводять з метою забезпечення належного рівня їх якості, тобто, покращення робочих характеристик за високих і низьких температур, пружньо-пластичних характеристик, когезії й адгезії з наповнювачами, підвищення опору до старіння.

Раніше було запропоновано використовувати як активні добавки до бітумів гідроксилвмісні олігомери, що містять у своїй структурі вільну епоксидну групу та первинну і вторинні гідроксильні групи, будови:



де  $n = 2$ ,  $m = 0$  (Олігомер I),  $n = 2$ ,  $m = 26-28$  (Олігомер II),  $R = -C_6H_4(CH_3)_2C_6H_4-O-$ .

Олігомер I і II синтезували за авторською методикою. Олігомер I характеризувався молекулярною масою ( $M_n$ ) 460 г/моль, вмістом епоксидних груп (е. г.) 8,6 % та гідроксильним числом (г. ч.) 365 мг КОН/г. Олігомер II –  $M_n$  2330 г/моль, е. г. – 1,9 %, та г. ч. 72 мг КОН/г.

Як бітум вивчали бітум марки БНД 60/90 (виробник ПАТ “Укртатнафта”, Україна) з наступними характеристиками: температура розм’якшення 319,0 К, пенетрація 6,2·0,1 мм, дуктильність 75 см, показник “зчеплення зі склом” (адгезія) 41,5 %.

Бітум-полімерні суміші (БПС) вивчали за відомою авторською методикою. Досліджували вплив кількості олігомеру, температури приготування суміші та тривалості процесу на головні експлуатаційні характеристики БПС.

Умови приготування та характеристики БПС на основі Олігомеру I наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Умови приготування та характеристика БПС на основі БНД 60/90 та Олігомеру I

№	Кількість Олігомеру на 100 бітуму	Температура процесу, К	Тривалість процесу, год.	Характеристика БПС			
				Температура розм’якшення, К	Дуктильність за 298К, см	Пенетрація, за 298К, 0,1мм	Адгезія%
1.	0	423	1,0	321	83	62	40,5
2.	1	423	1,0	323	76	53	54,7
3.	3	423	1,0	323	72	53	79,5
4.	5	423	1,0	322	57	52	89,6
5.	7	423	1,0	322	50	52	99,9
6.	3	443	1,0	322	87	56	79,5
7.	3	463	1,0	322	58	54	56,0
8.	3	443	0,5	322	68	55	43,3
9.	3	443	2,0	323	81	56	54,6

Аналіз табл. 1 свідчить про те, що введення у БПС Олігомеру I приводить до зменшення дуктильності та пенетрації таких сумішей, але при цьому значно збільшується їхня адгезія. Зменшенням температури до 443 К можна досягнути високого значення адгезії при сталих значеннях дуктильності і температури розм’якшення. Підвищення температури до 463 К зменшує адгезію та дуктильність. Водночас, зменшення тривалості приготування БПС до 0,5 год. значно зменшує адгезію та дуктильність, при зберіганні таких показників, як температура розм’якшення і пенетрація. Такі самі результати досягаються при тривалості приготування БПС 2 год. Це дає можливість запропонувати такі умови одержання БПС за участю Олігомеру I:

температура – 443 К;

кількість Олігомеру-I на 100 г бітуму БНД 60/90 – 3 % мас.;

тривалість процесу – 1 година.

Вплив кількості Олігомеру II, температури та тривалості процесу на експлуатаційні характеристики БПС ілюструє табл. 2. З табл. 2 знаходимо, що збільшення кількості Олігомеру-II у бітум- полімерній суміші призводить до незначного зменшення пенетрації та суттєвого зменшення дуктильності, при незмінній величині температури розм'якшення. Що стосується показника зчеплення зі склом, то найкращі результати отримано за кількості Олігомеру-II 1 -5 % мас. Подальше збільшення в такій суміші модифікатора (до 7 % мас.) призводить до зменшення показника зчеплення зі склом. Порівнюючи дані, отриманні за різної кількості Олігомеру-I, знаходимо, що у випадку 1 % мас. модифікатора бітум-полімерні суміші характеризуються найкращими показниками.

Окрім цього, з табл. 2, знаходимо, що пониження температури отримання бітум-полімерної суміші до 443 К зменшує адгезію суміші до скла та дуктильність. Інші показники залишаються без змін. При збільшенні температури до 483 К збільшуються показники зчеплення зі склом і дуктильність. Тому, виходячи із експлуатаційних характеристик, зокрема, адгезії такої суміші, вибираємо оптимальну температуру одержання бітум-полімерної суміші за участю Олігомеру-II, що становить 483К.

Таблиця 2

Умови приготування та характеристика БПС на основі БНД 60/90 та Олігомеру-II

№	Кількість Олігомеру II на 100 г бітуму	Температура процесу, К	Тривалість процесу, год.	Характеристика БПС			
				Температура розм'якшення, К	Дуктильність, за 298К, см	Пенетрація, за 298К, 0,1мм	Адгезія, %
1.	0	463	1,0	319	83	62	40,5
2.	1	463	1,0	322	79	57	62,0
3.	3	463	1,0	321	56	58	64,9
4.	5	463	1,0	321	45	59	63,5
5.	7	463	1,0	321	31	60	59,3
6.	1	443	1,0	322	62	57	55,6
7.	1	483	1,0	321	91	57	74,8
8.	1	483	0,5	322	76	58	62,5
9.	1	483	2,0	321	98	57	69,4

Зменшення тривалості процесу до 0,5 год. призводить до зменшення показника зчеплення зі склом та дуктильності, при цьому пенетрація і температура розм'якшення не змінюються. З іншого боку, при збільшенні тривалості формування сумішей до 2,0 год. незначно збільшується адгезія, а інші показники практично не змінюються.

Аналізуючи отримані результати, приходимо до висновку, що найбільш оптимальними умовами одержання бітум-полімерних сумішей за участі Олігомеру-I є наступні:

- температура – 483 К;
- кількість Олігомеру-I – 1 % мас.;
- тривалість процесу – 1 година.

З метою встановлення причин підвищення або пониження деяких експлуатаційних характеристик БПС, що містять Олігомер II, вивчено їх структурно-груповий склад. Дослідженнями встановлено, що введення у бітум марки БНД 60/90 Олігомеру II приводить до збільшення у сумішах вмісту смол, карбенів і карбоїдів з одночасним зменшенням вмісту олив та асфальтенів. Окрім цього, можна констатувати, що даний олігомер сприяє переходу олив у смоли, а асфальтенів – у карбени і карбоїди.

Дослідженнями встановлено, що олігомери, що містять у своїй структурі вільну епоксидну та гідроксильні групи, можуть знайти застосування як добавки до промислового бітуму марки БНД 60/90 при створенні бітум-полімерних сумішей. Введення у бітум олігомеру в кількості 1–3 % мас. на 100 г бітуму підвищує у 1,5–2,0 рази адгезію отриманих бітум-полімерних сумішей у порівнянні з вихідним бітумом, але при цьому дещо погіршуються такі показники, як дуктильність та penetрація.

#### РЕФЕРАТ

*Остан Івашків, Олена Астахова, Ксенія Гринишин,*

*Національний університет «Львівська політехніка», olena.brat@gmail.com*

#### **БІТУМ-ПОЛІМЕРНІ СУМІШІ НА ОСНОВІ БІТУМУ МАРКИ БНД 60/90 ТА МОДИФІКОВАНОЇ (ОЛІГО)ДИОЛАМИ ЕПОКСИДНОЇ СМОЛИ ЕД-20**

Вивчено як полімерний додаток до бітум-полімерних сумішей на основі бітуму марки БНД 60/90 олігомери, отримані внаслідок модифікації епоксидної смоли ЕД-20 (оліго) діолами. Встановлено вплив кількості олігомеру, температури та тривалості процесу на основні експлуатаційні характеристики бітум-полімерних сумішей.

**Ключові слова:** бітум, бітум-полімерні суміші, гідроксилвмісні олігомери.

#### РЕФЕРАТ

*Остан Івашків, Елена Астахова, Ксения Гринишин,*

*Национальный университет «Львовская политехника», olena.brat@gmail.com*

#### **БИТУМ-ПОЛИМЕРНЫЕ СМЕСИ НА ОСНОВЕ БИТУМА МАРКИ БНД 60/90 И МОДИФИЦИРОВАННОЙ (ОЛИГО)ДИОЛАМИ ЭПОКСИДНОЙ СМОЛЫ ЭД-20**

Изучены полимеры, полученные модификацией эпоксидной смолы ЭД-20 (олиго)диолами используемые в качестве полимерной добавки к битум-полимерным смесям на основе битума марки БНД 60/90. Установлено влияние количества олигомера, температуры и продолжительности процесса на основные эксплуатационные свойства битум-полимерных смесей.

**Ключевые слова:** битум, битум-полимерные смеси, гидроксилсодержащие олигомеры.

#### ABSTRACT

*Ostap Ivashkiv, Elena Astakhova, Xenia Hrynshyn,*

*Lviv Polytechnic National University, olena.brat@gmail.com*

#### **BITUMEN-POLYMERIC MIXTURES BASED ON BND 60/90 BITUMEN AND ED-20 EPOXY RESIN MODIFIED BY (OLIGO)DIOLS**

Oligomers based on ED-20 epoxy resin and modified by diols were studied as a polymer additive to bitumen-polymeric mixtures based on BND 60/90 bitumen. The effect of oligomer amount, process temperature and duration on the main operational characteristics of bitumen-polymeric mixtures, was investigated.

**Key words:** bitumen, bitumen-polymeric mixtures, carboxyl-derivative oligomers.

УДК 665.637.8

### **П-3. МОДИФІКОВАНІ ФЕНОЛ-ФОРМАЛЬДЕГІДНІ ОЛІГОМЕРИ – КОМПОНЕНТИ БІТУМ-ПОЛІМЕРНИХ СУМІШЕЙ**

*Олена Шищак, Олена Астахова, Ольга Зубаль*

Дорожнє будівництво є невід'ємною частиною економічного розвитку країни, покращення якості доріг є актуальною проблемою нашої країни. Одним з основних компонентів дорожнього покриття є нафтовий бітум. На теперішній час до 90 % товарних бітумів споживає дорожнє будівництво.

Проте звичайний бітум не відповідає всім вимогам стосовно фізико-механічних показників. Застосування модифікованого бітуму дає можливість суттєво покращити основні властивості дорожнього покриття, підвищити його однорідність, міцність,



вологостійкість, морозостійкість, а також покращити адгезійні властивості, що суттєво впливають на довговічність покриття.

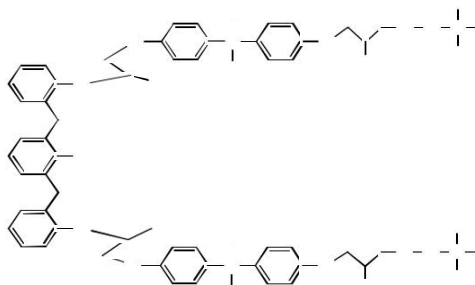
Застосування полімерів для модифікації бітумів відноситься до активно впроваджувальних технологій будівництва і ремонту дорожніх покриттів. Серед олігомерів, які загалом використовують як додатки до БПС, заслуговують на увагу фенол-формальдегідні олігомери (ФФО). Продукти на їх основі є дешевими і мають задовільні експлуатаційні характеристики. Робіт стосовно модифікації новолачного фенол-формальдегідного олігомеру з пероксидними групами як додатку до бітум-полімерних сумішей практично немає. Тому проведення робіт в даному напрямку є надзвичайно актуальним.

Отже, метою нашої роботи було створення бітум-полімерних сумішей, використовуючи як додаток синтезований на кафедрі ХТНГ фенол-формальдегідний олігомер новолачного типу з пероксидними групами, та вивчити їх експлуатаційні властивості.

**Експериментальна частина** Для досліджень використовували :

– бітум нафтовий дорожній, відібраний на Львівській асфальтно-бітумній базі (Україна). Його характеристика: penetрація  $46 \times 0,1$  мм, дуктильність 75 см, температура розм'якшення за методом “кільця і кульки” 321 К, адгезія 41,2 %.

– ФФО новолачного типу, модифікований пероксидною похідною епоксидної смоли ЕД-24 (ПФО), синтезований на кафедрі ХТНГ («Львівська політехніка»). Його формула:



Для приготування БПС ПФФО у кількості від 1 до 5 мас. част. на 100 г бітуму додавали до нагрітого бітуму при постійному перемішуванні. Дослідження проводили в інтервалі температур 443–483 К протягом 0,5–2 год. Приготування сумішей здійснювали на лабораторній установці, що складалась з металічної ємності, термометра, регулятора нагрівання та механічної мішалки. Умови вибирали на основі попередніх досліджень. Для порівняння вивчали бітум, що не містить додатків.

Для одержаних БПС визначали наступні показники якості:

- температуру розм'якшення за методом КК
- дуктильність
- пенетрацію (глибину проникнення голки)
- адгезію (показник зчеплення з склом)

Усі показники якості визначались за стандартними методиками.

У результаті проведених досліджень було встановлено наступне:

Збільшення кількості олігомеру в суміші від 0 до 5 мас. частинок підвищує адгезію більше ніж вдвічі (з 41,2 до 99,9 %) але зменшує penetрацію (з 46 до 37 мм). Зростання кількості олігомеру до 1 мас. частинки збільшує дуктильність (з 75 до 88 см). Подальше додавання модифікатора до суміші зменшує її дуктильність до 42 см, що є навіть нижчою величиною, ніж дуктильність немодифікованого бітуму. Тобто значення дуктильності зі

зміною кількості модифікатора проходить через максимум (максимальна дуктильність при кількості ПФФО 1 мас. част. на 100 г бітуму).

При підвищенні температури в досліджуваному інтервалі (443–483 К) адгезія модифікованого бітуму збільшується з 48,8 до 99,9 %, тобто сягає практично максимальної величини. У порівнянні з немодифікованим бітумом значення адгезії зростає більше ніж вдвічі (з 41,2 до 97,8%).

Значення дуктильності бітум-полімерної суміші за  $T = 443\text{--}463$  К є вищим, ніж дуктильність вихідного бітуму (88 і 75 см, відповідно). Подальше підвищення температури до 483 К суттєво знижує дуктильність до 46 см. Пенетрація модифікованого бітуму дещо зменшується при підвищенні температури. Так, за  $T = 443$  К вона становить  $42,0 \times 0,1$  мм, за  $T = 483$  К –  $37 \times 0,1$  мм. Пенетрація немодифікованого бітуму становить  $46 \times 0,1$  мм.

Нагрівання суміші протягом 1 год підвищує адгезію до 97,8 % порівняно з 41,2 % для чистого бітуму. Показники пенетрації і дуктильності змінюються незначно. Загалом, досліджуваному інтервалі тривалості процесу 0,5–2 год спостерігається пряма залежність показника адгезії від часу: чим більша тривалість процесу, тим показник адгезії вищий (до 99,9 % за  $t = 2$  год).

Зміна показників пенетрації і дуктильності в залежності від зміни тривалості процесу мають подібний характер, тобто збільшення часу процесу до 1 год. практично не змінює ці показники. Збільшення часу нагрівання суміші до 2 год суттєво знижує обидва показники: дуктильність до 48 см; пенетрацію до  $38 \times 0,1$  мм. У порівнянні з чистим бітумом дуктильність модифікованої БПС збільшується з 75 до 88 см, а пенетрація дещо зменшується – з  $46 \times 0,1$  до  $41 \times 0,1$  мм.

Ні зміна кількості модифікуючого додатку, ні температури чи тривалості реакції практично не змінює значення температури розм'якшення.

Отримані результати дають можливість запропонувати такі оптимальні умови використання ПФФО:

- вміст олігомеру – 1 мас. част. на 100 г бітуму;
- температура процесу 463 К ;
- тривалість 1 год.

*Таблиця.*

Порівняльна характеристика чистого бітуму, модифікованого ПФФО бітуму і стандартного бітуму, модифікованого полімерами

Показник	Чистий бітум	Модифікований бітум ПФФО	БМП 40/60-56
Температура розм'якшення, К	321	322	не < 329
Дуктильність за температури 298 К, см	75	88	не < 20
Глибина проникнення голки за температури 298 К, $\times 0,1$ мм	46	41	не < 40–60
Зчеплення зі склом, %	41,2	97,8	не < 75

Отримані суміші у порівнянні з вихідним бітумом характеризуються значно вищою адгезією та дуктильністю. Порівняльна характеристика модифікованого бітуму одержаного за оптимальних умов, і немодифікованого бітуму приведені в таблиці. Для порівняння приведені показники бітуму, модифікованого полімерами за ДСТУ БВ.2.7-135:2014. Одержані дані свідчать, що модифікований ПФФО бітум відповідає стандартним показникам, окрім температури розм'якшення. Проте, як показали дослідження, введення ПФФО не впливає на цей показник.

Встановлено, що використання олігомеру ПФФО у бітум-полімерних сумішах в кількості 1 мас. част. на 100 г нафтового бітуму за температури 463 К та нагріванні протягом 1 год більше як удвічі підвищує адгезію й дуктильність. Модифікований ПФФО бітум

відповідає практично всім стандартним показникам. Проведені економічні розрахунки показали, що використання бітуму, модифікованого ПФФО, дасть можливість продовжити термін експлуатації дорожнього полотна в 4 рази.

#### РЕФЕРАТ

*Олена Шищак, Олена Астахова, Ольга Зубаль,  
Національний університет «Львівська політехніка», oshyshchak@gmail.com*

#### МОДИФІКОВАНІ ФЕНОЛ-ФОРМАЛЬДЕГІДНІ ОЛІГОМЕРИ – КОМПОНЕНТИ БІТУМ-ПОЛІМЕРНИХ СУМІШЕЙ

Запропоновано використати для створення бітум-полімерних сумішей на основі нафтового бітуму, відібраного на Львівській асфальтно-бітумній базі, фенол-формальдегідний олігомер новолачного типу, модифікований пероксидною похідною епоксидної смоли ЕД-24. Встановлено вплив кількості пероксидного олігомеру, температури та тривалості процесу на експлуатаційні характеристики бітум-полімерних сумішей.

**Ключові слова:** бітум-полімерні суміші, фенол-формальдегідний олігомер.

#### РЕФЕРАТ

*Елена Шищак, Елена Астахова, Ольга Зубаль,  
Национальный университет «Львовська політехніка», oshyshchak@gmail.com*

#### МОДИФИЦИРОВАННЫЕ ФЕНОЛ-ФОРМАЛЬДЕГИДНЫЕ ОЛИГОМЕРЫ – КОМПОНЕНТЫ БИТУМ-ПОЛИМЕРНЫХ СМЕСЕЙ

Предлагается использовать для получения битум-полимерных смесей на основе нефтяного битума, отобранного на Львовской асфальтно-битумной базе, фенол-формальдегидный олигомер новолачного типа, модифицированный пероксидной производной эпоксидной смолы ЕД-24. Установлено влияние количества пероксидного олигомера, температуры и продолжительности процесса на эксплуатационные характеристики битум-полимерных смесей.

**Ключевые слова:** битум-полимерные смеси, фенол-формальдегидный олигомер.

#### ABSTRACT

*Olena Shyshchak, Olena Astakhova, Olga Zubal, Lviv Polytechnic National  
University, oshyshchak@gmail.com*

#### MODIFIED PHENOL- FORMALDEHYDE OLIGOMERS – COMPONENTS OF BITUMEN-POLYMERIC MIXTURES

Phenol-formaldehyde oligomer of novolac type, modified by peroxy derivative of ED-24 epoxy resin, was proposed to be used for the production of bitumen-polymeric mixtures based on bitumen withdrawn at Lviv asphalt-bitumen plant. The effect of peroxide oligomer amount, process temperature and duration on the operational characteristics of bitumen-polymeric mixtures, was determined.

**Key words:** bitumen-polymeric mixtures, phenol-formaldehyde oligomer.

УДК 665.765-404.9

#### II-4. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АЛКИЛНАФТАЛИНОВЫХ МАСЕЛ В КАЧЕСТВЕ ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДЫ ПОЛИМОЧЕВИННЫХ СМАЗОК

*Камиль Ахмедов, Анастасия Килякова, Борис Тонконогов*

Бурно развивающаяся промышленность диктует свои требования к смазочным материалам, которые с каждым годом становятся всё жестче, и использование смазочных материалов на основе минеральных масел остаётся преимущественным лишь из-за дешевой стоимости базовых масел. Но они не могут полностью удовлетворить своими свойствами прогрессирующую индустрию, что вызывает необходимость изучения новых смазочных материалов на основе синтетических веществ или же на смешанной основе.

До недавнего времени базовые масла в соответствии с классификацией Американского Института Нефти (API) подразделялись на пять групп в зависимости от индекса вязкости, содержания насыщенных соединений и серы, технологии производства.

По некоторым литературным источникам была выделена шестая группа – алкилнафталины, которые обладают рядом преимуществ относительно остальных пяти групп.

Алкилнафталиновые масла – продукты каталитического алкилирования нафталина олефинами или алкилхлоридами. Ди- и тризамещенные алкилнафталины обладают хорошей подвижностью при низких температурах, термической стабильностью, устойчивостью к радиационному облучению, приёмистостью к присадкам, совместимы с минеральными маслами и даже превосходят их по вязкостно-температурным свойствам и низкотемпературным свойствам, что обеспечивает перспективность их применения в качестве базовой основы и компонентов синтетических масел, основы пластичных смазок, редукторных масел, компонентов газостойких электроизоляционных масел, высокотемпературных теплоносителей.

Немаловажным, а даже актуальным в наше время является экологический аспект производства и применения масел и смазок с последующей их утилизацией без вреда для экосистемы. Обнаружено, что алкилнафталиновые масла на основе моно- и диалкилнафталинов с длиной боковой цепи от 30 до 60 атомов углерода не склонны к газовыделению и окислению и не загрязняют окружающую среду, так как подвергаются биоразложению в естественных условиях.

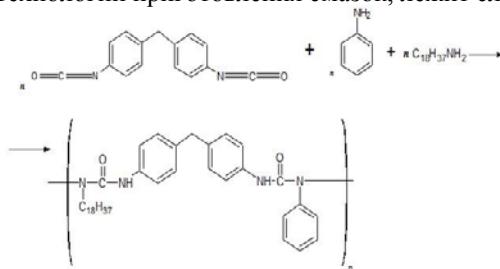
В настоящее время алкилнафталиновым маслам в нашей стране не уделяется должного внимания. Вместе с тем опыт применения алкилнафталиновых масел за рубежом показывает, что на их основе можно создать высококачественные продукты масляного производства.

Целью работы является исследование методов получения, состава и свойств смазок на основе алкилнафталиновых масел с применением полимочевинных загустителей, а также области их применения.

качестве дисперсионной среды для приготовления полимочевинных смазок было взято синтетическое алкилнафталиновое масло, как перспективная дисперсионная среда, которая имеет ряд преимуществ, как было сказано выше.

Для синтеза мочевинового загустителя использовали следующие амины: октадециламин (Рофамин-Т), систематическое название – октадекан-1-амин; анилин, систематическое название – фениламин; полиизоцианат, систематическое название – 1-изоциано-4-[(4-изоцианофенил) метил] бензол; метилendifенилдиизоцианат, сокращения – МДИ, MDI.

На первом этапе получения смазок исследовалось влияние структуры димочевины на свойства смазки. В основе технологии приготовления смазок, лежит следующая реакция:



Получение смазок состоит из нескольких стадий: растворение полиизоцианата дисперсионной среде и постоянном перемешивании, приготовление раствора аминов масле, проведение реакции полимеризации путем добавления раствора полиизоцианата реакционную среду с аминами. Дальнейшее охлаждение смазки происходило в тонком слое на противне. Для повышения равномерности распределения загустителя в масле, коллоидной и механической стабильности, проводилась механическая обработка на ручном гомогенизаторе типа «мясорубки».

Термомеханическое диспергирование осуществлено при одновременном термическом механическом воздействии, приводящем к растворению компонентов загустителя с образованием коллоидного раствора, на установке, которая состоит из электрического нагревателя, фарфорового стакана, перемешивающего устройства и термометра. Термическое воздействие определяется скоростью нагрева, температурой предельного нагрева смеси и временем выдерживания при данной температуре. Скорость нагрева поддерживают постоянной. Механическое воздействие – постоянное перемешивание смеси компонентов электромеханической мешалкой, оборудованной лопастями для перемешивания по всему объему в фарфоровом стакане, от начала нагрева до конца выдерживания.

По вышеприведенной технологии были получены несколько образцов, в которых изменяли соотношение исходных компонентов, образующих в процессе варки молекулы полимочевины. В качестве дисперсионной среды использовали синтетическое алкилнафталиновое масло.

Нами было получено и проанализировано три опытных образца смазок с различным процентным содержанием загустителя. Данные представлены в таблице 1.

Таблица 1

Данные показателей качества пластичных смазок и их зависимость от содержания загустителя

№	Загуститель, % мас	Коллоидная стабильность, % мас	Пенетрация, мм·10 <sup>-1</sup> при 25 °С	Температура каплепадения, °С
1	16,67	0,34	117,8	226
2	13,00	0,15	155,0	227
3	10,00	1,14	276,0	>250

Заметим, что от изменения процентного содержания загустителя в опытных образцах смазок существенно изменялись только значения пенетрации, в то время как коллоидная стабильность и температура каплепадения изменились не существенно.

Сравнение полученных опытных образцов с лучшими отечественными и зарубежными аналогами представлены в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика пластичных смазок

Наименование показателя	Образец №3	ПолиTERM многоцелевая	Mobil Polyrex EM 103
Коллоидная стабильность, % масс.	1,14	4,27	2,10
Цвет	Светло-желтый	коричневый	синий
Температура каплепадения, °С	>250	224	270
Пенетрация, мм·10 <sup>-1</sup> при 25°С	276	260	256

Как видно из таблицы, образец смазки на основе алкилнафталина ничем не уступает, по некоторым показателям эксплуатационных свойств превосходят зарубежные аналоги.

После поверхностного изучения основных показателей и характеристик, очевидна перспективность данного процесса получения и применения пластичных смазок на основе алкилнафталиновых масел. Планируется далее продолжать эти исследования.

#### РЕФЕРАТ

*Камилъ Ахмедов, Анастасия Кияжкова, Борис Тонконогов,*

*Російський державний університет нафти та газу ім. І.М. Губкіна, akhmedov.k@gubkin.ru*

#### **ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АЛКІЛНАФТАЛІНОВИХ ОЛИВ ЯК ДИСПЕРСІЙНОГО СЕРЕДОВИЩА ПОЛІМОЧЕВІННИХ МАСТИЛ**

Промисловість, що бурхливо розвивається, диктує свої вимоги до змащувальних матеріалів, що з кожним роком стають все жорсткішими, і використання змащувальних матеріалів на основі

мінеральних олив залишається переважним лише із-за дешевої вартості базових олив. Але вони не можуть повністю задовольнити своїми властивостями прогресуючу індустрію, що викликає необхідність вивчення нових змащувальних матеріалів на основі синтетичних речовин або ж на змішаній основі.

Після поверхневого вивчення основних показників і характеристик, очевидна перспективність даного процесу отримання і застосування пластичних мастил на основі алкілнафталинових олив. Планується далі продовжувати ці дослідження.

**Ключові слова:** пластичні мастила, алкілнафталіни.

#### РЕФЕРАТ

*Камиль Ахмедов, Анастасія Кілякова, Борис Тонконогов, РГУ нафти і газу (НИУ) ім. І.М. Губкіна,, akhmedov.k@gubkin.ru* **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ**

#### **АЛКИЛНАФТАЛИНОВЫХ МАСЕЛ**

#### **В КАЧЕСТВЕ ДИСПЕРСИОННОЙ СРЕДЫ ПОЛИМОЧЕВИННЫХ СМАЗОК**

Бурно развивающаяся промышленность диктует свои требования к смазочным материалам, которые с каждым годом становятся всё жестче, и использование смазочных материалов на основе минеральных масел остаётся преимущественным лишь из-за дешевой стоимости базовых масел. Но они не могут полностью удовлетворить своими свойствами прогрессирующую индустрию, что вызывает необходимость изучения новых смазочных материалов на основе синтетических веществ или же на смешанной основе.

После поверхностного изучения основных показателей и характеристик, очевидна перспективность данного процесса получения и применения пластичных смазок на основе алкілнафталинових масел. Планируется далее продолжать эти исследования.

**Ключевые слова:** пластичне смазки, алкілнафталіни.

#### ABSTRACT

*Kamil' Akhmedov, Anastasia Kilyakova, Boris Tonkonogov, Russian state University of oil and gas named after I. M. Gubkin, akhmedov.k@gubkin.ru* **STUDY THE POSSIBILITY OF APPLICATION OF**

#### **ALKYLNAPHTHALENE OILS AS THE DISPERSION MEDIUM OF POLYUREA GREASES**

Rapidly developing industry dictates its own requirements concerning the lubricating materials, which every year become tougher, and the use of lubricants based on mineral oil, remains to be of primary consideration, only due to the low cost of base oils. But they cannot completely satisfy progressive industry with their properties, it necessitates the study of new lubricants based on synthetic substances, or on a mixed basis.

After a cursory examination of the main indicators and characteristics, the prospect of given process of production and application of greases on the basis of alkylnaphthalene oils, is apparent. It is planned to continue these studies.

**Key words:** sluggish lubricant, alkylnaphthalene.

УДК 66.048.3+665.634+66.011

## **II-5. ФОРМУВАННЯ НАФТОВИХ СУМІШЕЙ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ВИХОДУ ЦІЛЬОВИХ ФРАКЦІЙ**

*Олена Тертишина, Костянтин Замікула, Віталіна Мартиненко*

Сучасна тенденція переробки нафтових сумішей обумовлює необхідність вивчення впливу складу сировини і основних параметрів фракціонування на результати процесу та використання виявлених закономірностей для його інтенсифікації.

Метою роботи було виявлення взаємозв'язку між фізико-хімічними властивостями та складом нафти для визначення порядку формування сумішей із застосуванням методів математичного моделювання; оцінювання фракційного складу сумішевої сировини для визначення температурних меж найбільш енергетично вигідного розділення на фракції за допомогою розрахунків потенціалів інтенсивності кипіння.

Дослідження виконувались з Східно-Українською нафтою (УН), Західно-Українською нафтою (ЗУН) і нафтою CPC Blend (Blend). Зразки нафти позначали у відповідності до дати відбору: вересень 2015р. (09.15) та березень 2016р. (03.16).

При визначенні потенційного вмісту цільових фракцій в нафтових сумішах традиційно користуються правилом адитивності. Криві істинних температур кипіння (ІТК) компонентів суміші розподіляються на вузькі фракції, що потім об'єднуються в цільові продукти пропорційно часткам компонентів в суміші. Такий підхід часто дає значні похибки визначенні потенціалу цільових фракцій, що, як наслідок, знижує глибину вилучення.

Відомо, що при перегонці нафтових сумішей різної природи в оптимальному співвідношенні сумарний вихід світлих нафтопродуктів вищий, ніж при роздільній перегонці. У зв'язку з цим становить інтерес дослідження процесу переробки нафтових сумішей з метою створення інструменту, що дозволить визначати оптимальне співвідношення компонентів при їх формуванні.

При перегонці нафти залежність виходу ректифікату від температури представляли у вигляді функції  $G = f(t)$ . Крива ІТК на проміжку від початку кипіння (п.к.) до кінця кипіння (к.к.) фракцій визначена, і кожному значенню температури  $t$  відповідає єдине значення масового виходу  $G$ . Крім того, функція  $G = f(t)$  неперервна і її диференціювали за температурою.

Друга похідна  $\frac{d^2G}{dt^2}$  характеризує зміну швидкості википання нафтових фракцій від

температури і представляє собою інтенсивність кипіння (ІК).

Залежність інтенсивності кипіння від температури представляли графічно, який більш повно характеризував поведінку сировини в процесі випаровування. Позитивне значення інтенсивності кипіння на температурному інтервалі свідчить про прискорення процесу кипіння, негативне – про зниження темпів википання нафтової суміші.

Представлення фракційного складу в графічній формі дозволило розробити інструмент для визначення оптимального складу сумішевої сировини. Оптимізація перегонки сумішевої сировини забезпечувала співвідношення, при якому вихід цільових фракцій і глибина їх відбору від потенціалу був максимальним. Потенціал вмісту цільових фракцій для порівняння оцінювали за правилом адитивності.

За лінію адитивності приймається лінійна інтерполяція отриманих значень потенціалу. Відхилення від адитивності визначалась як різниця функцій  $v_{iK}$  і  $v_{ад}$ :

$$v_{iK} = \frac{\int_{t_1}^{t_2} IK(t) dt}{\int_{t_1}^{t_2} IK(t) dt} (n_{пу} IK(t) - 0) \quad \omega_i$$

де  $v_{ад}$  – розрахована адитивно середня швидкість википання фракцій суміші;  $v_{iK}$  – розрахована за ІК середня швидкість википання фракцій  $i$ -ї нафти;  $v_{K}$  – розрахована за ІК середня швидкість википання сумішевої сировини даного складу;  $\omega_i$  – масова частка  $i$ -ї нафти в суміші.

Нафти є складними молекулярними системами, що відрізняються стійкістю. Ознакою будь-якої стійкої системи є мінімум потенційних енергій всередині системи. Якщо взяти нафтову систему, що піддається інтенсифікації і додавати в неї нафту-інтенсифікатор, то після змішування вихід вузьких фракцій зростає від адитивно розрахованого до досягнення деякого критичного значення.

Аналогічним чином розраховували зміну швидкості википання цільової фракції для трикомпонентної нафтової суміші. Усі необхідні обчислення проводили за допомогою створеного програмного продукту в середовищі Mathcad.

Розрахунки оптимального кількісного складу та їх практична перевірка проводились з використанням сумішей УН-09.15 з Blend-09.15 (двокомпонентна суміш) та УН-03.16 та ЗУН-03.16 з Blend-03.16 (трикомпонентна суміш).

На рис. 1, як приклад показано відхилення швидкості кипіння газової фракції (140–240 °С) від розрахованого за правилом адитивності для двокомпонентної (а) та трьохкомпонентної (б) сумішей. Область найбільш позитивного відхилення вважалась оптимальною, а використання сумішей визначеного складу дозволило отримати найбільший вихід продукту.

На рис. 2 представлений фрагмент програмного продукту, що демонструє результат розрахунку оптимального складу трьохкомпонентної суміші: 19% нафти УН-03.16, 41 % нафти ЗУН-03.16 і 40 % нафти Blend-03.16.

Для суміші зразків нафти УН-09.15 та Blend 09.15 виявлено, що оптимальним є співвідношення компонентів 49:51, а для суміші зразків нафти УН-03.16, ЗУН-03.16 та Blend-03.16 – співвідношення компонентів 19:41:40 («Макс» рис.1 а, б).

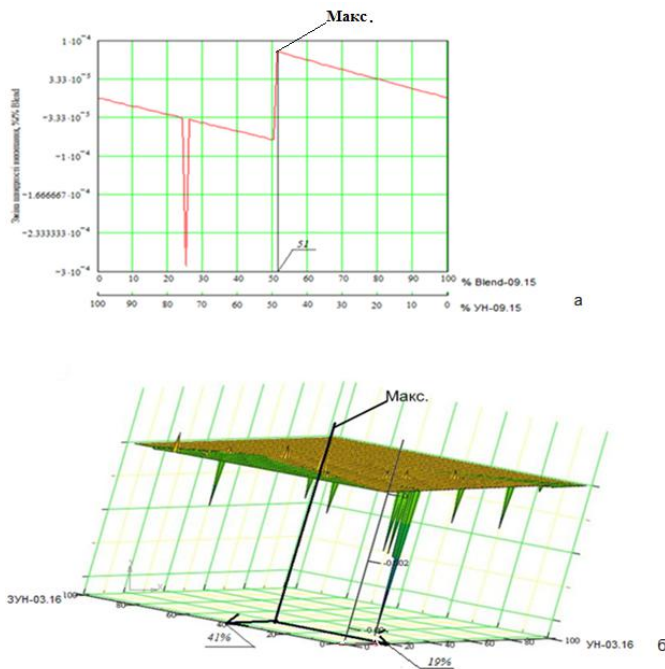


Рис. 1. Графічне відображення відхилення швидкості кипіння, розрахованої за потенціалами кипіння (програмний продукт) від адитивних значень для бінарної (а) та трьохкомпонентної (б) сумішей

$$\text{Max} = \begin{pmatrix} 1.439 \times 10^{-3} \\ 19 \\ 41 \\ 40 \end{pmatrix} \quad \begin{array}{l} \text{максимальне позитивне відхилення швидкості википання} \\ \text{УН-03.16} \\ \text{ЗУН-03.16} \\ \text{Blend-03.16} \end{array}$$

Рис. 2. Фрагмент результату розрахунку визначення оптимального складу трьохкомпонентної суміші на максимальний вихід газової фракції 140–240° С



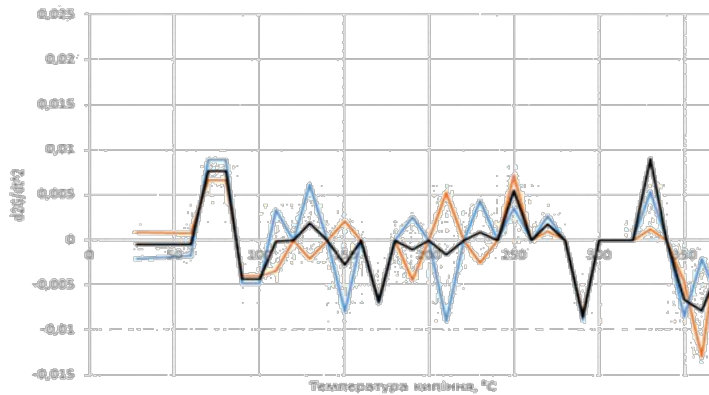


Рис. 3. Другі похідні кривих ДТК зразків нафти і їх оптимальних сумішей: бінарної (а) та трьохкомпонентної (б)

На рис. 3 представлені другі похідні ДТК зразків нафти і їх оптимальних сумішей. Результати перегонки бінарної нафтової суміші в знайдених співвідношеннях в умовах нафтопереробного підприємства, підтвердили збільшення виходу цільової фракції вище адитивного на 3,5 % мас. при використанні сумішей у співвідношенні 49:51.

Таким чином, під час виконання досліджень нами використано новий підхід представлення фракційного складу другими похідними швидкості кипіння, що дозволило більш точно оцінити потенційний вміст цільових фракцій в сумішеві сировині.

За допомогою програмного продукту розраховані оптимальні склади сумішевої нафтової сировини, що забезпечило підвищений вихід цільової фракції 140–240 °С.

Оптимальним співвідношенням композиційної суміші української нафти та нафти Blend виявилось співвідношення 49:51, а суміші української нафти, західноукраїнської нафти та нафти Blend – 19:41:40, що було підтверджено експериментальною перегонкою

умовах нафтопереробного підприємства. Збільшення виходу фракції відносно адитивного склало 3,5 % та 1,2 % відповідно.

#### РЕФЕРАТ

*Олена Тертишина, Костянтин Замікула, Віталіна Мартиненко,  
Український державний хіміко-технологічний університет, t\_elen2000@bigmir.net*

#### **ФОРМУВАННЯ НАФТОВИХ СУМІШЕЙ З МЕТОЮ ПІДВИЩЕННЯ ВИХОДУ ЦІЛЮВИХ ФРАКЦІЙ**

Оцінено вплив складу сировини та основних параметрів фракціонування нафти на результати процесу і використання виявлених закономірностей для його інтенсифікації. Виявлено взаємозв'язок між фізико-хімічними властивостями та складом нафти для визначення порядку формування сумішей із застосуванням методів математичного моделювання, елементів статистики. Оцінено фракційний склад сумішевої сировини для визначення температурних меж найбільш енергетично вигідного розділення на фракції на основі розрахунків потенціалів інтенсивності кипіння.

**Ключові слова:** нафта, фракціонування, інтенсивність кипіння, оптимальний склад.

#### РЕФЕРАТ

*Елена Тертышина, Константин Замикула, Виталина Мартыненко, Украинский  
государственный химико-технологический университет, t\_elen2000@bigmir.net*

#### **ФОРМИРОВАНИЕ НЕФТЯНОЙ СМЕСИ С ЦЕЛЮ ПОВЫШЕНИЯ ВЫХОДА ЦЕЛЕВЫХ ФРАКЦИЙ**

Оценено влияние состава сырья и основных параметров фракционирования нефти на результаты процесса и использования выявленных закономерностей для его интенсификации. Выведена взаимосвязь между физико-химическими свойствами и составом нефти для определения порядка

формирования смесей с применением методов математического моделирования, элементов статистики. Оценен фракционный состав смесового сырья для определения температурных пределов наиболее энергетически выгодного разделения на фракции на основе расчетов потенциалов интенсивности кипения.

**Ключевые слова:** нефть, фракционирования, интенсивность кипения, оптимальный состав.

#### ABSTRACT

*Olena Tertyshna, Kostyntyn Zamikula, Vitalina Martynenko, Ukrainian State University of Chemical Technology, t\_elena2000@bigmir.net* **OIL MIXTURE FORMATION FOR THE PURPOSE OF INCREASE THE YIELD OF THE TARGET FRACTION**

The influence of raw materials composition and basic parameters of oil fractionation, on the process results, was evaluated, as well as the usage of the revealed laws for process intensification. The correlation between physicochemical properties and oil composition were revealed, to determine the order of mixtures formation with using the methods of mathematical modeling, statistical elements. Fractional composition of mixed raw materials was evaluated to determine the temperature limits of the most energetically favorable fractionation, based on calculations of potentials of the boiling intensity.

**Key words:** oil, fractionation, boiling intensity, the optimal composition.

УДК 519.237.7+665.613

## II-6. ФОРМУВАННЯ НАФТОВИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ

*Олена Тертишина, Віталіна Мартиненко, Катерина Роеько*

Як відомо достатня вивченість і класифікація якісних особливостей нафти полегшує оцінку перспектив і визначення напрямків подальшої її переробки. Знання фізико-хімічних властивостей нафти можуть бути використані для вибору технологій транспортування, переробки і зберігання.

На підприємствах застосовується метод отримання сумішевих композицій на основі лабораторного аналізу властивостей нафти, підбору і перевірки технологічних показників створюваних сумішей і фракцій. Такий метод ґрунтується на чисельних тривалих

трудомістких експериментальних дослідженнях. Крім того, вони ефективні тільки при постійному якісному і кількісному складі компонентів, що практично недосяжно в умовах сучасних нафтопереробних підприємств.

Нами проаналізовано і узагальнено існуючі дані по дослідженню складу властивостей зразків нафти Українських родовищ. Виявлено та встановлено закономірності взаємозв'язків компонентного, вуглеводневого, структурно-групового складу, наявності парафіно-смолисто-асфальтенових компонентів, фізико-хімічних характеристик з метою експресної та достовірної класифікації нафти.

Досліджено 13 зразків нафтових сумішей, що переробляються на нафтопереробному підприємстві України.

Для більш компактного опису фізико-хімічних властивостей нафти, що досліджувались (температура застигання, густина, в'язкість, вихід фракцій до 200 °С, вихід фракцій до 350 °С, вихід оливних фракцій, вміст асфальтенів, смол та парафінів) та проведення аналізу всю інформацію було згруповано до більш значимих характеристик методом факторного аналізу.

Отримана матриця факторних навантажень (змінні) на параметри з використанням стандартного програмного пакету STATISTICA 10 (табл. 1) дозволила виявити узагальнені головні чинники, не залежні між собою, і значимі параметри, що стоять за цими факторами.

Виявлено два основних фактора, що визначають формування макроскопічних властивостей нафтових дисперсних систем.

зразках нафти, що досліджувались, вміст бензинової фракції не характеризується зміною її густини (фактор 1 табл.1), а головними характеристиками виявились: наявність парафінів та їх кількість, значення температури застигання, в'язкість. Збільшення в'язкості (негативне значення параметру) впливає на зменшення вмісту фракцій, які википають до 200 °С (позитивне значення параметру), що є загальною тенденцією для нафтових дисперсних систем. Одночасно, параметрами, що виявились за іншим фактором значимими, вихід легких фракцій та вміст смол. Зі зменшенням вмісту смол у зразках нафти підвищується вихід фракцій, що википають до 200 °С.

Таблиця 1

Матриця факторних навантажень на параметри зразків нафти

Найменування показника	Фактор 1	Фактор 2
Температура застигання, °С	<b>0,949694</b>	0,158768
В'язкість, мм <sup>2</sup> /с	<b>-0,919983</b>	-0,171660
Вміст асфальтенів, % мас.	0,449675	-0,491811
Вміст смол, % мас.	0,266222	<b>-0,715264</b>
Вміст парафінів, % мас.	<b>-0,965509</b>	0,053228
Вміст сірки, % мас.	0,675195	-0,476228
Густина, кг/м <sup>3</sup>	-0,554216	-0,084916
Вміст бензинової фракції до 200 °С, % об.	<b>0,901190</b>	<b>0,783442</b>
Вміст оливої фракції вище 350 °С, % об.	0,027847	-0,593519

Відмінність зразків нафти Українських родовищ від загальної тенденції полягає у значимому впливі вмісту смол (значення фактора -0,715264), а не асфальтенів (значення фактора -0,491811) і впливі в'язкості нафти на вихід бензинових фракцій (значення фактора -0,919983).

Вплив значимих факторів представлено у вигляді трьохмірної поверхні (рис. 1). Виявлено складний нелінійний взаємозв'язок між змінними, що апроксимувався наступним рівнянням регресії:

$$BF_{200} = 38,98 + 0,7397 T - 2,613 P - 0,016 T^2 + 0,025 T P - 0,169 P^2$$

де  $BF_{200}$  – вихід бензинової фракції до 200 °С, % мас.;  $T$  – температура застигання, °С;  $P$  – вміст парафінів, %.

За аналогією одержано залежність для широкої фракції, що википає до 350 °С від вмісту асфальтенів та смол (наступне рівняння регресії). Візуалізація цієї залежності представлена на рис. 2.

$$BF_{350} = 0,0370 + 0,330 T_0 + 0,944 P_0 + 0,307 T^2 - 0,131 T P_0 + 0,332 P_0^2$$

де  $BF_{350}$  – вихід бензинової фракції до 350 °С.

На основі інформації про фізико-хімічні властивості Українських нафт здійснено їх класифікацію за методом кластерного аналізу, за яким було об'єднано нафти за їх властивостями на класи, кожен з яких відповідав певній групі. Результатом кластерного аналізу узагальнено у вигляді вертикальної дендрограми (рис. 3).

Нафти, що потрапили в одну групу, характеризувались близькою ймовірністю поведінки при змішуванні, яка є важливою технічною інформацією для нафтопереробників.

За результатами кластерного аналізу зразки нафти (№ 9 і №10), (№ 6 і № 7), а також (№ 4, № 8 і №3) мають близькі значення показників, наслідком чого вони об'єднані в один кластер на дистанціях 7,7; 10,5; 11,1 відповідно.

Далі утворюються кластери (№11, №12, №8, №4), (№6, №7, №10, №9) відповідні дистанції зв'язку 13, 12,2 і т.д. Рекомендовано змішувати між собою нафти об'єднаних кластерах, дистанція зв'язку між якими мінімальна.

Сформовано п'ять дво- та трикомпонентні нафтові суміші із зразків, об'єднаних близькі групи (№ 6, № 7; № 9 і № 10; №12, №8, №4) і навпаки (№ 3, № 13, №11; № 5, №13).

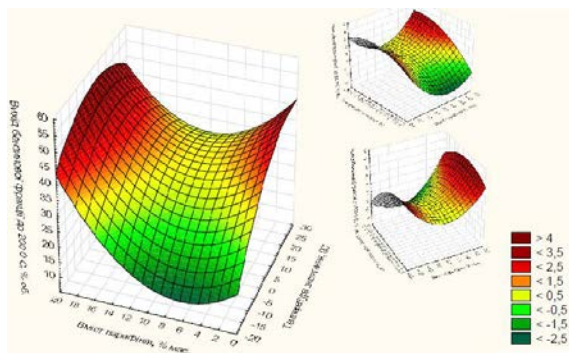


Рис. 1. Вихід бензинової фракції, що випає до  $200^{\circ}\text{C}$  у залежності від вмісту парафінів і температури застигання зразків нафти

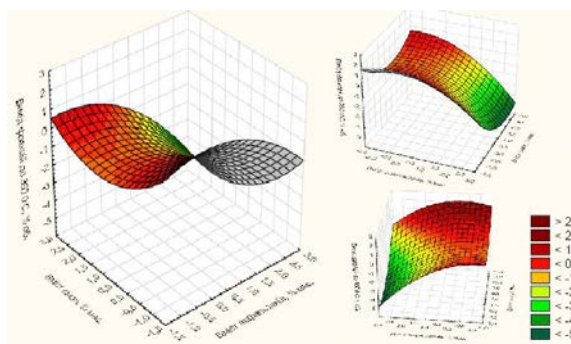


Рис. 2. Вихід розширеної фракції, що випає до  $350^{\circ}\text{C}$  у залежності від вмісту асфальтенів і смол у зразках нафти

Експериментальна розгонка на максимальний вихід газової фракції підтвердила доцільність змішування сировинних потоків на базі запропонованої класифікації.

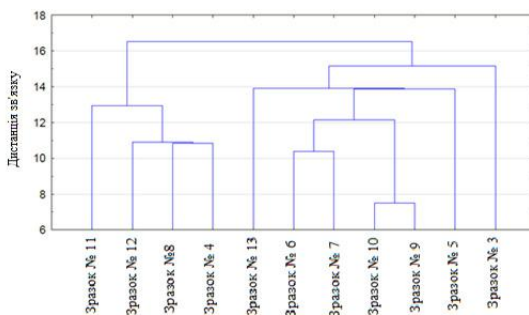


Рис. 3. Вертикальна дендрограма класифікації зразків нафти

Таким чином, нами класифіковано нафтові об'єкти з використанням методів кластерного та факторного аналізу. Показано, що нафти, що потрапили в одну групу,

характеризуються близькою ймовірністю поведінки при змішуванні і є важливою технічною інформацією для переробки. Виявлено два основних фактора, що визначають формування макроскопічних властивостей даного типу нафтових дисперсних систем.

#### РЕФЕРАТ

*Олена Тертишна, Віталіна Мартиненко, Катерина Роєнко,  
Український державний хіміко-технологічний університет, t\_elen2000@bigmir.net*

#### ФОРМУВАННЯ НАФТОВИХ СУМІШЕЙ НА ОСНОВІ ЕЛЕМЕНТІВ СТАТИСТИЧНОГО АНАЛІЗУ

Проаналізовано і узагальнено існуючі дані по дослідженню складу і властивостей зразків нафти Українських родовищ. Виявлено та встановлено закономірності взаємозв'язків компонентного, вуглеводневого, структурно-групового складу, наявності парафіно-смолисто-асфальтенових компонентів, фізико-хімічних характеристик з метою експресної та достовірної класифікації нафти. Проведено групову класифікацію нафтові об'єкти з використанням методів кластерного та факторного аналізів. Виявлено основні фактори, які визначають порядок формування макроскопічних властивостей даного типу нафтових систем.

**Ключові слова:** нафта, фізико-хімічні властивості, факторний, кластерний аналіз.

#### РЕФЕРАТ

*Елена Тертышная, Виталина Мартыненко, Екатерина Роенко, Украинский государственный химико-технологический университет, t\_elen2000@bigmir.net*

#### ФОРМИРОВАНИЕ НЕФТЯНЫХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ЭЛЕМЕНТОВ СТАТИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Проанализированы и обобщены существующие данные по исследованию состава и свойств образцов нефти Украинских месторождений. Выявлены и установлены закономерности взаимосвязей компонентного, углеводородного, структурно-группового состава, наличия парафино-смолисто-асфальтеновых компонентов, физико-химических характеристик с целью экспрессной и достоверной классификации нефти. Проведена групповая классификация нефтяных объектов с использованием методов кластерного и факторного анализов. Выявлены основные факторы, определяющие порядок формирования макроскопических свойств данного типа нефтяных систем.

**Ключевые слова:** нефть, физико-химические свойства, факторный, кластерный анализ.

#### ABSTRACT

*Olena Tertyshna, Vitalina Martynenko, Kateryna Roenko, Ukrainian State University of Chemical Technology, t\_elen2000@bigmir.net*

#### FORMATION OF OIL MIXTURES ON THE BASIS OF ELEMENTS OF STATISTICAL ANALYSIS

The data on the study of composition and properties of oil samples of Ukrainian oil deposits, were analyzed and summarized. The regularities of correlation between the component, hydrocarbon, structural-group composition and the presence of paraffin-resin-asphaltene components, physico-chemical characteristics, were revealed for the purpose of express and reliable oil classification. Group classification of oil objects were carried out with the use of the methods of cluster and factor analysis. The main factors that determine the order of formation of the macroscopic properties of this type of oil systems, were found.

**Key words:** oil, physicochemical properties, factor analysis, cluster analysis.

УДК 539.193+541.65+661.721.42

## II-7. ПРЯМИЙ СИНТЕЗ МЕТАНОЛУ У КАВІТАЦІЙНОМУ ПОЛІ

*Олексій Целіщев, Марина Лорія*

Отримання метанолу з природного газу, оминаючи стадію отримання синтез-газу, давно є предметом пильної уваги науковців-дослідників і технологів. Тому створення технології прямої конверсії метану в метанол є важливим і актуальним завданням.

На нашу думку розв'язати це завдання можна використавши активацію молекули алкану гідроксильним радикалом. Як показано в попередніх дослідженнях, гідроксильний радикал є ефективним активатором молекул алканів (енергія активації складає достатньо малу величину  $E_a = 8-15$  кДж/моль). Одним із напрямів отримання гідроксильного радикалу, який може бути здійснений в промисловому масштабі в умовах реального виробництва,

динамічна кавітація водного розчину перекису водню. Перевагою запропонованої установки є мала кількість апаратів, мала метало- та енергоємність. Вона може бути розміщена на автоплатформі, тобто може бути мобільною.

Експериментальна установка, на якій проводилися дослідження, наведена на рис. 1.

Метою проведення експериментальних досліджень прямої кавітаційної конверсії алканів в метанол є підтвердження теоретичного обґрунтування цього процесу та встановлення впливу зміни параметрів процесу на ступінь конверсії алканів в метанол (концентрації метанолу на виході установки). Для того, щоб визначити ці параметри на прикладі процесу кавітаційної конверсії метану, слід провести аналіз технологічного процесу прямої кавітаційної конверсії метану в метанол як об'єкту керування. Вихідними параметрами цього процесу безумовно є концентрація метанолу у розчині на виході установки або ступінь конверсії метану в метанол. Регулюючими параметрами є витрата розчину перекису водню, витрата метану на конверсію. До збурюючих параметрів слід віднести тиск на виході насоса високого тиску, концентрацію перекису водню у водному розчині, співвідношення витрат метан:розчин перекису водню.

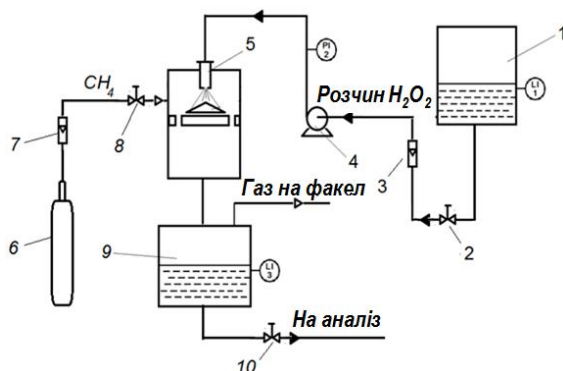


Рис. 1. Схема лабораторної установки переробки алканів в метанол кавітаційним способом:

1 – ємність з розчином перекису водню; 2, 8, 10 – регулюючий вентиль; 3, 7 – ротаметр; 4 – насос високого тиску; 5 – кавітаційний реактор; 6 – балон з вуглеводневим газом; 9 – ємність для продуктів реакції.

Результатом аналізу технологічного процесу як об'єкту керування є інформаційно-логічна схема. Інформаційно-логічна схема процесу прямої конверсії метану в метанол наведена на рис. 2.

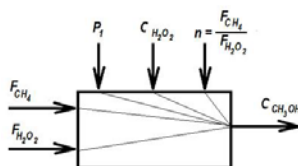


Рис. 2. Інформаційно-логічна схема процесу прямої кавітаційної конверсії алканів в метанол

Як видно з проведеного аналізу, процес прямої конверсії алканів в метанол є одномірним. Для дослідження цього процесу слід застабілізувати всі регулюючі та

збурюючи параметри та вивести процес на режим, в якому концентрація метанолу на виході змінюватися не буде. Після цього змінювати тільки один з цих параметрів в межах досліджуваного діапазону з певним кроком, фіксуючи при цьому значення вихідного параметра.

Залежності концентрації метанолу, що утворювався, у результаті кавітаційної конверсії метану від тиску, з яким подається розчин перекису водню в реактор, для різних концентрацій розчину перекису водню наведена на рис. 3.

Аналізуючи отримані залежності, можна зробити такі висновки. За тиску нижче 9 МПа метанол на виході установки не утворюється. Причиною цього є те, що ніяких змін у розчині перекису водню не відбувається. Пояснюється це тим, що за тиску нижче 9 МПа перед форсункою, швидкість потоку у форсунці не перевищує критичного значення, тобто за форсункою не досягаються умови, за яких починається кавітація. А, отже, не відбувається розкладання перекису водню на гідроксильні радикали і, як наслідок, не відбувається утворення метанолу по відомим механізмом. За збільшення тиску перед форсункою вище 9 МПа в продуктах реакції з'являється метанол. Концентрація метанолу, що утворювався в результаті кавітаційної конверсії метану, збільшується за збільшення тиску до 19–20 МПа. Пояснюється це тим, що за форсункою створюються умови для виникнення кавітації, і цей процес протікає більш повно. Подальше збільшення тиску призводить до зворотного ефекту. Концентрація метанолу, що утворювався в результаті конверсії метану в метанол, зменшується. За тиску більш 21 МПа концентрація метанолу, що утворювався, дорівнює 0. Пояснюється це тим, що при дроселюванні з такого тиску відбувається скипання розчину перекису водню, і за тиску більш 21 МПа весь потік розчину перекису водню перетворюється на пару. Максимальна концентрація метанолу у водному розчині на виході установки, яку вдалося досягти в ході експериментальних досліджень, склала ~ 0,4 %.

На вихід метанолу впливає й концентрація перекису водню у водному розчині. Як впливає з експериментальних даних, збільшення концентрації перекису водню у вихідному розчині, що подається в кавітаційний реактор, до 20 % призводить до істотного росту концентрації метанолу, що утворювався. При подальшому збільшенні концентрації перекису водню у вихідному розчині, збільшення концентрації метанолу відбувається не так помітно.

Слід відмітити, що зміна витрати природного газу в два рази у бік збільшення та зменшення практично не вплинула на концентрацію метанолу у водному розчині на виході установки. З цього можна зробити висновок, що концентрація метанолу на виході установки, а отже і ступінь конверсії метану в метанол, залежить від ефективності роботи генератора гідроксильного радикалу.

Ступінь конверсії природного газу у метанол також невелика й становить  $K \sim 10\%$ .

урахуванням того, що змін у складі вихідного газу майже не відбувається, газ, що пройшов через кавітаційну установку, можна використовувати повторно. Тобто доцільно розглядати технологічну схему з рециклом і по природному газу, і по розчину перекису водню.

Як слід з аналізу експериментальних даних, кількість перекису водню, що розкладалася наслідок кавітації, суттєво перебільшує кількість метанолу, що утворився. Пояснюється це тим, що гідроксильний радикал, що утворюється в наслідок кавітаційного впливу, реагує з будь-якою молекулою з найближчого оточення. У тому числі із матеріалом реактора. Це пояснює сліди корозії, що виникають на внутрішніх стінках нержавіючого реактора.

Експериментально досліджена технологія прямої кавітаційної конверсії метану в метанол на основі кавітації водного розчину перекису водню, встановлено:

- що кавітація в потоці розчину перекису водню починається при швидкості потоку більш ніж 140 м/с, що дозволило розрахувати розміри форсунки та її форму (сопло Лавалю з внутрішнім діаметром 0,7–1 мм).

що при відсутності в потоці, що кавітується, перекису водню ступінь конверсії метану в метанол практично дорівнює нулю;

що для процесу прямої кавітаційної конверсії метану в метанол найбільш оптимальними параметрами, що забезпечують ~ 10% ступінь конверсії, є такі: співвідношення витрат газ – розчин перекису водню 1:1, концентрація перекису водню водному розчині 10–20 %;

та розроблено

кавітаційний реактор для кавітаційної переробки газоподібних та рідких вуглеводнів, що дозволяє сформувати три зони кавітації;

технологічну установку кавітаційної переробки вуглеводнів в метанол, що характеризується ~ 10 % ступенем конверсії, малою кількістю апаратів, малою матеріало-та металоемністю.

#### РЕФЕРАТ

*Олексій Целищев, Марина Лорія,*

*Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, atr00@ukr.net*

#### ПРЯМОЙ СИНТЕЗ МЕТАНОЛУ У КАВІТАЦІЙНОМУ ПОЛІ

Експериментально досліджена технологія прямої кавітаційної конверсії метану в метанол на основі кавітації водного розчину перекису водню. Встановлено, що кавітація в потоці розчину перекису водню починається при швидкості потоку більш ніж 140 м/с, що дозволило розрахувати розміри форсунки та її форму (сопло Лаваля з внутрішнім діаметром 0,7 – 1 мм). При відсутності в потоці, що кавітується, перекису водню ступінь конверсії метану в метанол практично дорівнює нулю. Розроблено кавітаційний реактор для кавітаційної переробки газоподібних та рідких вуглеводнів, який дозволяє сформувати три зони кавітації.

**Ключові слова:** кавітаційна переробка бензину, октанове число, метанол, толуол, перекись водню.

#### РЕФЕРАТ

*Алексей Целищев, Марина Лория,*

*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, atr00@ukr.net*

#### ПРЯМОЙ СИНТЕЗ МЕТАНОЛА В КАВІТАЦІЙНОМУ ПОЛІ

Експериментально досліджена технологія прямої кавітаційної конверсії метану в метанол на основі кавітації водного розчину перекиси водню. Встановлено, що кавітація в потоці розчину перекиси водню починається при швидкості потоку більш ніж 140 м/с, що дозволило розрахувати розміри форсунки та її форму (сопло Лаваля з внутрішнім діаметром 0,7 – 1 мм). При відсутності в потоці, що кавітується, перекиси водню ступінь конверсії метану в метанол практично дорівнює нулю. Розроблено кавітаційний реактор для кавітаційної переробки газоподібних та рідких вуглеводнів, який дозволяє сформувати три зони кавітації.

**Ключевые слова:** кавітаційна переробка бензину, октанове число, метанол, толуол, перекись водню.

#### ABSTRACT

*Alexei Tselishev, Maryna Loriya,*

*East Ukrainian National University, atr00@ukr.net*

#### THE DIRECT SYNTHESIS OF METHANOL IN THE CAVITATION FIELD

The cavitation technology of direct conversion of methane to methanol, on the base of cavitation of aqueous solution of hydrogen peroxide, was studied experimentally. It is found that cavitation in the flow of hydrogen peroxide solution starts at a flow rate of more than 140 m/s, allowing to calculate the dimensions of the nozzle and its shape (Laval nozzle with an internal diameter of 0,7–1 mm). In absence of hydrogen peroxide in cavitating stream, degree of conversion of methane to methanol is almost equal to zero. The cavitation reactor for cavitation processing of gaseous and liquid hydrocarbons, which allows to generate three cavitation zones, was developed.

**Key words:** cavitation gasoline processing, octane number, methanol, toluene, hydrogen peroxide.



## **II-8. ВТОР-БУТАНОЛ – КИСЕНЬВМІЩУЮЧИЙ КОМПОНЕНТ ВИСОКООКТАНОВИХ БЕНЗИНІВ**

*Гор Данчук, Олена Шевченко*

Різке зростання числа автомобілів за останні десять років неминуче ставить завдання зробити більш жорсткими вимоги до викидних газів ДВЗ. Зазначена проблема в поєднанні глобальними паливними кризами, починаючи з 1970-х років, виявила нагальну потребу в пошуках нових поновлюваних видів моторних палив. Одним з напрямків, що дозволяють, з одного боку, істотно скоротити кількість шкідливих речовин в продуктах згорання,

з іншого – знизити споживання нафтопродуктів, є розробка сумішевих бензинів, що передбачає наявність в останніх оксигенатів – кисневмісних сполук. У деяких країнах, наприклад, в США, додаванням оксигенатів в бензини є обов'язковим. В інших, в тому числі, і в Україні, оксигенатів допущені до застосування, їх наявність в бензинах (до 3,7 % в перерахунку на кисень у бензинах регламентується Технічним регламентом

Держстандартом України) бажано і обмежується тільки їх ресурсами. Результати випробувань, проведених Європейською асоціацією виробників кисневмісних добавок до палив, показують, що автомобілі, що працюють на паливі, що містить 3,7 % мас. кисневмісних добавок в розрахунку на кисень, за прийомистістю, співвідношенню повітря–паливо і витраті палива не поступаються машинам, що споживають чисто вуглеводневе паливо, але при цьому спостерігається зниження викидів оксиду вуглецю на 32,5 %, незгорілих вуглеводнів на 14,5 %.

даний час в області застосування аліфатичних спиртів в якості рідких моторних палив можна виділити два напрямки, а саме: нарощування промислових потужностей виробництва синтетичних спиртів C1–C5; а так само розвиток біохімічних виробництв, орієнтованих на виробництво «паливного етанолу».

Перший напрям є більш характерним для країн, що мають розвинену промисловість. Загальноприйнятним є те, що виробництво спиртів може задовольнити 3–5 % потреби в бензині. При цьому введення в бензин спиртів до 10 % не вимагає конструктивних змін ДВЗ і не впливає на режим роботи і економічні показники експлуатації автомобілів. Відзначається, що для широкого впровадження спиртів в моторні палива необхідно при виробництві спиртів домагатися оптимального використання сировини, енергії, а також вирішення ряду екологічних проблем.

Аліфатичні спирти C1–C5 знаходять переважне застосування в композиціях автомобільних бензинів. Спирти можуть бути введені в композицію автомобільного бензину як в індивідуальному вигляді, так і у вигляді сумішей.

За останні 25 років практичного використання оксигенатів в складі моторних палив в ряді країн світу (Бразилія, США, країни ЄС і ін.) найбільшого поширення набули: етанол, метанол і метилтретбутиловий ефір (МТБЕ). Поряд з широко використовуваними в процесі компаундування бензинів вищепереліченими оксигенатами, особливий інтерес представляє виробництво і використання для приготування високооктанових бензинів вторинного бутилового спирту (ВБС).

Було досліджено вплив втор-бутанолу на антидетонаційні характеристики модельних зразків бензинів. Як базові компоненти використані два зразка, що відрізняються за вуглеводневим складом. Першим компонентом бензину був бензин каталітичного риформінгу і містив від 58 до 63 % об. ароматичних вуглеводнів. Другим компонентом був бензин каталітичного крекінгу і містив від 19 до 23 % об. ароматичних вуглеводнів. Вибір базових бензинів заснований на аналізі сучасного і перспективного компонентного складу вітчизняного бензинового фонду. У даний час основними базовими компонентами автомобільних бензинів є бензини каталітичного реформінгу і каталітичного крекінгу.

Притому, в зв'язку з вимогами стандарту за вмістом ароматичних сполук, частка бензину каталітичного крекінгу в приготуванні бензинів зростає. Середня антидетонаційна ефективність втор-бутанолу в бензині каталітичного крекінгу перевищує аналогічні показники для бензину на базі каталітичного реформінгу, що підтверджує низьку прийомистість ароматичних вуглеводнів до втор-бутанолу. Якщо введення до 17 % втор-бутанолу в бензин каталітичного реформінгу підвищує ОЧ на 0,8–0,9 пунктів, то така ж кількість втор-бутанолу покращує антидетонаційну стійкість бензину каталітичного крекінгу на 1,5–1,7 пунктів.

Також відзначено, що при підвищенні концентрації втор-бутанолу від 15 до 18 % мас. додатковий приріст ОЧ неістотний або практично відсутній, тому найбільш ефективна концентрація втор-бутанолу до 15 % мас.

Суміші з МТБЕ також володіють більшою ефективністю в порівнянні з втор-бутанолом. Випробування компонентів різного складу в концентраціях від 3 до 15 % мас.

бензини показали, що використання ВБС в суміші з МТБЕ більш переважно в порівнянні додаванням тільки втор-бутанолу.

Таким чином, результати досліджень антидетонаційних властивостей добавок різного складу на основі втор-бутанолу в еталонних сумішах і товарних бензинах дозволили зробити висновок про те, що краще використовувати втор-бутанол в бензинах з меншим вмістом ароматичних вуглеводнів. Дослідження антидетонаційної ефективності втор-бутанолу в товарних бензинах показало, що введення втор-бутанолу як самостійно, а також в суміші з МТБЕ (за його концентрації до 15 %, що відповідає 3,7 % кисню), дозволяє підвищити ОЧ (дослідне) товарного бензину до 95 од.

Для оцінки характеру впливу втор-бутанолу на випаровуваність бензину були проведені дослідження зміни ТНП товарного бензину при додаванні ВБС в концентрації до 15 % мас. У цілому проведені дослідження ТНП бензино-спиртових сумішей показали, що використання втор-бутанолу призводить до деякого зниження ТНП бензину (до 5–7 кПа), що є сприятливим фактором при експлуатації двигуна в літній період.

#### РЕФЕРАТ

*Ігор Данчук<sup>1</sup>, Олена Шевченко<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>ПРАТ «Лисичанська нафтова інвестиційна компанія»,*

*<sup>2</sup>ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», e\_shevchenko@ua.fm*

#### **ВТОР-БУТАНОЛ – КИСЕНЬВМІЩУЮЧИЙ КОМПОНЕНТ ВИСОКООКТАНОВИХ БЕНЗИНІВ**

Досліджено вплив втор-бутанолу на антидетонаційні характеристики модельних зразків бензинів. Показано, що введення втор-бутанолу як самостійно, так і в суміші з МТБЕ (за його концентрації до 15 %, що відповідає 3,7 % кисню), дозволяє підвищити ОЧД товарного бензину до 95 од.. Для оцінки характеру впливу втор-бутанолу на випаровуваність бензину визначено зміни тиску насичених парів товарного бензину з оксигенатами в концентрації до 15 % мас. У цілому, експериментальні данні показали, що використання втор-бутанолу призводить до деякого зниження тиску насиченої пари бензину, що є сприятливим фактором під час експлуатації двигуна в літній період.

**Ключові слова:** бензин, втор-бутанол, октанове число, тиск насиченої пари.

#### РЕФЕРАТ

*Игорь Данчук<sup>1</sup>, Елена Шевченко<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>ЧАО «Лисичанская нефтяная инвестиционная компания»,*

*<sup>2</sup>ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет», e\_shevchenko@ua.fm*

#### **ВТОР-БУТАНОЛ – КИСЕНЬВМІЩУЮЧИЙ КОМПОНЕНТ ВИСОКООКТАНОВИХ БЕНЗИНІВ**

Исследовано влияние втор-бутанола на антидетонационные характеристики модельных образцов бензинов. Показано, что введение втор-бутанола как самостоятельно, так и в смеси с МТБЭ (при его концентрации до 15 %, что соответствует 3,7 % кислорода), позволяет повысить ОЧИ товарного бензина до 95 ед.. Для оценки характера влияния втор-бутанола на испаряемость бензина определены изменения давления насыщенных паров товарного бензина с оксигенатами в концентрации до 15 %

масс. В целом, экспериментальные данные показали, что использование втор-бутанола приводит к некоторому снижению давления насыщенных паров бензина, является благоприятным фактором при эксплуатации двигателя в летний период.

**Ключевые слова:** бензин, втор-бутанол, октановое число, давление насыщенных паров.

#### ABSTRACT

*Igor Danchuk<sup>1</sup>, Olena Shevchenko<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>Lisichansk Petroleum Investment Company,  
Ukrainian State University of Chemical Technology, e\_shevchenko@ua.fm*

#### SEC-BUTANOL AS AN OXYGEN-CONTAINING COMPONENT OF HIGH-OCTANE GASOLINE

The sec-butanol influence upon antiknock properties of model gasoline samples, is researched. It is demonstrated, that addition of sec-butanol alone, as well as mixed with MTBE (having concentration lower than 15 %, which corresponds to oxygen 3.7 %), allows to increase commercial gasoline's RON to 95 points. To estimate the character of the sec-butanol influence on gasoline evaporability, saturated vapors pressure changes of commercial gasoline with oxygenates concentration less than 15 % weight, were determined. Altogether, experimental data show, that sec-butanol usage leads to certain reduction of gasoline's saturated vapors pressure, and it is favorable factor for an engine usage during summer.

**Key words:** gasoline, sec-butanol, octane number, saturated vapors pressure.

УДК 665

#### II-9. INVESTIGATION OF HIGHLY CONCENTRATED EMULSIONS FLOW THROUGH POROUS MEDIA

*Łukasz Przybysz, Olga Shtyka*

The progressive industrialization and development of the automotive industry led to increased demand for oil products, as a source of energy and raw materials for the chemical industry. The entry of these substances into the ground and water environment, as a result of various leaks and disasters, poses a serious threat from highly toxic and mutagenic character of these compounds. They have the ability to penetrate all living organisms inhabiting the affected area, causing irreversible changes. Furthermore, the presence of oil products in the structure of the soil leads to a significant degradation, which contributes to reducing crop production. Therefore, knowledge about the migration of oil derivative substances inside the porous media is of major importance as it can contribute both to estimate the contamination, as well as being useful in operations relating to the removal of such contaminants from the soil.

Analysis of the transport of oil derivatives in the structure of the soil requires paying careful attention to changing flow conditions. In the case of spillage of a particular high viscosity substance, it is important, as soon as possible, to take appropriate decisions for dealing with the contamination. At this stage the most important thing is to estimate properly the risks caused by the spread of the pollution, not only in the structure of the soil, but also in the groundwater. The contamination of these waters can cause far-reaching consequences and lead to the poisoning of a much larger ecosystem. It is essential, therefore, to correctly predict the speed of movement of contaminants through granular layers and when and at what concentrations they will reach the groundwater. Fast taking of the appropriate steps and selecting suitable remediation methods will prevent the further spread of contamination and will also significantly reduce any costs related to this. During such analysis, atmospheric precipitation expected in a given area can not be omitted. Therefore, the issues of gravitational flow of highly viscous substances under the influence of liquids with lower viscosity (rainwater) become crucial. In many practical cases, the procedure for taking appropriate measures necessary to counteract pollution, requires precise laboratory tests regarding the concentration of the substance. These studies are often long-lasting and do not give a clear answer.

Flows of multiphase systems through porous structures are one of the most important branches of process engineering. Issues of processes of high viscosity liquids elution by low viscosity liquids from granular deposits and the emulsion flows through porous media belong to this group. The results of the studies in these fields are very widely used in practice, among other things, in the issues of migration of pollutants, such as petroleum substances, in the soil layers. Elution processes are also important in the industry of oil extraction from porous rock structures.

The concentration of the dispersed phase exerts a strong influence on the rheological properties. O/W emulsions having a concentration of less than 0,5 (or 50 %) show a Newtonian behavior, and those with higher concentrations non-Newtonian.

**Experimental apparatus, media and procedure** For the purpose of studies, on hydrodynamics of flow of emulsions through the granular media, experiment stand has been designed, whose scheme is presented in Fig. 1. It consists of a homogenizer with a tank made of stainless steel (1), connected with a dosing membrane pump (3) provided with a pulsation damper (4) and horizontal cylindrical measuring column (7) filled with granular material.

The test stand has been equipped also with a measuring system, which included two flowmeters (5), two temperature sensors (2) and pressure transducer (6). The system was connected to a computer and a specially designed software allowed the continuous monitoring and acquisition of parameters such as the pressure at the inlet to the bed, the temperature of examined fluid and the inflow and the outflow rate of liquid from the bed.

In order to ensure optimal conditions and repeatability of tests research methodology has been developed. At the beginning specific amount of the bed was weighed and placed in a column measurement (7). During the tests through first only water was pumped into the granular bed in the column, until reaching a steady state, i.e. when the pressure at the inlet to the bed reached a constant value. Then through the bed a precise amount of emulsion was pumped, also until the steady state was obtained. Then, again the flow of pure water took place. By adopting such methodology, it was possible, during a single measurement, simultaneous examination of flow and elution processes and observation how the flow resistance changed during the process. It was also possible to capture the degree of blockage of the bed, by comparing reservoir permeability before and after passing of the emulsion through deposit.

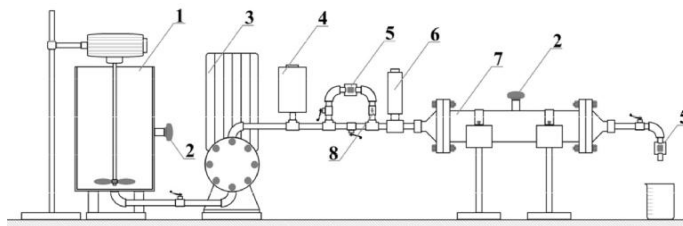


Fig. 1. Scheme of research equipment:

- 1 – homogenizer; 2 – temperature sensor; 3 – pump; 4 – pulsation dampener; 5 – flowmeter;  
6 – pressure sensor; 7 – column with the bed granular; 8 – check valve

To examine the flow and elution of emulsions from porous deposits oil-in-water emulsions were prepared as a model fluids, where the continuous phase was tap water ( $\eta = 0,001 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ,  $\rho = 996 \text{ kg/m}^3$  at  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ) while the inner phase was a vegetable oil ( $\eta = 0,06 \text{ Pa}\cdot\text{s}$ ,  $\rho = 887 \text{ kg/m}^3$  at  $22 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

Emulsions were prepared with different volume concentrations of inner phase. As an emulsifier Rokacet 07 Exol PCC was used, in an amount of 2 % vol. Emulsification was performed using a high speed homogenizer Braun - the mixing time was in each case 500 s. For the purposes of a single measurement 2.5 l of emulsion was prepared. During the test glass microspheres were used as a model deposit, with particle size fractions in the range of 200–300  $\mu\text{m}$  with a porosity of

0.34 and in the range of 90–150  $\mu\text{m}$  with a porosity of 0.33. Manufacturer of used glass beads was the company Alumetal-Technik in Lodz (Poland).

Within the framework of work, studies on rheological properties emulsions using a rotational rheometer Rheotec RC20 have also been performed. To determine the structure of formed emulsions, Nikon microscope Alphaphot 2 YS2 and Turbiscan Lab Expert were used.

Based on rheological studies of the analyzed emulsions, with different volume concentrations of the oil phase, it was possible to present flow curves in the form of a dependence of viscosity on shear rate in Fig. 3a). It can be seen that the emulsions with lower concentrations (50%) exhibit the properties of Newtonian liquids, and emulsions with greater participation of the internal phase display characteristics of shear thinning fluids. The concentration dependence of the viscosity of the emulsion for a given shear rate was presented at the Fig. 3b).

Studies on hydrodynamics of emulsion flow through the granular bed were performed for the emulsions having an internal phase concentration of 20, 40, 60 and 70 %. Results of research have been presented in the form of dependence of the pressure at the inlet to the bed on the time for deposit with grain-size fraction 90–150  $\mu\text{m}$  in Fig. 4a ) and for the fraction of 200–300  $\mu\text{m}$  on Fig. 4b ) at a flow rate calculated on an empty apparatus, which equaled  $Q_{v2} = 4,5 \text{ ml/s}$ .

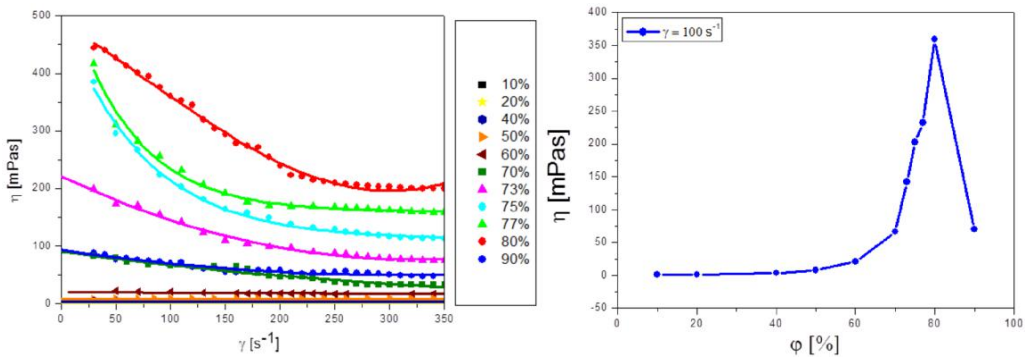


Fig. 3. a) The dependence of viscosity on shear rate for various concentrations of the emulsion oil phase; 3b) The dependence of viscosity on concentrations of the emulsion oil phase

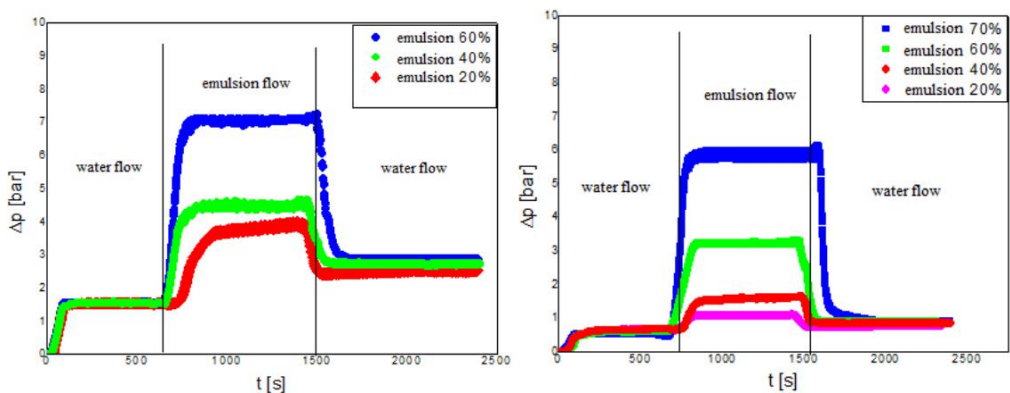


Fig. 4. a) Dependence of the pressure at the inlet to the bed on time for the bed with grain size fraction 90–150  $\mu\text{m}$ ; 4 b) Dependence of the pressure at the inlet to the bed on time for the bed with grain size fraction 200–300  $\mu\text{m}$

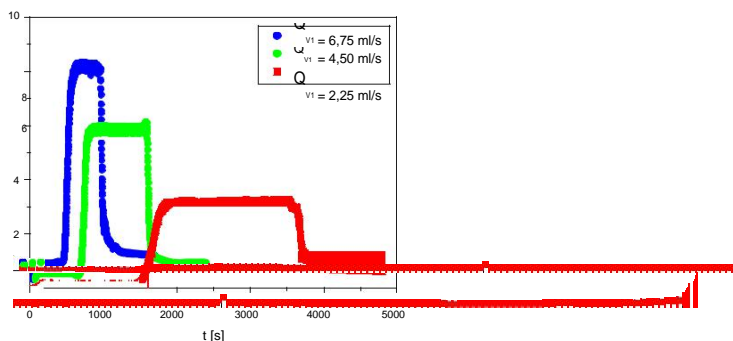


Fig. 5. Dependence of the pressure at the inlet to the bed for the bed with grain size fraction 200–300  $\mu\text{m}$  – emulsion 70 %

The experimental results for the emulsion with the internal phase volume concentration equal to 70% are presented above. This liquid was pumped through the granular bed with flow rate (calculated on an empty apparatus) incremented two and three times. Based on the graph of dependency of the pressure at the inlet to the bed from the time shown in Fig.5, it can be seen that the increase in flow rate by a fixed value initially caused an increase in pressure of approx. 86 %, while a further increase in flow rate by the same amount resulted in an increase in pressure about only approx. 39 %. The presented research results represent evidence of the impact of non-Newtonian character of the analyzed emulsions on their passage through the granular bed.

#### РЕФЕРАТ

*Лукаш Пиібыш, Ольга Штыка,*

*Лодзинський технічний університет, luk.przybysz@o2.pl*

#### **ТРАНСПОРТ ВИСОКОКОНЦЕНТРОВАНІХ ЕМУЛЬСІЙ ЧЕРЕЗ ПОРИСТІ СЕРЕДОВИЩА**

Транспорт емульсії в пористих середовищах має практичне значення для розробки технології очищення ґрунту, забрудненого нафтою і її різними вторинними, а також для процесів екстракції нафти. Емульсії з високою концентрацією внутрішньої фази виявляють поведінку, яке Характерно для неньютонівської рідин. Передбачається, що транспорт таких дисперсійних систем в пористих структурах істотно залежить від зміни їх реологічних властивостей.

Дослідницька робота зосереджена на вивченні транспорту емульсій з різними концентраціями дисперсної фази в пористих структурах, состоящих з сферичних зерен. Отримані результати дозволяють описувати зміни проникності середовища в часі, а також зміни складу емульсії при їхньому проходженні, що дуже важливо як в сфері охорони навколишнього середовища, так і для вилучення нафтопродуктів.

**Ключові слова:** емульсія, пористе середовище, багатофазних потік.

#### РЕФЕРАТ

*Лукаш Пиібыш, Ольга Штыка,*

*Лодзинский Технический Университет, luk.przybysz@o2.pl*

#### **ТРАНСПОРТ ВИСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ЭМУЛЬСИЙ ЧЕРЕЗ ПОРИСТЫЕ СРЕДЫ**

Транспорт эмульсии в пористых средах имеет практическое значение для разработки технологии очистки почвы, загрязненной нефтью и ее различными производными продуктами, а также для процессов экстракции нефти. Эмульсии с высокой концентрацией внутренней фазы проявляют поведение, которое характерно для Неньютоновских жидкостей. Предполагается, что транспорт таких дисперсионных систем в пористых структурах существенно зависит от изменения их реологических свойств.

Исследовательская работа сосредоточена на изучении транспорта эмульсий с различными концентрациями дисперсной фазы в пористых структурах, состоящих из сферических зерен. Полученные результаты позволяют описывать изменения проницаемости среды во времени, а также

изменения состава эмульсий при их прохождении, что очень важно как в сфере охраны окружающей среды, так и для извлечения нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** эмульсия, пористая среда, многофазный поток.

#### ABSTRACT

*Lukasz Przybysz, Olga Shtyka,*

*Lodz university of technology, luk.przybysz@o2.pl*

#### INVESTIGATION OF HIGHLY CONCENTRATED EMULSIONS FLOW THROUGH POROUS MEDIA

The emulsion flow in porous media is of practical importance to develop the technology of soil purification contaminated with oil and its different derivative products and oil extraction processes. The emulsions characterized with high concentration of an internal phase, exhibit the shear thinning behavior, and known as non-Newtonian liquids. It is supposed that flow in such dispersion systems in porous structures depends significantly on variation of their rheological properties.

The research work focuses on the studies of emulsion flow with the different concentrations of the dispersed phase in a porous bed composed of spherical grains. The obtained results allows to describe changes of medium permeability with time and emulsions composition during the penetration, which can be appropriate in the sphere of the environmental protection and oil products recovery.

**Key words:** emulsion, porous media, multiphase flow.

УДК 669.162.16.004.12

#### II-10. ВПЛИВ ОБ'ЄМНО-МОДИФІКУЮЧИХ ДОДАТКІВ НА СПІКЛИВІСТЬ ВУГІЛЬНИХ ШИХТ

*Олег Зеленский*

Для получения доменного кокса с необходимыми качественными показателями, при имеющейся угольной базе коксохимии разрабатывают и используют различные способы и приемы, позволяющие улучшить те или иные параметры его качества. К одним из таких способов относится целенаправленное регулирование качества кокса путем введения

угольные шихты неспекающихся присадок: коксовая пыль и мелочь, антрацит, полукокс, а также неорганические добавки (мелко диспергированные оксиды титана, железа и алюминия).

Целью данной работы было исследование влияния объемно-модифицирующих присадок на спекаемость угольной шихты и отдельных угольных компонентов.

Объемно-модифицирующие присадки – это кристаллические материалы, повышающие качественные показатели кокса во всем его объеме путем модифицирования изотропных участков в анизотропные на стадии спекания угольной шихты.

качестве объемно-модифицирующих присадок применяли вибромолотые порошки электрокорунда белого ( $\alpha$ - $Al_2O_3$ ) и карбида кремния черного ( $\alpha$ -SiC). Размер зерен порошков: 70–75 % – 4–12 мкм, 25–30 % –  $\leq$  3 мкм.

Исследования проводили на угольных концентратах и шихте ЧАО «Запорожжкокс».

Марочный состав шихты (%): Г – 27; Ж – 16; КЖ – 18; К+КО – 33; ОС – 6.

Технологические свойства угольных концентратов и шихты приведены в таблице 1.

Пробы для исследования спекаемости получали путем смешения угольных концентратов, измельченных до размера частиц  $< 0,2$  мм, с добавками  $\alpha$ - $Al_2O_3$  и  $\alpha$ -SiC. Добавки вносили в количестве 0,5 %. Ранее нашими предварительными исследованиями было установлено, что оптимальное количество данных добавок в шихту для улучшения качества кокса составляет 0,25–0,5 % .

Пробы для исследования готовили следующим образом. Каждого концентрата и шихты брали две навески по 10 г, к ним добавляли добавки  $\alpha$ - $Al_2O_3$  и  $\alpha$ -SiC соответственно. Масса загрузки одной ячейки в установке по определению спекаемости и спекающей

способности углей составляет 2,5 г. Таким образом, для каждой пробы было проведено по четыре параллельных определения.

Таблица 1

Поставщик, страна	Марка	Технический анализ, %			Толщина пластического слоя $u$ , мм
		$A^d$	$S_t^d$	$V_{daf}$	
ЦОФ «Тайбинская», РФ	Г	9,1	0,55	36,3	7
ЦОФ «Щедрухинс-кая», РФ	Г	8,8	0,65	38,7	8
ЦОФ «Талдинская», РФ	Г	8,2	0,68	35,4	7
Carter Roag, США	Ж	8,7	1,00	33,9	19
ЦОФ «Дуванская», Украина	Ж	8,2	1,11	33,1	19
Oaky North, Австралия	КЖ	9,7	0,62	27,0	20,5
ЦОФ «Самсоновская», Украина	К	12,2	1,47	28,7	16
ЦОФ «Донецксталь», Украина	К	8,1	0,74	27,1	12
Teck Premium, Канада	К+КО	8,5	0,50	26,5	13
Pocahontas, США	ОС	8,5	0,82	18,4	9
Шихта		8,4	0,77	31,8	16

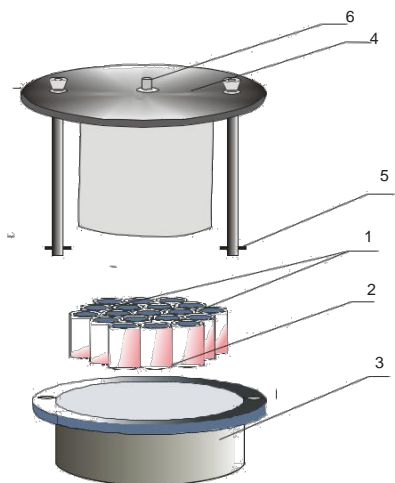


Рис. 1. Камера полукоксования:  
1 – ячейки; 2 – керамическая кассета;  
3 – металлическая камера; 4 – крышка;  
5 – замки; 6 – канал для термопары.

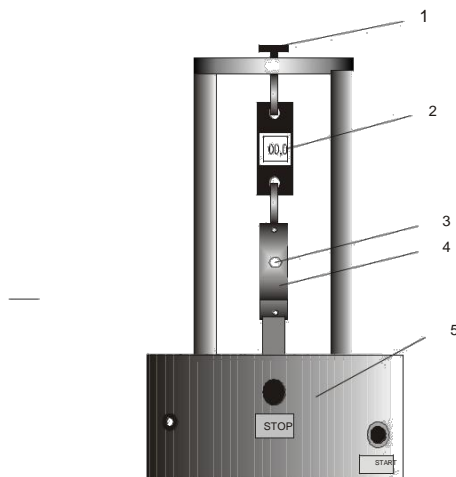


Рис. 2. Прибор для испытания механической  
прочности образцов полукокса:  
1 – регулирующий винт; 2 – цифровой  
динамометр; 3 – отверстие для испытуемого  
образца; 4 – испытующий элемент;  
5 – панель управления.

Полученные пробы исследовались на установке по определению спекаемости спекающей способности углей и угольных шихт. Сущность метода состоит в следующем: ячейки (1) керамической кассеты (2), предварительно зафиксированной в специальной металлической камере (3), загружают уплотненными пробами. Перед загрузкой пробы с добавкой смачивают и уплотняют до плотности  $0,99-1,0 \text{ г/см}^3$  (на сухую массу).

Заполненная камера засыпается инертным материалом, закрывается крышкой (4) и фиксируется замками (5) (рис. 1). Сквозь канал (6) в крышке вводится термопара в центральную часть кассеты, после чего камера полукоксования устанавливается специальную электропечь. Угольная загрузка нагревается до  $600 \text{ }^\circ\text{C}$  со скоростью нагрева



15 °С/мин., потом делается изотермическая выдержка в течение 30 мин. После этого, печь охлаждается до комнатной температуры, вытаскивается кассета, и полученные образцы полукокса испытываются на прочность в специальном приборе (рис. 2). Для этого образец устанавливается в гнездо испытательного элемента таким способом, чтобы нижний (со стороны греющей стенки) конец образца не выступал за тыльную плоскость этого элемента, который отвечает расстоянию 8 мм от дна камеры коксования. Таким образом, область разрушения образца находится на том же расстоянии от греющей стенки, как и спай регистрирующей термопары. За конечный результат принимается средняя арифметическая величина минимум двух параллельных определений прочности на смещение. После устанавливается зависимость механической прочности полукокса от массового соотношения уголь (шихта)/добавка в выходящих пробах.

Для углей марок Ж и КЖ невозможно было определить прочность, т. к. образец полукокса из этих углей получается сильно вспученным и не помещается в ячейку динамометра для испытания механической прочности.

Результаты испытаний на прочность полученных полукокса приведены на рис. 3.

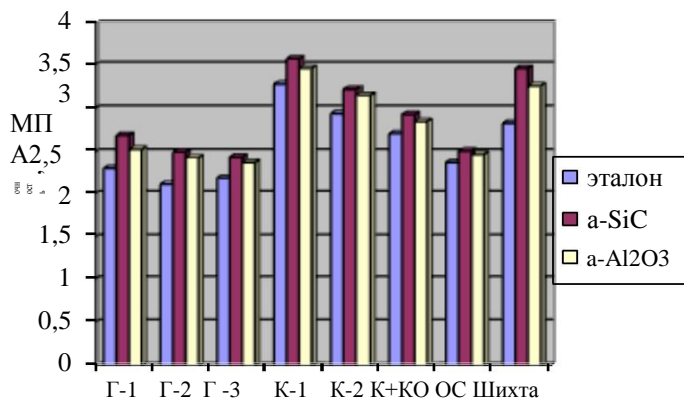


Рис. 3. Механическая прочность образцов полукокса из различных углей: Г-1 – Тайбинская; Г-2 – Щедрухинская; Г-3 – Талдинская; К-1 – Самсоновская; К-2 – Донецксталь; К+КО – Teck Premium; ОС – Pochontas.

Таким образом, на основании полученных результатов по определению механической прочности образцов полукокса из различных углей с добавками 0,5 % α-SiC и α-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> можно сделать следующие выводы:

Для всех исследованных образцов полукокса (кроме из углей марок Ж и КЖ) получены положительные результаты по увеличению механической прочности при добавлении объемно-модифицирующих присадок.

Наиболее оптимальные результаты по увеличению прочности получены для коксовых углей и шихты. Показатели высокой механической прочности для шихты можно объяснить тем, что помимо действия присадок на формирование текстуры полукокса, также каждая марка угля в шихте выполняет свою роль в формировании общей структуры полукокса, и в последующем структуры готового кокса.

Увеличение прочности для всех исследуемых образцов полукокса позволяет сделать предположение, что мелкодисперсные присадки выступают в роли «зародышей» кристаллизации, т.е. на стадии отвердения пластического слоя инициируют рост участков с анизотропной (упорядоченной) текстурой у полукокса.

## РЕФЕРАТ

*Олег Зеленский,*

*ДП «Український державний науково-дослідний вуглехімічний інститут (УХІН)»,  
zelensky\_ukhin@mail.ru*

### **ВПЛИВ ОБ'ЄМНО-МОДИФІКУЮЧИХ ДОДАТКІВ НА СПКЛИВІСТЬ ВУГІЛЬНИХ ШИХТ**

Виконані лабораторні дослідження щодо поліпшення спікливості вугільних концентратів вугільних шихт ПРАТ «ЗАПОРІЖКОКС» додаванням до них об'ємно-модифікуючих додатків. Як такі додатки використовували кристалічні дрібнодисперсні  $\alpha$ -модифікації оксиду алюмінію (електрокорунд) і карбиду кремнію. Показано, що добавки  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  і  $\alpha$ - $\text{SiC}$  у кількості 0,5 % збільшують механічну міцність отриманих зразків напівкоксу. Передбачається, що дрібнодисперсні присадки виступають в ролі «зародків» кристалізації, тобто на стадії затвердіння пластичного шару ініціюють зростання ділянок з анізотропною (впорядкованою) текстурою у напівкоксі.

**Ключові слова:** вугілля, шихта, присадка, електрокорунд, карбід кремнія.

## РЕФЕРАТ

*Олег Зеленский,*

*ГП «Украинский государственный научно-исследовательский углехимический институт (УХИИ)»,  
zelensky\_ukhin@mail.ru*

### **ВЛИЯНИЕ ОБЪЕМНО-МОДИФИЦИРУЮЩИХ ПРИСАДОК НА СПЕКАЕМОСТЬ УГОЛЬНЫХ ШИХТ**

Проведены лабораторные исследования по улучшению спекаемости угольных концентратов и угольных шихт ЧАО «ЗАПОРОЖКОКС» путем добавления в них объемно-модифицирующих присадок. В качестве таких присадок использовали кристаллические мелкодисперсные  $\alpha$ -модификации оксида алюминия (электрокорунд) и карбида кремния. Показано, что добавки  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\alpha$ - $\text{SiC}$  в количестве 0,5 % увеличивают механическую прочность полученных образцов полукокса. Предполагается, что мелкодисперсные присадки выступают в роли «зародышей» кристаллизации, т.е. на стадии отверждения пластического слоя инициируют рост участков с анизотропной (упорядоченной) текстурой у полукокса.

**Ключевые слова:** уголь, шихта, присадка, электрокорунд, карбид кремния.

## ABSTRACT

*Oleg Zelenskii,*

*SE «The Ukrainian State Research Institute for Carbochemistry (UKHIN)», zelensky\_ukhin@mail.ru*

### **INFLUENCE OF VOLUME-MODIFYING ADDITIVES ON THE SAKING ABILITY OF COAL BLENDS**

Laboratory studies to improve the caking ability of coal concentrates and coal charge PJSC “Zaporozhcoke” by adding their body-modifying additives, are conducted in work. Fine crystalline  $\alpha$ -modification of aluminum (fused corundum) and silicon carbide, were used such additives. It is shown that the additive  $\alpha$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\alpha$ - $\text{SiC}$  in an amount of 0.5 %, increase the mechanical strength of the obtained coal char samples. It is assumed that fine additives act as crystallization “nucleations”, i.e. they initiate the growth of areas with anisotropic (ordered) texture in coal char, on the stage of hardening plastic layer.

**Key words:** coal, blend, additive, fused corundum, silicon carbide.

УДК 665.622.3/4

## **П-11. ВПЛИВ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАФТ НА ЇХ СТУПІНЬ ЗНЕВОДНЕННЯ**

*Юрій Голич, Сергій Бойченко, Петро Топільницький, Вікторія Романчук*

Пластова вода є невід'ємним супутником при видобуванні нафти, при цьому утворюються емульсії. Їх формуванню та стабілізації сприяють природні емульгатори – асфальтени, нафтени, смоли, парафіни, а також механічні домішки – частинки глини, піску, сажі, металів. Вода збільшує затрати при перекачуванні нафти, а солі, що в ній присутні, призводять до утворення відкладів в теплообмінниках та трубах печей, погіршуючи

теплообмін. Хлориди при дистиляції нафти гідролізують з виділенням HCl, що призводить до корозії обладнання, скорочує міжремонтний пробіг, викликає аварії та тривалі простоя установок. Тому, щоб позбутись води, у процесі підготовки нафти до переробки її зневоднюють та знесолюють. Але ці процеси ускладнюються через стійкість нафтових емульсій, тобто здатність протягом певного часу не руйнуватися та не розділятися на дві фази, що не змішуються. Стійкість нафтових емульсій залежить від концентрації емульгаторів-стабілізаторів емульсії в нафті та їх складу. Було доведено, що для більшості нафт основними природними стабілізаторами водонафтових емульсій є смоли та асфальтени. Асфальтени, що містяться у нафтах різних родовищ, мають близьку хімічну природу та однакову дисперсність у розчинниках за одного і того ж співвідношення ароматичних та парафінових вуглеводнів.

зв'язку з цим і підбирають відповідні умови зневоднення та знесолення нафти: температуру її обробки, кількість і якість деемульгатора та місце його введення в потік нафти, продуктивність та конструкцію апаратів (електродегідраторів), тиск та напругу між електродами електродегідраторів.

Метою досліджень було встановити залежність ступеня зневоднення нафти від її структурно-групового складу та наявності смолисто-асфальтенових речовин.

Для досліджень були взяті як нафти окремих родовищ України, так і суміші нафт: суміш західноукраїнських нафт (СЗУН), суміш східноукраїнських нафт (ССУН), нафта Орховицького родовища, нафта Рожнятівського родовища, суміш нафт НГДУ "Чернігівнафтогаз", пастковий продукт.

Із згаданих нафт готували емульсії за допомогою перемішування міксером кожної (69 %) з нафтою Орховицького родовища (14 %) та 20%-ним розчином NaCl (17 %) протягом 30 с, при цьому вода з емульсії не відділялася. Зневоднення нафт проводили з застосуванням деемульгатора за різної його витрати та температури процесу. Як деемульгатор використовували блоккополімери на основі оксидів етилену та пропілену (ОЕ, ОП) зі співвідношенням ОЕ/ОП у молекулі 95/5-85/15 як такі, що показали найкращі результати зі зневоднення нафти.

Для проведення зневоднення нафт зразок емульсії об'ємом 100 мл завантажували в екстрактор, обладнаний водяною сорочкою. В екстракторі за допомогою термостата підтримували задане значення температури. Екстрактори обладнано механічними мішалками, частоту обертання яких можна регулювати шляхом зміни напруги, яка подається на електродвигун, за допомогою лабораторних трансформаторів.

Проби емульсій витримували за заданої температури протягом 15 хв. Потім мікропіпеткою подавали задану кількість деемульгатора, що застосовували у вигляді 5 % водного розчину. Зразки емульсій після додавання деемульгатора перемішували мішалкою протягом 30–60 с та залишали відстоюватися протягом 2 год. Кількість деемульгатора, що додавали в емульсію, в перерахунку на товарну форму становила 150 г/т. Воду, що відділилася після відстоювання емульсії, відділяли та заміряли її об'єм. Для перевірки балансу по воді визначали залишковий вміст води в емульсії. Досліди проводили за температур 60 та 70 °С.

Окрім цього, попередньо визначали фізико-хімічну характеристику нафти, їх фракційний склад, вміст смол, асфальтенів, металів, в'язкість та густину.

Фракційний склад нафт визначали методом ІТК по ASTM D 2887 на газовому хроматографі HP 6890. В'язкість нафт визначали згідно з ДСТУ ГОСТ 33-2003 «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости» за допомогою віскозиметрів за температур 60 та 70 °С. Наявність у нафтах металів визначали за методикою Центру фізико-хімічних досліджень ПАТ "Укртатнафта", виробнича інструкція 26.012:2010 «Метод визначення вмісту металів у нафті та нафтопродуктів атомно-абсорбційним методом» (аналог ASTM D 4628, 5863, 5184 тощо) на атомно-абсорбційних спектрофотометрах ContrAA 700, AAS-1N

та С-115. Вміст у нафтах асфальтенів, смол, карбенів та карбоїдів визначали за ГОСТ 11858-66 «Определение асфальтенов в сырой нефти и нефтепродуктах (нерастворимых в гептане)».

Характеристику нафт наведено в табл. 1. У результаті проведених аналізів встановлено, що СЗУН є найбільш легкою з усіх досліджених нафт (початок кипіння – 50 °С) із малим вмістом води (0,11 %) та механічних домішок (всього 0,008 %). У ССУН достатньо мало води (0,08 %) та механічних домішок (0,047 %). Фракційний склад як у ССУН, так і в СЗУН є достатньо важким (до 200 °С відганяється 25 та 27 % відповідно), суміші нафт є малосірчистими. Температури застигання цих сумішей дуже різняться (9 °С у СЗУН та < мінус 30 °С у ССУН), що обумовлено наявністю парафінових вуглеводнів, що мають високу температуру застигання.

нафті Рожнятівського родовища вміст води – 0,80 % мас. і механічних домішок – 0,03 % мас. У пастковому продукті вміст води – 6,1 % мас. і механічних домішок – 0,50 % мас. Аналізовані нафти – малосірчисті: масова частка сірки у нафти Рожнятів – 0,32 % мас., нафти з пастки – 0,42 % мас.

Таблиця 1

Фізико-хімічна характеристика нафт, використаних для приготування емульсій

Нафта	Густина за 20°С, кг/м <sup>3</sup>	Мас. част. сірки %	Мас. част. води %	Мас. част. мех. домішок %	В'язкість умовна за 50 °С
СЗУН	848,1	0,54	0,11	0,008	1,28
ССУН	869,1	0,78	0,08	0,047	1,51
Нафта Рожнятівського родовища	838,0	0,32	0,8	0,030	1,23
Нафта Орховицького родовища	973,8	5,37	3,5	0,120	4,60
Суміш нафт НГДУ Чернігівнафтогаз	827,0	0,43	0,1	0,050	1,53
Пастковий продукт	887,4	0,42	6,1	0,500	0,95

Найбільш важкою є нафта Орховицького родовища із найбільшим вмістом сірки – 5,37 % і води – 3,5 %. Цю нафту використовували під час приготування нафтових емульсій для збільшення їх стійкості.

Вміст у нафтах асфальтенів, смол, карбенів та карбоїдів представлено в табл. 2. Встановлено, що найбільшу їх кількість містить нафта Орховицького родовища. Найменшу – містили нафта Рожнятівського родовища та пастковий продукт.

Таблиця 2

Вміст смол та асфальтенів в нафтах

Нафта	Вміст в нафті, %			
	Асфальтенів	Смол	Сумарно смол і асфальтенів	Карбени і карбоїди
СЗУН	4,53	4,02	8,55	0,02
ССУН	5,13	7,22	12,35	0,03
Нафта Рожнятівського родовища	0,81	4,47	5,28	0,02
Суміш нафт НГДУ "Чернігівнафтогаз"	4,57	6,62	11,19	0,05
Нафта Орховицького родовища	19,80	18,40	38,20	-
Пастковий продукт	1,95	4,56	6,51	0,06

Вміст металів, кількість яких у нафтах була найбільшою, подано в табл. 3.

Таблиця 3

Вміст металів в нафтах (мкг/г)				
Метал	СЗУН	ССУН	Нафта Рожнятівського родовища	Пастковий продукт
Fe	13,13	4,75	24,60	743,60
Ni	7,04	0,2	7,15	2,83
Ca	7,27	15,75	75,36	145,00
Mg	2,17	4,71	20,26	59,90
Na	49,13	21,95	177,1	14,50
K	0,97	1,13	3,96	27,10
Al	1,13	-	4,29	98,51

суміші нафт західноукраїнського регіону виявлено достатньо велику кількість заліза (13,13 мкг/г) та натрію (49,13 мкг/г). Суміш нафт східноукраїнських відрізняється великим вмістом кальцію (15,75 мкг/г), магнію (20,26 мкг/г) та натрію (21,95 мкг/г). У нафті Рожнятівського родовища виявлено залізо (24,6 мкг/г), нікель (7,15 мкг/г). У нафті багато лужних (натрію – 177,1 мкг/г, калію – 3,96 мкг/г) і лужноземельних металів (кальцію – 75,36 мкг/г, магнію – 20,26 мкг/г), алюмінію – 4, 29 мкг/г. У ній виявлено й інші метали, наявність яких не характерно для західноукраїнських нафт.

Елементний склад нафти з пастки такий самий, як і у нафти Рожнятів, але вміст нікелю в ній становив 2,83 мкг/г, натрію (14,5 мкг/г). Проте калію (27,1 мкг/г), магнію (59,9 мкг/г), кальцію (145,0 мкг/г) було більше. Багато заліза (743,6 мкг/г), алюмінію (98,51 мкг/г). Високий вміст кальцію, магнію, алюмінію характерний для донних відкладень і нафтопродуктів, що в значних кількостях містять воду. Підвищений вміст механічних домішок, вміст заліза, та ін. металів у нафті з пастки і в домішках, свідчить про можливість корозії обладнання пастковим продуктом.

процесі дослідження встановлювали залежність ступеня зневоднення нафт від їх характеристики: в'язкості, вмісту смол та асфальтенів, а також вмісту металів. Одержані результати подано в табл. 4 та на рис. 1–2.

Аналізуючи одержані результати, бачимо: найбільший ступінь зневоднення виявили СЗУН та нафта Рожнятівського родовища – 99,56 та 97,76 % відповідно. В'язкість цих нафт становила 2,80 та 3,32 сст відповідно й була вдвічі меншою порівняно з ССУН та сумішшою нафт НГДУ “Чернігівнафтогаз” (5,51 та 5,34 сст відповідно).

Таблиця 4

Порівняльна характеристика зневоднення нафт в залежності від їх в'язкості за температур 60°C та 70 °C та витраті деемульгатора 150 г/т

Нафта	В'язкість за 60° С, сст	Зневоднення, %	В'язкість за 70°С, сст	Зневоднення, %
ССУН	5,51	8,9	4,22	16,42
СЗУН	2,8	99,56	1,02	99,76
Нафта Рожнятівського родовища	3,32	97,76	2,6	99,8
Суміш нафт НГДУ Чернігівнафтогаз	5,34	12,6	4,38	95,7

Вміст смол і асфальтенів в цих нафтах дещо перевищував їх кількість порівняно з СЗУН та нафтою Рожнятівського родовища(приблизно на 3,8–7 %). Навіть не зважаючи на те, що вміст заліза в нафті Рожнятівського родовища був більший за ССУН, а вміст інших металів (кальцію, магнію, натрію) перевищував у 5–7 разів, у ССУН та в суміші нафт НГДУ “Чернігівнафтогаз” ступінь зневоднення становив лише 8,9 та 12,6 % відповідно. Завдяки

проведеним дослідженням із витратою деемульгатора 150 г/т та за температур 60 та 70 °С зруйнувати емульсію пасткового продукту не вдалося.



Рис. 1. Залежність ступеня зневоднення нафт за 60 °С від вмісту смол та асфальтенів і витраті деемульгатора 150 г/т

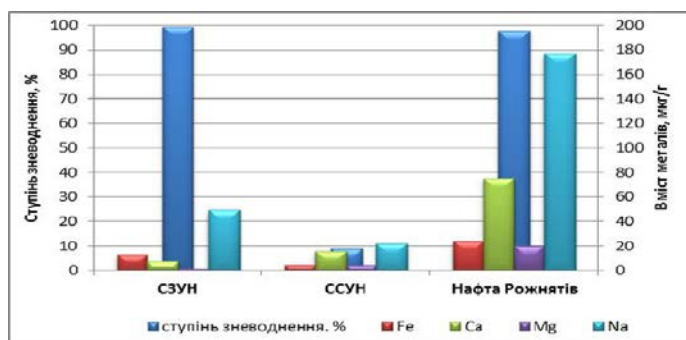


Рис. 2. Залежність ступеня зневоднення нафт за 60 °С від вмісту металів і витраті деемульгатора 150 г/т

На ступінь зневоднення вплинули обидва фактори ( в'язкість та вміст смолисто-асфальтенових речовин), що насамперед самі пов'язані між собою. Асфальтено-смолисті речовини збільшували в'язкість нафти та сприяли стійкості емульсій, утворюючи структуровані шари, що забезпечують високу стабілізацію емульсій. За в'язкості нафти вище 4 сст за температури зневоднення відділення води становило лише 20 %. При сумарному вмісті смол та асфальтенів в нафтах більше 9 % за інших рівних умов зневоднення проходило малоефективно.

Прямі залежності зневоднення нафт від вмісту в них металів, які мали би виступати як стабілізатори емульсій, не встановлено. Очевидно, емульгуюча здатність нафт визначається не тільки кількісним вмістом та складом природних стабілізаторів нафти, але залежить від того, в якому стані знаходяться вони в нафті.

Отже, було доведено, що для більшості нафт основними природними стабілізаторами водонафтових емульсій є смоли та асфальтени.

#### РЕФЕРАТ

Юрій Голич<sup>1</sup>, Боїченко Сергій<sup>2</sup>, Петро Топільницький<sup>3</sup>, Вікторія Романчук<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ПАТ «Укртатнафта», <sup>2</sup> Національний авіаційний університет, <sup>3</sup> Національний університет «Львівська політехніка», [golich@ukrtatnafta.com](mailto:golich@ukrtatnafta.com), [chemmotology@ukr.net](mailto:chemmotology@ukr.net), [topoil@polynet.lviv.ua](mailto:topoil@polynet.lviv.ua)

#### ВПЛИВ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК НАФТ НА ЇХ СТУПІНЬ ЗНЕВОДНЕННЯ

Для більшості нафт основними природними стабілізаторами водонафтових емульсій є смоли та асфальтени. Метою досліджень було встановити залежність ступеня зневоднення нафти від її структурно-групового складу та наявності смолисто-асфальтенових речовин. Визначали фізико-

хімічну характеристику нафт, їх фракційний склад, вміст смол, асфальтенів, металів, в'язкість та густину. Зневоднення проводили з додаванням деемульгатора – блоккополімера оксиду етилену та пропілену, при температурах 60 та 70 °С. Встановлено, що на ступінь зневоднення вплинули в'язкість нафт та вміст в них смолисто-асфальтенових речовин. Прямої залежності зневоднення нафт від вмісту них металів, які мали би виступати як стабілізатори емульсій, не встановлено.

**Ключові слова:** зневоднення, фізико-хімічні характеристики нафт.

#### РЕФЕРАТ

*Юрій Гдлыч<sup>1</sup>, Сергей Бойченко<sup>2</sup>, Петр Топильницький<sup>3</sup>, Виктория Романчук<sup>3</sup>*  
*<sup>1</sup> ПАТ «Укртатнафта», <sup>2</sup> Национальный авиационный университет, <sup>3</sup> Национальный университет «Львовская политехника», <sup>1</sup> golich@ukrtatnafta.com, <sup>2</sup> chemmotology@ukr.net, <sup>3</sup> topoil@polynet.lviv.ua*

#### ВЛИЯНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК НЕФТЕЙ НА ИХ СТЕПЕНЬ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ

Для большинства нефтей основными природными стабилизаторами водонефтяных эмульсий являются смолы и асфальтены. Целью исследований было установить зависимость степени обезвоживания нефти от ее структурно-группового состава и наличия смолисто-асфальтеновых веществ. Определяли физико-химическую характеристику нефтей, их фракционный состав, содержание смол, асфальтенов, металлов, вязкость и плотность. Обезвоживание проводили с добавлением деемульгаторов – блоксополимеров оксидов этилена и пропилена, при температурах 60 и 70 °С. Установлено, что на степень обезвоживания повлияли вязкость нефтей и содержание в них смолисто-асфальтеновых веществ. Прямой зависимости обезвоживания нефтей от содержания в них металлов, которые должны выступать как стабилизаторы эмульсий, не установлено.

**Ключевые слова:** обезвоживание, физико-химические характеристики нефтей.

#### ABSTRACT

*Urii Golych<sup>1</sup>, Sergey Boychenko<sup>2</sup>, Peter Topil'nickiy<sup>3</sup>, Viktoriya Romanchuk<sup>3</sup>*  
*«Ukratnafta», <sup>2</sup> National Aviation University, <sup>3</sup> Lviv Polytechnic National University,*  
*golich@ukrtatnafta.com, <sup>2</sup> chemmotology@ukr.net, <sup>3</sup> topoil@polynet.lviv.ua*

#### INFLUENCE OF PHYSICAL AND CHEMICAL DESCRIPTIONS OF OILS ON THEIR DEGREE OF DEHYDRATION

For most oils, the resins and asphaltenes, are the basic natural stabilizers of oil -water emulsions. The purpose of research was to set dependence of oil dehydration degree on its group and structure composition and presence of resin-asphaltene matters. Physical and chemical description of oils, their factious composition, and maintenance of resins, asphaltenes, metals, viscosity and closeness, were determined in the paper. Dehydration was conducted with addition of demulsifiers – blocpolemers oxides of ethylene and prothylene, at temperatures 60 and 70 °C. It is set that viscosity of oils and maintenance in them of resin-asphaltene matters, influenced on the degree of dehydration. The direct dependence of oils dehydration on maintenance in them of metals, which should be as stabilizers of emulsions, was is not set.

**Keywords:** dehydration, physical and chemical characteristics of oils.

УДК 61.51.37

## II-12. ОДЕРЖАННЯ ДОРОЖНІХ БІТУМІВ З ГУДРОНІВ НІГЕРІЙСЬКИХ НАФТ

*Олаулава Бабатунде<sup>1</sup>, Сергій Бойченко<sup>1</sup>, Петро Топильницький<sup>2</sup>, Вікторія Романчук<sup>2</sup>*

Нафтові бітуми – це високосмолисті високов'язкі або тверді нафтопродукти, що одержують з важких залишків від перегонки нафти. За способом виробництва розрізняють нафтові бітуми двох типів: залишкові та окиснені. Сировиною для одержання нафтових бітумів є залишки первинної перегонки нафти, а також продукти деасфальтизації та екстракційного очищення олів. Залишкові нафтові бітуми одержують як залишки під час глибоковакуумної перегонки смолистих нафт. Окиснені нафтові бітуми виробляють окисненням залишків від вакуумної перегонки мазутів за допомогою продування їх повітрям за високих температур. У разі окиснення нафтових залишків продуванням повітрям у присутності хлорного заліза, п'ятиоксиду фосфору та інших реагентів одержують тугоплавкі (температура розм'якшення 125–150 °С) і пластичні бітуми – рубракси, які використовують

гумовій промисловості як матеріал, що надає гумі водостійкості. Дешевизна і міцність зчеплення з різними матеріалами, стійкість до дії хімікатів і розчинів зумовлюють широке застосування нафтових бітумів у різних галузях промисловості. За сферою застосування бітуми класифікують на:

- дорожні – БНД;
- будівельні – БНБ;
- покрівельні – БНП;
- ізоляційні – БНИ;
- спеціальні марки Б, В, Г.

Основна кількість нафтових бітумів (понад 75 %) використовується для будівництва і ремонту доріг. Тут їх застосовують у трьох видах: твердому, розрідженому та у вигляді бітумних емульсій.

Мета роботи – одержання експериментальних даних для визначення методів вироблення дорожніх бітумів марок БНД 60/90 та БНД 90/130 з суміші нафт, видобутих з родовищ, що знаходяться в районі Port Harcourt в Нігерії. Показники якості бітумів мають відповідати вимогам ДСТУ4044-2001 Бітуми нафтові дорожні в'язкі. Технічні показники якості: КіК – 47–53 °С, пенетрація – 61–90, дуктильність за 25/0 °С – не менше 55/3,0 см, крихкість – не вище мінус 12 °С.

Для виконання роботи було одержано пробу гудрону з суміші нігерійських нафт.

цих пробах згідно стандартних методик визначено наступні показники: температура розм'якшення, пенетрація, дуктильність за 25 та 0 °С, крихкість. У пробі визначено також вміст асфальтенів, груповий вуглеводневий склад за ГОСТ 11244 та на лабораторній установці ТЕОН в умовах, обумовлених виробничою інструкцією ПАТ «Укртатнафта» 26.010:2010 «Экспресс-метод определения содержания депарафинированных масел в рафинатах» за температури мінус 28 °С визначено вміст парафінів. Результати аналізів наведено в таблиці 1.

Аналітичний огляд показав, що для одержання бітумів з підвищеними показниками якості надається перевага гудронам з умовною в'язкістю 60–80 ВУ°, з оптимальним вмістом парафіно-нафтових вуглеводнів 20,0–22,0 % мас., важких ароматичних вуглеводнів – не менше 34,0 % мас., смол не менше 35,0 % мас. та асфальтенів не більше 8,5 %.

Таблиця 1

Показники якості одержаної проби гудрону	
Найменування показника якості	Гудрон
Температура розм'якшення за КіК, °С	41
Пенетрація, 0,1 мм	260
Умовна в'язкість, ° ВУ	97,78
Дуктильність при 25 °С, мм	59
Дуктильність при 0 °С, мм	5,6
Крихкість, °С	-21
Асфальтени, % мас.	8,3
Вуглеводневий склад:	
Нафтно-парафінові вуглеводні, ( $n_d^{20}$ до 1,49) %, в т.ч. парафіни	22,9 8,9
I гр. ароматичних вуглеводнів ( $n_d^{20}$ 1,49 до 1,53)	9,3
II гр. ароматичних вуглеводнів ( $n_d^{20}$ 1,53 до 1,55)	8,1
III гр. ароматичних вуглеводнів ( $n_d^{20}$ 1,55 до 1,59)	32,0
IV гр. ароматичних вуглеводнів ( $n_d^{20}$ вище 1,59)	
Смоли, %	19,4

Як показали аналізи, вміст асфальтенів в гудроні з нігерійських нафт становить 8,3% Гудрон характеризується високим вмістом нафтно-парафінових вуглеводнів (22,9 %), та



високим виходом парафіну (8,9 %), а також порівняно невисоким вмістом важких ароматичних вуглеводнів (3 та 4 груп) і смол, що надалі мають позитивно впливати на низькотемпературні властивості бітумів – крихкість та дуктильність за 0 °С. Сумарний вміст важких ароматичних вуглеводнів (3 + 4 гр) та смол для гудрону становить 51,4 %.

наведеної вище таблиці видно, що гудрон, одержаний з суміші нігерійських нафт, не найкращою сировиною для одержання бітумів з підвищеними показниками якості.

Тому робота з одержання окиснених бітумів проводилась в декілька етапів. Схема проведення дослідницької роботи наведено на рис. 1.

першій частині етапу 1 проводилась робота з вивчення можливості одержання в лабораторних умовах дорожнього бітуму марки БНД 60/90 з КіК – 47–53 °С, дуктильністю за 25 °С не менше 55 см, дуктильністю за 0 °С не менше 3 см, пенетрацією за 25 °С – 61–90

крихкістю – не вище мінус 12 °С окисненням повітрям за температури 250–260°С з гудрону. Умови проведення дослідів та показники якості одержаних бітумів наведені в таблиці 2.

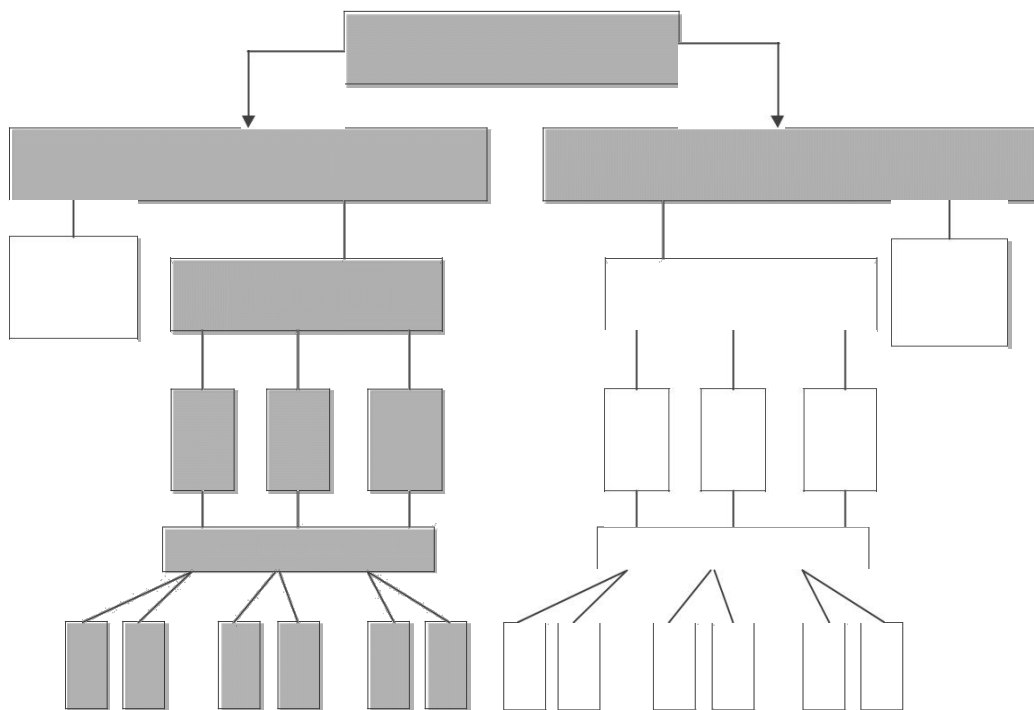


Рис. 1. Одержання окиснених бітумів за температури 250–260 °С

Проби бітуму № 1 та 2, одержані окисленням гудрону протягом 30 хв за температури 260 °С, а також № 7, 8, та 9, одержані окисненням гудрону протягом 45 хв за температури 250 °С, відповідають за показниками КіК і пенетрації вимогам, що ставляться до бітуму марки БНД 60/90. У зв'язку з невеликою кількістю одержаних бітумів проби окиснених бітумів № 7, 8 та 9 були з'єднані та змішані на лабораторній установці для одержання компаундованих бітумів (час змішування 15 хв., температура 140 °С) для визначення крихкості та дуктильності за 25 та 0 °С. В одержаній суміші температура розм'якшення за КіК становила 52,5, а пенетрація за 25 °С не відповідала очікуваним показникам (61–90),

становить 55. Зменшення значення пенетрації, очевидно, пов'язано з нестабільним

хімічним складом одержаних бітумів, і процесами доокислення, що проходили під час перемішування суміші бітумів.

Таким чином можна зробити висновок, що окисненням гудрону нігерійських нафт, вказаним вище хімічним складом, за температур процесу 250 і 260 °С одержати бітум БНД 60/90 не вдалося, тому робота виконується далі згідно схеми, представленої на рис. 1.

Таблиця 2

Характеристика дорожнього бітуму марки БНД 60/90, одержаного в лабораторних умовах окисненням повітрям за температур 250 та 260 °С

№ п/п	Маса проби, г	Витрата повітря, см <sup>3</sup> /хв	Температура окиснення, хв	Час окиснення хв	Пенетрація за 25 °С, 0,1 мм	Температура розм'якшення за КіК, °С
1	80	80	260±5	30	68	48,5
2	80	80	260±5	30	64	53
3	80	80	260±5	45	46	57
4	80	80	260±5	45	44	59,5
5	80	80	260±5	75	40	59,5
6	80	80	260±5	80	22	75
7	80	80	250±5	45	70	51
8	80	80	250±5	45	64	53
9	80	80	250±5	45	88	51
10	80	80	250±5	60	60	51
11	80	80	250±5	90	40	62
12	80	80	260±5	120	17	92
13	80	80	260±5	210	9	113

#### РЕФЕРАТ

*Олаолува Бабатунде<sup>1</sup>, Сергій Бойченко<sup>1</sup>, Петро Топільницький<sup>2</sup>, Вікторія Романчук<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, <sup>2</sup> Національний університет «Львівська політехніка»,  
chemmotology@ukr.net, <sup>2</sup> topoil@polynet.lviv.ua*

#### ОДЕРЖАННЯ ДОРОЖНІХ БІТУМІВ З ГУДРОНІВ НІГЕРІЙСЬКИХ НАФТ

Метою роботи було одержання експериментальних даних для визначення методів вироблення дорожніх бітумів марок БНД 60/90 та БНД 90/130 з суміші нафт, видобутих з родовищ, що знаходяться районі Port Harcourt в Нігерії. Для виконання роботи було одержано пробу гудрону з суміші нігерійських нафт та визначено фізико-хімічні показники. Проби окиснених бітумів були з'єднані та змішані на лабораторній установці, визначено їх фізико-хімічні показники. Встановлено, що шляхом окислення гудрону нігерійських нафт, при температурі процесу 250 та 260 °С одержати бітум БНД 60/90 не вдалося, тому робота проводиться далі.

**Ключові слова:** бітуми, гудрон, нафта.

#### РЕФЕРАТ

*Олаолува Бабатунде<sup>1</sup>, Сергей Бойченко<sup>1</sup>, Петр Топильницкий<sup>2</sup>, Виктория Романчук<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup> Национальный авиационный университет, <sup>2</sup> Национальный университет «Львовская политехника»,  
chemmotology@ukr.net, <sup>2</sup> topoil@polynet.lviv.ua*

#### ПОЛУЧЕНИЕ ДОРОЖНЫХ БИТУМОВ ИЗ ГУДРОНОВ НИГЕРИЙСКИХ НЕФТЕЙ

Целью работы было получение экспериментальных данных для определения методов производства дорожных битумов марок БНД 60/90 и БНД 90/130 из смеси нефтей, добываемых из месторождений, находящихся в районе Port Harcourt в Нигерии. Для выполнения работы были получены пробы гудрона из смеси нигерийских нефтей и определены физико-химические показатели. Пробы окисленных битумов были соединены и смешаны на лабораторной установке, определены их физико-химические показатели. Установлено, что путем окисления гудрона нигерийских нефтей, при температуре процесса 250 и 260 °С получить битум БНД 60/90 не удалось, поэтому работа проводится далее.

**Ключевые слова:** битум, гудрон, нефть.

## ABSTRACT

*Olaluluwa Babatunde<sup>1</sup>, Sergey Boychenko<sup>1</sup>, Peter Topil'nickiy<sup>2</sup>, Viktoriya Romanchuk<sup>2</sup>,  
National Aviation University,<sup>2</sup> NU «Lviv Polytechnic»,<sup>2</sup> chemmotology@ukr.net,<sup>3</sup> topoil@polynet.lviv.ua*

### OBTAINING OF ROAD BITUMENS FROM GUDRONS OF NIGERIAN OILS

The purpose of work was to obtain the experimental data for determination of methods of BND 60/90 and BND 90/130 road bitumens production from mixture of oils, obtained from deposits, in the district of Port Harcourt in Nigeria. For works conducting, the sample of petroleum tar from mixture of Nigerian oils was taken, physical and chemical indexes were determined. The tests of the oxidized bitumens were combined and mixed in the laboratorial installation, their physical and chemical indices were determined. It is set that by oxidation of petroleum tar of Nigerian oils at the 250 and 260°C temperature of process, obtaining of the BND 60/90 bitumen was not succeeded, therefore work is conducted further.

**Keywords:** bitumen, petroleum tar, oil.

УДК 665.637.8

## II-13. ВИВЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ МОДИФІКУВАННЯ БІТУМІВ ГУМОВОЮ КРИХТОЮ

*Андрій Нагурський, Олег Гринишин, Юрій Хлібишин, Вікторія Кочубей*

Як відомо, нафтові бітуми є одними з найважливіших інженерно-будівельних матеріалів, що використовуються у дорожньому будівництві, для виробництва покрівельних і гідроізоляційних матеріалів тощо.

Нафтові бітуми в силу своїх природних властивостей не здатні створювати умови для довготривалої роботи дорожніх покриттів під дією сучасних високих транспортних навантажень та несприятливих погодних умов. Тому для покращення властивостей бітумів проводять їх модифікування. Одним з найперспективніших напрямків підвищення якості бітумів з покращеними експлуатаційними характеристиками є їх модифікування полімерними матеріалами. Але при використанні полімерів різко зростає вартість модифікованого бітуму. На даний час для модифікування бітумів широко використовується гумова крихта. Гумову крихту (ГК) одержують за допомогою дроблення зношених автомобільних шин. При введенні в бітум гумової крихти підвищується його температура розм'якшення, дуктильність і пенетрація зменшуються. З іншого боку недостатньо вивченим сам механізм дії гумової крихти як модифікатора нафтових бітумів, що ускладнює вибір технології та оптимальних параметрів для проведення такого модифікування.

Мета досліджень – встановлення механізму модифікування бітуму гумовою крихтою, зокрема вивчення закономірностей процесу розчинення ГК в бітумі та окремих його компонентах.

Зміни властивостей бітуму під час модифікування гумовою крихтою, очевидно, пов'язані із зміною його групового складу. Тому проводили модифікування дорожнього бітуму БНД 60/90 гумовою крихтою (фракція 2,0 мм), визначали груповий склад модифікованих бітумів та порівнювали його з груповим складом вихідного бітуму (табл. 1).

Встановлено, що введення гумової крихти в бітум привело до зміни його групового складу. Зокрема підвищився вміст в бітумі смол та асфальтенів, а вміст олів знизився. Це, очевидно, пояснюється тим, що частина олівних компонентів бітуму розчиняється в гумовій крихті при набуханні. Оскільки, на нашу думку, саме олівні компоненти вступають у взаємодію з гумовою крихтою, необхідно було вивчити процес розчинення ГК в оліві. Для досліджень використовували залишкову оливу, оскільки вона є аналогом олівних компонентів, що входять до складу бітуму.

На експериментальній установці було досліджено процес набухання і розчинення гумової крихти в залишковій базовій оліві в залежності від температури процесу гранулометричного складу гумової крихти. Дослідження проводили на установці

змішування, яка складається з реактора, обладнаного нагрівачем, регулятором температури, перемішуючого пристрою. Процес вивчали в інтервалі температур 150–250°C протягом 9 год. Вміст гумової крихти в оливі становив 20 % мас. Результати досліджень показані на рис. 1–2.

Таблиця 1

Груповий склад бітуму модифікованого гумовою крихтою

Груповий склад бітумів, % мас.	Вміст гумової крихти в бітумі %мас.		
	0	5	10
Асфальтени	23,62	25,0	27,06
Смоли	24,97	27,4	29,35
Оливи	51,37	47,0	43,10
Карбени і карбоїди	0,05	0,6	0,46

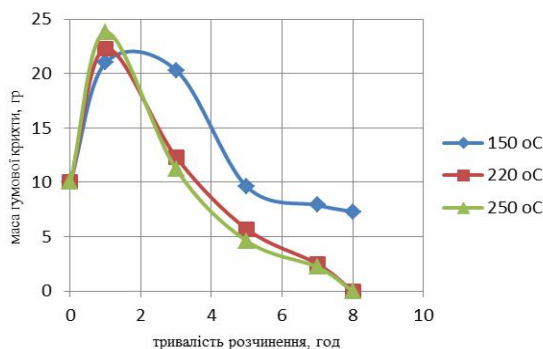


Рис. 1. Залежність зміни маси ГК від тривалості розчинення в залишковій оливі

Встановлено, що спочатку відбувається набухання гумової крихти через часткове поглинання оливи. Найефективніше набухання відбувається за температури 250 °C. Після набухання починається процес розчинення гумової крихти в оливі і маса ГК поступово знижується. Встановлено, що за температур 220 °C і 250 °C процес розчинення відбувається приблизно однаково і гума крихта розчиняється практично повністю, а за низьких температур (150 °C) гума крихта практично не розчиняється в оливі.

Недоліком даного методу досліджень є те, що для визначення маси гумової крихти в процесі модифікування проводили її виділення з середовища за допомогою металевого сита. При цьому поверхня частинок ГК залишалася змоченою оливою. Тому для більш точного вивчення механізму розчинення вивчали зміну вмісту гель-фракції в процесі розчинення гумової крихти в залишковій оливі (рис. 2).

Встановлено, що із збільшенням тривалості розчинення кількість гель-фракції зменшується. Чим більша температура тим швидше відбувається процес розчинення. Очевидно, що при високих температурах відбувається девулканізація і розчинення гумової крихти в залишковій оливі, а при низьких температурах гума крихта лише набухає, вбираючи в себе певну кількість оливи.

Для підтвердження цієї гіпотези вивчали термічну стійкість зразків гумової крихти за допомогою комплексного термогравіметричного та диференційного термічного аналізів. Зразки аналізували в динамічному режимі з швидкістю нагрівання 10 °C за хвилину в атмосфері повітря і аргону. Маса зразка – 200 мг, еталонною речовиною був Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Термограми зразків гуми в атмосфері повітря наведені на рис. 3, в інертній атмосфері – на рис. 4. На рис. 5 наведені криві ТГ обох зразків, а в табл. 2 – зведені результати термогравіметричних досліджень.

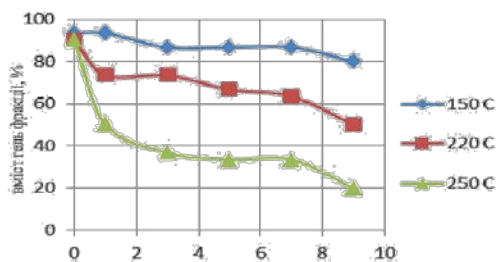


Рис. 2. Залежність вмісту гель-фракції від тривалості розчинення ГК в залишковій оливі

Незначні втрати маси зразків гуми нагрітих в атмосфері повітря та інертній атмосфері області температур 20–146 °С, що супроводжується появою неглибоких ендотермічних ефектів на кривій диференційного термічного аналізу (DTA), відповідає виділенню залишків летких, що містяться в структурі гуми.

Поява екзотермічного ефекту на кривій DTA зразків в області температур 140–220 °С зумовлена протіканням низки процесів. У цьому температурному інтервалі можлива деструкція залишків довголанцюгової сірки, що міститься в гумі та додаткове зшивання макромолекул каучуку по місцю вільних ненасичених зв'язків мономерною сіркою, тобто довулканізацію гуми з ущільненням структури.

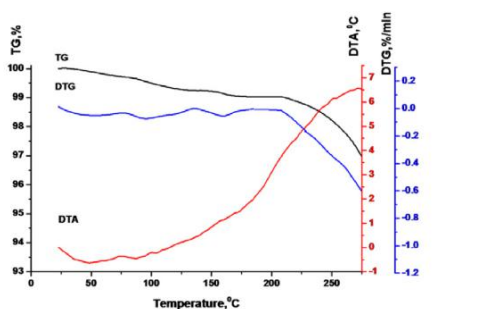


Рис.3. Термограма зразка ГК в атмосфері повітря

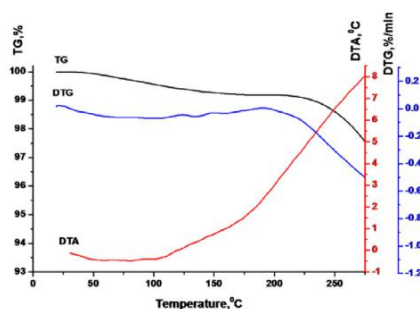


Рис.4. Термограма зразка ГК в інертній атмосфері

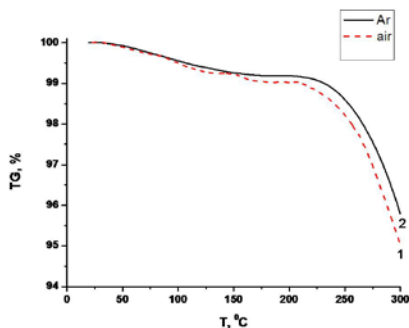


Рис. 5. Порівняння термогравіметричних кривих зразків: 1 – в атмосфері повітря; 2 – в атмосфері аргону

На термогравіметричній кривій зразка гуми, нагрітого в атмосфері повітря, на відміну від зразка гуми, що аналізували в інертній атмосфері, спостерігається більш значна втрата маси, що може свідчити про часткове окиснення вільної сірки та виділенні її у вигляді SO<sub>2</sub>.

За температур вищих 210 °С на кривій TG зразка гуми, прогрітого в атмосфері повітря, спостерігається інтенсивна втрата маси, що супроводжується екзоефектом на криві

DTA і відповідає початку глибоких деструктивних та термоокисних процесів зразка. Початок термічної деструкції зразка гуми, нагрітого в атмосфері аргону, зміщений в область вищих температур, що свідчить про вищу термічну стійкість зразка.

Таблиця 2

Результати термічного аналізу зразків ГК

Зразок	температурний інтервал, °С	втрата маси, %	тепловий ефект
атмосфера повітря	20–140	0,75	ендо
	140–210	0,24	екзо
	210–275	2,01	екзо
атмосфера аргону	20–146	0,72	ендо
	146–220	0,17	екзо
	220–275	1,55	екзо

Отже встановлено, що за температури понад 210 °С починається термічна девулканізація гумової крихти з руйнуванням тривимірної структури. При цьому утворені лінійні фрагменти розчиняються в оливному середовищі. В області нижчих температур девулканізація гумової крихти практично не відбувається і має місце тільки її набухання в оливному середовищі.

Для підтвердження достовірності запропонованого механізму вивчали розчинення гумової крихти в товарному бітумі. Використовували будівельний бітум марки БНБ 70/30 гумову крихту (фракцію 2,0 мм). Розчинність вивчали за температури 250 °С протягом 9 год при вмісті ГК в бітумі 10 % мас. Результати експериментів наведені на рис. 6–7.

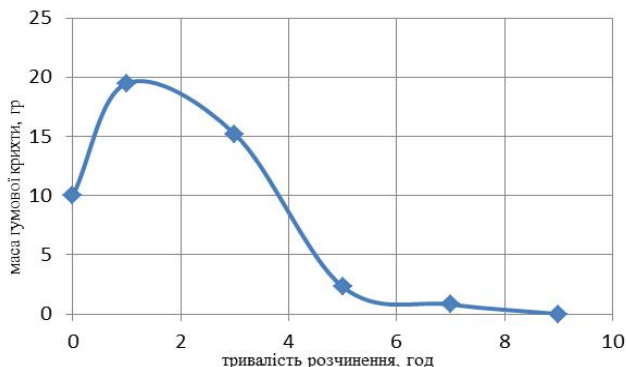


Рис. 6. Залежність зміни маси ГК від тривалості розчинення в бітумі БНБ 70/30 за температури 250 °С

Встановлено, що характер залежності маси гумової крихти від тривалості розчинення бітумі (рис. 6) та в оливі (рис. 1) аналогічні. Тобто на першому етапі відбувається набухання гумової крихти за рахунок олив, які входять до складу бітуму. Після цього відбувається поступове зниження маси гумової крихти, що є результатом девулканізації гуми і розчиненні утворених лінійних структур в бітумі. Повне розчинення гуми в бітумі досягається при тривалості перемішування понад 5 год.

Вміст гель-фракції при збільшенні тривалості розчинення ГК в бітумі знижується (рис. 7). Порівнюючи розчинність ГК в бітумі і в оливі встановлено, що розчинність в оливі значно краща. Це підтверджує гіпотезу про розчинення гумової крихти саме в оливних компонентах бітуму.

Вивчено механізм дії гумової крихти в процесі модифікування бітумів. Встановлено, що в області низьких температур відбувається набухання гумової крихти через оливні компоненти бітуму. При цьому в бітумі знижується вміст оливних компонентів, а вміст смол асфальтенів підвищується. За температури 220–250 °С відбувається термічна девулканізація гуми з утворенням лінійних структур, що відносно легко розчиняються в середовищі бітуму.

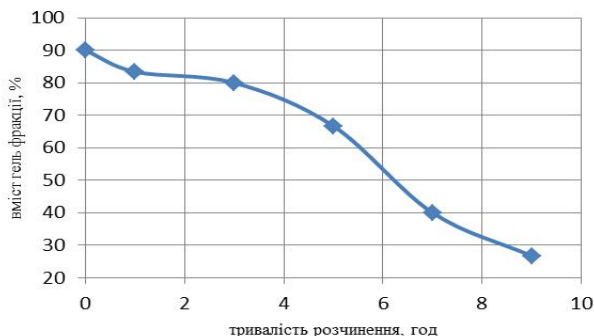


Рис. 7. Залежність вмісту гель-фракції від тривалості розчинення ГК в бітумі БНБ 70/30 за температури 250 °С

#### РЕФЕРАТ

*Андрій Нагурський, Олег Гринишин, Юрій Хлибишин, Вікторія Кочубей,  
Національний університет «Львівська політехніка», nagurskiy@ukr.net*

#### ВИВЧЕННЯ МЕХАНІЗМУ МОДИФІКУВАННЯ БІТУМІВ ГУМОВОЮ КРИХТОЮ

Нафтові бітуми є одними з найважливіших інженерно-будівельних матеріалів. У наш час до якості бітумів висуваються все більш жорсткі вимоги. Тому все частіше для покращення властивостей бітумів проводять його модифікування. Модифікування бітумів зазвичай проводять полімерними матеріалами, що в свою чергу підвищує вартість кінцевого продукту. На даний час для модифікування бітумів широко використовується гумова крихта. Гумову крихту одержують за допомогою дроблення зношених автомобільних шин.

Вивчено механізм модифікування бітуму гумовою крихтою, зокрема вивчено закономірності процесу розчинення гумової крихти в бітумі та окремих його компонентах. Проведено термічний аналіз гумової крихти, яку використовували для модифікування. Показано як змінюється груповий склад бітуму після його модифікування.

Встановлено, що в області низьких температур відбувається набухання гумової крихти за рахунок оливних компонентів бітуму, а при високих температурах відбувається термічна девулканізація гуми утворенням лінійних структур, що відносно легко розчиняються в середовищі бітуму. **Ключові слова:** бітум, модифікування, гумова крихта.

#### РЕФЕРАТ

*Андрей Нагурский, Олег Гринишин, Юрий Хлибишин, Виктория Кочубей,  
Национальный университет «Львовская политехника», nagurskiy@ukr.net*

#### ИЗУЧЕНИЕ МЕХАНИЗМА МОДИФИЦИРОВАНИЯ БИТУМА РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ

Нефтяные битумы являются одними из важнейших инженерно-строительных материалов. настоящее время к качеству битумов выдвигаются все более жесткие требования. Поэтому все чаще для улучшения свойств битумов проводят его модификацию. Модифицирования битумов обычно проводят полимерными материалами, что в свою очередь повышает стоимость конечного продукта. настоящее время для модификации битумов широко используется резиновая крошка. Резиновую крошку получают с помощью дробления изношенных автомобильных шин.

Изучен механизм модифицирования битума резиновой крошкой, в частности изучены закономерности процесса растворения резиновой крошки в битуме и отдельных его компонентах. Проведено термический анализ резиновой крошки, которую использовали для модифицирования. Показано как меняется групповой состав битума после его модификации.

Установлено, що в області низких температур происходит набухание резинової крошки за счет масляних компонентів бітума, а при високих температурах происходит термическая девулканизация резины с образованием линейных структур, які відносно легко розчиняються в середі бітума.

**Ключевые слова:** бітум, модифікація, резинова крошка.

#### ABSTRACT

*Andriy Nagurskiy, Oleg Grynshyn, Yuriy Khlibyshyn, Victoria Kochubey, Lviv Polytechnic National University, nagurskiy@ukr.net* **STUDY OF MECHANISM BITUMEN MODIFICATION BY RUBBER CRUMB**

The oil bitumen is one of the most important engineering and building materials. Nowadays the rigid requirements are claimed to the quality of bitumen. That's why the bitumen modification is conducted more often to improve its properties. Usually the bitumen modification is executed by the polymer materials, what increases the cost of the final product. The rubber crumb is currently used for the bitumen modification. The crushed worn tires are the source of the rubber crumb.

The mechanism of the bitumen modification by rubber crumb, the process of the rubber crumb dissolving in bitumen and its components, are explored. The thermal analyses of the rubber crumb, used for modification, are accomplished. The change of the bitumen group composition after its modification, is showed.

It is determined that the rubber crumb swells at low temperature, because of oil components of the bitumen, and at high temperature the thermal devulcanization of the rubber with linear structures formation occurs, these structure dissolve in the bitumen easily.

**Key words:** bitumen, modification, rubber crumb.

УДК 621

#### **II-14. ХАРАКТЕР ВПЛИВУ ПЛАСТОВИХ УМОВ НА ЗМІНУ pH СИЛКАТНО-ЛУЖНОЇ КОМПОЗИЦІЇ**

*Ольга Тітова, В'ячеслав Трачевський, Зоя Грушак, Наталія Столярова*

Ефективність роботи добувних і нагнітальних свердловин багато в чому визначає характер процесу вироблення нафтових пластів. Під цим розуміється експлуатація їх з дебетамі нафти, рівними потенційним можливостям пласта при повному обхваті його процесом фільтрації. Фактичні дебети нафти звичайно нижчі за потенційні через зниження абсолютної та фазової проникності породи призабійної зони для нафти під впливом технологічних чинників. У цих випадках виникає необхідність в дії на призабійну зону пласта тими або іншими методами з метою відновлення дебетів свердловин.

У цих умовах істотне зниження фільтраційних опорів перебігу рідини в зоні навколо добувних і нагнітальних свердловин, підключення в роботу раніше не залучених в розробку пропластків, а також повне або часткове виключення з роботи промитих горизонтів приведе до інтенсифікації видобутку нафти, зростання обхвату дією пласта, а отже, і нафтовіддачі.

У наш час на нафтових родовищах для вирішення проблеми підвищення нафтовіддачі пластів, що розроблюються заводненням, застосовується велика кількість технологій, направлених на регулювання внутрішньопластових фільтраційних потоків і підвищення охоплення пласта заводненням, що реалізуються на практиці шляхом обробок нагнітальних свердловин різними хімічними композиціями. При збідненні та обводненні нафтоносних пластів достатньо широко використовуються методи, що в основному базуються на введенні різноманітних розчинів та композицій через нагнітальні свердловини. Особливе місце серед них займають технології з використанням емульсійних композицій, що дозволяють селективно ізолювати промиті ділянки, або відмити нафту, що утримується у вигляді плівки на породі. У першому випадку використовуються гелеутворюючі розчини, в другому ПАР.

Пошук нових принципів регулювання глибини обробки пласта гелеутворюючими силікатними композиціями вимагає вивчення закономірностей зміни pH під час просування по пласту оторочки високолузної композиції. Динаміка цього процесу значною мірою



залежить від пластових умов: мінералогічного складу пластової породи, мінералізації іонного складу води, що насичує пласт, пластової температури.

Слід враховувати, що в процесі руху по пласту оторочки високолувної композиції відбувається кінетична взаємодія двох буферних систем: нафтоносного пласта і силікатної композиції.

процесі цієї взаємодії в голові оторочки силікатної композиції відбувається уповільнення наростання рН внаслідок переважного впливу буферної сили пласта. У хвості оторочки високі значення рН зберігатимуться достатньо довго внаслідок переваги буферної сили силікатної композиції.

Для визначення зміни рН лужно-силікатної композиції були проведені серії експериментів, де вивчали їх взаємодію з різними породами (глина, кварцовий пісок, вапняк). Зменшення рН при контакті з глиною спостерігається у всьому діапазоні. Проте практично незмінним залишається вапняк та кварцовий пісок по відношенню до лужних розчинів. Тому вивчення процесів взаємодії лужно-силікатних розчинів з різними породами показали, що помітний ефект зміни рН спостерігається при контакті з глиною.

Відомо, що час гелеутворення композицій на основі силікату натрію залежить від величини рН. Типова крива вказаної залежності характеризується екстремумом в області низьких значень рН ( $pH < 1,9$ ). Максимальний час гелеутворення силікатних композицій в кислих розчинах складає 10 і більше діб. У лужних розчинах ( $pH > 10$ ) спостерігається монотонне зростання періоду гелеутворення із збільшенням величини рН. У області високих значень рН гелеутворення не відбувається.

Максимальний час гелеутворення силікатних композицій в кислих розчинах складає 10 і більше діб. У лужних розчинах ( $pH > 10$ ) спостерігається монотонне зростання періоду гелеутворення із збільшенням величини рН. У області високих значень рН гелеутворення не відбувається.

Основою для даного твердження є результати лабораторних експериментів по взаємодії мінералів і пластових флюїдів з лужними розчинами.

При русі лужних розчинів по нафтонасиченому пласту концентрація лугу зменшуватиметься. У загальному вигляді спад поточної концентрації лугу описується формулою:

$$C(t) = C_0 - \Delta C_1 - \Delta C_2 - \Delta C_3 - \Delta C_4 ,$$

де  $C(t)$  – поточна концентрація лугу в розчині;  $C_0$  – початкова концентрація лугу в розчині, що закачується;  $C_1$  – витрата лугу на взаємодію з кислотними компонентами нафти;  $C_2$  – витрата лугу на взаємодію із солями, що обумовлюють твердість води;  $C_3$  – витрата лугу на іонний обмін з породою шару;  $C_4$  – витрата лугу на розчинення силікатів в піщаному пласті.

Взаємодія лугу в елементі пласта з нафтою і пластовою водою відбувається практично миттєво, тоді як реакція з породою до досягання рівноважного стану може протікати достатньо довго. Витрата лугу в елементі пласта на повний обмін описується експоненціальним рівнянням вигляду:

$$\Delta C_3 = [ C_0 - C(t) - \Delta C_1 - \Delta C_2 - \Delta C_3 ] \exp(\alpha_3 t),$$

де  $\alpha_3$  – константа, що характеризує темп витрати лугу на іонний обмін;  $t$  – час.

Аналогічною експонентою описується витрата лугу на розчинення силікатів з піщаного пласта. Усі чотири види витрати лугу можна визначити лабораторними дослідженнями, виконаними в умовах, близьких до пластових. На підставі лабораторних експериментів можна визначити величини констант, що характеризують швидкість витрати лугу при русі силікатно-лужних розчинів по пласту, і концентрацію лугу ( $a$  отже, і величину рН) в певний момент часу.

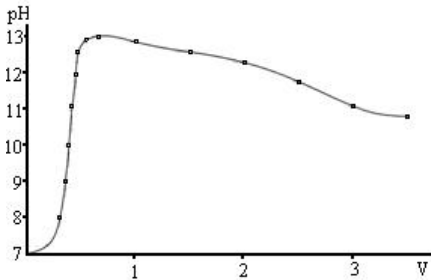


Рис.1. Динаміка зміни рН лужних розчинів при контакті з породою.  
Склад породи: кварцовий пісок - 65%; глина - 30%; вапняк - 5%.  
V - об'єм води, що виходить з керну

Для визначення зміни рН лужно-силікатної композиції при взаємодії з основними складовими кожного нафтоносного шару були проведені серії експериментів, для дослідження взаємодії лужних та силікатно-лужних розчинів з різними породами.

Як видно з табл. 1, зменшення рН при контакті з глиною спостерігається у всьому діапазоні концентрацій силікату натрію.

Найбільша зміна рН спостерігається у області низьких концентрацій силікату натрію і досягає ~ 0,4 при контакті 3 % розчину силікату натрію з глиною. Більш вища активність глини як регулятора рН у порівнянні з кварцовим піском підтверджена серією експериментів, що досліджують вплив вмісту глини у породі на

зміну рН розчину.

цьому випадку зі збільшенням масової частки глини в породі відбувається зниження величини рН, причому остання практично пропорційна змісту глини до 30 %.

Для вивчення зміни рН лужних розчинів при контакті з породою в динамічних умовах, модельна установка заповнювалася породою, що складається з 65 % кварцового піску, 30 % глини й 5 % вапняку, насичувалася пластовою водою (об'єм прокатаної води становив 3 порових об'єми).

Потім у модель закачувалося 0,5 порових об'ємів лужно-силікатного розчину (з вмістом 6 %  $\text{Na}_2\text{SiO}_3$  та 5 %  $\text{NaOH}$ ). Оторочку силікатної композиції витісняли 4 поровими об'ємами мінералізованої води. На виході безперервно заміряли рН витиснутої рідини.

Динаміка зміни рН представлена на рис. 1.

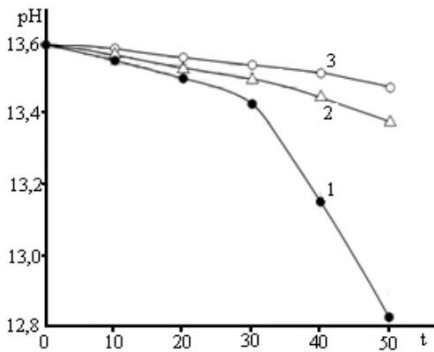


Рис.2. Залежність зміни рН (в часі) при імітації взаємодії пласта із декількома силікатно-лужними оторочками

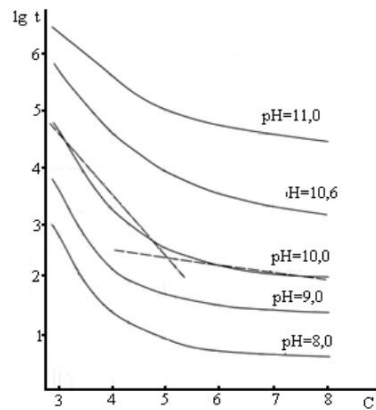


Рис.3. Залежність часу гелеутворення від концентрації силікату натрію в розчині при різних рН (температура 20 °С).  
С - концентрація силікату натрія, %;  
lg t - час гелеутворення, хв.

Максимальна величина рН вихідного розчину становить 13,0, при значеннях рН = 13,65 для вхідного розчину. Значна величина зменшення рН ( $\Delta\text{pH} = 0,65$ ) свідчить про високу активність породи як нейтралізатора лугу при фільтрації лужних розчинів у пористому середовищі.

Моделювання руху 3-х оторочок лужно-силікатного розчину в пористому середовищі (рис 2.) показало значне зниження рН головної облямівки ( абсолютне значення  $\Delta pH = 0,8$ ). Для другої оторочки, що контактувала з породою, яка частково втратила активність  $\Delta pH = 0,21$ , і для третьої оторочки зміни рН мінімальні.

Отримані результати показують принципову можливість регулювання величини рН лужно-силікатних розчинів при їх фільтрації в пористому середовищі.

Концентрація силікату натрію і рН середовища є визначальними параметрами гелеутворюючих композицій. Проте їх вплив на час гелеутворення в значній мірі залежить від інших фізико-хімічних чинників: перш за все ступені мінералізації середовища і температури.

Оскільки найбільший інтерес для розробки технології підвищення нафтовіддачі шару представляють лужні гелеутворюючі композиції, залежність часу гелеутворення від концентрації силікату натрію за різних рН представлена на рис. 3.

За концентрацій силікату 5 % і вище час гелеутворення за різних рН змінюється (у напівлогарифмічних координатах) практично лінійно з невеликим кутом нахилу.

За концентрацій менше 5 % спостерігається крутіша залежність. Слід мати на увазі, що в цьому діапазоні концентрацій міцність одержуваного гелю із зменшенням концентрації силікату істотно знижується.

Таким чином: 1. Час гелеутворення лужно-силікатних композицій залежить від концентрації силікату натрію при різних рН. 2. Експериментально доказана принципова можливість регулювання величини рН лужно-силікатних розчинів при їх фільтрації в пористому середовищі.

#### РЕФЕРАТ

*Ольга Титова, Вячеслав Трачевський, Зоя Грушак, Наталья Столярова,*

*Національний авіаційний університет, ieb@nau.edu.ua*

#### **ХАРАКТЕР ВПЛИВУ ПЛАСТОВИХ УМОВ НА ЗМІНУ рН СИЛІКАТНО-ЛУЖНОЇ КОМПОЗИЦІЇ**

Наведені результати дослідження зміни рН лужно-силікатної композиції в статичних і динамічних умовах при взаємодії з основними складовими нафтоносного шару та модельною нафтоносною породою, що складається з 65 % кварцового піску, 30 % глини і 5 % вапняку. Найбільша зміна рН спостерігається у області низьких концентрацій силікату натрію і досягає  $\approx 0,4$  при контакті 3 % розчину силікату натрію з глиною.

При вивченні зміни рН лужних розчинів при контакті з породою в динамічних умовах, встановлена висока активність породи як нейтралізатора лугу при фільтрації лужних розчинів у пористому середовищі.

**Ключові слова:** силікатно-лужна композиція, нафтоносний пласт, поверхнево-активні речовини, пластові умови, пористе середовище.

#### РЕФЕРАТ

*Ольга Титова, Вячеслав Трачевский, Зоя Грушак, Наталья Столярова,*

*Национальный авиационный университет, ieb@nau.edu.ua*

#### **ХАРАКТЕР ВЛИЯНИЯ ПЛАСТОВЫХ УСЛОВИЙ НА ИЗМЕНЕНИЯ рН СИЛКАТНО-ЩЕЛОЧНОЙ КОМПОЗИЦИИ**

Приведены результаты исследования изменения рН щелочно-силикатной композиции в статических и динамических условиях при взаимодействии с основными составляющими нефтеносного слоя и модельной нефтеносной породой, которая состоит из 65 % кварцевого песка, 30 % глины и 5 % известняка. Наибольшее изменение рН наблюдается в области низких концентраций силиката натрия и достигает  $\approx 0,4$  при контакте 3 % раствора силиката натрия с глиной.

При изучении изменения рН щелочных растворов при контакте с породой в динамических условиях, установлена высокая активность породы как нейтралізатора луга при фильтрации щелочных растворов в пористой среде.

**Ключевые слова:** силікатно-щелочная композиция, нефтеносный пласт, поверхностно-активные вещества, пластовые условия, пористая среда.

## ABSTRACT

*Olga Titova, Vyacheslav Trachevskyy, Zoe Hrushak, Natalia Stolyarova,  
National Aviation University, ieb@nau.edu.ua*

### THE CHARACTER OF OF IN-PLACE CONDITIONS INFLUENCE ON PH CHANGE OF THE SILICATE-ALKALINE SOLUTION

The research results of alkaline-silicate composition pH change in static and dynamic conditions, at interaction with the basic constituents of oil containing layer, and with a model containing oil breed consisting of a 65 % quartz sand, 30 % clays and 5 % limestone, are represented in the article. The most significant pH change was observed at low concentrations of Sodium silicate, and it reached  $\approx 0,4$  at a contact of 3 % of Sodium silicate solution with clay.

At the study of the alkaline solutions pH change at a contact with a breed in dynamic terms, high breed activity of was set as the activity of neutralizer of alkaline during filtration of alkaline solutions in a porous environment.

**Key words:** silicate-alkaline composition, oil layer, surfactants, in-place conditions, porous environment.

УДК 620.197.3

## II-15. СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ

*Ірина Шкільнюк, Ірина Ониськів, Вікторія Гладішева*

Захист обладнання нафтопереробних заводів від корозії в процесах нафтопереробки має надзвичайно важливе значення. По-перше, зменшується попадання корозійно-активних сполук (HCl, H<sub>2</sub>S) в нафтопродукти; по-друге, зменшуються втрати металу внаслідок корозії і, таким чином, значно продовжується термін експлуатації обладнання; по-третє, зменшується ймовірність техногенних катастроф.

лабораторії кафедри хімічної технології переробки нафти і газу НУ «Львівська політехніка» синтезовано інгібітори корозії шляхом взаємодії суміші жирних кислот, одержаних з коров'ячого жиру, з ди- та триетаноламіном. Вивчено вплив Ефективність одержаних амідів визначали згідно методик, описаних раніше, на пластинці зі сталі 20. Витрата інгібітора становила від 50 до 200 г/т корозійного середовища, температура випробувань – 60, 70 та 80 °С.

Встановлено, що захисний ефект синтезованих інгібіторів для сталі 20 складав 85–95 %.

### РЕФЕРАТ

*Ірина Шкільнюк<sup>1</sup>, Ірина Ониськів<sup>2</sup>, Вікторія Гладішева<sup>1</sup>,*

*<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, <sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
i\_shkilniuk@ukr.net, topoil@polynet.lviv.ua*

### СИНТЕЗ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ НОВИХ ІНГІБІТОРІВ КОРОЗІЇ

лабораторії кафедри хімічної технології переробки нафти і газу НУ «Львівська політехніка» синтезовано інгібітори корозії шляхом взаємодії суміші жирних кислот, одержаних з коров'ячого жиру, з ди- та триетаноламіном. Вивчено вплив температури, тривалості синтезу, співвідношення реагентів на вихід та якість одержаних інгібіторів. Вивчено захисні властивості одержаних інгібіторів. Встановлено, що їх захисний ефект для сталі 20 складає 85–95 %.

**Ключові слова:** синтез, інгібітори корозії, жирні кислоти, сталь.

### РЕФЕРАТ

*Ірина Шкільнюк<sup>1</sup>, Ірина Ониськів<sup>2</sup>, Вікторія Гладішева<sup>1</sup>,*

*<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, <sup>2</sup>Національний університет «Львівська політехніка»,  
i\_shkilniuk@ukr.net, topoil@polynet.lviv.ua*

### СИНТЕЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ НОВЫХ ИНГИБИТОРОВ КОРРОЗИИ

лаборатории кафедры химической технологии переработки нефти и газа НУ «Львовская политехника» синтезированы ингибиторы коррозии путем взаимодействия смеси жирных кислот,

полученных из коровьего жира, с ди- и триэтаноломином. Изучено влияние температуры, продолжительности синтеза, соотношения реагентов на выход и качество полученных ингибиторов. Изучены защитные свойства полученных ингибиторов. Установлено, что их защитный эффект для стали 20 составляет 85–95 %.

**Ключевые слова:** синтез, ингибиторы коррозии, жирные кислоты, сталь.

#### ABSTRACT

*Iryna Shkilniuk<sup>1</sup>, Iryna Oniskiv<sup>2</sup>, Victoria Gladysheva<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>National aviation university, "Lviv Polytechnic", i\_shkilniuk@ukr.net,  
<sup>2</sup>topoil@polynet.lviv.ua*

#### SYNTHESIS AND STUDY OF NEW CORROSION INHIBITORS

Corrosion inhibitors were synthesized by the reaction of a fatty acids mixture derived from cow fat, with di- and triethanolamine, in the laboratory of the Department of Chemical Technology of Oil Refining and Gas of National University "Lviv Polytechnic". The effect of temperature, the duration of the synthesis, the ratio of reactants on the yield and quality of the inhibitors, were studied. The protective properties of the inhibitors were investigated. It is found that the protective effect of the steel 20 was 85–95 %.

**Key words:** synthesis, inhibitors of corrosion, fatty acids, steel.

УДК 665.7.665.647.2:547.917

## II-16. ПЕРСПЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ПРОЦЕСІВ КАТАЛІТИЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ НАФТОВОЇ СИРОВИНИ – АЕРОЗОЛЬНИЙ НАНОКАТАЛІЗ

*Сергій Кудрявцев*

Розвиток технологій кваліфікованої переробки нафти – одна з актуальних задач науки та промисловості. Її задовільне вирішення дозволяє зменшити собівартість продукції. Для вітчизняних НПЗ це сприятиме підвищенню конкурентоспроможності на світовому ринку. У даний час підприємства, як правило, орієнтуються на закупівлю закордонних каталітичних процесів переробки нафти.

Пропонується принципово нова технологія організації хімічних перетворень – аерозольний нанокаталіз (AnC – aerosol nanocatalysis). Її базовими положеннями є: відмова від носіїв каталізаторів за безпосереднього використання активних компонентів у вигляді аерозолію полідисперсних частинок розмірами 8–100 нм. У реакторі постійно рухається каталітична фаза: порошок каталізатора з початковим розміром частинок ~ 200–300 мкм та інертний диспергуючий матеріал

Хімічна реакція та механохімактивація каталізатора проходять *in situ*. Технологія AnC існує в двох варіантах: псевдо- та віброзрідженому шарі (AnCFB – Fluidized Bed та AnCVB – Vibrating Bed відповідно). У порівнянні з традиційним каталізом на носіях, аерозольний нанокаталіз у варіанті AnCVB забезпечує зростання швидкості реакції в 104–106 разів у розрахунку на масу каталізатора, адекватне зниження його кількості до 0,3–5 г/м<sup>3</sup> реактора, а також зниження температури. З'являються нові, властиві тільки технології AnCVB параметри, що керують активністю каталітичної системи: частота, амплітуда коливань та ін. Розвиток основ технології AnCVB та застосування її для виробництва бензинової фракції з нафтової сировини є об'єктом дослідження даної роботи.

Мета роботи – розвиток теоретичних основ технології аерозольного нанокаталізу й аналіз доцільності застосування AnCVB для виробництва бензинової фракції.

Дана робота розвиває перспективний напрямок хімічної науки та виробництва – нанокаталіз у віброзрідженому шарі. Вперше встановлено та вирішено важливі для AnC теоретичні питання: взаємозв'язок між швидкістю реакції і адгезійними властивостями інертного матеріалу по відношенню до каталізатора, умови коагуляції наночастинок і запобігання їй, керування селективністю крекінгу варіюванням параметрів вібрації

каталітичної системи. Обґрунтовано доцільність упровадження технології AnC в промисловість для одержання бензинової фракції з вуглеводнів.

Вперше за технологією AnCVB виконано системні дослідження процесів крекінгу вуглеводнів. У реакторі AnCVB в лабораторних умовах досягнуто промислового ступеня перетворення сировини та підвищено селективність крекінгу.

Кінетичні дослідження проводили на установці проточного типу (рис. 1) з режимом роботи реактора, близьким до режиму ідеального змішування. Механохімактивацію каталітичної системи здійснюють керованою механічною вібрацією реактора. Газоподібні продукти реакції аналізували хроматографічно на „ЛХМ-8” та „ЦВЕТ”-500. Склад бензинової фракції аналізували на хроматографі P.I.A.N.O.

Проводили термічний (для порівняння) та каталітичний крекінг (КК) вакуумного газойлю. При КК використовували відомі каталізатори та їх компоненти: цеоліт NaX, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, промисловий диспергований каталізатор Nexus-345p (м. Лисичанськ) і виділені його складові. Умови експериментів та склад продуктів реакції наведено в таблиці (жирним шрифтом виділені найкращі з досягнутих показників).

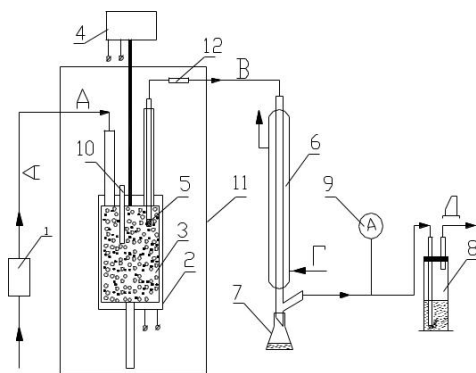


Рис. 1. Принципова схема лабораторної установки AnCVB для крекінгу вуглеводнів:  
1 – дозатор; 2 – електропіч; 3 – реактор; 4 – вібропристрій; 5 – металоповстяний фільтр;  
6 – холодильник; 7 – приймач конденсату; 8 – барботер; 9 – точка відбору проб,  
10 – термокарман; 11 – термошафа; 12 – контрольний скляний фільтр.  
Потоки: А – сировина; В – продукти реакції; Г – вода; Д – в атмосферу.

Дослідження з термічного крекінгу проводили за 500 °С на реакторах: пустому (рядок 2); заповненому на 50 % чистими скляними кульками (рядок 3) та скляними кульками, заповненими каталізатором (рядок 4). Ступінь перетворення (% мас.) змінювався від 5,5 до 6,8, вихід бензину до 49,7, а суми світлих до 79,1. За 450 °С термічний крекінг не зафіксовано.

При додаванні до заповнених кульок додаткового каталізатора NaX для створення концентрації 5 г/м<sup>3</sup> р. об; витраті сировини і температурі, однакових з термічним процесом; та застосуванні вібрації ступінь перетворення сировини за 500 °С збільшилась (% мас.) до 89, вихід бензину зменшився до 34,6, а суми світлих 60,7 (рядок 8). Нижня температурна межа проведення каталітичного процесу складала 350 °С (рядок 5). При цьому ступінь перетворення сировини (% мас.) 3,3, вихід бензину 52,2, вихід світлих продуктів 85,4. Використання NaX знижує температуру на 150 °С.

Каталізатор Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> показав низьку каталітичну активність (рядки 9–12). Каталізатор Nexus-345p (рядки 13–15) показав найвищий вихід бензинової фракції (% мас.) 52,8 та суми світлих 93,2 (рядок 14), при ступені перетворення сировини складала 5,4 % за 500 °С. При цьому вихід бензину й суми світлих вище в порівнянні з NaX. Це свідчить про більшу

селективність Nexus-345p. Проведені експерименти з крекінга на компонентах даного каталізатора: нерозчинному в HNO<sub>3</sub> залишку (переважно SiO<sub>2</sub>, (рядок 16) і залишку після випаровування розчиненої в HNO<sub>3</sub> частини каталізатора ( переважно Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> рядок 17). Значення виходу бензину (% мас.) 51,1 і 53,3, а суми світлих 83,4 і 87,1 відповідно. Таким чином частина каталізатора, що містить Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (розчинна в HNO<sub>3</sub>), проявляє вищу каталітичну активність, ніж хімічно чистий зразок (рядки 9–12). Найкращі показники мас диспергований Nexus-345p (табл. 1).

Таблиця

Термічний і каталітичний крекінг вакуумного газойлю за технологією AnCVB													
№	Умови експерименту				X	Склад продуктів реакції, % мас.							
	t	витрата	f	C <sub>кат</sub>		H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	ППФ	ББФ	Бензин, н.-180С	ДП180-350С
	°С	Мл/хв	Гц	г/м <sup>3</sup> реактор а									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Термічний крекінг													
1*	470–550											50-55	
2	500	1,1	-	0	5,5	0,7	7,3	1,5	1,8	2,5	4,8	48,3	29,2
3	<b>500</b>	<b>1,1</b>	-	<b>0</b>	<b>5,1</b>	<b>0,6</b>	<b>7,4</b>	<b>1,2</b>	<b>1,2</b>	<b>2,6</b>	<b>5,2</b>	<b>49,7</b>	<b>29,4</b>
4	500	1,1	-	0	6,8	0,9	6,1	2,2	2,6	2,4	4,2	47,8	31,2
На каталізаторі NaX													
5	<b>350</b>	1,1	4,5	5,0	3,3	0,1	0,3	0,2	0,2	2,1	9,2	<b>52,2</b>	<b>33,2</b>
6	400	1,1	4,5	5,0	8,5	0,7	4,3	1,7	1,9	4,0	7,4	49,4	28,1
7	450	1,1	4,5	5,0	37,7	0,8	7,4	6,9	11,0	2,8	9,2	37,3	22,2
8	<b>500</b>	<b>1,1</b>	<b>4,5</b>	<b>5,0</b>	<b>89,7</b>	<b>1,2</b>	<b>9,0</b>	<b>4,3</b>	<b>11,6</b>	<b>2,0</b>	<b>8,5</b>	<b>34,6</b>	<b>26,3</b>
На каталізаторі Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>													
9	460	1,1	4,5	5,0	4,9				38,5			44,7	14,6
10	500	1,1	4,5	5,0	12,8				49,3			35,2	14,1
11	540	1,1	4,5	5,0	18,8				30,1			39,9	17,6
12	600	1,1	4,5	5,0	25,2				33,1			37,7	16,7
На каталізаторі Nexus -345p та його складових													
13	500	1,1	4,5	1,0	4,3	0,8	5,6	2,7	2,7	1,5	2,1	49,4	32,7
14	<b>500</b>	<b>1,1</b>	<b>4,5</b>	<b>2,0</b>	<b>5,4</b>	<b>0,1</b>	<b>0,7</b>	<b>1,2</b>	<b>1,1</b>	<b>0,7</b>	<b>1,0</b>	<b>52,8</b>	<b>40,2</b>
15	600	1,1	4,5	2,0	30,1	0,5	2,6	4,8	5,1	4,3	8,0	42,0	31,1
16	550	1,1	4,5	2,0	9,4	0,4	3,1	3,8	3,8	1,1	2,1	51,1	32,3
17	550	1,1	4,5	2,0	10,8	0,2	2,1	2,5	2,8	1,1	2,3	<b>53,1</b>	34,0
На каталізаторі Nexus-345p за високих ступенів перетворення сировини													
18	630	4,0	4,5	2,0	40,0				11,0			55,0	30,5
19	630	2,0	4,5	2,0	89,1				11,7			51,8	23,0
20	<b>570</b>	<b>0,4</b>	<b>4,5</b>	<b>2,0</b>	<b>86,0</b>	<b>0,3</b>	<b>0,6</b>	<b>0,8</b>	<b>0,9</b>	<b>1,9</b>	<b>4,1</b>	<b>50,4</b>	<b>22,5</b>
21	570	0,34	4,5	2,0	86,8	0,8	1,4	1,7	1,6	3,2	4,6	46,1	26,0

лабораторних умовах у реакторі змішування було досягнуто ступеня перетворення сировини 86 % мас. (рядок 20). Температура складала 570 °С – середня температура в промисловому ліфт-реакторі. Вихід бензину 50,4 % мас., а дизельного палива 22,5 % мас. на сировину. Сума світлих продуктів 72,5 % мас. Селективність за світлими продуктами склала 84,8 %, що вище, ніж в промисловості. Слід підкреслити, що ці результати отримано за один прохід у реакторі змішування. (На промисловій установці Г-43-107М/1 в ліфт-реакторі ступінь перетворення складає 88 % мас., вихід бензину 50 % мас., дизельного палива

15 % мас. Сума світлих продуктів 65 % мас. Селективність за світлими продуктами 73,9 %.) Це стало можливим через високу селективність каталізу і зменшенні часу контакту більш ніж у 2 рази.

Дослідження крекінгу вакуумного газойлю в лабораторних умовах (570 °С, концентрація катализатора 2 г/м<sup>3</sup> реактора за відсутності водяної пари) показало, що сучасний промисловий катализатор Nexus-345p у стані аерозолю забезпечує показники, вищі за показники промислового процесу: досягнуто ступеня перетворення сировини 86 % мас. та виходів бензинової фракції і суми світлих продуктів 50,4 і 72,9 %, відповідно в промисловості – 50,2 і 65,2 %, що свідчить про зростання селективності; об'єм реактора крекінгу для установки потужність 2 млн т/рік за сировиною склав 420 м<sup>3</sup>, що в 2 рази менше за об'єм промислового ліфт-реактора і в 10 разів менше від суми об'ємів промислових реактора і регенератора.

#### РЕФЕРАТ

*Сергій Кудрявцев,*

*Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, sergeykudryavtsevsnu@gmail.com*

#### **ПЕРСПЕКТИВНА ТЕХНОЛОГІЯ ДЛЯ ПРОЦЕСІВ КАТАЛІТИЧНОЇ ПЕРЕРОБКИ НАФТОВОЇ СИРОВИНИ – АЕРОЗОЛЬНИЙ НАНОКАТАЛІЗ**

Виконано дослідження процесу каталітичного крекінгу вакуумного газойлю за умови механохімічної активації каталітичної системи *in situ*. Технологія отримала назву «аерозольний нанокаталіз». Основна відмінність полягає в використанні активних наночасток катализатора, що генеруються в реакторі в віброзрідженому шарі каталітичної системи. Нова технологія дозволяє зменшити температуру процесу, кількість необхідного катализатора, матеріаломісткість реакторно-регенераторного вузла та збільшити вихід світлих продуктів.

**Ключові слова:** аерозольний нанокаталіз, механохімічна активація, каталітичний крекінг, вихід світлих.

#### РЕФЕРАТ

*Сергей Кудрявцев,*

*Восточноукраинский национальный университет им. В. Даля, sergeykudryavtsevsnu@gmail.com*

#### **ПЕРСПЕКТИВНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ КАТАЛИТИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ – АЭРОЗОЛЬНЫЙ НАНОКАТАЛИЗ**

Было проведено исследование процесса каталитического крекинга вакуумного газойля при механохимической активации каталитической системы *in situ*. Технология получила название «аерозольный нанокатализ». Основное отличие заключается в использовании активных наночастиц катализатора, генерируемых в реакторе в виброоживленном слое каталитической системы. Новая технология позволяет уменьшить температуру процесса, количество необходимого катализатора, материалоемкость реакторно-регенераторного узла, увеличить выход светлых продуктов.

**Ключевые слова:** аерозольный нанокатализ, механохимическая активация, каталитический крекинг, выход светлых.

#### ABSTRACT

*Sergey Kudryavtsev,*

*V. Dahl East Ukrainian National University, sergeykudryavtsevsnu@gmail.com*

#### **PROMISING TECHNOLOGY FOR THE CATALYTIC REFINING OF OIL PRODUCTS - AEROSOL NANOCATALYSIS**

The process of catalytic cracking of VGO with mechanical and chemical activation of the catalytic system *in situ*, was studied. The technology is called “aerosol nanocatalysis”. The main difference lies in the use of the active catalyst nanoparticles, which were generated in the reactor in vibrating liquified layer of the catalytic system. The new technology makes it possible to reduce the temperature of the process, the amount of catalyst required, the of reactor-regenerator unit matter capacity, and to increase the yield of light products.

**Key words:** aerosol nano-catalysis, mechanical and chemical activation, catalytic cracking, the yield of light products.



## II-17. THE DECOMPOSITION OF SUPERCRITICAL ETHANOL IN THE PRESENCE OF KOH

*Oleksandr Shytyka*

Ethanol obtained from biomass could become the sustainable, raw material for obtaining various chemicals, e.g. higher alcohols, butadienes, aromatics, etc. These compounds can be used as fuels or for producing synthetic rubber, detergents and other products, that are currently all petroleum-based. According to the literature, various solid bases can catalyze the transformation of ethanol into higher alcohols, namely, into 1-butanol with simultaneous formation of various by-products at high temperatures. For instance, Miller et al. detected alcohols (1-butanol, hexanol), acids (acetic, butanoic) and esters originated from decomposition of ethanol in the presence of base.

The aim of this study is to investigate the effect of KOH on the decomposition of supercritical ethanol. The reactions were carried out in 100 ml stainless steel reactor at temperature of 300 °C and under initial pressure of N<sub>2</sub> varying from 3 to 8 MPa. In each typical experiment, 5 g of KOH and 40 g of ethanol were placed in the batch reactor equipped with a magnetic stirrer (the stirring rate was set to 300 rpm). Next, the reactor was sealed and purged with nitrogen. Following that, the reactor was pressurized using nitrogen and heated up to desired temperature. The set temperature was maintained for 40 min. After the reaction, the reactor was cooled down to room temperature by internal chiller. The gas in the reactor was collected using a sampling line in Teflon sampling bags for composition analysis. Then the reactor was open and the obtained product was filtered at a reduced pressure using a pre-weighed filter paper and the catalyst remaining on the filter paper was dried at 110 °C for 8 hours in an oven and weighed. The chemical composition of liquid products was analyzed using a gas chromatograph (GC, Agilent 5977A) equipped with a mass spectrometer (MS). DB-WAX column (polyethylene glycol, 30 m x 250 μm x 0.25 μm) was used for analysis, with helium (99.999%) as carrier gas. The temperature was programmed to start at 45 °C for 5 min, ramped up to 230 °C at 3 °C/min, and subsequently held for 20 min. The formed gas was also analyzed by a gas chromatograph (IGC 7200) equipped with TCD and FID. The products were separated on Carboxen 1000 (60/80 mesh, 4 ft × 1/8 in. ss) packed column. Nitrogen (99.999%) was used as carrier gas. The oven temperature program was 35 °C for 4.2 min, ramp 15 °C/min to 277°C, ramp again at 30 °C/min to 300 °C and hold for 4.6 min FID and TCD temperatures were kept at 180 and 200 °C, respectively. The moisture content of liquid products was determined using Mettler Toledo V20/30 Karl Fischer Titrator.

The first two experiments (ethanol with/without KOH) were carried out at 300 °C and under initial pressure of 8 MPa for 40 min. The resulting product yields and gas compositions are listed in table 1.

*Table 1*

Influence of KOH on the product yield and gas composition during ethanol decomposition				
Conditions	Ethanol (8MPa, 300 °C)		Ethanol+KOH (8MPa, 300 °C)	
Gas yield (wt%)	4.40		9.55	
Gas composition (mol%)	H <sub>2</sub>	99.19	H <sub>2</sub>	85.44
	CH <sub>4</sub>	0	CH <sub>4</sub>	0.76
	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	0.81	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	12.28
	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	0.27
	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	0	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	1.25
Liquid yield (wt%)	95.10		91.31	
Water content (%)	0.77		8.67	

Table 2

GC/MS analysis result of the liquid obtained in ethanol decomposition at temperature of 300 °C and under initial pressure of N<sub>2</sub> of 8 MPa with and without catalyst

RT (min)	Name of compound	%area	
		Ethanol	Ethanol (KOH)
1.241	Acetaldehyde	0.33	0.52
1.290	2-Pentene	-	0.93
1.339	Diethyl ether	-	0.22
1.401	1,4-Pentadiene	-	1.02
1.429	1,3-Butadiene, 2-methyl-	-	0.20
1.533	Butane, 2-ethoxy-	0.52	0.58
1.610	1,3-Hexadiene	-	0.33
1.728	Butane, 1-ethoxy-	3.36	2.09
1.776	Cyclohexene	-	6.80
1.860	2,4-Hexadiene	-	0.78
1.992	Cyclohexene, 4-methyl-	-	1.19
2.248	Ethyl acetate	0.60	1.94
2.464	1-Propene, 3-ethoxy-2-methyl-	-	1.73
2.638	1,4-Hexadiene, 4-methyl-	-	0.52
2.735	2-Propanol	1.48	1.52
2.826	Ethanol	89.16	35.70
3.423	Cyclohexene, 1-ethyl-	-	0.38
3.653	Cyclohexene, 4-ethenyl-	-	8.10
7.245	Benzene, ethyl-	-	0.29
7.356	E,Z-3-Ethylidenecyclohexen	-	0.30
8.385	1-Butanol	2.14	24.58
9.406	Benzene, 1,3 -dimethyl-	-	0.45
11.359	2-Buten-1-ol	1.06	0.36
15.403	1-Butanol, 2-ethyl-	-	1.49
17.411	1-Hexanol	-	2.94
19.940	4-Hexen-1-ol	-	0.55
21.497	Cyclohexanol, 3-methyl-	-	0.41
40.307	Benzenemethanol, 4-methyl-	-	0.56
41.266	Benzenemethanol, 2-methyl-	-	1.28
46.769	Benzene, 1-methyl-4-(1-methylethenyl)-	-	0.73
47.124	Benzenepropanol, $\beta$ -methyl-	-	0.55
<i>Total</i>		<i>98.65</i>	<i>99.04</i>

In the absence of catalyst, the major amount of ethanol after the reaction remained unchanged. About 4.4 wt% of alcohol underwent gasification to form mainly hydrogen (99.19 mol%) and small amounts of ethylene (0.81 mol%). The GC-MS analysis (Table 2) of ethanol showed the presence of ethers (3.88%), higher alcohols (3.20%) and other compounds (3.76%). Apart from organics, the liquid product was also found to contain negligible amount of water, about 0.77 wt%. The application of catalyst significantly promoted the decomposition of ethanol. With KOH, the gas yield increased more than twofold and was about 9.55 wt%. The formed gas composed mainly of hydrogen (85.44 mol%) accompanied by ethene (12.28 mol%) and low concentrations of propane (1.25 mol%), methane (0.76 mol%) and ethane (0.27 mol%). The analysis of liquid product showed that major amount of ethanol catalytically transformed into 1-butanol (24.58%), cyclohexene (6.80%) and its derivatives (about 9.97%). The concentration of water in liquid also increased more than tenfold and was about 8.67 wt%.

According to the obtained results, ethanol was simultaneously dehydrated, giving ethylene and water, and dehydrogenated, producing acetaldehyde and hydrogen. Next, acetaldehyde underwent aldol-condensation with another molecule of acetaldehyde to form acetaldol, which could be further dehydrated to crotonaldehyde. Then, crotonaldehyde was hydrogenated to form 1-butanol and crotylalcohol. Crotylalcohol could be dehydrated giving 1,3-butadiene, which further underwent Dis-Alder reaction with ethylene or another molecule of 1,3-butadiene forming E,Z-3-Ethylidenecyclohexene and cyclohexene, respectively. Observed C<sub>6</sub>-hydrocarbons and C<sub>6</sub>-oxygenated compounds were formed via similar mechanism, i.e. by the condensation of crotonaldehyde with acetaldehyde. Butanol could be also produced by mechanism based on direct dimerization of two ethanol molecules with apparently no intermediate gaseous compounds. The variation of initial pressure from 3 to 8 MPa did not show significant influence on distribution of liquid and gaseous products. In all cases, the major amount of KOH (near 82 wt%) was dissolved in the formed water.

#### РЕФЕРАТ

*Олександр Штыка,*

*Лодзинський Технічний Університет. chemshtyka@gmail.com*

#### РОЗКЛАД НАДКРИТИЧНОГО ЕТАНОЛУ В ПРИСУТНОСТІ КОН

Розклад надкритичного етанолу було досліджено в присутності і без КОН в реакторі з неіржавіючої сталі за температури 300 °C і за тиску в інтервалі від 3 до 8 МПа. Отримані газоподібні рідкі продукти реакції аналізували за допомогою ГХ-ПІД / ДТП і ГХ-МС, відповідно. Було встановлено, що наявність лужного катализатора сприяє перетворенню етанолу в вищі спирти (тобто бутанол і гексанол) і циклічні сполуки, а саме в циклогексан і його похідні. Крім цього, ароматичні з'єднання також були виявлені в невеликих кількостях. Зміна початкового тиску не спричинила істотного впливу на вихід і розподіл продуктів реакції. Було запропоновано можливий механізм розкладу етанолу.

**Ключові слова:** етанол, бутанол, надкритична рідина, КОН.

#### РЕФЕРАТ

*Александр Штыка,*

*Лодзинский Технический Университет. chemshtyka@gmail.com*

#### РАЗЛОЖЕНИЕ СВЕРХКРИТИЧЕСКОГО ЭТАНОЛА В ПРИСУТСТВИИ КОН

Разложение сверхкритического этанола было исследовано в присутствии и без КОН в реакторе из нержавеющей стали при температуре 300 °C и при давлении в интервале от 3 до 8 МПа. Полученные газообразные и жидкие продукты реакции анализировали с помощью ГХ-ПИД/ДТП и ГХ-МС, соответственно. Было установлено, что наличие щелочного катализатора способствует превращению этанола в высшие спирты (т.е. бутанол и гексанол) и циклические соединения, а именно в циклогексан его производные. Помимо этого, ароматические соединения также были обнаружены в небольших количествах. Изменения начального давления не оказало существенного влияния на выход и распределение продуктов реакции. Было предложено возможный механизм разложения этанола

**Ключевые слова:** этанол, бутанол, сверхкритическая жидкость, КОН.

#### ABSTRACT

*Oleksandr Shtyka,*

*Lodz University of Technology. chemshtyka@gmail.com*

#### THE DECOMPOSITION OF SUPERCRITICAL ETHANOL IN THE PRESENCE OF KOH

The decomposition of supercritical C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH was investigated with/without the presence of KOH in stainless steel reactor at temperature 300°C and under pressures in the range from 3 to 8 MPa. The obtained gas and liquid were analyzed by means of GC-FID/TCD and GC-MS, respectively. It was found that KOH promotes transformation of ethanol into higher alcohols (i.e. butanol and hexanol) and cyclic compounds, such as cyclohexene and its derivatives. Aromatic compounds were also observed in small amounts. The change of initial pressure did not show any significant effect on the distribution and yield of reaction products.

**Key words:** ethanol, butanol, supercritical fluid, KOH.

## **II-18. УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

*Евгений Збыковский*

Обеспечение экологической безопасности – один из важнейших стратегических приоритетов государственной политики развитых стран и обязательный компонент принципа «устойчивого развития». Вследствие интенсивной добычи и переработки каменных углей, в том числе высокотемпературным коксованием, усугубляется важнейшая экологическая проблема современности – загрязнение биосферы и разрушение ее генетических ресурсов. Очевидна необходимость радикальных мер по сокращению разрушающих воздействий на природу, связанных с процессами переработки природных ресурсов геосферы.

Однако современные схемы очистки и обеззараживания сточных вод, применяемые на предприятиях коксохимической отрасли, не позволяют получать, в конечном итоге, воду без вредных примесей. Несмотря на многообразие используемых способов очистки: отстаивание, фильтрация, флотация, коагуляция, экстракция, биохимическая очистка (БХО) и др., сточные воды, подаваемые на тушение кокса, содержат большое количество загрязнителей (фенолы, роданиды, летучий и связанный аммиак, сероводород, смолы и масла, цианиды и др.). Попадая на раскаленный кокс, они переходят в парообразное состояние, частично разлагаются, выносятся из тушильной башни, оказывая губительное влияние на окружающую среду и здоровье людей. Особенно опасны 3,4-бензпирены, некоторые полициклические углеводороды (канцерогены).

Сточная вода коксохимического производства после установок биохимической очистки (БХО) значительно загрязнена взвешенными частицами органического и неорганического происхождения, растворенными вредными веществами и содержит большое количество микроорганизмов (активного ила). Вода, загрязненная микроорганизмами, слабо поддается фильтрации на скоростных промышленных фильтрах. Другие рекомендуемые способы крайне энергозатратны и небезопасны. Попадая с водой на раскаленный кокс, органическая масса активного ила сгорает, выделяя острый неприятный запах.

Конденсат паров мокрого тушения кокса, попадая в почву, грунтовые воды и открытые водоемы, отравляют их и делают непригодными для использования. Особое влияние пары мокрого тушения кокса оказывают на окружающую среду при расположении коксохимического предприятия вблизи плотной городской застройки, вызывает крайне негативное отношение населения к коксохимическим предприятиям.

Экологическая нагрузка на окружающую среду в последние годы значительно возросла. Традиционная схема очистки фенольных вод, которая много лет эксплуатировалась на коксохимических предприятиях, предусматривала предварительное обесфеноливание в специальных скрубберах с получением фенолятов натрия. В настоящее время в Украине феноляты натрия не находят сбыта. Повсеместно фенольные скруббера выведены из эксплуатации, что обусловило существенное увеличение нагрузки на установки БХО предприятий. Это приводит к значительному снижению эффективности очистки сточных вод.

На предприятиях эта проблема частично решается разбавлением сточной воды более чистой и увеличением времени пребывания ее на очистных сооружениях. Все эти меры приводят к необходимости увеличения пропускной способности очистных сооружений, то есть расширения уже имеющихся мощностей очистки, что в рамках действующего предприятия не всегда возможно.

Таким образом, только с помощью биохимической очистки невозможно очистить сточные воды коксохимического завода от вредных примесей до установленных норм. При

этом возникает проблема очистки воды от активного ила, что требует применения дополнительных методов доочистки сточных вод.

Цель исследований – изучить возможность доочистки сточных вод коксохимического предприятия после их биохимической очистки от вредных примесей и активного ила с помощью коагуляции и флокуляции, предложить технологические решения.

качестве коагулянтов использовали: сульфат алюминия ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ ), сульфат железа (II) ( $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ), хлорид железа (III) ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ), гидроксихлорид алюминия ( $\text{Al}(\text{OH})\text{Cl}_2$ ), алюмокалийные квасцы ( $\text{KAl}(\text{SO}_4)_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ ). В качестве флокулянтов применялись «ExtraFlock № 150» – катионный полиакрилоамид (в дальнейшем ПААК) и «ExtraFlock № 180» – анионный полиакрилоамид (в дальнейшем ПААА), выпускаемые Пологовским химическим заводом «Коагулянт» (г. Пологи, Запорожская обл.).

Количество использованного в исследовании реактивов варьировалось. В среднем расход коагулянта составлял 250 мг/л и флокулянта – 5 мг/л. Наибольшая эффективность очистки сточных вод от взвесей и бактерий происходит при использовании в качестве коагулянта сульфата алюминия и хлорида железа, а также флокулянта ПААА.

Достаточно неожиданным оказались низкие результаты гидроксихлорида алюминия. По рекламным проспектам производителей этого реагента он обладает высоким коагулирующим действием. Однако при обработке коксохимических сточных вод его коагуляционные свойства по сравнению с традиционными коагулянтами проявились достаточно слабо.

Использование коагуляции и флокуляции для очистки сточных вод после биохимической очистки позволяет также существенно уменьшить содержание растворимы вредных веществ (фенолов до 20 %, роданидов до 16 %, летучего аммиака до 80 %, а также сухого остатка до 12 %).

Наиболее эффективна очистка сточных вод от взвесей, бактерий и растворенных примесей происходит при использовании коагулянтов – сульфата алюминия и хлорида железа – в количестве 250–300 мг/л. При использовании такого количества коагулянта в очищенной воде практически отсутствуют взвеси и бактерии, кроме того, количество растворенных вредных примесей уменьшается на 10-80%.

Вода с более низким содержанием фенолов лучше подвергается очистке от других загрязнений (роданидов, аммиака, растворенных солей).

помощью коагулянта  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  или  $\text{FeCl}_3$  можно практически полностью очищать сточные воды после БХО от взвешенных частиц и микроорганизмов. Наибольший эффект можно достичь с помощью коагулянта  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ . При использовании  $\text{FeCl}_3$  бактерии также практически отсутствуют, но присутствуют минеральные включения, по-видимому, комплексные соединения железа.

На основании проведенных исследований разработана блочная технологическая схема доочистки сточных вод перед подачей на мокрое тушение. Предлагаемая схема включает следующие операции. Вода после биохимической очистки разделяется на два потока для обеспечения непрерывности процесса и направляется в коагуляторы-отстойники. Добавляется затравка, для улучшения процесса образования укрупненных хлопьев, при непрекращающемся перемешивании воды. После заполнения отстойника, добавляется коагулянт. Его равномерное распределение по объему осуществляется с помощью аэрации воздухом, который подается воздуходувкой вниз отстойника. Последним добавляется флокулянт. После непродолжительного перемешивания, для равномерного его распределения, вода отстаивается

течение нескольких часов. В этот момент идет заполнение второго коагулятора-отстойника. Очищенная вода поступает в промежуточный сборник, откуда часть ее идет на разбавления воды поступающей на биохимическую очистку, а оставшаяся вода поступает на фильтры. В фильтре происходит окончательная очистка воды от мелких взвешенных хлопьев и бактерий. После фильтров вода поступает в емкость очищенной воды б, откуда направляется на мокрое

тушение кокса. Осажденный в отстойниках ил, после сгущения и обезвоживания идет на утилизацию.

Таким образом, 1. Показана возможность доочистки сточных вод после БХО от взвешенных примесей и микроорганизмов с помощью коагуляции и флокуляции.

Установлено, что наиболее эффективными коагулянтами являются сульфат алюминия и хлорид железа, а также флокулянт полиакриламид анионный. 3. Установлено, что с помощью сульфата алюминия и хлорида железа можно практически полностью очищать сточные воды после БХО от взвешенных частиц органического и неорганического происхождения и бактерий. При этом содержание растворенных вредных примесей (фенолов, роданидов и др.) уменьшается на 10–80 %. 4. Предложена блочная технологическая схема доочистки сточных вод после биохимической очистки с помощью коагуляции и флокуляции.

#### РЕФЕРАТ

*Євген Збиковський,*

*ДВНЗ Донецький національний технічний університет, zeixtt@gmail.com*

#### **УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ПЕРЕРОБКИ ТВЕРДИХ ПАЛИВ З МЕТОЮ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЇЇ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ**

роботі наведені результати дослідження доочищення стічних вод після біохімічної очистки з використанням коагуляції і флокуляції. Зроблений вибір кращих коагулянтів для стічної води коксохімічного підприємства. Обрана оптимальна концентрація коагулянту та флокулянту. Запропоновано блочну схему очищення стічних вод.

**Ключові слова:** стічна вода, коагулянт, флокулянт, біохімічна очистка, феноли, роданіди, сухий залишок, мікроорганізми.

#### РЕФЕРАТ

*Євгеній Збыковский,*

*ДВУЗ Донецкий национальный технический университет, zeixtt@gmail.com*

#### **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ТВЕРДЫХ ТОПЛИВ С ЦЕЛЬЮ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

работе приведены результаты исследования доочистки сточных вод после биохимической очистки использованием коагуляции и флокуляции. Произведен выбор лучших коагулянтов для сточной воды коксохимического предприятия. Выбрана оптимальная концентрация коагулянта и флокулянта. Предложена блочная схема очистки сточных вод

**Ключевые слова:** сточная вода, коагулянт, флокулянт, биохимическая очистка, фенолы, роданиды, сухой остаток, микроорганизмы.

#### ABSTRACT

*Yevgen Zbykovskyy,*

*Donetsk national technical university, zeixtt@gmail.com*

#### **THE IMPROVEMENT OF TECHNOLOGY OF HIGH TEMPERATURE PROCESSING OF SOLID FUELS TO ENSURE ITS ECOLOGICAL SAFETY**

The results of after-treatment of wastewater after biochemical treatment with usage of coagulation and flocculation, are presented. Selection of the best coagulation agent for wastewater of coke-chemical plant, was made. Optimal concentration of coagulant and flocculant, was chosen. Block diagram of wastewater treatment is presented.

**Key words:** wastewater, coagulant, flocculant, biochemical treatment, phenols, thiocyanates, solid residual, microorganisms.

## II-19. РОЗРОБЛЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ ГОРЮЧИХ КОПАЛИН

*Стефан Зайченко, Оксана Вовк, Анна Яковлева, Вікторія Гладішева*

структурі енергетичного балансу України частка імпорту енергоресурсів перевищує власний їх видобуток та виробництво, що ставить країну в серйозну залежність від імпорту, попри те, що Україна має всі можливості повністю забезпечити себе енергією. Оскільки на підвищення обсягів вироблення енергії з альтернативних джерел потрібно ще багато років, основним енергоносієм на близьку перспективу залишається вугілля. В останні роки розробка корисних копалин супроводжується зниженням якості видобутої первинної сировини, особливо при видобутку вугілля за рахунок збільшення зольності і ступеня подрібнення маси. Методи вологого збагачення вугілля, які знайшли широке застосування

Україні, потребують залучення в технологічний процес значного об'єму води і енергії з утворенням великої кількості відходів. Саме тому, проблема створення і реалізація ресурсоефективних методів збагачення дрібних і середніх класів вугілля в умовах геотехнічних підприємств особливо актуальна. Створення компактного і енергоємного обладнання машин для збагачення вугілля, яке можливо використати у умовах геотехнічних підприємств, дозволить значно зменшити транспортні витрати при доставці на збагачувальні фабрики.

Вуглезбагачення – крупна підгалузь вугільної промисловості. Зі зростанням видобутку безперервно збільшується абсолютна маса вугілля, що направляється на збагачення, сортування і брикетування. Процеси збагачення вугілля полягають у розділенні гірничої маси на основі відмінностей у властивостях її складових (густина, змочуваності, крупності, твердості та ін.) Збагачення – це низка послідовних дій, за допомогою яких відбувається відділення корисних компонентів від домішок.

Серед методів сухого збагачення гірничої маси, яка складається з компонентів, що мають різні коефіцієнти тертя, слід відзначити методи сухого збагачення за тертям. Для реалізації даного методу розділення гірничої маси запропоновано використати скребковий конвеєр, скребки якого поставлені під кутом наближеним куту тертя цінного компоненту до напрямку руху гірничої маси, скребки розділяють куски гірничої маси по довжині конвеєру відділяють цінний компонент від породи по ширині конвеєра за рахунок різниці коефіцієнтів тертя породи і цінного компоненту по поверхні скребка. Модернізація даного елемента гірничотранспортного комплексу полягає в тому, щоб зменшити енергетичні матеріальні втрати цінного компоненту при збагаченні використанням скребкового конвеєру.

Процес збагачення паливно-енергетичних корисних копалин полягає в наступному (рис. 1). Гірничу масу подають в завантажувальний бункер 1, з якого вона поступає по шматкам (за допомогою шнекового живильника 8) на риштак скребкового конвеєра 3 між скребками 2. Скребок розташований під кутом, що наближений до кута тертя цінного матеріалу (вугілля) по скребку 2. Внаслідок перевищення сил реакції  $fmg \sin$  від взаємодії шматків цінного компоненту 4 і шматків породи 5 з скребком 3 над силами тертя  $fmg \cos f$ , за умови  $ftg$ , відбувається рух кусків з меншим значенням коефіцієнта тертя  $f$  відносно скребків 3. Розділені по ширині риштака шматки породи 5 і цінного компоненту 4 при розвантаженні потрапляють в розвантажувальні бункери цінного компоненту і породи. Для забезпечення сталого процесу збагачення необхідно забезпечити поштучне потрапляння шматків твердої горючої копалини на риштак конвеєра. Протилежному випадку, при потраплянні декількох шматків перед скребком конвеєра перерозподіл сил призводить до зупинки процесу збагачення.

Проведені дослідження ставили за мету встановлення закономірностей, які описують умови розділення компонентів, що дозволяють створити методіку розрахунку геометричних параметрів процесу для збагачення паливно-енергетичних корисних копалин за тертям.

Розглянемо контактну взаємодію гірничої маси з робочими органами модернізованого скребкового конвеєра. Під дією скребка, цінний матеріал рухається по жолобу за допомогою скребків (рис. 2).

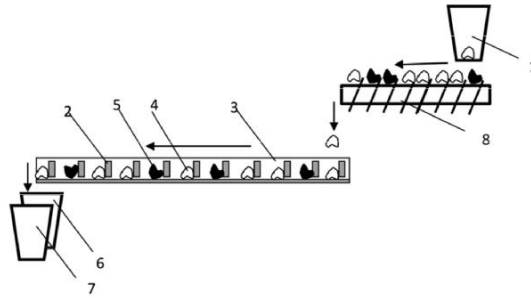


Рис. 1. Схема способу збагачення паливно-енергетичних корисних копалин:

1 – завантажувальний бункер гірничої маси; 2 – скребок; 3 – риштак скребкового конвеєра; 4 – куски цінного компоненту; 5 – куски породи; 6, 7 – розвантажувальні бункери цінного компоненту і породи; 8 – шнековий конвеєр

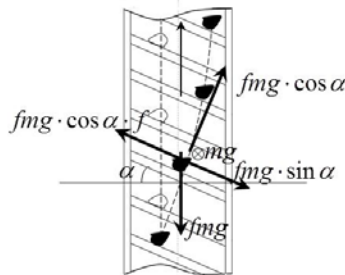


Рис. 2. Схема дії сил

Шматок під дією сили ваги  $F_{mp} = mg$  діє на жолоб, що в свою чергу викликає нормальну і дотичну складову реакцію (силу тертя). Опір, що виникає внаслідок переміщення даного тіла по поверхні іншого, під дією зовнішніх сил, спричиняє виникнення сили тертя. У даному випадку скребок розташований під кутом нахилу  $\alpha$ , що наближений до кута тертя цінного матеріалу по скребку, що призводить до складного руху матеріалу і виникнення пари сил тертя: сила тертя відносно скребка  $F_{mp,scr} = mgf \cos \alpha$  та сила тертя

відносно жолоба  $F_{mp,ж} = mgf \sin \alpha$ . При взаємодії скребка зі шматком матеріалу також виникає нормальна складова реакції  $N = fmg \cos \alpha$ . Оскільки, діє декілька сил, то результуюча сила – рівнодійна сила – знаходиться за правилом додавання векторів. Для двох сил це – правило паралелограма  $R = \sqrt{F_{mp,scr}^2 + F_{mp,ж}^2} = \sqrt{(mgf \cos \alpha)^2 + (mgf \sin \alpha)^2}$ . Модуль рівнодійної сили знаходиться за теоремою косинусів:

$$R = \sqrt{F_{mp,scr}^2 + F_{mp,ж}^2} = \sqrt{(mgf \cos \alpha)^2 + (mgf \sin \alpha)^2} \quad (1)$$



Для забезпечення процесу розділення двох компонентів рівнодійна сила повинна перевищувати сили тертя:

$$\Gamma > \mu \cdot \Sigma F_{\text{норм}} \quad (2)$$

Використавши рівняння (1) для нерівності (2) отримаємо умову процесу збагачення за тертям:

$$\alpha > \arctan(\mu) \quad (3)$$

На рис. 3 видно як змінюється кут повороту скребка  $\alpha$  від коефіцієнту тертя  $f$ .

На рис. 3 відділено три області, що характеризують процес збагачення за тертям при різному куту нахилу скребка: у першій – відсутність відносного переміщення цінного компоненту і породи, у другій – буде відбуватись тільки рух цінного компоненту, оскільки  $f \cdot \sin \alpha < f_i$ , у третій – відбуватиметься рух, як цінного компоненту, так і породи.

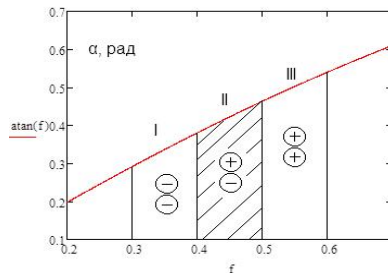


Рис. 3. Графік руху цінного компоненту та породи

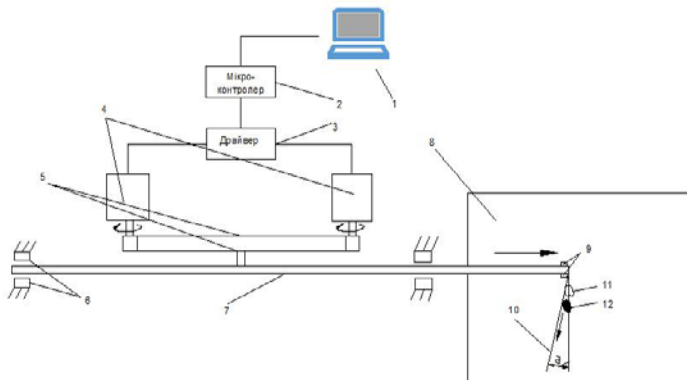


Рис. 4. Схема експериментальної установки.

Авторами було проведено експериментальні дослідження для збагачення цінного компонента (кам'яного вугілля) за допомогою скребкового конвеєра. Вище схематично зображена схема експериментальної установки (рис. 4), що працює наступним чином. Персональний комп'ютер 1 подає сигнал до мікроконтролера 2 – ArduinoNanoATmega328, який у свою чергу відправляє його до драйвера 3 TB6560, що забезпечують живлення та керування шаговим двигунам 4-17HS8401. Осі шагових двигунів обертаються в одну сторону, при чому відбувається рух зубчастого реміня 5, що у свою чергу забезпечує рух штока 7, що закріплений в підшипниках 6. До кінця штока за допомогою шайб 9

прикріплений скребок 10, під відповідним кутом. Скребок рухається по металевій пластині, на якій є два експериментальних шматки: вугілля 13 та породи 12. При русі штока відбувається рух цінного компонента і породи, оскільки коефіцієнт тертя цінного компонента менше за коефіцієнт тертя породи  $f_0 < f_n$  спостерігається рух цінного компонента відносно скребка.



Рис. 5. Зображення експериментальної установки збагачення

На рис. 6 зображений рух цінного компонента та породи, відносно скребка, що повернутий під кутом. Можливо відзначити, що шматок вугілля поступово зсувається на периферію металевій пластині, при чому шматок породи не змінює свого положення відносно скребка.



Рис. 6. Зображення результату експерименту.

Розроблений новий спосіб збагачення паливно-енергетичних корисних копалин шляхом модернізації елементів гірничотранспортних комплексів, що порівняно з традиційним (вологим) забезпечує зменшення втрат енергії і матеріалів. Модернізація конструкції скребоквого конвеєра з метою збагачення вугілля можлива шляхом зміни кута скребка до напрямку руху гірничої маси.

Вперше встановлено умову процесу збагачення за тертям. Так для сталого процесу збагачення за тертям кут нахилу скребка повинен знаходитись між значеннями кутів тертя цінного компоненту і породи.

Проведенні експериментальні дослідження підтвердили можливість процесу сухого розділення двох компонентів за тертям шляхом дії нахиленого під кутом тертя скребком конвеєра. Різниця між теоретичними і експериментальними значеннями склала 5–7 %, що підтверджує правомірність отриманих теоретичних закономірностей.

## РЕФЕРАТ

*Стефан Зайченко, Оксана Вовк, Анна Яковлева, Вікторія Гладішева,  
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського», zstefv@gmail.com*

### РОЗРОБЛЕННЯ РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ЗБАГАЧЕННЯ ГОРЮЧИХ КОПАЛИН

Робота присвячена розробленню ресурсозберігаючої технології збагачення горючих корисних копалин. Представлено огляд паливно-енергетичного сектору України та означено основні напрями його розвитку у найближчому майбутньому. Обґрунтовано необхідність розроблення нових методів збагачення корисних копалин, зокрема вугілля. Серед існуючих методів збагачення гірничої маси запропоновано використання методу сухого збагачення за тертям. Розроблено спосіб збагачення паливно-енергетичних корисних копалин модернізацією елементів гірничотранспортних комплексів, який порівняно з традиційним забезпечує зменшення втрат енергії і матеріалів. Спосіб полягає у модернізації скребкового конвеєра з метою збагачення вугілля зміною кута скребка до напрямку руху гірничої маси. Результати досліджень підтвердили можливість процесу сухого розділення двох компонентів за тертям дією нахилоного під кутом тертя скребком конвеєра.

**Ключові слова:** енергозбереження, вуглезбагачення, збагачення за тертям, скребковий конвеєр, сила тертя.

## РЕФЕРАТ

*Стефан Зайченко, Оксана Вовк, Анна Яковлева, Вікторія Гладішева,  
Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт  
имени Игоря Сикорского», zstefv@gmail.com*

### РАЗРАБОТКА РЕСУРСОЗБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ОБОГАЩЕНИЯ ГОРЮЧИХ ИСКОПАЕМЫХ

Робота посвящена разработке ресурсосберегающей технологии обогащения горючих полезных ископаемых. Представлено обзор топливно-энергетического сектора Украины и обозначено основные направления его развития в ближайшем будущем. Обоснована необходимость разработки новых методов обогащения полезных ископаемых, а именно угля. Среди существующих методов обогащения горной массы предложено использование метода сухого обогащения по трению. Разработано способ обогащения топливно-энергетических полезных ископаемых модернизацией элементов горнотранспортных комплексов, который по сравнению традиционным обеспечивает уменьшение потерь энергии и материалов. Способ заключается в модернизации скребкового конвеера целью обогащения угля изменением угла скребка к направлению движения горной массы. Результаты исследований подтвердили возможность процесса сухого разделения двух компонентов по трению действием наклоненного под углом трения скребком конвеера.

**Ключевые слова:** энергосбережение, углеобогащение, обогащение по трению, скребковый конвеер, сила трения.

## ABSTRACT

*Stefan Zaichenko, Oksana Vovk, Anna Yakovlieva, Viktoria Gladysheva,  
Igor Sikorsky NTUU «KPI», zstefv@gmail.com*

### DEVELOPMENT OF RESOURCE SAVING TECHNOLOGY FOR ENRICHMENT OF FOSSIL FUELS

The work is devoted to development of resource saving technology for enrichment of fossil fuels. The overview of Ukrainian fuel-energy sector was done; the main directions of its development in the nearest future are shown. The necessity of developing new methods of fossil fuels enrichment, coal in particular was substantiated. Among the existing methods of rock mass enrichment, the method of dry enrichment by friction, was proposed. The method of fossil fuels enrichment by modernization of elements of rock-transport processes, was proposed. It provides decreasing of energy and material expenses comparing to traditional method. The idea of the method is modernization of drag conveyer with the aim of coal enrichment by means of changing drag angle to the direction of rock mass movement. Experimental results proved the possibility of dry division of two components by friction by means of drag conveyer, inclined under the angle of friction.

**Key words:** energy saving, coal enrichment, enrichment by friction, drag conveyer, friction force.

*Андрій Коверя, Ліна Кеуш, Анатолій Старовойт*

Україна відома своєю металургійною промисловістю і сільським господарством. Ці дві галузі дозволяють отримувати продукцію доданої вартості і, в значній мірі, формують економіку, соціальну сферу і екологію країни.

Як відомо, металургійні виробництва – це значний споживач горючих копалин та палив і відновників з них, а отже забруднювач навколишнього середовища. У той же час, на сучасному етапі розвитку людства, головним викликом є зниження негативних екологічних наслідків виробництв і вирішення питань зміни клімату. У світі багато шкідливих виробництв переходять на використання поновлюваних джерел енергії, деякі країни відмовляються від використання горючих копалин в найближчій перспективі. Підписуються відповідні директиви по скороченню викидів шкідливих газів.

Щодо України і металургії, зокрема, що залежить від дорогих і дефіцитних вуглеводнів, то шляхом зниження впливу металургійних підприємств на навколишнє середовище є використання поновлювального ресурсу – біомаси і відходів її переробки. Велика кількість відходів біомаси щорічно утворюється в результаті сільськогосподарської діяльності. Ці відходи часто просто спалюються. Хоча рослинна біомаса – це сировина з великим енергохімічним потенціалом, яка відноситься до CO<sub>2</sub>-нейтральних палив.

Враховуючи, що потреба в металургійному коксі у світі буде зростати, як мінімум, до 2020 року, то завдання зниження впливу металургійних підприємств на навколишнє середовище стає ще більш складною. Але як показує світовий досвід, заміна горючих копалин, а також продуктів їх переробки в металургійних процесах можлива. Це стосується як доменного виробництва, так і великої групи недоменних виробництв. Наразі науковими школами світу вивчається питання застосування біомаси замість горючих копалин в різних технологічних процесах (газифікація, виробництва палив, електроенергії, отримання новітніх матеріалів). Актуальним питанням є використання біомаси, як джерела «екологічного» вуглецю, для синтезу вуглецевих нанотрубок (ВНТ). Щоправда, важливою умовою до біомаси є низький вміст водню. Окрім цього, вміст металів або оксидів металів

невеликої кількості, дозволяє розглядати біомасу в якості «природного» каталізатора при синтезі ВНТ. При використанні біомаси в металургійних процесах буде вирішуватися ряд актуальних завдань: утилізація відходів переробки біомаси; скорочення витрат кам'яного вугілля і природного газу в металургійних процесах; скорочення викидів шкідливих газів; отримання інноваційних вуглецевих матеріалів, що будуть мати кращі характеристики за існуючі аналоги.

Безліч виробництв висуває різні вимоги до палива і відновників (металургійні, хімічні, енергетика), при виробництві і використанні яких утворюються шкідливі речовини. Так, як показано в таблиці, до якості коксу, що використовується в кольоровій металургії, хімічній промисловості і деяких виробництв чорної металургії, висуваються досить протилежні вимоги.

Як видно з таблиці використання коксу досить поширене в промисловості. При цьому слід враховувати, що коксохімічне виробництво направлено на задоволення вимог основного споживача – доменного виробництва. Для отримання високоякісного доменного коксу в існуючих умовах необхідно застосовувати дефіцитне імпортоване кам'яне вугілля. Проте, як можна побачити з таблиці, недоменним виробництвам необхідні відновники та палива дещо іншої (гіршої) якості, для виробництва яких можуть бути використана поновлювальна вуглецева сировина – біомаса та продукти її переробки.

Як біомаса для металургії можуть бути використані: торф, солома, стебла кукурудзи, лушпиння соняшника, відходи переробки зернових та інших сільськогосподарських культур

(пелети, брикети), деревина і відходи її переробки (пелети, тріска, брикети, дрова), одно-і багаторічна трав'яна біомаса (енергетична верба, сорго, міскантус), тощо.

Таблиця

Вимоги, що висуваються до якості коксу різними споживачами

Галузь	Виробництво	Якість коксу								
		Крупність, мм	Мінімум, ММ <sub>900</sub>	Реакційна здат., см <sup>3</sup> /(г·с)	ПЕО, мкг/м	Технічний аналіз, %				
						W <sup>r</sup>	A <sup>d</sup>	S <sup>d</sup>	V <sup>daf</sup>	
Чорна металургія	Доменне	25–60	>85	0,4	<1000	5	11,5	2,0	1,0	
	Ливарне	> 60	>80	<0,5	<800	4	12,5	1,0	1,3	
	Феросплавне	5–20	Н/в	>0,8	>8000	15	11,5	1,0	5,0	
	Агломераційне	<5	Н/в	>2,0	>9000	15	16,0	2,0	2,5	
	Вапна	5–25	Н/в	1,5	>5000	10	12,5	1,3	2,0	
	Доломіту	5–25	Н/в	>1,2	>4000	12	12,5	1,3	2,0	
	Вогнетривів	<10	Н/в	>2,0	>5000	12	16,0	1,8	2,5	
Кольорових металургія	Нікель-кобальтове	Нікелю	25	Н/в	1,5	8000	Н/о	15	Н/о	2,0
		Агломерація	0–25	Н/в	1,5	8000	Н/о	15	Н/о	2,0
	Свинцево-циккове	Свинцю	60	80	1,0	7000	5	12,5	1,5	1,8
		Цинку	10	Н/в	1,5	8000	5	11,5	Н/о	1,5
	Мідеплавильне	Міді	25–40	Н/в	1,0	8000	5	12	Н/о	Н/о
		Сірки	25	Н/в	1,5	8000	10	15	Н/о	Н/о
Вапна		40	Н/в	1,5	8000	7	11,5	1,5	1,5	
Хімічнопромисловість	Електро-термічні	Фосфору	5–25	Н/в	1,5	8000	4	15	Н/о	3,0
		Карбиду	5–25	Н/в	1,5	8000	4	12	3,0	3,0
	Технологічні гази	Аміаку	25–75	Н/в	1,8	8000	5	12	1,2	1,3
		Вуглекислоти	10	Н/в	1,5	8000	5	12	1,3	1,5
	Сірчистого натрію	40	Н/в	1,5	8000	5	11,5	Н/о	2,0	
	Кальцінової соди	25–40	Н/в	1,5	8000	5	15	1,5	4,0	
Інші споживачі	Електродів	5	Н/в	1,0	5000	7	11,5	2,0	1,5	
	Мінеральної вати	40	80	0,5	1000	15	12	1,4	1,3	
	Цукру	25–40	Н/в	1,7	8000	10	15	1,5	1,0	
	Енергетика	10	Н/в	1,7	8000	5	15	2,5	Н/о	
	Комунально-побут. господарство	10	Н/в	1,7	8000	5	15	2,5	5,0	

\*Н/в – невисока; Н/о – не обмежено

До сучасних наукових підходів використання біомаси в металургійних процесах слід віднести:

науково-дослідне обґрунтування варіантів використання біомаси на металургійних підприємствах;

використання вторинних ресурсів біомаси як сировини в високотемпературних процесах замість її спалення;

отримання інноваційних вуглецевих матеріалів;

зниження викидів шкідливих речовин, зокрема вуглекислого газу і метану;

використання ресурсного потенціалу країни;

використання сучасного обладнання з дослідження механізмів взаємодії біомаси металургійних шихт.

При реалізації шляхів впровадження технології використання біомаси в металургії будуть отримані наступні ключові результати:

аналітичні дослідження ресурсів відходів біомаси та можливостей їх ефективного використання;

експериментальний підбір складу шихт за участю біомаси і проведення досліджень лабораторних, напівпромислових і промислових умовах;

формування сировинної бази за участю української сировини;

розроблення технології і рекомендацій ефективного використання біомаси для отримання палива і відновників заданої якості для металургійних процесів;

скорочення викидів шкідливих газів від діяльності металургійних підприємств.

Отже, одним з ефективних напрямів економії викопного палива і покращення екологічного становища є заміна горючих копалин на поновлювальну сировину – біомасу. Запропоновані в роботі підходи спрямовані на розробку ресурсоощадної технології використання вуглецевих матеріалів, отриманню нових матеріалів, що відповідають вимогам металургійних процесів, та скороченню викидів шкідливих газів.

#### РЕФЕРАТ

*Андрій Коверя, Ліна Кеуш, Анатолій Старовойт,*

*Національна металургійна академія України, lina.keush@yandex.ua*

#### **ВИКОРИСТАННЯ БІОМАСИ В МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ** Безперервне

зростання витрат енергії призводить до збільшення використання горючих копалин, як наслідок – до зростання викидів продуктів їх переробки. Відповідним результатом стає збільшення концентрації парникових газів в атмосфері, що веде до зміни клімату на планеті. Безумовно, ключовим шляхом розвитку цивілізації є скорочення споживання непоновлюваних природних ресурсів, що видобуваються з надр і переробляються.

Результати запропонованої технології в подальшому можуть бути використані металургійними підприємствами України та всього світу.

**Ключові слова:** біомаса, металургійне виробництво, металургія

#### РЕФЕРАТ

*Андрей Коверя, Лина Кеуш, Анатолий Старовойт,*

*Национальная металлургическая академия Украины, lina.keush@yandex.ua*

#### **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОМАССЫ В МЕТАЛУРГИЧЕСКОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

Непрерывный рост потребления энергии приводит к увеличению использования горючих ископаемых, и как следствие – к росту выбросов продуктов их переработки. Соответствующим результатом становится увеличение концентрации парниковых газов в атмосфере, что ведет к изменению климата на планете. Безусловно, ключевым путем развития цивилизации является сокращение потребления невозобновляемых природных ресурсов, добываемых из недр и перерабатываемых впоследствии.

Результаты предложенной технологии в дальнейшем могут быть использованы металлургическими предприятиями Украины и всего мира.

**Ключевые слова:** биомасса, металлургическое производство, металлургия

#### ABSTRACT

*Andrey Koverya, Lina Keush, Anatoly Starovoit, National Metallurgical  
Academy of Ukraine, lina.keush@yandex.ua* **BIOMASS APPLICATION**

#### **IN METALLURGICAL PRODUCTION**

Continuous growth in energy consumption leads to increased use of fossil fuels, and as a result – to increase emissions of processed products. Consequently, it results is an increase in greenhouse gas concentrations in the atmosphere, leading to climate change on the planet. Of course, the key through the development of civilization, is to reduce the consumption of non-renewable natural resources mined from the depths and processed.

The results of the proposed technology in the future may be used by metallurgical facilities of Ukraine and all over the world.

**Key words:** biomass, metallurgical production, metallurgy

## **II-21. ЗАСТОСУВАННЯ КАРБОНВМІСНИХ АНОДІВ ДЛЯ ОКИСНЕННЯ КАРБОНОВИХ КИСЛОТ У ПРОЦЕСАХ РЕГЕНЕРАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛИВ**

*Олександр Давиденко, Володимир Ледовських*

На сьогодні застосування нафтових олив набуло великого розповсюдження. Їх світове виробництво в 2014 р. склало 38,6 млн т, за прогнозами в 2019 р. відбудеться збільшення потреби в оливах до 42,8 млн т, що складе приріст в 2,1 %. Мінеральні оливи складають 90 % від загального світового виробництва, у той час як синтетичні — лише 10 %.

Потрапляючи до вузлів тертя олива піддається різним фізико-механічним впливам одним з яких – підвищена температура. Під дією підвищеної температури вуглеводневі компоненти оливи зазнають певних змін. Одними з головних продуктів їх перетворення утворення конденсованих і полімеризованих речовин та окиснення в карбоксильні сполуки. Небезпечними карбоксильними речовинами є карбонові кислоти, наявність яких підвищує кислотне число олив, що, в свою чергу, збільшує її корозійну агресивність, що негативно впливає на деталі двигунів.

Олива після певного терміну використання втрачає експлуатаційні властивості унаслідок спрацювання присадок, зміни в'язкості, накопичення продуктів окиснення та зношування, механічних домішок, води тощо.

Разом з цим, найагресивнішими продуктами деградації вуглеводнів нафтових олив є карбонові кислоти. Їх наявність безпосередньо впливає на захисні властивості нафтових олив, та як вони викликають корозію обладнання та деталей двигуна, що критично впливає на тривалість безремонтної експлуатації автомобіля. У залежності від типу оливи, умов та тривалості її застосування, в ній може накопичуватися до 10 кг органічних карбонових кислот на 1 м<sup>3</sup> нафтової оливи. Такі оливи є непридатними до подальшого використання та відносяться до відпрацьованих олив.

Одним із найперспективніший, екологічний спосіб знешкодження відпрацьованих олив (відходів з нафтопродуктів) є регенерація. Регенерація – це процес відновлення якості для повторного використання продукту. На сьогодні існує велика кількість методів регенерації відпрацьованих олив. Вони поділяються на фізичні, хімічні та фізико-хімічні, а також ефективні технології регенерації, що включають в себе їх поєднання, однак більшість із них має низку недоліків, що зумовлені утворенням нових важкоутилізованих токсичних відходів.

Метою роботи є дослідження та створення електрохімічних методів регенерації карбонільних та карбоксильних сполук, як продуктів деградації вуглеводнів нафтових олив, назад до вуглеводнів та дослідження перебігу електрохімічних реакцій.

Типовим анодом, на якому звичайно виконується більша частина досліджень є гладка платина. Але використання платини у промисловості є надзвичайно коштовним і супроводжується поступовим винесенням металу з електроду. Тому пошук нових електродних матеріалів для анодного окиснення карбоксильних сполук є важливою науково-технічним завданням.

Реакцію Кольбе низка дослідників виконували на графітових анодах, разом з цим виходи у цих випадках значно нижчі ніж на платині. Застосування платини обумовлене тим, що вона має високі перенапругу окиснення води та корозійну стійкість навіть при підвищених позитивних потенціалах.

Недоліком графітових анодів є велика пористість та низька механічна стійкість, внаслідок чого під час електролізу електродний матеріал частково руйнується. Це спонукало нас до пошуку альтернативних електродних матеріалів, на яких задовільно проходив би процес анодного декарбоксілювання (реакція Кольбе) та який мав би високу механічну

стійкість. Наш вибір зупинився на природному мінералі – шунгіті. Шунгіт це прикінцева стадія утворення природного графіту. Він має електричну провідність та велику механічну стійкість, що робить його перспективним для застосування як нового електродного матеріалу.

Основна увага у даній роботі приділена дослідженню перебігу реакцій електроокиснення карбонових кислот на графіті та шунгіті, визначення можливості застосування для таких процесів шунгітових анодів та пошуку умов їх виконання у напрямку перетворення карбоксильних сполук назад у вуглеводні, тобто у напрямі зворотному процесам окиснення нафтових олів під час їх експлуатації.

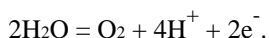
Для експериментальних досліджень використовували модельну речовину, яка містить карбоксильну групу, використовували хімічно чисту капронову кислоту:  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_4$ ,  $M = 116,16$  г/моль,  $t_{\text{пл}} = \text{мінус } 3,4$  °С,  $t_{\text{кип}} = 202$  °С. Нейтральну реакцію розчинів вихідних середовищ виставляли за допомогою КОН.

Поляризаційні вимірювання виконували на потенціостаті П-5827М, застосовували трьохелектродну термостатовану (10 °С) комірку з робочим електродом з природного шунгіту і для порівняння графіту та платини, допоміжним електродом слугував платиновий дріт, відокремлений від робочого електрода пористою скляною перегородкою, потенціали вимірювали проти хлорсрібного електрода і перераховували на нормальну водневу шкалу. Одночасно по ходу зняття кривих анодної поляризації вимірювали рН прианодного шару (прилад марки рН-150 МИ).

Препаративний електроліз розчину капронової кислоти концентрацією 0,5 моль/л виконували при контрольованому потенціалі (потенціостат) шунгітового, графітового та платинового електрода ( $E_{\text{роб}} = 2,0\text{--}2,4$  В (НВЕ)), струм електрохімічного процесу вимірювали міліамперметром М2020 з ціною поділки 1 мкА.

Визначення продуктів електроокиснення карбонової кислоти проводили хроматографічним аналізом (газовий хроматограф Кристал 5000.2 з капілярними колонками та програматором температури). Для ідентифікації піків використовували еталонні зразки речовин.

На рис. 1 наведено поляризаційна потенціостатична крива шунгіту в 0,5 моль/л розчині капронової кислоти, яка показує, що при досягненні потенціалів близьких до 2,0 В, спостерігається ділянка граничного струму, яку можна віднести до процесу окиснення капронової кислоти. Що узгоджується із даними наведеними на рис.2. Значення рН аналізу практично не змінювалося під час зняття поляризаційної кривої, що свідчить про перебіг окиснення карбонових кислот замість окиснення молекул води, що спостерігалось у фоновому розчині і викликало підкиснення середовища завдяки реакції:



Адсорбційна здатність карбонової кислоти дозволяє блокувати поверхню аноду від молекул води та їх подальшого окиснення що викликало б різке падіння рН.

Для визначення продуктів електроокиснення карбонових кислот було виконано препаративний електроліз розчину капронової кислоти концентрацією 0,5 моль/л, протягом 3 год. У процесі електролізу спостерігали закономірне спадання струму, що може свідчити про зменшення концентрації вихідної кислоти. Після чого електролізний розчин обробляли ізооктаном для збору утворених продуктів та піддавали аналізу на хроматографі.

Результати хроматографічного аналізу показали, що основним продуктом електроокиснення капронової кислоти є димерний вуглеводень – декан, утворення якого відбувається через димеризацію вуглеводневого радикалу та незначна кількість вуглеводнів пономерної будови, утворення яких можна пояснити утворенням та перебудовою карбкатиону.



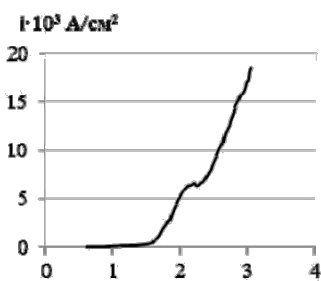


Рис. 1. Потенціостатична поляризаційна крива шунгіту у водному розчині капронової кислоти концентрацією 0,5 моль/л.

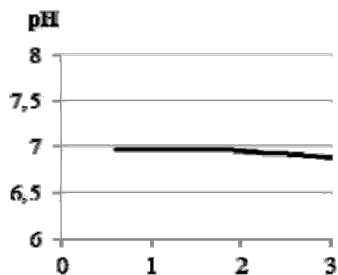


Рис. 2. Залежність від потенціалу шунгітового аноду під час зняття поляризаційних кривих.

На підставі одержаних експериментальних даних можна сказати, що застосування шунгітових анодів для електроокиснення карбонових кислот є перспективним. На відміну від платинових анодів – типовому електродному матеріалу для перебігу реакції Кольбе, шунгітові електроди є доступними та механічно більш стійкими в порівнянні з графітом. Процес електроокиснення карбонових кислот перебігає на шунгіті досить швидко та основним продуктом є вуглеводень подвоєної молекулярної маси за реакцією Кольбе.

#### РЕФЕРАТ

*Олександр Давиденко, Володимир Ледовських,*

*Національний авіаційний університет, dom237@ukr.net, uchneftexim@bigmir.net*

#### **ЗАСТОСУВАННЯ КАРБОНВМІСНИХ АНОДІВ ДЛЯ ОКИСНЕННЯ КАРБОНОВИХ КИСЛОТ У ПРОЦЕСАХ РЕГЕНЕРАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛИВ**

Розглянуто реакції електроокиснення карбонових кислот, як кінцевих продуктів окиснення вуглеводнів моторних олиव на шунгітовому електроді у порівнянні з графітовим та платиновими електродами. Поляризаційними вимірюваннями показано присутність граничного струму електроокиснення карбонових кислот назад у вуглеводні з подвійною молекулярною масою. Хроматографічним аналізом продуктів електросинтезу на шунгітовому аноді показано схожість електрохімічних процесів і можливість використання шунгіту як електродного матеріалу в електрохімічному методі регенерації відпрацьованих олив.

**Ключові слова:** карбонові аноди, корозія, відпрацьовані оливи.

#### РЕФЕРАТ

*Александр Давыденко, Владимир Ледовских,*

*Национальный авиационный университет, dom237@ukr.net, uchneftexim@bigmir.net*

#### **ПРИМЕНЕНИЕ КАРБОНСОДЕРЖАЩИХ АНОДОВ ДЛЯ ОКИСЛЕНИЯ КАРБОНОВЫХ КИСЛОТ В ПРОЦЕССАХ РЕГЕНЕРАЦИИ ОТРАБОТАННЫХ МАСЕЛ**

Рассмотрены реакции электроокисления карбоновых кислот, как конечных продуктов окисления углеводородов моторных масел на шунгитовом электроде по сравнению с графитовым и платиновыми электродами. Поляризационными измерениями показано присутствие предельного тока электроокисления карбоновых кислот назад у углеводороды с двойной молекулярной массой. Хроматографическим анализом продуктов электросинтеза на шунгитовом аноде показано сходство электрохимических процессов и возможность использования шунгита как электродного материала электрохимическом методе регенерации отработанных масел.

**Ключевые**

**слова:** карбоновые аноды, регенерація,отрабатанные масла.

#### ABSTRACT

*Alexander Davydenko, Vladimir Ledovskikh,*

*National Aviation University, dom237@ukr.net, uchneftexim@bigmir.net*

#### **APPLICATION OF CARBONACEOUS ANODES FOR OXIDATION OF CARBONIC ACIDS IN THE PROCESSES OF THE WASTE OILS REGENERATION**

The reactions of electrooxidation of carboxylic acids, as final products of the motor oils hydrocarbons oxidation on shungite electrode, as compared with the graphite and platinum electrodes, are described. The presence of electrooxidation limiting current of carboxylic acids back into hydrocarbons with molecular double weight, is shown with the help of polarization measurements. With the help of chromatographic product electrosynthesis analysis on shungite anode, similarities electrochemical processes and the possibility of using shungite as the electrode material in an electrochemical method of waste oils regeneration, are shown.

**Key words:** carbonaceous anodes, corrosion, waste oils.

УДК 665.7.038

## II-22. ФОСФОРСУЛЬФУРВМІСНІ ДОДАТКИ ДО МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ КИСЛОТ РІПАКОВОЇ ОЛІЇ

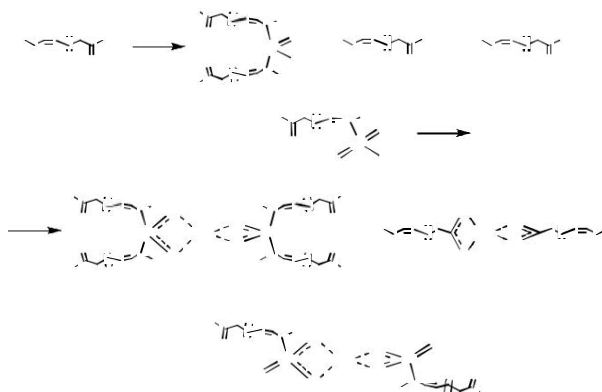
*Давид Давітадзе, Григорій Поп, Юрій Білокопитов*

Для забезпечення ефективної експлуатації різноманітних машин і механізмів, попередження передчасного зношування їх рухомих поверхонь, зниження навантажень та інтенсивності тертя між ними використовують мастильні матеріали, що складаються

базової оливи та численних функціональних добавок для регулювання експлуатаційних властивостей. Виробництво і застосування фосфорсульфурорганічних добавок до мастильних матеріалів почалося ще в 30-х роках минулого сторіччя й досі залишається актуальним. Незважаючи на високу ефективність P,S-добавок, внаслідок використання для їх синтезу виключно нафтохімічної сировини з біорозщеплюваністю 10–30 % та несприятливих екоотоксикологічних властивостей, застосування їх обмежується. Враховуючи світову тенденцію переходу на екологічно безпечну відновлювальну біосировину можна очікувати, що галузь мастильних матеріалів повернеться до історичних витоків – використання олив і жирів, як сировинної бази для створення мастильних композиційних систем. Про це свідчать останні роботи, в яких дитіофосфати цинку застосовують у складі олив як антиоксиданти та модифікатори тертя.

Виходячи з приведеного, метою роботи було розроблення доступного методу синтезу фосфорсульфурвмісних добавок до мастильних матеріалів на основі вищих жирних кислот (ВЖК) ріпакової олії та дослідження їх будови й експлуатаційних властивостей.

Вищі жирні кислоти ріпакової олії піддавали двохстадійній трансформації. На першій них, взаємодією з P<sub>4</sub>S<sub>10</sub> отримували тіофосфорні та тіокарбонові кислоти, що піддавали нейтралізації ZnO, за схемою:



Для їх порівняння з промисловими нафтохімічними аналогами, за авторськими методиками, додатково синтезовано діізонаїлфенїлдитіофосфат цинку та фосфоросулфурвмісний полібутен (молекулярна маса  $\approx 950$  г/моль).

Співвідношення вихідних реагентів, умови реакції та виходи отриманих продуктів зведені в табл. 1.

Аналізуючи результати синтетичних досліджень, представлених у табл. 1, нами встановлено, що умови фосфорсульфування кислот ріпакової олії (рис. 1, стадія I) значно м'якші порівняно з промисловими аналогами. Зокрема, для одержання похідних полібутену (ПБ, табл. 1 – зразок 1) процес проводять за температури 230–235 °С протягом 10,0 год,

для похідних нонілфенолу (НФ, зразок 2) – за температури 150–155 °С і тривалості 5,5 год. Натомість, для ВЖК (зразки 3–6) стадія I перебігає за 1,5–8,5 год і температури 145–150 °С. Однак, спостерігається підвищення тривалості нейтралізації кислот (стадія II) порівняно зі зразком 2, особливо за високої масової частки P<sub>4</sub>S<sub>10</sub>. Останнє, мабуть пов'язано з невисокою кислотністю продуктів фосфорсульфування відносно дитіофосфорних кислот.

Таблиця 1

Співвідношення вихідних реагентів, умови та результати синтезу фосфорсульфурвмісних кислот ріпакової олії

№ зразка	Вихідні реагенти, мас. %			Умови синтезу		Результати синтезу	
	ВЖК олії чи нафтохім. аналог	P <sub>4</sub> S <sub>10</sub>	ZnO	Тем-ра, °С	Час, год	Мас. % фосфору	Вихід, мас. %
1	ПБ – 86,95	13,05	–	230–235	10,0	3,2	86
2	НФ – 74,84	18,87	6,29	150–155 85–90	5,5 3,5	4,9	90
3	ВЖК – 93,25	4,94	1,81	145–150 130–135	1,5 2,0	1,2	98
4	ВЖК – 86,83	9,64	3,53	145–150 130–135	2,5 3,5	2,1	97
5	ВЖК – 74,54	18,64	6,82	145–150 130–135	5,0 7,0	3,4	94
6	ВЖК – 65,30	25,40	9,30	145–150 130–135	8,5 11,0	4,0	90

Під час дослідження ІЧ-спектрів синтезованих речовин (рис. 1), виявлено коливання, що притаманні зв'язкам P=S (~ 600 см<sup>-1</sup>) та P-S (< 600 см<sup>-1</sup>), що підтверджує утворення продукту першої стадії, відповідно до запропонованої схеми. Крім приведених коливань в спектрі з'являються смуги 1079 і 1034 см<sup>-1</sup>, що характеризують зв'язки C=S моно-

дитіокарбонічних кислот, відповідно. З іншого боку, зменшується інтенсивність пропускання в околі 1708 см<sup>-1</sup>, що вказує на коливання валентних C=O карбоксильних груп

зникають смуги в області 1440-1415 см<sup>-1</sup>, що відповідають C–OH групам кислот та пік в області 450–500 см<sup>-1</sup> що відповідає коливанням зв'язку Zn–O.

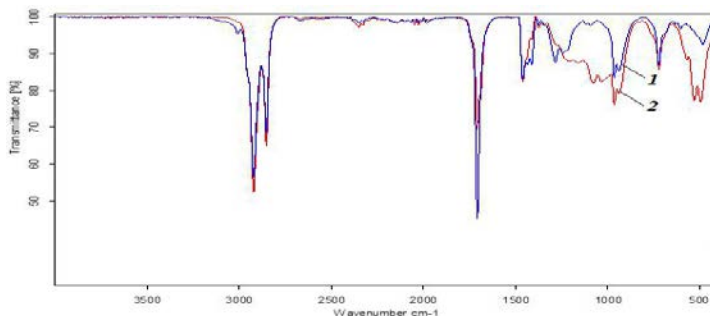


Рис. 1. ІЧ-спектри фосфорсульфурвмісних кислот ріпакової олії:  
1 – зразок 3; 2 – зразок 5 (в табл. 1)

Виходячи з аналізу ІЧ-спектрів можна констатувати і те, що крім основної реакції за алільними воднями ацильних залишків ВЖК з утворенням дитіофосфінатів цинку (рис. 1, III), з підвищенням концентрації  $P_4S_{10}$  у реакційній суміші (зразки 4–6) проходить конкуруюча реакція за карбонільними групами і паралельно формуються солі моно- та дитіофосфорних кислот (IV). Зважаючи на механізм взаємодії  $P_4S_{10}$  з карбонільними групами та виділення води на стадії нейтралізації, припускаємо можливе утворення сполук типу тіофосфонатів цинку. Підтвердженням цьому є поява характерних коливань P–O зв'язку в області  $1260\text{--}1160\text{ см}^{-1}$  (V).

Таблиця 2

Властивості мастила літол із синтезованими додатками

№ з/п	Реагент – мас. частка P, %	Мас. частка додатку у мастилі, %	Приріст кислотного числа після окиснення, мг КОН/г	Стійкість до корозії		Трибологічні характеристики	
				сталі	міді	$P_{кр}$ , Н	$P_{зв}$ , Н
1	Немає	Немає	3,06	витримує	витримує	657	1568
2	НФ – 4,9	2,5	0,00	витримує	витримує	980	1744
3	ВЖК – 1,2	2,5	3,00	витримує	витримує	657	1568
4	ВЖК – 2,1	2,5	0,00	витримує	витримує	680	1646
5	ВЖК – 3,4	2,5	0,00	витримує	витримує	715	1744
6	ВЖК – 4,0	2,5	0,00	витримує	витримує	715	1842

$P_{кр}$  – критичне навантаження;  $P_{зв}$  – навантаження зварювання

Дослідженням експлуатаційних властивостей мастила літол з використанням нових P,S-додатків (табл. 2) виявлено, що вони не поступаються нафтохімічним аналогам.

Підводячи підсумки проведених досліджень, можна стверджувати, що запропонованим методом можливо не тільки розширити сировинну базу й спростити виробництво фосфороорганічних додатків, а й отримати речовини, що мають захисні характеристики щодо чорних і кольорових металів, високі антиокиснювальні і трибологічні властивості, що відповідають якості промислових функціональних додатків до ММ різного типу і призначення.

#### РЕФЕРАТ

Давид Дави́тадзе<sup>1</sup>, Григорій Поп<sup>1</sup>, Юрій Білокопитов<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України, <sup>2</sup> Національний авіаційний університет, gspop@mail.ru

#### ФОСФОРСУЛЬФУРВМІСНІ ДОДАТКИ ДО МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ КИСЛОТ РІПАКОВОЇ ОЛІЇ

Розроблено доступний метод синтезу фосфорсульфурвмісних додатків до мастильних матеріалів, досліджено їх будову та властивості. Встановлено, що вони володіють захисними властивостями щодо чорних і кольорових металів, високими антиокислювальними і трибологічними характеристиками, відповідають якості промислових антифрикційних функціональних додатків.

**Ключові слова:** вищі жирні кислоти, додатки, антифрикційні, дитіофосфат цинку.

#### РЕФЕРАТ

Давид Дави́тадзе<sup>1</sup>, Григорій Поп<sup>1</sup>, Юрий Белкопитов<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Інститут биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины, <sup>2</sup> Национальный авиационный университет, gspop@mail.ru

#### ФОСФОРСУЛЬФУРСОДЕРЖАЩІ ПРИСАДКИ К СМАЗОЧНЫМ МАТЕРІАЛАМ НА ОСНОВЕ КИСЛОТ РАПСОВОГО МАСЛА

Разработан доступный метод синтеза фосфорсульфурсодержащих присадок к смазочным материалам, исследовано их строение и свойства. Установлено, что они обладают защитными свойствами черных цветных металлам, высокими антиокислительными и трибологическими характеристиками, соответствуют качеству промышленных антифрикционных функциональных присадок.

**Ключевые слова:** высшие жирные кислоты, присадки, антифрикционные, дитиофосфат цинка.

## ABSTRACT

David Davitadze<sup>1</sup>, Gregory Pop<sup>1</sup>, Yuri Bilokopytov<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Institute Bioorganic Chemistry and Petrochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine,

<sup>2</sup>National Aviation University, gspop@mail.ru

### PHOSPHORUS AND SULFUR CONTAINING ADDITIVES FOR LUBRICANTS BASED ON ACID OF RAPESEED OIL

Available method for the synthesis of phosphorus sulfuric additives for lubricants, is developed, their structure and properties are studied. It is established that they have protective properties in relation to ferrous and nonferrous metals, high antioxidant and tribological characteristics correspond to the quality of industrial anti-friction functional additives.

**Key words:** higher fatty acids, additives, antifriction, zinc dithiophosphate.

УДК: 661.25

### II-23. СУЛЬФУРОВМІСНІ ЕСТЕРИ ЖИРНИХ КИСЛОТ ОЛІЙ – ПОЛІФУНКЦІЙНІ ДОДАТКИ ДО МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Юрій Бодачівський, Григорій Поп, Лариса Бодачівська*

Органічні сульфани здавна відомі своїми високими змащувальними властивостями. Проте, нафтохімічні сульфани на базі синтетичних жирних кислот володіють низькою біорозкладуваністю, а синтез їх аналогів на основі кислот олій і жирів супроводжується утворенням нерозчинного у вуглеводнях фактису чи сполук з погіршеною термоокиснювальною стабільністю. Водночас продукти трансформації олій, зокрема естери ВЖК і низькомолекулярних спиртів позбавлені цих недоліків і, наразі, є найбільш перспективними поліфункційними добавками до мастильних матеріалів. Враховуючи наявність в Україні потужної олійно-жирової бази нами розроблені технології їх комплексної переробки в біосинтетичні ПАР.

Метою цієї роботи є вдосконалення синтезу сульфуровмісних ПАР на основі етилових естерів ВЖК олій як поліфункційних екобезпечних добавок до мастильних матеріалів, доведення їх хімічної будови і можливість використання в складі мастильних матеріалів. Для реалізації поставленої мети в роботі поставлені наступні завдання:

Підібрати доступну олеохімічну сировину для синтезу сульфанив з підвищеною термоокиснювальною стійкістю і безпечністю для навколишнього природного середовища;

Розробити енерго- й ресурсозберігаючий метод сульфування, що не супроводжувався б утворенням побічних продуктів і не потребував додаткових стадій кондиціювання та очищення синтезованих сульфанив;

Оптимізувати умови проведення процесу;

Встановити кореляцію між будовою і властивостями синтезованих олеосульфанив (ОС) у залежності від умов реакції;

Створити мастильні матеріали із синтезованими добавками та проаналізувати їх експлуатаційні та екологічні характеристики.

**Синтез олеосульфанив.** Сульфування елементарним сульфуром є найбільш економічно й технологічно вигідним способом і полягає у безпосередній взаємодії сульфуру ненасиченими центрами органічних сполук. Як правило такий процес проводять за температури 120–220 °С і тривалості від 2–5 хв до десятків годин, що головним чином залежить від походження алкену, його фізико-хімічних властивостей та наявності активаторів. За відомими методами сульфидуванням в молекули метилових естерів олійних кислот можна увести не більше 28 мас. % сульфуру за наявності 0,5–1,0 мас. % активаторів, наприклад 2-меркаптобензотіазолу, поліетиленполіаміну або їх суміші, чи у випадку неочищених естерів – 0,1–1,0 мас. % активаторів-інгібіторів корозії: бензотриазол, високолушний алкілсаліцилат кальцію тощо. У попередній розробці суміш метилових естерів з меленим сульфуром нагрівають в три етапи: до 160–165 °С, потім повільно

протягом 30–45 хв до 175–180 °С і витримки за цих умов ще 30–45 хв. В обох наведених методиках процес сульфидування завершується за температури 180 °С і супроводжується виділенням сірководню в навколишнє середовище.

Нами розроблено ресурсо-, енерго- і екологічно безпечний спосіб одержання ефективних поліфункційних додатків до мастильних матеріалів сульфуванням етилових естерів ВЖК олій (естерол) елементним сульфуром без каталізатора. Показано, що температура процесу знижується зі 180–200 °С для олій і 175–180 °С для метилових естерів до 160–165 °С за зниження тривалості перебігу реакції на 50–100 хв і 40–60 хв, відповідно, і майже кількісних виходів естеролів. При цьому вдається уникнути виділення сірководню і утворення нерозчинних в оливах і вуглеводнях речовин за виключення корозії міді

забезпечення стабільності протягом тривалого зберігання. Водночас ОС з естерів дещо поступаються аналогам з олій за трибологічними характеристиками.

Доведено, що приєднання сульфуру проходить переважно за подвійними зв'язками. Проте, зі збільшенням кількості сульфуру відбувається не тільки підвищення кількості й довжини сульфідних груп, а й зшивання вуглеводневих ланцюгів з утворенням дизаміщених, а починаючи з естерол-20S – тризаміщених похідних алкенів. З іншого боку, окрім приєднання сульфуру за подвійними зв'язками, проходить побічна реакція – заміщення водню в  $\alpha$ -метиленовій групі біля цих зв'язків зі збереженням чи міграцією подвійного зв'язку зі збільшенням температури. Саме ізомеризація подвійних зв'язків і підвищення концентрації спряжених сполук, як і можливе утворення хромофорних сульфопохідних типу тіокетонів чи тіофенів зумовлює зміну кольору продуктів реакції з підвищенням температури до фіолетового чи навіть чорного.

**Літійове мастило з додатками полісульфанів.** Дослідженням експлуатаційних властивостей літійового мастила з використанням модифікованих естеролів-10S встановлено, що за термоокиснювальною стійкістю та трибологічними характеристиками вони переважають вихідне базове мастило, а деякі зразки, наприклад суміш ЕЕЖК з вулканізованими естерами чи з  $\alpha$ -олефінами, мають покращені трибологічні характеристики навіть по відношенню до мастила на основі немодифікованого продукту. За трибоактивністю варто виділити сульфувані вулканізовані естери ВЖК, що проявили найвищий захист металевої поверхні за жорстких умов тертя. На нашу думку, такого ефекту вдалося досягнути через утворення комплексних полімолекулярних плівок естерів із зовнішніми полісульфановими групами, що здатні одночасно розширювати межі еластично-гідродинамічного режиму і знижувати коефіцієнт тертя в граничному режимі, що й зумовлює потужний захист контактних пар. Окрім відмінних змащувальних властивостей сульфопохідні екологічно безпечні для навколишнього середовища і, на відміну від широко застосовуваних додатків типу хлорзаміщених алканів та похідних важких металів, піддаються біорозкладанню без утворення токсичних речовин.

Таким чином, під час виконання цієї роботи нами: 1. Розроблено енергоощадний, екобезпечний спосіб одержання ефективних поліфункційних додатків до мастильних матеріалів сульфуванням етилових естерів ВЖК елементним сульфуром. 2. Досліджено будову і склад синтезованих продуктів в залежності від співвідношення вихідних реагентів та умов сульфування. Показано, що темне забарвлення є наслідком перебігу побічних реакцій ізомеризації подвійних зв'язків та появи спряжених систем, а також можливим утворенням хромофорних сульфопохідних. 3. З використанням модифікованих естеролів-10S розроблено літійове мастило, що за термоокиснювальною стійкістю, захисними, трибологічними й токсикоекологічними характеристиками переважає відомі аналоги.

## РЕФЕРАТ

*Юрій Бодачівський, Григорій Поп, Лариса Бодачівська,  
Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України, gspop@mail.ru*

### **СУЛЬФУРОВМІСНІ ЕСТЕРИ ЖИРНИХ КИСЛОТ ОЛІЙ – ПОЛІФУНКЦІЙНІ ДОДАТКИ ДО МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Розроблено енергозаощадливий, екобезпечний спосіб одержання органічних полісульфанів – ефективних поліфункційних добавок, з використанням яких виготовлено літійове мастило, яке за термоокиснювальною стійкістю, захисними, трибологічними й токсикоекологічними характеристиками переважає відомі аналоги.

**Ключові слова:** полісульфани, добавки, поліфункційні, мастильні матеріали.

## РЕФЕРАТ

*Юрий Бодачевский, Григорий Поп, Лариса Бодачевская,  
Институт биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины, gspop@mail.ru*

### **СУЛЬФУРСОДЕРЖАЩИЕ СЛОЖНЫЕ ЭФИРЫ ЖИРНЫХ КИСЛОТ РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ – ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПРИСАДКИ К СМАЗОЧНЫМ МАТЕРИАЛАМ**

Розробтан енергосберегающий, экобезопасный способ получения органических полисульфанов – эффективных полифункциональных присадок, с использованием, которых разработана литиевая смазка, которая за термоокислительной устойчивостью, защитными, трибологическими и токсикоекологическими характеристиками превышает известные аналоги.

**Ключевые слова:** полисульфаны, присадки, полифункциональные, смазочные материалы.

## ABSTRACT

*Yuri Bodachevsky, Gregory Pop, Larissa Bodachevskaya, Institute of Bioorganic Chemistry and  
Petrochemistry NAS of Ukraine, gspop@mail.ru*

### **SULFUR-CONTAINING FATTY ACID ESTERS OF VEGETABLE OILS - POLYFUNCTIONAL ADDITIVES FOR LUBRICANTS**

An energy -saving, ecologically safe method for producing organic polysulphanes – effective multifunctional additives, has been developed, with the use of these a lithium grease has been developed, which exceeds the known analogs for thermo-oxidative resistance, protective, tribological and toxicocological characteristics.

**Key words:** polysulphanes, additives, polyfunctional, lubricants.

УДК 541.49 + 665.766

## **II-24. МОДИФІКУВАННЯ ТА КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ПРОМИСЛОВИХ РЕСУРСІВ ЯК ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДО ВУГЛЕВОДНЕВИХ МАТЕРІАЛІВ**

*Анатолій Ранський, Ольга Гордієнко, Тарас Тітов*

Сучасний розвиток машин і механізмів характеризується не лише їх високими тактико-технічними характеристиками, а й підвищеними вимогами до збереження енергоресурсів, їх раціонального використання та існуючими екологічними викликами глобального, світового характеру. Так, технологічний ланцюг: добування природної сировини (нафта, газ, сланцевий газ, вугілля) – технологія її переробки (ректифікація, піроліз, крекінг, гідрування та ін.) – виробництво олів (вакуумна перегонка, депарафінація, гідроочищення, компаундування) – експлуатація олів (в'язкість, вміст сірки, зольність, кислотне число та ін.) – супроводжується утворенням великої кількості токсичних органічних відходів, що забруднюють повітря, ґрунти та ґрунтові води.

цьому відношенню хімітологія, як прикладна наука, що консолідує зусилля вчених практиків по створенню виробництва та підвищенню ефективності експлуатаційних властивостей олів в рамках встановлених емпіричних законів, може суттєво покращити питання енергоекологічної ефективності діяльності людини.

За останній час в цій галузі визначились такі особливості:

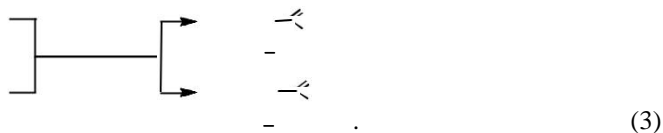
підвищення експлуатаційних вимог до олив, що використовуються у сучасних машинах та механізмах;  
 погіршення сировинної бази для виробництва промислових олив;  
 відсутність в Україні повного спектра базових олив для виробництва промислових мастил і олив;  
 використання альтернативних видів олив рослинного походження;  
 використання продуктів реагентного перероблення вторинних промислових відходів як поліфункціональних додатків до індустріальних олив.

За останні 10 років нами були проведені ґрунтовні дослідження з хімічного вилучення органічних сполук із вторинної промислової сировини з метою їх можливого використання як поліфункціональних додатків до індустріальних олив. Раніше було встановлено, що дитіокарбамати (тіурами) і їх метал-хелати є ефективними вулканізуючими агентами в ненасичених каучуках поліізопренового типу та додатками до індустріальної оливи

I-40A. Дитіокарбамати і їх метал-хелати отримували реагентним переробленням непридатних до цільового використання пестицидних препаратів Тіурам / Фентіурам за схемою:



Отримати дитіокарбамати та їх метал-хелати можна також переробленням бензолної фракції сірковуглецю коксохімічних виробництв України за схемою:



При цьому використовувались доступні первинні та вторинні алкіламіни, а саму реакцію дитіокарбоксілювання проводили в лужному середовищі. Крім того, алкіламіни вигляді солей можуть бути виділені при реагентному переробленні некондиційних пестицидних препаратів, що містять як діючі речовини органічні амонієві солі арил-(гетарил)карбонових кислот:



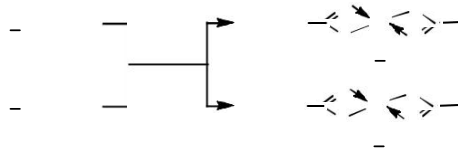
такому варіанті хімічне зв'язування сірковуглецю (схема 3) здійснюється з використанням як хімічних реагентів амінів, що отримані при нейтралізації органічних амонієвих солей:





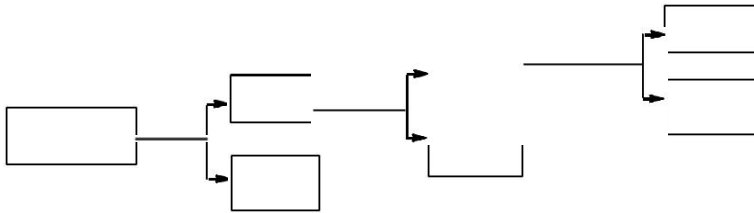
(5)

Натрієві солі алкіл- та діалкілдитіокарбамінової кислоти **4**, **5** легко хелатувались водними розчинами солей 3d-металів за схемою:



(6)

Раніше були проведені роботи із регенерації індустріальних олив і їх модифікування для покращення експлуатаційних характеристик. Регенерації підлягали індустріальні оливи трубних заводів м. Дніпро, що регенерували за такою технологічною схемою:

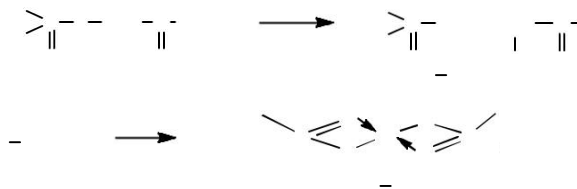


Процес регенерації включав фізичні операції відділення води, механічних домішок та фізико-хімічні операції освітлення відпрацьованих олив від продуктів окиснення коагулянтами. У залежності від експлуатаційних вимог очищена ОливаЗ може використовуватись безпосередньо в технологічних процесах, піддаватись ректифікаційній розгонці або модифікуватись додатками.

Як додатки нами були досліджені:

дитіокарбамати – продукти хімічного вилучення сірковуглецю із бензольної фракції коксохімічних виробництв, сумісної утилізації сірковуглецю та некондиційних пестицидних препаратів з класу похідних арил(гетарил)карбонових кислот, реагентного перероблення пестицидних препаратів на основі карбонових кислот (Банвел), сірковмісних пестицидних препаратів Тіурам/ Фентіурам, (натрієві солі **4**, **5**, метал-хелати **3**, **6**, **7**);

дитіофосфати – продукти реагентного перероблення некондиційних фосфоромісних пестицидних препаратів **9**, що отримували за схемою:



(8)

Дослідження триботехнічних характеристик мастильних композицій на основі регенованих індустріальних олив проводились на чотирикульковій установці тертя та

установці тертя типу СМЦ-2 з концентрацією присадок 0,1–3 % мас. Було встановлено, що за експлуатаційними характеристиками мастильні композиції на основі регенованих індустріальних олив та досліджених додатків перевершують базову оливу I-40A і дещо поступаються стосовно цих характеристик (на 10–15 %) промисловим індустріальним оливам з пакетом подібних функціональних додатків.

Отримані результати багатолітніх досліджень вказують на їх перспективність щодо раціонального використання органічних вторинних промислових ресурсів і покращення загального екологічного стану України.

#### РЕФЕРАТ

*Анатолій Ранський, Ольга Гордієнко, Тарас Тітов,*

*Вінницький національний технічний університет, ranskiy@gmail.com*

#### **МОДИФІКУВАННЯ ТА КОМПЛЕКСНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВТОРИННИХ ПРОМИСЛОВИХ РЕСУРСІВ ЯК ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНИХ ДОДАТКІВ ДО ВУГЛЕВОДНЕВИХ МАТЕРІАЛІВ**

Проведені дослідження з хімічного вилучення органічних сполук із вторинної промислової сировини з метою їх можливого використання як поліфункціональних додатків до індустріальних олив.

Встановлено, що дитіокарбамати – продукти хімічного вилучення сірковуглецю із головної фракції сирого бензолу коксохімічних виробництв, утилізації некондиційних пестицидів з класу тиурамів і похідних арил(гетарил)карбонових кислот, а також дитіофосфати – продукти реагентного перероблення некондиційних фосфоровмісних пестицидів є ефективними протизношувальними та антифрикційними додатками до індустріальних олив. Отримані сполуки використані для покращення експлуатаційних характеристик регенованих індустріальних олив.

**Ключові слова:** індустріальні оливи, додатки, дитіокарбамати, дитіофосфати.

#### РЕФЕРАТ

*Анатолій Ранский, Ольга Гордиенко, Тарас Титов,*

*Винницкий национальный технический университет, ranskiy@gmail.com*

#### **МОДИФИЦИРОВАНИЕ И КОМПЛЕКСНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВТОРИЧНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ РЕСУРСОВ В КАЧЕСТВЕ ПОЛИФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРИСАДОК К УГЛЕВОДОРОДНЫМ МАТЕРИАЛАМ**

Проведены исследования по химическому извлечению органических соединений с вторичного промышленного сырья с целью их возможного использования в качестве полифункциональных присадок к индустриальным маслам. Установлено, что дитиокарбаматы – продукты химического извлечения сероуглерода с головной фракции сирого бензола коксохимических производств, утилизации некондиционных пестицидов из класса тиурамов и производных арил(гетарил)карбоновых кислот, а также дитиофосфаты – продукты реагентной переработки некондиционных фосфор-содержащих пестицидов являются эффективными противозносными и антифрикционными присадками к индустриальным маслам. Полученные соединения использованы для улучшения эксплуатационных характеристик регенерированных индустриальных масел.

**Ключевые слова:** индустриальные масла, присадки, дитиокарбаматы, дитиофосфаты.

#### ABSTRACT

*Anatoliy Ranskiy, Olga Gordienko, Taras Titov, Vinnytsia*

*National Technical University, ranskiy@gmail.com*

#### **MODIFICATION AND COMPLEX APPLICATION OF THE SECONDARY INDUSTRIAL RESOURCES AS MULTIFUNCTIONAL ADDITIVES TO HYDROCARBON MATERIALS**

In this paper the research of the chemical extraction of the organic compounds from the secondary industrial resources with the aim of possible application of them as multifunctional additives to industrial oils, was made. It was established that dithiocarbamates are the products of the chemical extraction of carbon disulfide from the crude benzene of coke production, utilization of the obsolete pesticides based on thiurams and derivatives of the aryl(hetaryl)carboxylic acids, and also dithiophosphates are the products of the reagent processing of the obsolete phosphorus-containing pesticides, they are effective anti-wear and friction-reducing additives to industrial oils. Obtained compounds were used for improving performance characteristics of the regenerated industrial oils.

**Key words:** industrial oils, additives, dithiocarbamates, dithiophosphates.

## **II-25. ВПЛИВ ГІДРОФІЛЬНО-ЛІПОФІЛЬНОГО БАЛАНСУ КОМПОНЕНТІВ НАДЛЕГКИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ СИСТЕМ НА ЇХ ІЗОЛЮЮЧУ ЗДАТНІСТЬ ВІД ВИПАРОВУВАННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ РІДИН**

*Олена Спаська*

Відомо, що за останні 100 років більше, ніж у 1000 разів збільшено споживання енергетичних ресурсів. Споживаючи їх все більше за допомогою все більш досконалих технічних засобів, в прогресуючій формі покращуються умови розвитку і життя. Однак, завоювання природи, значною мірою підриває природні умови власної життєдіяльності – ставить глобальні питання у подальшому, а проблема забруднення ґрунтів, води і повітря стає найактуальнішою. Серед головних забруднювачів довкілля – вуглеводневі рідини.

Зберігання нафтопродуктів є однією з найважливіших складових даної проблеми. Її вирішення дасть можливість не тільки зберегти паливо, а й запобігти виникненню складних аварійних ситуацій, значно покращити екологічну ситуацію. На шляху від свердловини до бензоколонки щорічні втрати в Україні досягають до 5% від маси видобутку. Сьогодні в світі запропоновано і застосовується багато способів зменшення випаровування рідких вуглеводневих сполук, кожен із них має низку переваг і недоліків, проте жоден не дає повного унеможливлення цього процесу.

Серед заходів запобігання природним втратам рідких вуглеводнів найбільшого ефекту досягають під час застосування покриттів, так званих понтонів, що бувають металевими або синтетичними. Недоліками металевих понтонів є висока металоємність, висока вартість, вони потребують застосування зварювальних робіт, незручні в нанесенні на поверхню вуглеводнів та в обслуговуванні, синтетичні ж понтони не мають необхідної антистатичності та пожежобезпечності.

Проте такі понтони – надлегкі покриття можна отримати фізико-хімічними методами на основі ПАР, сутність яких полягає у нанесенні на поверхню продукту, з низькою густиною, що зберігається, плівки, емульсії піни, що є прості, недорогі, доступні, зручні у використанні, чому й заслуговують на більш детальне вивчення й дослідження.

Речовини дифільного характеру з несиметричними молекулами, тобто сполуки, що мають гідрофільну «голову» (одну або декілька полярних груп, наприклад, –ОН, –СООН, –SO<sub>3</sub>H, –OSO<sub>3</sub>H, –COOMe, –NH<sub>2</sub>) і гідрофобний «хвіст» (як правило, аліфатичний ланцюг, який іноді включає ароматичну групу), адсорбуються на межі поділу фаз. Відомо, що ці речовини відносяться до ПАР і здатні утворювати захисні адсорбційні шари. Концентрація таких речовин в поверхневому шарі дозволяє їм розташуватися так, що в бік водної фази вони обернені гідрофільними фрагментами, а назовні – аліфатичними ланцюгами, які утворюють гідрофобний поверхневий шар. Рушійною силою адсорбції ПАР на межі поділу фаз є зниження вільної енергії. Міжфазна вільна енергія або міжфазний натяг, віднесена до одиниці площі, дорівнює роботі, що необхідно виконати для збільшення поверхні. Поверхневий натяг води є еквівалентним питомій вільній енергії на межі поділу розчинник (вода, вуглеводень тощо) – газова фаза (повітря, інертні чи інші гази). За розчинення ПАР поверхня вкривається її молекулами і поверхневий натяг ( $\sigma$ ) зменшується. Чим щільніша упаковка молекул ПАР на поверхні, тим нижча величина  $\sigma$ . Тобто, якість захисної плівки визначається поверхневою активністю, розчинністю та здатністю до утворення різного типу стабілізаційних зв'язків. Зазвичай різке зменшення випаровування має місце при концентрації вищій за критичну концентрацію міцелоутворення (ККМ), тобто в області з'єднання острівців в суцільну плівку, і після її утворення змінюється мало. Ця логічна картина отримала широке розповсюдження в літературі, проте часто не підтверджується експериментальними результатами. Виявляється, що рідкі ПАР хоча і розтікаються добре по поверхні, практично не попереджують випаровування, а плівки отримані шляхом нанесення

твердих ПАР (карбонові кислоти, вищі спирти тощо) погано розподіляються по поверхні утворенням твердо-перервного шару, що також не дає бажаних результатів. Ефективним виявився лише цетиловий спирт, який хоч і є твердим, однак добре розтікається по поверхні води, утворюючи суцільну тверду плівку (покришку), очевидно, завдяки низькій температурі плавлення. Отже, необхідно умово до ПАР-сповільнювача випаровування є утворення ними подібних зв'язнодисперсних шарів, які здатні самовільно розтікатися і швидко «заліковувати» дефекти, що виникають на дзеркалі поверхні випаровування. Взаємодії в цьому шарі мають суто Ван-дер-Ваальсову природу і тому істотно слабкіші, ніж у разі поверхневого шару, утвореного молекулами води і пронизаного сіткою водневих зв'язків.

При конструюванні композицій поверхнево-активних систем (ПАС) виходили з поверхневої активності ПАР, їх розчинності у воді та здатності до зв'язування води утворення водневих зв'язків між компонентами. Головною умовою стабільності покриття при змішуванні компонентів є хімічна взаємодія між ними та утворення системи, що не розчиняється у вуглеводнях і не руйнується в умовах використання.

Виходячи з цього та вимог до захисного покриття, в процесі пошуку молекулярних структур ПАР та встановлення їх ізолюючої здатності, зупинено на ПАР аніонного типу, що містять у алкільному ланцюзі 6–12 атомів карбону, доступні й мають високу поверхневу активність. Серед ПАР, що були перевірені, найкращі плівкоутворюючі характеристики, необхідні для функціонування покриття (одночасне зниження поверхневого натягу плівкоутворення), продемонстрували фторовані ПАР (ФПАР), неполярна частина молекул яких містить фторвуглецевий ланцюг, завдяки чому вони нерозчинні у вуглеводнях, добре розчинні у воді і легко розподіляються по поверхні вуглеводневих рідин, створюючи захисну плівку. Досліджено перфторкарбонові та перфторалкан-сульфокислоти, що містять у фторованому ланцюзі 6–12 атомів карбону. Гідрофобний ланцюг занурюється у рідкі вуглеводні, а на поверхні поділу з повітрям зосереджуються гідрофільні групи з чотирьох атомів S-N-C-S з функціональною карбоксильною групою, як це проілюстровано на рис.1. Для забезпечення плавучості через водні розчини треба прокачувати повітря.

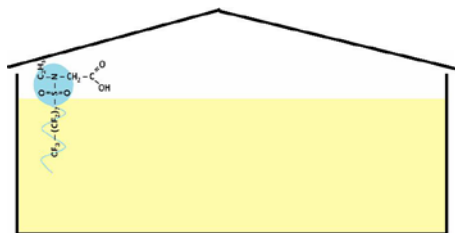


Рис.1. Схематичне зображення сорбції молекул 2-(н-етилперфтороктансульфаміду) оцтової кислоти на поверхні вуглеводневих розчинів

При нанесенні такої аерованої системи на основі піноутворювача AFFF-3М на поверхню бензину ізолююча здатність піни, як і очікувалося, збільшується, але щільність стійкість поверхневої структури і, відповідно захисні властивості, втрачаються вже через 5–8 хв.

Тому виникла необхідність її стабілізації збільшенням гідрофільно-ліпофільного балансу (ГЛБ) під'єднанням інших молекул з великим числом гідрофільних груп. Вибір співПАР базувався на здатності стабілізації гідрофільних плівок на поверхні вуглеводнів не лише за сприятливого ГЛБ, а й за найменших, хоча і вищих за ККМ, концентрацій для формування на поверхні вуглеводнів змішаного адсорбційно-сольватного шару підвищеної міцності. Таким ПАР виявився водо-олійнорозчинний твін-80. Ця неіоногенна ПАР не

дисоціює на іони, є гідрофільною, олійнорозчинною і нерозчинною у вуглеводнях. До молекулярної структури сполуки входить тетрагідрофуранове кільце з трьома вуглеводневими ланцюгами, що містять карбонільну групу, 20 оксиметиленових груп та дві гідроксильні групи. Дослідивши структуру твіну-80 ми припустили, що при змішуванні з ним ФПАР завдяки хімічній взаємодії твіну-80 за гідроксильними групами з карбоксильними групами ФПАР утворюються естери, що значно збільшить гідрофільну частину і підсилить стабільність ПАС та стійкість аерованої системи (рис.2).

$$\text{ГЛБ} = (4+15)/2 = 9,5$$

Стійкість – 3 год

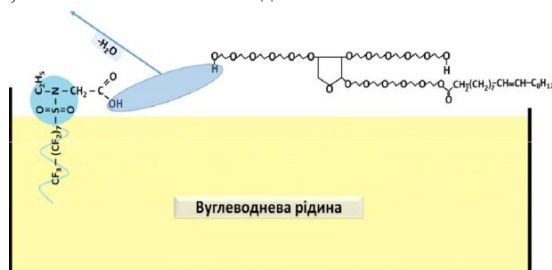


Рис.2. Схема хімічної взаємодії між молекулами 2-(N-етилперфтороктан сульфаміду) оцтової кислоти та моноолеатом сорбітану поліетиленгліколю

Проте стійкість такого шару не задовольняє сформульованим вимогам. Справді, якщо час напіврозкладу аерованої системи, утвореної фтортензидом AFF-3М не перевищує 8 хв, то в сукупності з твіном-80 задовільний захисний шар піни (не менше 10 мм) стійкий вже понад 3 год.

Встановлено, що єдиним варіантом забезпечення тривалої стійкості аерованих систем формування трьохфазових твердодібних систем. Зазвичай такі системи отримують введенням до композиційного складу ПАР полімерного структуроутворювача. Поєднання ПАР з полімерами використовуються для багатьох практичних цілей, що забезпечує стабільність і необхідні реологічні властивості композицій. Властивості розчинів індивідуальних компонентів є важливими, але експлуатаційні якості композиційного продукту значною мірою залежать від взаємодії між компонентами. Тобто, знання фізико-хімічних властивостей компонентів і особливостей взаємодії між ними є суттєвим не тільки для правильного поєднання найкращих властивостей складових, а й для створення композиційних систем з принципово новими властивостями, що за образним висловом класиків є поєднанням науки і мистецтва.

Встановлено, що протягування ПАР-полімер збільшує стабільність покриття. При додаванні полімеру до складу покриття слід враховувати, що в'язкість розчинів полімерів зазвичай вища за в'язкість розчинів низькомолекулярних сполук з тими ж концентраціями. Процес набухання – дифузійний процес, зумовлений градієнтом хімічного потенціалу рідини. Причиною набухання є те, що молекули, які різняться між собою на багато порядків за своїми розмірами і рухливістю, змішуються і взаємодіють. Молекули низькомолекулярного розчинника швидко просочуються в структуру полімеру, розсовуючи ланцюги та збільшуючи об'єм. З цієї точки зору набухання – це термодинамічний процес із одностороннім зміщенням рівноваги, в якому відбувається сольватація його макромолекул (полярні полімери набухають у полярному розчиннику), що супроводжується виділенням теплоти, тобто  $H < 0$ . На цій стадії ентропія системи не змінюється або дещо знижується за рахунок упорядкування молекул розчинника внаслідок сольватації, тобто  $S < 0$ . Якщо

$H < T S$ , то  $G < 0$  – процес самочинний. Кількість розчинника, що поглинається на цій стадії 20–40 % від маси сухої речовини, та незважаючи на зростання об'єму зразка полімеру, загальний об'єм системи (полімер та розчинник) на цій стадії зменшується, тобто

відбувається контракція та пояснюється взаємодія полімеру з розчинником – сольватацією, внаслідок якої відбувається ущільнення системи. У цьому випадку просторова сітка створюється не вандерваальсовими, а хімічними або водневими зв'язками. З цієї причини драглям не властива тиксотропія та руйнування структури гелів внаслідок механічного впливу, що має у більшості випадків незворотний характер.

Гелі, утворені полімерами, проявляють пружні та еластичні властивості, що зумовлено міцністю та гнучкістю макромолекулярної сітки, а також твердоподібністю орієнтованих шарів молекул розчинника. З цієї причини звичайні гелі не здатні до пластичної течії, в той час як глобулярні гелі здатні текти. На механічні властивості гелів сильно впливає їх концентрація. Внаслідок ущільнення гелів їх міцність підвищується.

Враховуючи описаний комплекс загальних властивостей полімерів, після ретельного пошуку серед високомолекулярних водорозчинних ПАР як природних – вишнева камедь, желатин, ячний білок, так і синтетичних – поліакриламід, кополімери малеїнового ангїдриду та їх гідролізовані похідні, зупинено саме на полівініловому спирті, який синтезують виключно методом полімераналогічних перетворень. Матричним полімером слугує полівінілацетат, естерні групи якого піддають гідролізу.

Плівки з ПВС, що зазнали впливу рентгенівського випромінювання, стають нерозчинними навіть у киплячій воді і витримують нагрівання до 150 °С. Витягнуті плівки, незважаючи на присутність в них пластифікатора, мають підвищену міцність ( межа міцності на розтягування – 600 кгс/см) і високу стійкість до стирання. Газопроникність плівок із ПВС

15–20 разів (в залежності від ступеня пластифікації) є нижчою газопроникності вулканізованої плівки натурального каучуку і є наслідком орієнтації макромолекул, завдяки чисельним водневим зв'язкам між ланками сусідніх макромолекул. Утворений комплекс формує на поверхні вуглеводнів структуровані еластичні плівки. Велика практична цінність ПВС у своєрідному поєднанні низки переважних властивостей. Саме завдяки високій газонепроникності цього термопласту мікрокристалічної структури, його гідрофільності, розчинності у воді і водночас нерозчинності у вуглеводнях, на основі попередньо створених ПАС вдалося розробити стійкі покриття для захисту вуглеводневих рідин від випаровування. Поєднанням полімерної матриці ПВС з багатьма центрами, що можуть утворювати водневі зв'язки, з аерованим розчином ПАС дозволило розробити склади стійких трьохфазових систем, які формують на поверхні вуглеводнів міцні об'ємно структуровані еластичні системи, які надають покриттям газонепроникності і забезпечують надійність попередження випаровування вуглеводневих рідин (рис. 3).

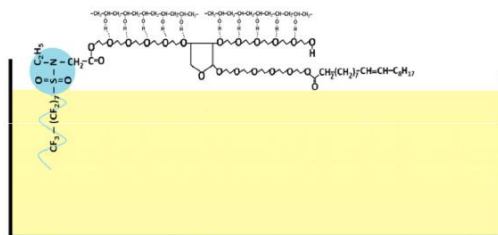


Рис. 3. Схема покриття, сформованого взаємодією 2-(N-етилперфтороктансульфаміду) оцтової кислоти, моноолеату сорбітану поліетиленгліколю та полівінілового спирту

Здатність емульгаторів до стабілізації емульсій звичайно характеризується числом ГЛБ за «шкалою Гріффіна», тобто співвідношенням між гідрофільною та гідрофобною частиною молекули, що дозволяє кількісно оцінити і виразити у вигляді умовних групових чисел ступінь взаємодії з водою окремих груп, з яких складається молекула ПАР. Обчислення проведено за спеціальними формулами як сума групових чисел, визначених

експериментально. Ця система допомагає в ухваленні рішення про види і розміри емульгаторів, необхідних для створення стабільних продуктів.

Чим більша в молекулі ПАР переважає гідрофільна частина над гідрофобною тим більше баланс зсунутий у сторону гідрофільності, тим вищим є число ГЛБ. Маслорозчинні емульгатори, що дають емульсії в/м (характеризуються числами ГЛБ нижчими від 10. Чим вищим є число ГЛБ, тим більшою є схильність до утворення емульсії м/в. Якщо в емульгаторі переважають гідрофільні групи, його ГЛБ має високе значення (в межах 8–17). Навпаки, малорозчинний у воді емульгатор з низьким значенням ГЛБ (в межах 3–6) утворює емульсію типу «вода–масло». Якщо в молекулі міститься приблизно однакова кількість гідрофільних і гідрофобних частин, то емульгатор здатний утворювати емульсії обох типів.

Для розрахунку ГЛБ системи необхідно знати ГЛБ кожного компонента. Для цього розраховувалась частка кожного компонента, потім ця частка по кожному компоненту множилась на його ГЛБ, з одержанням ГЛБ по кожному компоненту, потім підсумовувались всі отримані результати ГЛБ з одержанням ГЛБ системи.

Регулювання полярності дисперсного середовища зміною концентрації компонентів, довжини вуглеводневого ланцюга і природи ПАР, ГЛБ, ККМ, дозволяє в цих випадках одержувати як прямі, так і зворотні мікроемульсії. Вони можуть знаходитися в рівновазі з макрофазою – молекулярним розчином того ж складу, що і склад дисперсної фази мікроемульсії. Подібно випадку двокомпонентних критичних систем, відповідним підбором складу вдається отримати мікроемульсії – зворотні і прямі рівноважні одна з одною і, крім того, з дисперсійним середовищем проміжної полярності. Такі мікроемульсійні системи можуть утворювати фазову межу розділу з дуже малим поверхневим натягом як з водою, що містить певну концентрацію солей, так і з вуглеводнями. Для цього є необхідним, досягнення такого балансу молекулярних взаємодій в об'ємах і на межі фаз, коли ПАР знаходить приблизно однакову поверхневу активність при адсорбції на межі з обох фаз водної та масляної. Для визначення ГЛБ неіоногенних ПАР необхідно застосувати газовий хроматограф, мікрошприц на 1 мкл, секундомір, вібратор, круглодонну колбу місткістю 250 см, фарфорову чашку, пористий носій хроматон N-ANHMDS, хлороформ і метанол, зразки індивідуальних нормальних вуглеводнів для хроматографії, інертний газ. Експериментально ГЛБ визначали за різними ознаками часу життя прямих і зворотних емульсій, розчинності та ін. Ці методи не стандартизовані. Перевага надавалась розрахунковим методам знаходження ГЛБ, що базується на внеску різних груп хімічних сполук в загальний ГЛБ молекули – методу групових чисел. Адсорбційні властивості кожного класу ПАР найбільш повно виявляються в певних умовах. Іоногенні ПАР реагують на зміну рН середовища і звичайно в тому чи іншому ступені є чутливими до присутності агентів, що висоложують. Адсорбційна та емульгуюча здатність полівінілового спирту, крім того, може варіюватися зміною ГЛБ молекул, визначуваного ступенем заміщення ліпофільних груп.

Таким чином, у системах, що містять одночасно маслорозчинні та водорозчинні ПАР такою будовою, що дає можливість їм взаємодіяти, виключає відносну кількість обох емульгаторів, визначає значення міжфазного натягу в системі. Здатність ПАР до міцелоутворення виникає при певному співвідношенні (збалансованості) гідрофільних властивостей молекул, обумовлених природою і кількістю полярних груп, і гідрофобних (олео-, або ліпофільних) властивостей, пов'язаних з наявністю вуглеводневого радикала. Оптимальний баланс цих властивостей (ГЛБ) характерний для ПАР, в молекулах, різко гідрофільних, частіше всього іонізованих полярними групами, пов'язаних з розвинутим вуглеводневим радикалом. Порушення балансу властивостей в ту або іншу сторону створює умови міцелоутворення неможливим, оскільки залежить від довжини вуглеводневого радикалу й посилення гідрофобних властивостей молекул.

## РЕФЕРАТ

*Олена Спаська,*

*Національний авіаційний університет, spaskaolena@ukr.net*

### **ВПЛИВ ГІДРОФІЛЬНО-ЛІПОФІЛЬНОГО БАЛАНСУ КОМПОНЕНТІВ НАДЛЕГКИХ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНИХ СИСТЕМ НА ЇХ ІЗОЛЮЮЧУ ЗДАТНІСТЬ ВІД ВИПАРОВУВАННЯ ВУГЛЕВОДНЕВИХ РІДИН**

Створено високоєфективні стабільні аеровані гідрофільні фтортензидовмісні композиції та надлегкі мікродисперсні системи з використанням газонаповнених скляних, алюмосилікатних полімерних мікрокульок. Дослідженням стійкості і газопроникності розроблених поверхнево-активних систем визначено, що ізолююча здатність покриття підвищується при збільшенні гідрофільно-ліпофільного балансу системи через хімічну взаємодію між карбоксильною групою фтортензиду і гідроксигруп неіоногенної поверхнево-активної речовини з наступним зв'язуванням їх полімерною матрицею полівінілового спирту у зв'язнодисперсну ліофобну систему.

**Ключові слова:** випаровування, вуглеводнева рідина, аперетовані та неаперетовані скляні сферичні мікрокульки, поверхнево-активні системи.

## РЕФЕРАТ

*Елена Спасская,*

*Национальный авиационный университет, spaskaolena@ukr.net*

### **ВЛИЯНИЕ ГИДРОФИЛЬНО-ЛИПОФИЛЬНОГО БАЛАНСА КОМПОНЕНТОВ СВЕРХЛЕГКИХ ПОВЕРХНОСТНО-АКТИВНЫХ СИСТЕМ НА ИХ ИЗОЛИРУЮЩУЮ СПОСОБНОСТЬ ОТ ИСПАРЕНИЯ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ЖИДКОСТЕЙ**

Влияние гидрофильно-липофильного баланса компонентов сверхлегких поверхностно-активных систем на их изолирующую способность от испарения углеводородных жидкостей

**Ключевые слова:** испарение, углеводородная жидкость, аппретированные и неаппретированные стеклянные микросферы, поверхностно-активные системы.

## ABSTRACT

*Olena Spas'ka,*

*National Aviation University, spaskaolena@ukr.net*

### **INFLUENCE OF THE HYDROPHILIC AND LIPOPHILIC BALANCE OF THE COMPONENTS OF ULTRALIGHT SURFACE-ACTIVE SYSTEMS ON THEIR INSULATING ABILITY AGAINST EVAPORATION OF HYDROCARBON LIQUIDS**

Highly effective stable aerated hydrophilic fluorotenside compositions and ultralight microdispersed systems, with the use of gas-filled glass, aluminosilicate and polymeric microspheres, were studied. Investigation of stability and gas permeability of the developed surface active systems coatings, determined that insulating capacity of the coating grows with the increase in the hydrophilic-lipophilic balance of the system as a result of chemical interaction between the carboxyl group of fluorotenside and hydroxyl groups of nonionic surfactant, followed by its bonding with a polymeric matrix of polyvinyl alcohol into a cohesively dispersed lyophobic system.

**Key words:** evaporation, hydrocarbon liquids, surface-treated and untreated glass microspheres, surface active systems.

УДК 502.3:504:5:662.6/74

### **П-26. ШЛЯХИ ЗАСТОСУВАННЯ СМОЛИ РОЗКЛАДУ ОРГАНІЧНОЇ МАСИ БУРОГО ВУГІЛЛЯ, ЩО ОДЕРЖУЄТЬСЯ В РЕЗУЛЬТАТІ ЙОГО ОКСИДАЦІЙНОГО ЗНЕСІРЧЕННЯ**

*Марія Швед, Юрій Присяжний, Юрій Гриценко, Сергій Пиш'єв*

Україна характеризується значним забрудненням атмосфери. Одними з основних забруднювачів на сьогоднішній день є сполуки сірки, серед яких провідне місце займає оксид сірки (VI). Викиди діоксиду та інших сполук сірки у 2015 р. становили 1421,5 тис. т.. Значна його частина утворюється при спалюванні високосірчистого вугілля, що є базовою сировиною теплових електростанцій і централей (ТЕС і ТЕЦ). Одним із



методів зменшення сірчистості вугілля є окисаційне очищення, що полягає в обробленні вугілля паро-повітряною сумішшю (ППС) і дає змогу вилучити з нього до 90 % мас. піритної сірки та зменшити викиди діоксиду сірки майже у два рази.

випадку знесірчення бурого вугілля як побічний продукт одержується смола деструкції органічної частини, в залежності від умов процесу, її вихід становить 18– 27 % мас. Детально якість цієї смоли і напрямки її застосування не вивчалися. Тому метою даної роботи є встановлення шляхів застосування смоли розкладу органічної маси бурого вугілля. Для досліджень використовували буре вугілля, відібране на Морозівському родовищі Дніпровського буро-вугільного басейну, фракції 0,1–0,25 мм, оскільки саме такі розміри вугілля є близькими до оптимальних для подальшого спалювання на ТЕС.

Процес окисаційного знесірчення бурого вугілля здійснювали в умовах (див. табл. 1), що забезпечують одержання максимальної кількості смоли розкладу органічної маси вугілля із досягненням оптимального виходу знесірченого вугілля та відповідного ступеня вилучення піритної сірки.

Таблиця 1

Умови процесу окисаційного знесірчення бурого вугілля	
Чинник	Значення
ЛШРО, м/с	0,0250
Склад окисанту, % об., в т.ч.:	
O <sub>2</sub>	6,30
в. п.	70,0
Температура, °С	425
Тривалість процесу, хв.	15
КВО, м <sup>3</sup> /(год·кг)	2,40

результаті окисаційного знесірчення бурого вугілля у вищеподаних умовах одержали смолу розкладу органічної маси вугілля у кількості 26,58 % мас.

З огляду на те, що за своїм зовнішнім виглядом смола розкладу органічної маси бурого вугілля подібна на котельні палива, дослідження її якості проводилися з огляду на перспективу застосування як компонент у даних палив.

Перед аналізом від смоли відфільтровували частинки вугілля, що могли захопитись леткими і газоподібними продуктами процесу і винестись з реакційної зони (киплячого шару). Згідно стандартних методик визначали показники якості смоли розкладу органічної маси бурого вугілля. У таблиці 2 подано характеристики смоли розкладу бурого вугілля і порівняння їх з вимогами до паливного мазуту марки “100” згідно ДСТУ-4058-2001.

Таблиця 2

Характеристика палив

Найменування показника	Норма за ДСТУ-4058-2001	Фактичні показники	Метод контролю
1. В'язкість -умовна за температури 80°С, умовніградуси -кінематична за температури 80°Сст,	≤ 16,0 ≤ 118,0	4,59 33,08	ГОСТ 33-2000
2. Зольність, % мас.	≤ 0,14	0,085	ГОСТ 1461-75
3. Густина за температури 20°С, кг/м <sup>3</sup>	Не нормується	1048	ГОСТ 3900 -85
4. Вміст сірки, % мас.	≤ 2,0	1,35	ГОСТ 2059
5. Коксівність, % мас.	Не нормується	9,48	ГОСТ 19932-99
6. Масова частка води % мас.	≤ 1,0	0,84	ГОСТ 2477-2014
7. Температура спалаху у відкритому тиглі, °С	≥ 110	114	ГОСТ 4333-2014
8. Температура застигання, °С	≤ 42	42	ГОСТ 20287-91
9. Теплота згорання, кДж/кг	≥ 39900	40031	ГОСТ 21261-91
9. Теплота згорання, кДж/кг	≥ 39900	40031	ГОСТ 21261-91

Проаналізувавши отримані результати (табл.2), можна зробити висновок, що за всіма характеристиками смола розкладу органічної маси бурого вугілля, яка одержується в процесі його оксидативного знесірчення, відповідає вимогам стандарту до паливного мазуту марки “100” і тому може використовуватися як компонент даних палив.

Таблиця 3

Дослідження буровугільної смоли в якості пластифікаторів БМП

Умови одержання БМП			Характеристики модифікованих бітумів			
Вміст бітуму, % мас.	Вміст модифікатора, % мас.	Вміст пластифікатора, % мас.	Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °С	Розтяж - ність, $\text{м} \cdot 10^{-2}$ (см)	Глибина проникнення голки за температури 25 °С, $\text{м} \cdot 10^{-4}$ (0,1 мм)	Адгезія, %
100	-	-	47	75	62	46
93,0	7,0	-	52	36	38	100
86,0	7,0	7,0	55	18	38	100
85,0	7,0	8,0	54	20	47	100
84,0	7,0	9,0	52	28	62	100
83,0	7,0	10,0	51	30	65	100
Норми згідно ДСТУ Б В.2.7-135:2007			52-54	$\geq 25$	61-90	$\geq 75$

Виходячи з того, що у смолі деструкції бурого вугілля можуть міститися поверхнево-активні речовини, які здатні покращити адгезійні властивості, та враховуючи відносну низьку її в'язкість, проводили також дослідження по використанні даної смоли, як пластифікатора для нафтових бітумів. Для досліджень використовували бітуми модифіковані інден-кумароновою смолою (ІКС). У роботах встановлено, що додавання ІКС до бітумів дозволяє суттєво підвищити температуру їх розм'якшення та значно покращити адгезійні властивості. Слід зауважити, що вартість цієї смоли є помітно меншою від ціни найбільш широкоживаних промислових полімерних добавок (наприклад типу СБС). З іншого боку при додаванні ІКС помітно погіршуються пластичні властивості бітумів (пенетрація та дуктильність). Тому для покращення цих властивостей бітумів, модифікованих полімерами (БМП) було запропоновано використовувати смолу розкладу органічної маси бурого вугілля; результати див. табл.3.

Як свідчать результати досліджень збільшення вмісту пластифікатора у суміші сприяє покращенню пластичних властивостей, при чому це призводить до зменшення температури розм'якшення. Оптимальним вмістом пластифікатора у суміші є вміст 9 % мас., що дозволяє одержати БМП, що за основними характеристиками відповідає вимогам нормативних документів до бітумів, модифікованих полімерами. Варто відзначити, що використання інден-кумаронової смоли та смоли деструкції бурого вугілля дозволяє одержати БМП з відмінними адгезійними властивостями незалежно від співвідношення компонентів, що забезпечує міцний зв'язок в'язучого з мінеральним матеріалом, а, значить, і довговічність дорожнього полотна одержаного на їх основі.

результаті проведених досліджень сформовано два напрями використання смоли розкладу органічної маси бурого вугілля, а саме, як компоненту паливного мазуту марки “100” та пластифікатора БМП. Слід відміти, що другий спосіб застосування даної смоли є менш енергетично затратним, оскільки не вимагає фільтрації смоли.

#### РЕФЕРАТ

*Марія Швед, Юрій Присяжний, Юрій Гриценко, Сергій Пили'єв,  
Національний університет «Львівська політехніка», mari4ka.ved@ukr.net*

#### **ШЛЯХИ ЗАСТОСУВАННЯ СМОЛИ ДЕСТРУКЦІЇ ОРГАНІЧНОЇ МАСИ БУРОГО ВУГІЛЛЯ, ЩО ОДЕРЖУЄТЬСЯ В РЕЗУЛЬТАТІ ЙОГО ОКСИДАЦІЙНОГО ЗНЕСІРЧЕННЯ**

Встановлено можливі шляхи застосування смоли деструкції органічної маси бурого вугілля, що отримується в процесі його оксидативного знесірчення. Досліджено, що за всіма показниками якості дана смола відповідає вимогам, які висуваються до паливного мазуту марки "100". Також запропоновано використовувати смолу деструкції органічної маси бурого вугілля в якості пластифікаторів бітумів, модифікованих полімерами. Встановлено, що додавання даної смоли до бітумів, модифікованих полімерами дозволяє покращити їх пластичні властивості не погіршуючи при цьому його адгезійні характеристики.

**Ключові слова:** смола деструкції органічної маси вугілля, буре вугілля.

#### РЕФЕРАТ

*Марія Швед, Юрій Присяжний, Юрій Гриценко, Сергей Пышьев,  
Национальный университет «Львовская политехника», mari4ka.ved@ukr.net*

#### **ПУТИ ПРИМЕНЕНИЯ СМОЛЫ ДЕСТРУКЦИИ ОРГАНИЧЕСКОЙ МАССЫ БУРОГО УГЛЯ, ПОЛУЧАЕМОГО В РЕЗУЛЬТАТЕ ЕГО ОКСИДАЦИЙНОГО ОБЕССЕРИВАНИЯ**

Установлены возможные пути применения смолы деструкции органической массы бурого угля, получаемого в процессе его оксидативного знесирщения. Доказано, что по всем показателям качества данная смола отвечает требованиям, предъявляемым к топочному мазуту марки "100". Также предложено использовать смолу деструкции органической массы бурого угля в качестве пластификаторов битумов, модифицированных полимерами. Установлено, что добавление данной смолы в битумов, модифицированных полимерами позволяет улучшить их пластические свойства не ухудшая при этом его адгезионные характеристики.

**Ключевые слова:** смола деструкции органической массы угля, бурый уголь.

#### ABSTRACT

*Serhiy Pyshyev, Yuriy Prysiaznyi, Mariia Shved,  
Lviv Polytechnic National University, mari4ka.ved@ukr.net*

#### **APPLICATIONS OF DESTRUCTION RESIN OF LIGNITE ORGANIC MATTER OBTAINED UNDER OXIDATIVE DESULFURIZATION**

The possible applications of destruction resin of brown coal organic matter, obtained under oxidative desulfurization, have been determined. It was established that this resin meets all the quality requirements for heating oil of brand "100". It was proposed to apply the destruction resin of lignite organic matter as a plasticizer for polymer modified bitumen. It is determined that the addition of resin to polymer modified bitumen, makes it possible to improve its plastic properties and does not deteriorate its adhesive ones.

**Key words:** resin of coal organic matrix decomposition, lignite.

## РОЗДІЛ ІІІ

### ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ ТЕХНІЧНИХ РІДИН НА ХІММОТОЛОГІЧНУ НАДІЙНІСТЬ, ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ТА ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТЕХНІКИ

УДК 621.892.8(043)

#### ІІІ-1. МЕТОД ВИПРОБУВАНЬ ПРОТИЗНОСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВ, ЗА СХЕМОЮ ТРИБОКОНТАКТУ «ЦИЛІНДР - ПЛОЩИНА»

*Ігор Трофімов*

Проблема тертя та зношування деталей машин і механізмів належить до числа найбільш складних проблем сучасної техніки. Постійне удосконалення сучасних машин механізмів безпосередньо пов'язані з підвищенням якості ПММ. Надійність паливних гідравлічних агрегатів у значній мірі залежить від безвідмовної роботи пар тертя, що виконують функції чутливих елементів автоматичних регулюючих пристроїв, витісних елементів насосів, розподільчих елементів гідроприводів і інших не менш важливих вузлів. Внаслідок підвищеного зношування, руйнування і заклинювання пар тертя виникають відмови гідроагрегатів, з'являється необхідність завчасного зняття таких агрегатів з експлуатації.

Мета даної роботи полягала у розробленні методу випробувань протизносних властивостей ПММ, за схемою трибоконтакту «циліндр - площина».

Аналітичний огляд літературних джерел дозволив дійти виснову, що питання дослідження протизносних властивостей палив і олів розглядалося неодноразово. У даному випадку випробування протизносних властивостей ПММ проводили на машині тертя за схемою лінійний контакт «диск – площина», матеріал зразків ШХ15–ШХ15.

На сьогодні в Україні широко використовують такі відомі та сертифіковані методи випробувань протизносних властивостей ПММ, як метод визначення протизносних характеристик ПММ на чотирикульковій машині тертя (ЧШМТ) (ГОСТ 9490) та метод визначення протизносних характеристик мастильних матеріалів на машині тертя SRV (ASTM D 5706-97). Також поширеними є метод визначення трибологічних характеристик ПММ за 3-х етапною методикою та метод визначення трибологічних характеристик ПММ за схемою «ролик-диск».

Порівняльні дослідження ПММ на різних машинах тертя показали, що у більшості випадків тільки у машин з «лінійним контактом» спостерігається відносна відповідність результатів випробувань однакових ПММ за критерієм оцінювання мастильної здатності у вигляді граничного навантаження перед виникненням заїдання.

Відомо, що випробування на ЧШМТ мають такі переваги, як достатня однорідність поверхонь тертя робочих елементів машини у відношенні якості поверхні, розмірів твердості, а також те, що в процесі випробувань майже не відбувається зміна умов, у яких знаходиться мастильна плівка.

Розробленій нами методиці досліджень, що детально описана нижче, також притаманні всі указані переваги. Але, у разі випробувань ПММ на ЧШМТ, під час тертя однорідних твердих сферичних поверхонь отримують не значну величину зношування.

у разі випробування ПММ, що володіють високими протизносними властивостями, величина зношування є дуже малою і для одержання оптимального для заміру п'ятна контакту потрібно або подовжувати шлях тертя, або суттєво збільшувати швидкість ковзання чи навантаження. Також у цьому випадку замірювання середнього п'ятна контакту нижніх кульок займає достатній час та вимагає від дослідника точності виконання замірів.

загальному випадку така проблема має місце при випробуваннях будь якої пари тертя,

коли твердий матеріал третяся по твердому. Пари тертя «вал – колодка», «циліндр – площина», «кільце – кільце», «ролик – диск» – не є виключенням. У разі, коли твердий матеріал третяся по м'якому, зокрема за схемою «циліндр – площина», отримуємо пару тертя, яка є більш наближеною до реальної та моделює трибоспрямлення «вал – втулка». Величина зношування (лінійна, об'ємна, за масою) є більшою, порівняно з напрацюванням двох однакових за твердістю зразків. Для порівняння протизносних властивостей двох досліджуваних ПММ цілком достатньо вяснити під час змащування яким з них одержано більшу чи меншу величину зношування.

Нами було розроблено методику дослідження протизносних властивостей палив малов'язких рідин за схемою «циліндр - площина» з трибоконтактом по твірній циліндра, матеріал зразків «сталь 9ХС– латунь ЛС59-1».

Методику досліджень реалізовано на приладі тертя типу «ПТ-4Ц» та пояснено схемою випробувань палив і малов'язких мастильних середовищ, що подано на рис. 1.

До обертально рухомого контрзразка-циліндра приймається плоский зразок з заданим нормальним навантаженням у визначеному рідкому середовищі. У результаті тертя робоча поверхня зразка зношується і утворюється вироблення у вигляді сегментної лунки (рис. 2).

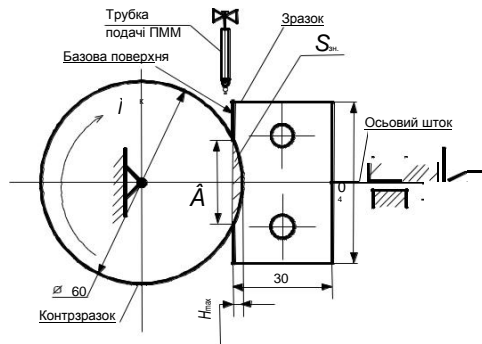


Рис. 1. Схема випробувань протизносних властивостей ПММ, реалізована на приладі тертя «ПТ-4Ц»

Після випробування на зразку вимірюються геометричні розміри вироблення і розраховуються параметри лінійної та об'ємної інтенсивності зношування.

Робочу поверхню контрзразка, що виконує відносний обертальний рух, діаметром 60 мм і шириною 10 мм виготовленого із сталі 9ХС та загартовано до твердості HRC 62. Робочу поверхню нерухомого плоского зразка, довжиною 40 мм, шириною 30 мм та товщиною 3 мм виготовлено із латуні ЛС59-1. У разі потреби можна використовувати зразки і з сталі, загартованої від мінімальної твердості до твердості контрзразка.

Зразок, контрзразок, місткість для досліджуваного та всі деталі кріплення перед початком проведення випробувань для очистки поверхонь від залишків продуктів механічної обробки та ПММ промивалися ацетоном і сушилися.

Кожну експериментальну точку отримано як середнє значення від трьох випробувань зразків на тертя та зношування за однакових умов проведення експерименту з подальшим заміром величини зношування. Критерієм зношення було прийнято величину об'ємного зношування  $NV$  ( $m^3$ ) дослідного зразка, що отримували добутком площі зношування  $S_{зн}$ . ( $m^2$ ) на товщину зразка (0,003 м). Для розрахунку площі зношування  $S_{зн}$ . (рис. 3), на яку контртіло заглиблювалося в досліджуваний зразок відносно базової поверхні у процесі спрацювання матеріалу, знаходили глибини доріжок тертя на нерухомому зразку вимірюванням на профілографі-профілометрі ПП-1К. Даний прилад дозволяє вимірювати глибини

спрацювання матеріалу вздовж доріжки ковзання через кожен міліметр поверхні, а отже дозволяє вимірювати і довжину доріжки ковзання.

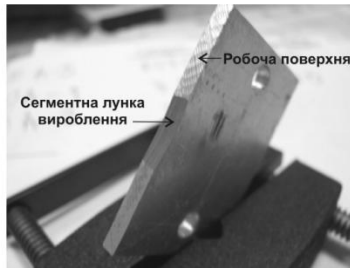


Рис. 2. Загальний вигляд зразка після випробування

Площу зношування ( $S_{зн.}$ ) розраховували як суму площ прямокутних трапецій (рис. 3) за такою формулою:

$$S_{зн.} = \sum_{i=1}^n S_{трп.i} = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_1 + Y_0) X_i}{2} = \frac{(Y_1 + Y_0) X_1}{2} + \frac{(Y_1 + Y_2) X_2}{2} + \dots + \frac{(Y_{i-1} + Y_i) X_i}{2}$$

Для знаходження інтенсивності об'ємного зношування використали формулу для розрахунку середньо інтегрального значення інтенсивності зношування:

$$I_V = \frac{H}{S}$$

де  $HV$  – об'ємне зношування,  $m^3$ ;  $S$  – шлях тертя, м.

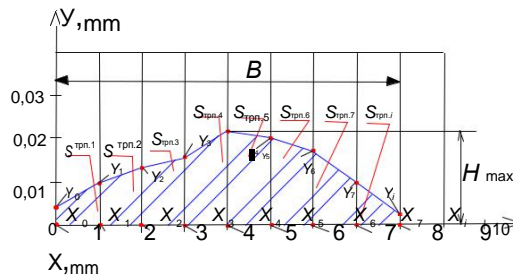


Рис. 3. Схема визначення площі ( $S_{зн.}$ ) на яку контртіло заглиблювалося в досліджуваний зразок відносно базової поверхні у процесі спрацювання матеріалу

Таким чином, розроблено методику дослідження протизносних властивостей палив і малов'язких рідин за схемою трибоконтакту «циліндр – площа».

#### РЕФЕРАТ

Ігор Трофімов,

Національний авіаційний університет, troffi@ukr.net

#### МЕТОД ВИПРОБУВАНЬ ПРОТИЗНОСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВ, ЗА СХЕМОЮ ТРИБОКОНТАКТУ «ЦИЛІНДР - ПЛОЩИНА»

Обговорюється проблема дослідження протизносних властивостей палив і малов'язких рідин, що є актуальним під час експлуатації автоматичних регулюючих пристроїв, паливних насосів, розподільних елементів гідравлічних приводів. Основна мета роботи полягала в розробці нового методу

випробування протизносних властивостей ПММ за схемою трибоконтакта «циліндр - площина». Методику досліджень реалізовано на приладі тертя типу «ПТ-4Ц» та пояснено схемою випробувань палив і малов'язких мастильних середовищ. Результати досліджень можуть бути використані експертами трибологами, хімотологами, а також бути корисними фахівцям в області експлуатації і ремонту технічних систем.

**Ключові слова:** тертя, зношування, паливно-мастильні матеріали.

#### РЕФЕРАТ

*Игорь Трофимов,*

*Национальный авиационный университет, troffi@ukr.net*

#### МЕТОД ИСПЫТАНИЙ ПРОТИВОИЗНОСНЫХ СВОЙСТВ ТОПЛИВ ЗА СХЕМОЙ ТРИБОКОНТАКТА «ЦИЛИНДР - ПЛОСКОСТЬ»

Обсуждается проблема исследования противоизносных свойств топлив и маловязких жидкостей, что является актуальным при эксплуатации автоматических регулирующих устройств, топливных насосов, распределительных элементов гидравлических приводов. Основная цель работы заключалась в разработке нового метода испытания противоизносных свойств ГСМ за схемой трибоконтакта «цилиндр - плоскость». Методика исследований была реализована на приборе трения типа «ПТ-4Ц» объяснена на схеме испытаний топлив и маловязких смазочных сред. Результаты исследований могут быть применены экспертами трибологами, химмотологами, а также быть полезными специалистам области эксплуатации и ремонта технических систем.

**Ключевые слова:** трение, износ, горюче-смазочные материалы.

#### ABSTRACT

*Igor Trofimov,*

*National Aviation University, troffi@ukr.net*

#### TEST METHOD FOR TESTING OF ANTI-WEAR PROPERTIES OF FUELS ACCORDING TO «CYLINDER – PLANE» TRIBOCONTACT CHART

The problem of research of fuels and low-viscosity liquids anti-wear properties, which is relevant for the operation of automatic control devices, fuel pumps, hydraulic drives switching elements, is discussed. The main objective of the work was to develop a new method for testing of the lubricants anti-wear properties according to tribocontact “Cylinder - Plane” chart. Methodology research was implemented on the “ПТ-4С” friction device and explained in the diagram of fuels and low viscosity lubricating fluids testing. The research results may be applied by tribology and chemmology experts, as well as to be useful to those skilled in the operation and maintenance of technical systems.

**Key words:** friction, wearing, fuels and lubricants.

УДК 629.045 (045)

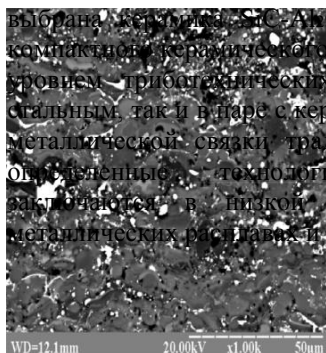
#### III-2. СТРУКТУРА И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕТОНАЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ КАРБИДОКРЕМНИЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

*Андрей Довгаль, Игорь Трофимов, Людмила Приймак*

Проблема повышения износо- и коррозионной стойкости деталей машин является актуальной в условиях эксплуатации оборудования при высоких скоростях и нагрузках. Перспективными для таких условий работы являются керамические материалы, которые обладают высокой стойкостью в условиях интенсивного изнашивания и к воздействию агрессивных сред. Этим требованиям удовлетворяют керамические композиты на основе карбида кремния и оксида алюминия, которые обладают высоким уровнем физико-механических свойств, а также являются недорогими и недефицитными материалами.

Карбидокремниевые композиционные материалы могут применяться, как в виде компактных изделий, так и в качестве покрытий на поверхности деталей, работающих в узлах трибосопряжений. Преимущество применения керамических материалов в качестве покрытий заключается в локальном их использовании на трущихся поверхностях, что приводит к существенной экономии этих материалов.

## Износостойкой составляющей композита для нанесения детонационных покрытий



а)

выбрана система  $\text{SiC}-\text{Al}_2\text{O}_3$ , испытанная ранее в качестве компактной керамической материала и обладающая высоким уровнем триботехнических характеристик, как в паре со стальным, так и в паре с керамическим контртелом. Введение металлической связки традиционным образом представляет определенные технологические трудности, которые заключаются в низкой стойкости карбида кремния в металлических расплавах и интенсивном его взаимодействии с металлом с образованием силицидов. Так, было установлено, что карбидокремниевая фаза сохраняется без химических превращений при обеспечении удовлетворительного смачивания только в интерметаллидах, так как присутствие других элементов в металлической связке пассивирует химическую активность расплава. В результате этого исследования было разработано износостойкое покрытие на основе  $\text{SiC}-\text{Al}_2\text{O}_3$  со связкой на основе  $\text{Ni}-\text{Al}$ , которое было нанесено газотермическими методами и показало высокий уровень триботехнических свойств. Принимая во внимание упомянутые выше особенности структурообразования карбидокремниевых композитов с металлической связкой был предложен новаторский подход в плане введения металлической связки в композицию  $\text{SiC}-\text{Al}_2\text{O}_3$ , а именно, получение металлических добавок в процессе размол и перемешивания этой композиции в стальных барабанах, как в паре со стальным, так и в паре с керамическим контртелом. Поэтому большой научный интерес представляет применение этой композиции в качестве износостойких покрытий на среднеуглеродистых сталях. В качестве метода нанесения покрытий был избран детонационный метод напыления, который позволяет получать высокоплотные покрытия, и характеризуется низким температурным воздействием на деталь и порошковую композицию.

б)

Получение износостойких покрытий из системы  $(\text{SiC}-\text{Al}_2\text{O}_3)-\text{Fe}$  детонационным методом напыления, испытание этих покрытий на износостойкость без смазочных материалов и определение механизмов их изнашивания было поставлено целью этой работы.

в)

Рис. 1. Электронные фотографии детонационного покрытия системы  $(\text{SiC}-\text{Al}_2\text{O}_3)-\text{Fe}$ , ув. 300:

а) в отраженных электронах; б) во вторичных электронах;

Общая морфология покрытия представлена на рис. 1. в трех снимках: в отраженных (рис. 1 а); во вторичных (рис. 1 б) и топографическом исследовании поверхности (рис. 1 в). Из первого снимка можно сделать вывод, что покрытие представляет собой гетерофазный слой, состоящий из трех фаз. Адгезия этого покрытия составляет 7 МПа.

Во вторичных электронах (рис. 1 б) на снимке белым цветом выделяются фазы, которые имеют металлическую структуру (в покрытии около 15–20 %), так как они обладают большей проводимостью и являются самым интенсивным источником вторичных электронов. Топографическое исследование поверхности среза покрытия дает представление пористости покрытия которая составляет менее 3 %. Толщина покрытий изменяется в



пределах 150–170 мкм. Размер керамических включений изменяется в пределах от 3 до 10 мкм.

Так как ранее была исследована износостойкость компактной керамики этого состава композиционного покрытия на основе SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с металлической связкой на основе интерметаллида Ni<sub>3</sub>Al, то и детонационные карбидокремниевые покрытия системы (SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-Fe были испытаны на износостойкость в условиях, которые описаны в этих работах для определения условий применимости полученных новых покрытий.

Триботехнические испытания проводились по двум схемам: при постоянной нагрузке 2 МПа, изучали влияние скорости трения и при постоянной скорости 7 м/с, исследовали влияние нагрузки на интенсивность изнашивания и коэффициенты трения соответственно.

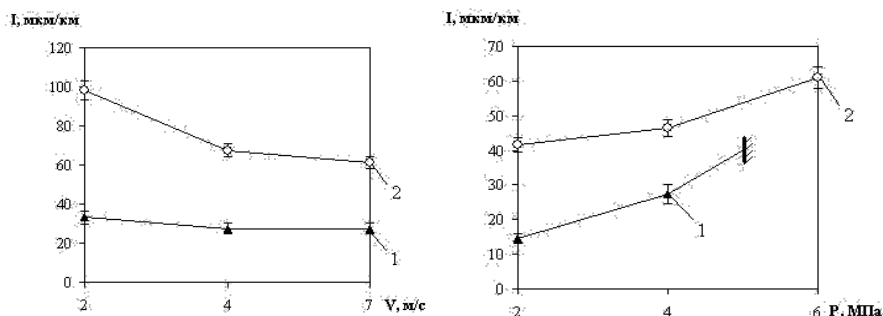


Рис. 2. Зависимость интенсивности изнашивания от скорости (а) и нагрузки (б):  
1 – детонационное покрытие системы (SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)-Fe; 2 – закаленная сталь 45

Результаты триботехнических испытаний композиционных детонационных покрытий при постоянной нагрузке показали, что с увеличением скорости интенсивность изнашивания уменьшается с 33,3 мкм/км при скорости испытаний 2 м/с до 27,3 мкм/км при 7 м/с. Эти значения более чем в два раза превосходят результаты испытания стальных образцов (рис. 2.) Коэффициенты трения при испытаниях покрытий в зависимости от скорости трения изменяются в пределах от 0,31 до 0,28. Испытания образцов с покрытиями при постоянной скорости 7 м/с показали (рис 2.), что с увеличением нагрузки интенсивность изнашивания незначительно увеличивается с 14,6 мкм/км при  $P = 2$  МПа до 27,4 мкм/км при  $P = 4$  МПа. При давлении 5 МПа покрытие отслаивается полностью со стальной поверхности, по-видимому имеет место адгезионный отрыв. Интенсивность изнашивания стальных образцов увеличением нагрузки резко возрастает с 41,6 мкм/км до 61 мкм/км. Таким образом, при наиболее жестких условиях испытания интенсивность изнашивания образцов с покрытиями в два раза меньше, чем этот показатель у образцов из закаленной стали 45 (рис. 2.) Интенсивность изнашивания контртела при испытаниях не превышала 10 мкм/км.

Таким образом, получены новые композиционные металлокерамические детонационные покрытия системы (SiC – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) – Fe на среднеуглеродистой стали. Исследованы триботехнические характеристики детонационных покрытий в широком диапазоне нагрузочно-скоростных параметров.

#### РЕФЕРАТ

Андрій Довгаль, Ігор Трофімов, Людмила Приймак,  
Національний авіаційний університет, troffi@ukr.net

#### СТРУКТУРА І ТРИБОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЕТОНАЦІЙНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ КАРБІДОКРЕМНІСВИХ ПОКРИТЬ

Обговорюється проблема підвищення зносостійкості і корозійної стійкості деталей машин, що є актуальним в умовах експлуатації устаткування при високих швидкостях і навантаженнях. Основною метою досліджень було вивчення керамічних композиційних матеріалів, які мають високу стійкість в

умовах інтенсивного зношування і дії агресивних середовищ. Встановлено, що цим умовам відповідають керамічні композити на основі карбіду кремнію і оксиду алюмінію, що характеризуються високим рівнем фізико-механічних властивостей, а також є недорогими і недефіцитними матеріалами. Встановлено, що зміцнююча карбидокремнієва фаза активної взаємодії з однокомпонентними розплавами проходить з утворенням силіцидів при гарячому пресуванні. Результати досліджень можуть бути використані експертами трибологами, матеріалознавцями, а також фахівцями в області експлуатації і ремонту технічних систем.

**Ключові слова:** зносостійкість, корозійна стійкість, карбидокремнієві покриття.

#### РЕФЕРАТ

*Андрей Довгаль, Игорь Трофимов, Людмила Приймак,  
Национальный авиационный университет, troffi@ukr.net*

### СТРУКТУРА И ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДЕТОНАЦИОННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ КАРБИДОКРЕМНИЕВЫХ ПОКРЫТИЙ

Обсуждается проблема повышения износостойкости и коррозионной стойкости деталей машин, что является актуальным в условиях эксплуатации оборудования при высоких скоростях и нагрузках. Основной целью исследований являлось изучение керамических композиционных материалов, которые имеют высокую стойкость в условиях интенсивного изнашивания и действия агрессивных сред. Установлено, что этим условиям отвечают керамические композиты на основе карбида кремния и оксида алюминия, которые характеризуются высоким уровнем физико-механических свойств, а также являются недорогими и недефицитными материалами. Определено, что укрепляющая карбидокремниевая фаза активного взаимодействия с однокомпонентными расплавами проходит образованием силицидов при горячем прессовании. Результаты исследований могут быть применены экспертами трибологами, материаловедами, а также специалистами в области эксплуатации и ремонта технических систем.

**Ключевые слова:** износостойкость, коррозионная стойкость, карбидокремниевые покрытия.

#### ABSTRACT

*Andrey Dovgal, Igor Trofimov, Lyudmila Priymak,  
National Aviation University, troffi@ukr.net*

### STRUCTURE AND TRIBOTECHNICAL PROPERTIES OF DETONATION COMPOSITION SILICON-CARBIDE COVERAGES

The article deals with the problem of improving the wearing and corrosion resistance of machine parts, the issue is relevant in conditions the equipment operation at high speeds and loads. The main purpose of the research was to study ceramic composite materials, which are highly resistant to the intensive wearing and adverse environment. It has been established that these requirements are met by ceramic composites based on silicon carbide and aluminum oxide, which have high levels of physical and mechanical properties while being inexpensive and accessible materials. It is defined that the strengthening carbide phase of an active interaction with single-component melts takes place with silicide formation under hot pressing. The research results can be applied by experts in the fields of tribology, materials specialists, and experts in the field of operating and maintaining technical systems.

**Key words:** wear resistance, corrosion resistance, silicon-carbide coverages..

УДК 621.891

### III-3. МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГРАНИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ СЛОЕВ ТРИБОТЕХНИЧЕСКОМ КОНТАКТЕ *Оксана*

*Микосянчик*

Температурный метод оценки смазочной способности масел при граничной смазке, разработанный Р.М. Матвеевским, находит широкое применение при анализе зависимостей коэффициента трения от температуры. Использование данного метода позволяет определить первую критическую температуру, температуру химической модификации поверхности и вторую критическую температуру, при превышении которой интенсифицируются процессы

изнашивания модифицированного слоя. Однако величины определяемых данным методом критических температур граничных смазочных слоев, резко снижаются при пластических деформациях элементов трибосопряжений. Поэтому оценка значений критических температур по предложенному методу производится при контактных давлениях, практически исключающих пластическую деформацию контактных поверхностей.

реальных узлах трения большинства механизмов фрикционное взаимодействие пар трения происходит при давлениях, приводящих к упруго-пластической деформации контактных поверхностей, и скоростях скольжения, обуславливающих появление высоких градиентов скорости сдвига смазочных слоев. Поэтому перспективным направлением является разработка методики оценки стойкости сформированных граничных смазочных слоев в условиях, максимально приближенным к эксплуатационным условиям работы пар трения.

Целью исследований стало разработка методики оценки температурно-механической стойкости граничных пленок смазочного материала в условиях качения с переменным скольжением при нагрузках, приводящих к упруго-пластической деформации элементов трибосопряжений.

**Методика оценки температурно-механической стойкости граничных пленок смазочного материала.** Разработанная методика оценки температурно-механической стойкости граничных пленок, заключается в следующем:

- провести приработку контактных поверхностей в нестационарных условиях трения (режим пуск – остановка);
- при контактном давлении по Герцу (100–500 МПа) в условиях качения с разной степенью проскальзывания (от 3 до 40 %) создать условия обильного поступления исследуемого смазочного материала в зону трения;
- провести наработку до стабилизации основных триботехнических показателей контакта (толщины смазочного слоя на стоянке, в пусковой период и в период, соответствующий выбранным максимальным скоростям качения опережающей и отстающей поверхностей; коэффициента трения; удельной работы трения), которые характеризуют формирование стабильного граничного слоя компонентами смазочного материала;
- прекратить подачу смазочного материала в зону трения, ветошью удалить остатки смазочного материала с контактных поверхностей;
- фиксировать изменение основных триботехнических показателей контакта до проявления первых признаков схватывания контактных поверхностей;
- провести оценку условий возникновения заедания по критической температуре в зоне контакта элементов трибосопряжения, рассчитанной по Блоку.

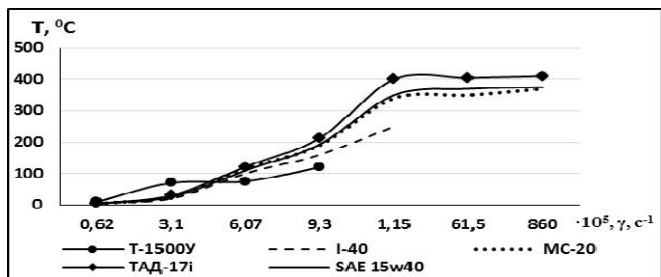


Рис. 1. Локальное приращение температуры ( $T$ ) в контакте в период деструкции граничных смазочных пленок при увеличении градиента скорости сдвига ( $\gamma$ ).

**Результаты исследований и их обсуждение.** При оценке температурной и механической стойкости граничных пленок использовались базовые масла различной вязкости и смазочные материалы с различными полифункциональными присадками.

Исследуемое трансформаторное масло Т-1500У, которое характеризуется наименьшей вязкостью, формирует на контактных поверхностях граничные пленки, которые проявляют эффективную защиту контактных поверхностей от схватывания при градиентах скорости сдвига до  $6,2 \cdot 10^4 \text{ с}^{-1}$ . В нестационарном режиме работы первые признаки схватывания контактных поверхностей проявлялись на 90-й минуте работы элементов трибосопряжения (рис.1). При этом максимальное приращение температуры составило  $10^\circ\text{C}$  (рис. 2).

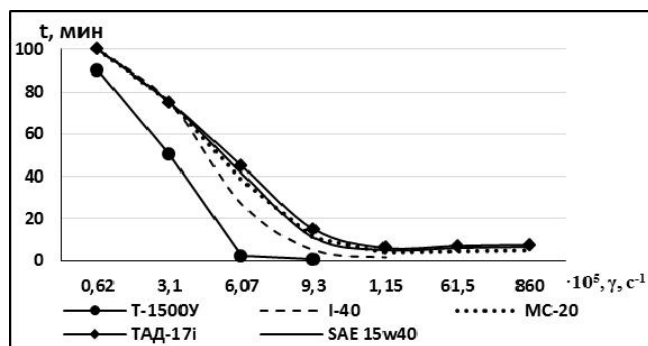


Рис. 2. Время работы пар трения ( $T$ ) до проявления первых признаков схватывания при изменении градиента скорости сдвига ( $\gamma$ ).

Увеличение градиента скорости сдвига до  $3,14 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$  сокращает вдвое период наработки до проявления первых признаков схватывания элементов трибосопряжения, прирост локальной температуры при схватывании составил  $70^\circ\text{C}$ . При  $\gamma > 6,07 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$  данные граничные слои смазочного материала полностью утрачивают свои защитные свойства – происходит резкий прирост температуры и схватывание контактных поверхностей.

Наиболее вязкое исследуемое масло MC-20, не содержащее присадок, формирует граничные смазочные слои, которые характеризуются механической стойкостью к градиентам скорости сдвига до  $6,07 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$ . Первые признаки схватывания проявляются лишь на 38-й минуте работы, локальный прирост температуры при этом составил  $115^\circ\text{C}$ . Защитные свойства граничных пленок данного смазочного материала с увеличением  $\gamma$  до  $8,6 \cdot 10^7 \text{ с}^{-1}$  резко ухудшаются: на 5-й минуте работы установлены первые признаки схватывания, при этом локальное приращение температуры составляет  $370^\circ\text{C}$ .

Введение в базовую основу противоизносной присадки Англамол-82 (активные элементы: S – 10,5 %, Cl – 2,8 %, P – 0,3 %) повышает температурную и механическую стойкость сформированных граничных слоев в нестационарных условиях трения. Например, если первые признаки схватывания контактных поверхностей при использовании масла I-40 без присадок проявлялись при градиенте скорости сдвига граничных пленок  $6,07 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$  на 27 минуте работы пар трения после прекращения подачи смазочного материала, то добавление 1 и 3 % присадки увеличивает продолжительность периода до схватывания

1,3 и 1,55 раз соответственно (рис. 3). Наличие присадки в базовой основе повышает и температурную стойкость к деструкции граничных слоев: локальное приращение максимальных температур при схватывании больше на 5 и  $17^\circ\text{C}$  при наличии 1 и 3 % присадки соответственно (рис. 4).

увеличением скорости скольжения при качении с проскальзыванием происходит повышение локальных температур в контакте, что обуславливает сокращение периода работы контактных поверхностей до проявления первых признаков схватывания.

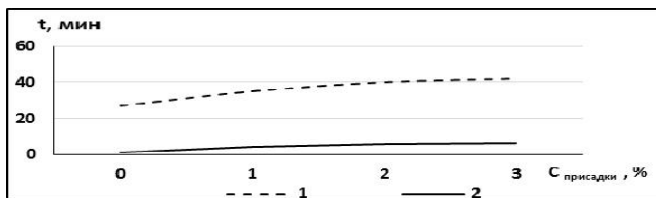


Рис.3. Время работы пар трения ( $T$ ) до проявления первых признаков схватывания пар трения в зависимости от концентрации присадки ( $C$ ):

$$- \gamma = 6,0 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}; 2 - \gamma = 6,0 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}.$$

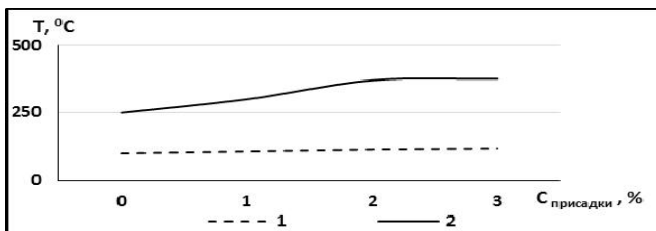


Рис.4. Локальное приращение температуры ( $T$ ) в контакте при первых признаках схватывания пар трения в зависимости от концентрации присадки ( $C$ ):

$$- \gamma = 6,0 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}; 2 - \gamma = 6,0 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}.$$

Так, при проскальзывании 40 % схватывание пар трения в условиях прекращения подачи смазочного материала наступает через 1,5 мин при использовании базового масла И-40 без присадок. При этом  $\gamma$  составляет  $6,0 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$ , а локальное приращение температуры – 250 °C. Добавление присадки Англамол-82 в концентрации 3 % увеличивает время работы элементов трибосопряжения до наступления схватывания в 4,3 раза, а температура начала деструкции граничных слоев повышается на 125 °C (рис. 5,6).

Таким образом, введение противоизносной присадки обеспечивает формирование в контакте более стойких к механо-термической деструкции граничных слоев, которые характеризуются эффективными свойствами в плане предотвращения схватывания контактных поверхностей в критических условиях трения.

Таким образом, основными выводами этой работы являются:

Впервые апробирована методика оценки температурно-механической стойкости граничных пленок смазочных материалов в условиях, приводящих к упруго-пластической деформации контактных поверхностей, и скоростях скольжения, обуславливающих появление высоких градиентов скорости сдвига смазочных слоев.

Критерием оценки условий возникновения заедания является критическая температура в зоне контакта элементов трибосопряжения, рассчитанная по Блоку.

Увеличение вязкости базовой основы смазочных материалов и добавление противоизносных присадок повышает температурную стойкость сформированных граничных слоев в широком диапазоне градиентов скорости сдвига и увеличивает время работы элементов трибосопряжения до проявления первых признаков схватывания контактных поверхностей.

## РЕФЕРАТ

*Оксана Микосянчик,*

*Національний авіаційний університет, oksana.mikos@bk.ru*

### **МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНО-МЕХАНІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ГРАНИЧНИХ ЗМАЩУВАЛЬНИХ ШАРІВ В ТРИБОТЕХНІЧНОМУ КОНТАКТІ**

Розглянуто застосування методики оцінки температурно-механічної стійкості граничних плівок умовах кочення з різним ковзанням при навантаженнях, що обумовлюють пружно-пластичну деформацію пар тертя. Критеріями оцінки деструкції граничних плівок є локальне підвищення температури, збільшення коефіцієнта тертя, поява перших ознак схоплювання контактних поверхонь умовах припинення подачі мастильного матеріалу. Проаналізовано вплив базової основи олів, концентрації протизношувальної присадки на температурно-механічну стійкість сформованих плівок граничних режимах мастильної дії.

**Ключові слова:** температурно-механічна стійкість, триботехнічний контакт, граничні плівки

## РЕФЕРАТ

*Оксана Микосянчик,*

*Национальный авиационный университет, oksana.mikos@bk.ru*

### **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ ГРАНИЧНЫХ СМАЗОЧНЫХ СЛОЕВ В ТРИБОТЕХНИЧЕСКОМ КОНТАКТЕ**

Рассмотрено применение методики оценки температурно-механической стойкости граничных пленок в условиях качения с переменным скольжением при нагрузках, приводящих к упруго-пластической деформации пар трения. Критериями оценки деструкции граничных пленок являются локальное повышение температуры, увеличение коэффициента трения, появления первых признаков схватывания контактных поверхностей в условиях прекращения подачи смазочного материала. Проанализировано влияние базовой основы масел, концентрации противоизносной присадки на температурно-механическую стойкость сформированных пленок в граничных режимах смазочного действия.

**Ключевые слова:** температурно-механическая стойкость, триботехнический контакт, граничные пленки

## ABSTRACT

*Oksana Mikosyanchik,*

*NAU, oksana.mikos@bk.ru*

### **TECHNIQUE FOR ASSESSMENT OF THE THERMAL AND MECHANICAL RESISTANCE OF THE BOUNDARY LUBRICATION LAYERS IN TRIBOLOGICAL CONTACTS**

The assessment of thermal and mechanical resistance of the boundary lubrication layers under rolling condition with variable slip and under load, resulting in the elastic-plastic deformation in the friction pairs, is presented. The criteria for evaluating the degradation of boundary layer, are the local increase in temperature, an increase in the friction coefficient, first signs of seizing of contact surfaces in conditions of the termination of the lubricant supply. The influence of the oils base, anti-wear additive concentration on thermal and mechanical resistance of layers formed in the boundary lubricating modes, are analyzed.

**Key words:** thermal and mechanical resistance, tribological contacts, boundary lubrication layers.

УДК 622.691

## **III-4. УПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКІВ**

### **ПИТОМИХ ВИКИДІВ ВУГЛЕВОДНІВ З РЕЗЕРВУАРІВ**

*Володимир Лісафін*

Транспортування нафти магістральними нафтопроводами з метою надійного та безперебійного забезпечення вуглеводневою сировиною споживача пов'язано з необхідністю використання резервуарних парків.

Останні за існуючою технологією транспортування нафти магістральними нафтопроводами на сьогоднішній день є основним джерелом викидів парів вуглеводнів в атмосферне повітря для даного технологічного процесу.

Різне географічне розташування резервуарних парків ПАТ "Укртранснафта", відмінності фізико-хімічних властивостей транспортованої нафти, різноманітність номінальних об'ємів і типів резервуарів для зберігання нафти, особливості технології перекачування нафти створюють складності та спричиняють суттєві розбіжності при оцінюванні питомих викидів вуглеводнів по окремих об'єктах.

Таким чином виникла необхідність створення типової методики, що б використовувала єдиний методологічний підхід щодо оцінювання усереднених показників питомих викидів від окремих резервуарів резервуарних парків магістральних нафтопроводів на підставі найбільш типових еколого-технологічних характеристик процесу.

Насамперед, виходячи з аналізу літературних джерел і практики експлуатації вищевказаних підприємств проведений аналіз та пропонується наступний методологічний підхід при класифікації втрат нафти і нафтопродуктів, при цьому не ставиться за мету чітко обмежити запропоновану класифікацію.

Усі втрати нафти і нафтопродуктів можна поділити за певними ознаками.

Через причини виникнення:

1.1 Експлуатаційні:

1.1.1 Якісні: -

обводнення; -

змішування; -

забруднення.

1.1.2 Кількісні:

- розбризкування;

- розлив;

- неповний злив стаціонарних та транспортних ємностей.

1.2 Природні (від випаровування):

- при зливно-наливних операціях;

- в резервуарах ("малі" дихання, "великі" дихання, "зворотний видих", втрати від вентиляції газового простору або газовий сифон).

1.3 Аварійні:

перелив ємностей;

втрата герметичності ємностей і трубопроводів, у т.ч. через витоки (корозія металу, дефекти основного металу та зварних з'єднань ємностей та трубопроводів та інш.), а також через несанкціоновані врізання;

аварії через природні катаклізми.

За призначенням об'єкту:

морські нафтові термінали;

нафтоперекачувальні станції;

нафтобази;

автозаправні станції (АЗС);

бази змішування;

товарно-сировинні парки нафтопереробних заводів;

відомчі склади нафти і нафтопродуктів;

інші.

За місцем виникнення:

в резервуарах;

в трубопроводах;

в транспортних ємностях;

в зливно-наливних пристроях;

інше.

За видом технологічних операцій:

зберігання у ємностях;

приймання нафти або нафтопродуктів в резервуар;  
відвантаження нафти або нафтопродукту з резервуара;  
транспортування трубопроводами, у т.ч. послідовне перекачування;  
відвантаження продукту в транспортні ємності (судна, залізничні цистерни, автомобільні цистерни, налив у дрібну тару);  
при відборі проби продукту з резервуара;  
інші.

За ступенем групування:  
технологічні;  
від випаровування;  
загальновиробничі.

За масштабами оцінювання:  
в окремому об'єднанні;  
в окремих виробничих цехах;  
в межах структурного виробничого підрозділу;  
у межах структури підприємства, відомства.

За методом визначення:  
розрахунково-аналітичний;  
експериментальний;  
звітно-статистичний.

За ступенем агрегації:  
за окремими складовими (компонентами);  
за окремими сортами нафтопродуктів чи типами нафт;  
групові.

За тривалістю терміну оцінювання:  
оперативні;  
річні (валові);  
біжучі;  
перспективні.

Оцінювання за відношенням:

до одиниці маси;  
до одиниці об'єму;  
до одиниці часу:

до протяжності трубопроводу;  
до кількості продукту в резервуарі, що, приймається, зберігається або відвантажується;

до окремої стаціонарної або транспортної ємності;  
до поверхні випаровування;  
інші.

За ступенем утилізації  
безповоротні;  
такі, що утилізуються повністю;  
такі, що утилізуються частково.

Запропонована класифікація, претендуючи на певну повноту, є необхідною, оскільки дозволяє передбачати причини втрат, виявляти їх джерела і розробляти заходи з їх зменшення. При цьому вона може розглядатися як умовна.

На підставі експериментальних і теоретичних досліджень розроблена та впроваджена методика оцінювання втрат нафти від випаровування в резервуарних парках нафтоперекачувальних станцій. Методика враховує технологічні аспекти транспортування нафти, її властивості, температурний режим експлуатації резервуарів та інші фактори.



Узагальнені результати розрахунків питомих викидів парів нафти під час її зберігання процесі транспортування магістральними нафтопроводами характеризуються наступними значеннями:

для резервуарів, оснащених механічними та гідравлічними дихальними клапанами (без підігріву):

режим постанційного перекачування – 0,650–1,345 кг/на тонну;

режим з підключеним резервуаром – 0,101–0,207 кг/на тонну;

режим ”через резервуар” – 0,114–0,233 кг/на тонну;

для резервуарів з понтоном:

режим постанційного перекачування – 0,017–0,032 кг/на тонну;

- режим з підключеним резервуаром – 0,01–0,023 кг/на тонну;

- режим ”через резервуар” – 0,012–0,026 кг/на тонну; для

резервуарів з плаваючою покрівлею:

режим постанційного перекачування – 0,014–0,029 кг/на тонну;

режим з підключеним резервуаром – 0,008–0,017 кг/на тонну;

режим ”через резервуар” – 0,011–0,024 кг/на тону;

Більш точно показники емісії вуглеводнів нафти під час експлуатації резервуарів можна знайти шляхом організації системи моніторингу викидів. При цьому слід виконати значний обсяг робіт з інструментальних замірів параметрів газоповітряних сумішей, що виходять з організованих джерел – витрату та концентрацію парів, що визначаються з урахуванням діючих нормативних вимог.

Використання усереднених питомих викидів під час інвентаризації дозволяє оцінити викиди розрахунковим методом на підставі найбільш зручних еколого-технологічних характеристик процесу транспортування і зберігання нафти у резервуарних парках, а також встановлює єдиний підхід у визначенні питомих викидів.

Розроблені нормативи питомих викидів використовуються підприємствами ПАТ ”Укртранснафта” для сплати екологічного податку.

## РЕФЕРАТ

*Володимир Лисафін,*

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, V.Lisafin@gmail.com*

### УПРОВАДЖЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКІВ ПИТОМИХ ВИКИДІВ ВУГЛЕВОДНІВ З РЕЗЕРВУАРІВ

Розглянуті результати впровадження показників емісії вуглеводнів в атмосферне повітря в резервуарних парках магістральних нафтопроводів системи ПАТ «Укртранснафта». Показники емісії отримані на підставі експериментальних даних і базуються на розробленій методиці розрахунку валових втрат нафти від випаровування в резервуарах нафтоперекачувальних станцій. Методика враховує технологічні аспекти транспортування і зберігання нафти, температурний режим експлуатації резервуарів, наявність засобів скорочення втрат, фізико-хімічні властивості нафт та інші фактори. Наведені результати розрахунків питомих викидів парів нафти під час її зберігання. Використання усереднених питомих викидів встановлює єдиний підхід у їх визначенні. Показники емісії використовуються для сплати екологічного податку підприємствами ПАТ «Укртранснафта».

**Ключові слова:** нафтопровід, резервуар, нафта, випаровування, емісія.

## РЕФЕРАТ

*Владимир Лисафин,*

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, V.Lisafin@gmail.com*

### ВНЕДРЕНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА УДЕЛЬНЫХ ВЫБРОСОВ ПАРОВ УГЛЕВОДОРОДОВ ИЗ РЕЗЕРВУАРОВ

Рассмотрены результаты внедрения показателей эмиссии углеводородов в атмосферный воздух в резервуарных парках магистральных нефтепроводов системы ПАО «Укртранснефть». Показатели эмиссии получены на основании экспериментальных данных и базируются на разработанной методике

расчета валовых потерь нефти от испарения в резервуарах нефтеперекачивающих станций. Методика учитывает технологические аспекты транспортировки и хранения нефти, температурный режим эксплуатации резервуаров, наличие средств сокращения потерь, физико-химические свойства нефтей и другие факторы. Приводятся результаты расчетов удельных выбросов паров нефти во время ее хранения. Использование осредненных удельных выбросов устанавливает единый подход в их определении. Показатели эмиссии используются для оплаты экологического налога предприятиями ПАО «Укртранснефть».

**Ключевые слова:** нефтепровод, резервуар, нефть, испарение, эмиссия.

#### ABSTRACT

*Volodymyr Lisafin,*

*Ivano-Frankivsk National University of Oil and Gas, V.Lisafin@gmail.com*

#### INTRODUCTION OF THE TECHNIQUE FOR CALCULATION OF SPECIFIC EMISSIONS OF HYDROCARBON VAPORS FROM TANKS

The results of the introduction of indices of hydrocarbons emission into an ambient air from the tank fields of main oil pipelines of PJSC «Ukrtransnafta», were studied. The emission indices were obtained on the base of experimental data and they are developed on the base of technique for calculation of total oil losses from evaporation in storage tanks of oil pumping stations. The method takes into account the technological aspects of oil transportation and storage, temperature mode of a storage tank operation, availability of equipment for losses reducing, physical and chemical properties of oils and other factors. The results of calculation of the specific emissions of oil vapors during its storing, were presented. Using the average specific emissions establishes a uniform approach in their definition. Emission indices are used for the payment of environmental tax by facilities of PJSC «Ukrtransnafta».

**Key words:** oil pipeline, storage tank, oil, evaporation, emission.

УДК 621.892.27+665.765

### III-5. РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМАЗОК НА ОСНОВЕ ПОЛИДИЭТИЛСИЛОКСАНА И ТИТАНСОДЕРЖАЩЕГО КРЕМНЕЗЕМА

*Денис Щербаков, Николай Борисенко, Елена Гончарук, Игорь Войтко*

настоящее время наряду с традиционными мыльными смазками все шире применяются консистентные смазки на основе соединений кремния (Si-смазки). В качестве

загустителей в Si-смазках используют исходные и модифицированные (в том числе и оксидами различных металлов) аэросилы, осажденные кремнеземы и силикагели,

дисперсионной средой служат кремнийорганические полимеры. Отсутствие вредного воздействия на организм и экологическая безопасность позволяют применять Si-смазки в механизмах пищевой промышленности; их целесообразно использовать в узлах трения машин, работающих при высоких температурах, в агрессивных средах, в условиях вакуума и влияния радиации.

данной работе изучено влияние содержания и состава наполнителя на реологические свойства смазок на основе полидиэтилсилоксана и нанокомпозитов диоксидов кремния и титана  $TiO_2/SiO_2$ . Эти системы проявляют хорошие высокотемпературные свойства и механическую стабильность. В качестве дисперсной фазы Si-смазок использовали высокодисперсный пирогенный кремнезем  $SiO_2$  А-380 (КОЭЗ ИХП НАН Украины) с удельной поверхностью ( $S_{уд}$ )  $362 \text{ м}^2/\text{г}$  и нанокомпозиты  $TiO_2/SiO_2$ , а дисперсионной средой служила кремнийорганическая жидкость ПЭС-5 (ГОСТ 13004-77).

Нанокомпозиты с содержанием 2 и 5 %  $TiO_2$  были получены методом химического модифицирования. Синтез  $TiO_2(2 \text{ \%})/SiO_2$  проводили в стеклянном двугорлом реакторе с пропеллерной мешалкой и обратным холодильником. В реактор помещали 9,11 г раствора титан-диизопропоксид-бис(ацетил-ацетоната) (DuPont, 75 % раствор  $Ti(acac)_2OiPr_2$  в изопропанол), затем добавляли  $1,5 \text{ дм}^3$  изопропанола и 98 г А-380. С помощью

ротационного испарителя отгоняли растворитель. Образцы прокаливали по 0,5 ч. при температурах 150, 200, 300, 400 и 500 °С. Для получения TiO<sub>2</sub>(5 %)/SiO<sub>2</sub> использовали 22,78 г раствора Ti(acac)<sub>2</sub>OiPr<sub>2</sub> и 95 г А-380. При увеличении концентрации TiO<sub>2</sub> с 2 до 5 % масс. в нанокompозитах TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> S<sub>уд</sub> уменьшается до 314 и 297 м<sup>2</sup>/г, по сравнению с исходным SiO<sub>2</sub> (362 м<sup>2</sup>/г).

Смазки получали путем диспергирования загустителей в ПЭС-5 при комнатной температуре с последующей гомогенизацией, при этом смесь масла и кремнеземного нанокompозита четырежды пропускали через гомогенизатор – лабораторные валцы.

Таблица 1

Состав и результаты испытаний кремнеземных смазок

№	Название	Состав загустителя	Пенетрация, м·10 <sup>-4</sup>	Класс пенетрации
1	Si2	2 % А-380	-	-
2	Si5	5 % А-380	340	I
3	Si7	7 % А-380	279	II
4	Si10	10 % А-380	203	IV
5	SiTi3	15 % TiO <sub>2</sub> (2%)/SiO <sub>2</sub>	279	II
6	SiTi4	20 % TiO <sub>2</sub> (2%)/SiO <sub>2</sub>	181	IV
7	SiTi7	15 % TiO <sub>2</sub> (5%)/SiO <sub>2</sub>	294	II
8	SiTi8	20 % TiO <sub>2</sub> (5%)/SiO <sub>2</sub>	180	IV

Измеряли показатель пенетрации смазок (ГОСТ 5346), по которому смазки были разделены по классам: I – слабоструктурированные системы, II – пластичные смазки, III – высоковязкие смазки и IV – твердые пасты. Пенетрация измеряется в м·10<sup>-4</sup> по глубине погружения конуса определённой стандартной формы и массы в смазку под воздействием силы тяжести в течение стандартизованного времени 5 с при температуре 25 °С.

Реологические свойства смазок исследовали с помощью ротационного вискозиметра Rheotest 2.1 с использованием цилиндрической системы S/S3 в диапазоне скоростей сдвига с 0,33 до 145,8 с<sup>-1</sup> при температуре 20 °С.

Исходный ПЭС-5 является ньютоновской жидкостью, вязкость которой не зависит от скорости сдвига и составляет 0,26 Па·с. При добавлении в качестве загустителей наночастиц SiO<sub>2</sub> (А-380) и синтезированных нанокompозитов TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> смазка представляет из себя двухфазную систему «жидкость – наночастицы», для которой характерно неньютоновское реологическое поведение: при увеличении градиента скорости сдвига вязкость очень существенно и в то же время обратимо снижается (рис. 1 а, б). Петля гистерезиса между кривыми, полученными в режиме увеличения скорости сдвига, и кривыми, полученными при последующем снижении скорости сдвига свидетельствует о тиксотропном характере исследуемых образцов (рис. 1). Такие закономерности наблюдаются для всех исследованных смазок. Исходя из кривых пластичного течения (рис. 1 в) исследуемые системы можно охарактеризовать как нелинейно вязко-пластичные бингамовские жидкости, поведение которых описывается уравнением  $P = P_T + k\dot{\gamma}^n$ . Для смазки SiTi3 предел текучести  $P_T = 263$  Па, а величина  $P_m$ , характеризующая прочность образованной структуры, составляет 400 Па (рис. в). Из реологических кривых вязкости  $\eta = f(P)$  (рис. 1 г) были оценены параметры при разрушении супрамолекулярной структуры смазок в результате нагрузки.

табл. 2 приведены значения наибольшей вязкости системы с практически неразрушенной структурой  $\eta_0$ , эффективная вязкость ( $\eta$ ) системы с частично разрушенной структурой (при  $\dot{\gamma} = 48,6$  с<sup>-1</sup>), что характеризует прочность структуры смазок.

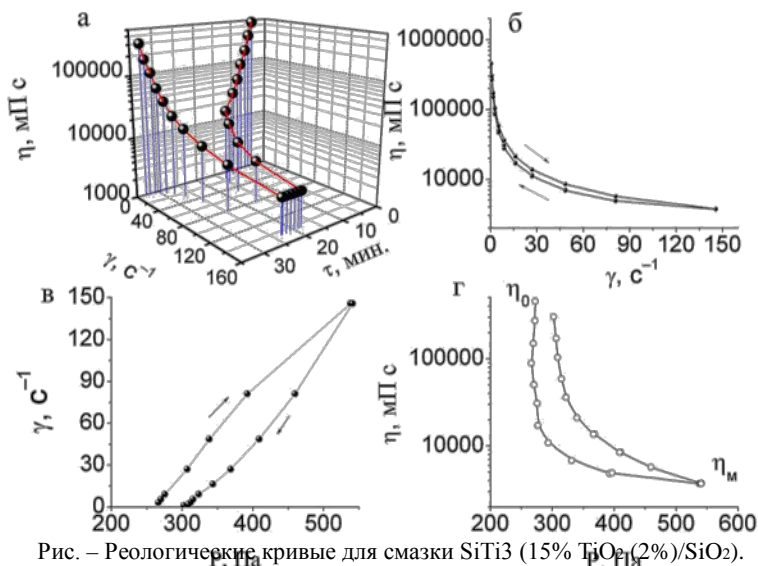


Рис. – Реологічні криві для смазки SiTi3 (15% TiO<sub>2</sub>(2%)/SiO<sub>2</sub>).  
 – ефективна вязкість, P – напруження сдвига, γ – швидкість сдвига, τ – время.

Таблиця 2

Наибольшая вязкость ( $\eta_0$ ), эффективная  $\eta$  вязкость при  $\gamma = 48,6 \text{ c}^{-1}$  и относительная вязкость смазок.

№	Название	$\eta_0$ , Па·с ( $\gamma=5,4 \text{ c}^{-1}$ )	$\eta$ , Па·с ( $\gamma=48,6 \text{ c}^{-1}$ )	$\eta_r$ ( $\gamma=5,4 \text{ c}^{-1}$ )	$\eta_r$ ( $\gamma=48,6 \text{ c}^{-1}$ )
1	Si2	0,740	0,490	2,85	1,88
2	Si5	28,400	4,440	109,23	17,08
3	SiTi1	0,765	0,375	2,94	1,44
4	SiTi2	1,450	0,990	5,58	3,80
5	SiTi3	48,400	6,870	186,15	26,42
6	SiTi5	0,640	0,415	2,46	1,57
7	SiTi6	1,530	1,100	5,88	4,23
8	SiTi7	51,460	8,180	197,92	31,46

Значения относительной вязкости (табл. 2), рассчитанные как отношение эффективной вязкости суспензии к динамической вязкости исходного ПЭС ( $r = \eta / \eta_{\text{ПЭС}}$ ) позволяют оценить загущающую способность исследуемых нанокомпозитов. Наиболее прочную структуру, из всех синтезированных, имеет смазка SiTi7 на основе загустителя TiO<sub>2</sub>(5%)/SiO<sub>2</sub>, с массовой долей загустителя 15 %, так как эта смазка имеет наибольшее значение наименьшей эффективной вязкости.

## РЕФЕРАТ

Денис Щербаков<sup>1</sup>, Микола Борисенко<sup>2</sup>, Олена Гончарук<sup>2</sup>, Ігор Войтко<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, <sup>2</sup> Інститут хімії поверхні ім. О.О. Чуйки Національної академії наук України, borysenko@naverex.kiev.ua

### РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МАСТИЛ НА ОСНОВІ ПОЛІДІЕТИЛСИЛОКСАНУ І ТИТАНВМІСНОГО КРЕМНЕЗЕМУ

даній роботі було досліджено вплив пірогенного кремнезему та нанокомпозитів TiO<sub>2</sub>/SiO<sub>2</sub> на реологічні властивості мастил на основі полідіетилсилоксану. Реологічна поведінка досліджених мастил відповідає неньютонівським в'язко-пластичним бінгамовським рідинам, що є характерним для пластичних мастил. Всі досліджені системи демонструють тиксотропні властивості, які проявляються незначному руйнуванні структури мастила в процесі вимірювання і подальшому її відновленні.

Найбільш міцну структуру системи з усіх синтезованих має мастило на основі загущувача  $\text{TiO}_2(5\%)/\text{SiO}_2$ , з масовою часткою загущувача 15 % мас.

**Ключові слова:** пірогенний діоксид кремнію, діоксид титану, нанокompозити, реологічні властивості, пластичне мастило.

#### РЕФЕРАТ

*Денис Щербаков<sup>1</sup>, Николай Борисенко<sup>2</sup>, Елена Гончарук<sup>2</sup>, Игорь Войтко<sup>1</sup>,  
Национальный авиационный университет, Институт химии поверхности им. А.А. Чуйко  
Национальной академии наук Украины, borysenko@naverex.kiev.ua*

#### РЕОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СМАЗОК НА ОСНОВЕ ПОЛИДИЭТИЛСИЛОКСАНА И ТИТАНСОДЕРЖАЩЕГО КРЕМНЕЗЕМА

работе было исследовано влияние пирогенного кремнезема и  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  нанокompозитов на реологические свойства смазок на основе полидиэтилсилоксана. Реологическое поведение исследованных смазок отвечает неньютоновским вязко-пластичным бингамовским жидкостям, что является характерным для пластичных смазок. Все исследованные системы демонстрируют тиксотропные свойства, которые проявляются в незначительном разрушении структуры смазки в процессе измерения и последующем ее восстановлении. Наиболее прочную структуру системы, из всех синтезированных, имеет смазка на основе загустителя  $\text{TiO}_2(5\%)/\text{SiO}_2$ , с массовой долей загустителя 15 % масс.

**Ключевые слова:** пирогенный диоксид кремния, диоксид титана, нанокompозиты, реологические свойства, пластичная смазка.

#### ABSTRACT

*Denis Shcherbakov<sup>1</sup>, Nikolai Borysenko<sup>2</sup>, Yelena Goncharuk<sup>2</sup>, Igor Voitko<sup>2</sup>,  
National Aviation University, Chuiko Institute of Surface Chemistry, NASU, borysenko@naverex.kiev.ua*

#### RHEOLOGICAL PROPERTIES OF LUBRICANTS BASED ON POLYDIETHYLSILOXANE AND TITANIA-SILICA

The effect of fumed silica and  $\text{TiO}_2/\text{SiO}_2$  nanocomposites on the rheological properties of lubricants based on polydiethylsiloxane, was studied. The rheological behavior of the investigated compositions corresponds to non-Newtonian visco-plastic Bingham fluids, which is typical for lubricants. All studied compositions demonstrate thixotropic properties, which are appeared as the insignificant destruction of the lubricant structure during the measurement, and its subsequent recovery. The lubricant containing 15 % wt. of thickener  $\text{TiO}_2(5\%)/\text{SiO}_2$  has the most strengthened structure among the all synthesized fluids.

**Key words:** fumed silica, titania, nanocomposites, rheological properties, plastic grease.

УДК 665

### III-6. ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЛУЖНИХ МАСТИЛ

*Євген Кобилянський*

Перші згадки про одержання пластичних мастил ми знаходимо у давньоєгипетських наскальних написах, присвячених будівництву пірамід (рис. 1).

На рис. 1 давньоєгипетський жрець-алхімік ле під статуєю, що пересувають по кам'яній доріжці, суспензію гашеного вапна в олії. Під впливом високої температури і тиску гідроксид кальцію омилює тригліцериди олії, а утворені кальційові солі вищих жирних кислот структуруються з утворенням колоїдної системи, що, якщо поглянути на неї очима сучасного дослідника, можна було б назвати солідолом. Таким чином, перше пластичне мастило, причому, мастило з високо екологічними загусниками – кальційові солі вищих жирних кислот рослинного походження і дисперсійним середовищем – олія, відомі з часів фараона Хеопса. Його давні єгиптяни одержали ще в еру Телья, за багато тисяч років до початку промислового видобутку нафти в Галичині й у Філадельфії. Причому слід відзначити, що перше пластичне мастило одержували прямо на місці його використання, що мало як свої переваги, так і недоліки. З одного боку одержання мастила безпосередньо на

місці його використання виключало низку етапів, призначених забезпечити ефективну його експлуатацію, наприклад пакування і зберігання готового мастила, його транспортування тощо. У той же час, одержання мастила, умовно кажучи прямо у “вузлі тертя” означає його одноразове застосування і наступну утилізацію уживаного мастила у тому ж таки “вузлі тертя”, що за умови більш масштабного використання породжувало б певні екологічні проблеми. Втім, використання мастил в епоху будівництва пірамід було спорадичним, тоді про можливі екологічні проблеми навіть не підозрівали та й слова такого ще не було.

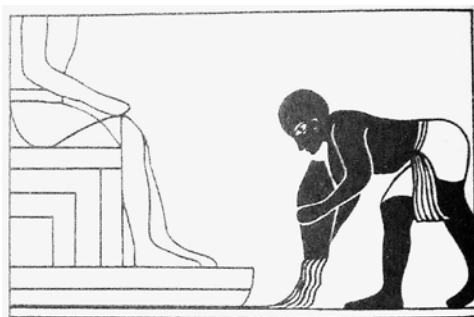


Рис.1. Давньоєгипетський жрець-алхімік

Важливим чинником суспільного життя мастила стали лише в XIX-XX століттях уже християнської ери, в часи тотальної переорієнтації техніки на нафтопродукти, коли останні стали одним з найефективніших та найважливіших мастильних матеріалів.

Оливи та пластичні мастила – два найпоширеніші види мастильних матеріалів, як за об’ємом виробництва, так і за сферами застосування. Ще 3-4 десятиліття тому превалювала думка, що призначенням жорсткого структурного каркасу є утримування мастила у відкритих вузлах тертя та полегшення подачі до поверхонь тертя оливи, що є істинним мастильним матеріалом. Втім, уже в останній третині XX ст. з’явилися мастила, загущені тримірними колоїдними системами, зокрема, мастила на органічних загусниках, що, завдяки присутності в їх молекулярних структурах різноманітних функціональних груп, здатні взаємодіяти з поверхнями тертя і, отже, впливати на хімізм трибологічних процесів.

Вплив загусника на трибо-хімічні та інші фізико-хімічні процеси у зонах тертя став ще очевиднішим з появою в кінці XX – на початку XXI ст. сульфатних (Su) та інших одержаних автором поліфункціональних надлужних мастил – алкілсаліцилатних (As) і амінометилфенолятних (Fn).

Надлужні мастила з поліфункціональними загусниками, що проявляють в процесах різновекторного руйнування цілісності колоїдних мастильних систем яскраво виражену антидеструктивну дію, враховуючи їх високу екологічність, являються найефективнішими найперспективнішими мастилами сучасності. За умови оптимізації рецептури і технології монофункціональних надлужних мастил вони здатні витіснити з ринку більшість сучасних мастил загального призначення.

Щодо поліфункціональних надлужних мастил – сульфатного, алкілсаліцилатного та амінометилфенолятного – вони іманентно за своїми фізико-хімічними й експлуатаційними характеристиками переважають практично всі відомі нині неспеціалізовані мастила і можуть успішно функціонувати у багатьох сучасних важконавантажених і високотемпературних вузлах тертя та у вузлах тертя, які функціонують під дією різновекторних стрес-чинників, в агресивних і запиленних середовищах і за ударних навантажень. Особливо треба підкреслити, що поліфункціональні надлужні мастила можна використовувати для змашування машин і механізмів харчової промисловості, оскільки завдяки їхнім високо

екологічним характеристикам допускається короткочасний контакт цих мастил з харчовими продуктами.

Дослідження надлужних мастил методом ІЧ-спектроскопії засвідчило, що поверхневий шар карбонатних ядер міцел надлужних систем має кальцитну поліморфну модифікацію. Карбонатна природа ядер міцел є важливим чинником високих антиокиснювальних і антикорозійних властивостей надлужних систем, а кальцитний поверхневий шар міцелярних ядер забезпечує високі трибологічні характеристики надлужних мастил.

### **Трибологічні властивості**

Вивчення трибологічних властивостей дає змогу оцінювати роль і значення дисперсної фази для змашувальних властивостей надлужних мастил.

За величинами діаметрів слідів зношування на металі, захищеному мильними (комплексні літійові) і надлужними (Са-сульфонатне, Са-алкілсаліцилатне, Са-амінометилфенолятне) мастилами оцінювали їхні протизношувальні характеристики.

Дослідження на різних машинах тертя і за різними методиками (ГОСТ 9490, ASTM D 2509, ASTM D 2596, ASTM D 3704, DIN 51 834, Методика УкрНДІНП “МАСМА”) засвідчили, що за низьких навантажень основну роль в утворенні стійкого граничного шару відіграє гідроксид кальцію, присутній у вільному стані в міцелярних ядрах надлужних мастил.

За високих навантажень основну роль починає відігравати присутність в надлужних мастилах міцелярних ядер ектокальцитної будови, які руйнуються під дією високих навантажень у зонах контакту, утворюють на поверхнях металу з вивільнених кальцитних пелюсток найміцніші захисні плівки, які в літературі прийнято порівнювати з “риб’ячою лускою”. Такі плівки значно покращують трибологічні властивості поверхонь тертя.

Щодо комплексоутворюючих компонентів надлужних мастил, то в процесах тертя проявляється взаємодія між хемосорбтом, в першу чергу, амінометилфенолятом

метаборатом кальцію, який полегшує доступ молекул поверхнево-активного хемосорбату до поверхні металу, посилюючи хімічне модифікування останнього і покращуючи його трибологічні характеристики. А 12-гідроксистеарат кальцію, будучи ефективною ПАВ, стабілізує міцели тиксотропної системи, призводячи до посилення науглецювання поверхонь металу і їхнього неоднорідного зношування. Втім, сказане стосується проміжної структури, яка містить лише Са(оSt)<sub>2</sub> і нівелюється у кінцевій комплексній системі.

### **Антиокиснювальні властивості**

Надлужні мастила, завдяки своїй дисперсній фазі, що формується наномірними міцелами, ядра яких мають карбонатну природу і містять вільний Са(ОН)<sub>2</sub>, і що являють собою депо лужного запасу, але в першу чергу завдяки антиокиснювальним властивостям поверхнево-активних модифікаторів характеризуються високою стійкістю до дії окисників.

Для порівняння ефективності сульфонатного, алкілсаліцилатного й амінометилфенолятного модифікаторів зразки відповідних мастил окиснювали на установці окиснення динамічних умовах АС-2. Як окисник застосовували технічний кисень. Зразки окиснювали за 135 °С, режим ланцюгової реакції регулювали ініціатором – дикумілпероксидом.

Згідно з теорією рідкофазного окиснення швидкість окиснення органічних сполук визначають за формулою:

$$a \sqrt{W_{0i} W_i} \frac{dE}{dt}$$

де  $a$  – коефіцієнт швидкості окиснення або параметр, що характеризує окиснюваність органічних сполук;  $W_{0i}$  – швидкість утворення радикалів із субстрату;  $W_i$  швидкість утворення радикалів з ініціатора.

Параметр  $\alpha$  – величина стала за заданих умов проведення експерименту і в реакції субстрату з  $\text{RO}_2$  залежить лише від активності самого субстрату, тому величиною  $\alpha$  характеризують стійкість субстрату до окиснення.

Одержані результати рідкофазного окиснення надлужних простих мастил засвідчують згідно з, що найбільшим параметром  $\alpha$ , тобто найменшою стійкістю до окиснення характеризується просте сульфонатне мастило ( $\alpha_{\text{su}} = 4,32 \cdot 10^{-2}$ ). Просте алкілсаліцилатне мастило за стійкістю до окиснення переважає сульфонатне більше ніж у три рази ( $\alpha_{\text{As}} = 1,32 \cdot 10^{-2}$ ), що пов'язано, очевидно, з інгібуючою дією гідроксильної групи саліцилатного фрагмента. Просте амінометилфенолятне мастило більш, ніж у 2 рази стійкіше до окиснення від алкілсаліцилатного ( $\alpha_{\text{fn}} = 0,57 \cdot 10^{-2}$ ), що пояснюється як і у випадку високотемпературного додатка Борін особливостями будови молекули базової основи Манніха, що містить фрагмент просторово екранованого фенолу і амінометилфенольну групу, здатну утворювати хелатні комплекси з іонами перехідних металів і гальмувати окиснення зменшенням концентрації катіонів металів у дисперсійному середовищі. Таким чином ефективність надлужних амінометилфенолятних міцел, оболонки яких містять молекули Боріну, як і ефективність самого додатка Борін пов'язана як з обриванням окислювальних ланцюжків шляхом переведення активних пероксидних радикалів у більш стабільні фенокисьні, так і з руйнуванням перекисних сполук. Для молекул Боріну, в т.ч. і в оболонці міцели характерний внутрішньомолекулярний синергізм антиокиснювальної дії.

комплексних системах на антиокиснювальну активність впливають комплексотвірні компоненти.

Тримерні і тетрамерні аніони метаборату кальцію, сприяючи адгезійному “склеюванню” кальцитних пелюсток та утворенню пакетів пелюсток, спричинюють зменшення відкритої площі кальцитних поверхонь, а, отже, певна частина сульфонатних, алкілсаліцилатних чи амінометилфенолятних молекул, що раніше утримувався на кальцитних поверхнях, переходять у дисперсійне середовище і зв'язують присутні там катіони металів, сповільнюючи процеси окиснення.

12-гідроксистеарат кальцію, збільшуючи швидкість реакції розпаду гідропероксидів, прискорює процес окиснення. Однак, у комплексних системах кальцитно-метаборатні ядра зв'язують 12-гідроксистеаратні аніони і блокують їх каталітичну дію, що і пояснює більшу антиокиснювальну активність надлужних комплексних систем.

### **Захисні властивості**

Надлужні комплексні мастила характеризуються високими захисними властивостями, причому це відноситься і до сульфонатного, хоча стехіометрично нейтральний сульфонат, будучи сірчистою сполукою, схильний ініціювати корозію. Оскільки стехіометрично нейтральні алкілсаліцилат і амінометилфенолят мають антикорозійні властивості, вони покращують захисні характеристики сформованих ними мастил. Тому комплексні алкілсаліцилатне і амінометилфенолятне мастила характеризуються значно кращими захисними властивостями, ніж сульфонатне.

Захисні властивості надлужних комплексних мастил оцінювали в динамічних умовах, розраховуючи швидкість корозії підшипників кочення на основі експериментально визначених на приладі “Динакоротест” поляризаційних опорів.

Оцінюючи швидкості корозії підшипників кочення, змащених сульфонатним, алкілсаліцилатним чи амінометилфенолятним мастилом, визначали вплив відповідних хемосорбатів на їхні захисні характеристики.

Згідно з даними діаграми захисних властивостей надлужних мастил найбільша швидкість корозії у підшипників, захищених сульфонатним мастилом ( $i_k = 1,50 \cdot 10^{-5}$  м/рік). Захисні властивості алкілсаліцилатного мастила майже на порядок вищі ( $i_k = 0,17 \cdot 10^{-5}$  м/рік), а захисні властивості амінометилфенолятного мастила у 4 рази вищі, ніж у алкілсаліцилатного ( $i_k = 0,04 \cdot 10^{-5}$  м/рік).



Така вельми суттєва різниця пояснюється тим, що стехіометрично нейтральні алкілсаліцилат і амінометилфенолят кальцію, будучи інгібіторами корозії, утворюють на поверхні металу хемосорбатні плівки, які затримують міграцію іонів металу в об'єм мастила і спричинюють анодну поляризацію, що ефективно сповільнює утворення іонів.

#### РЕФЕРАТ

*Євген Кобылянський,  
УкрНДІНП "МАСМА", evdksas@gmail.com*

#### ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДЛУЖНИХ МАСТИЛ

Перші згадки про кальційові мастила зустрічаються на давньоєгипетських наскальних написах.

Під час науково-технічної революції XIX-XX ст. з'являються високоефективні мильні мастила та мастила на неорганічних і органічних загусниках, але одночасно з гіршими екологічними властивостями.

Одержані на початку XXI ст. кальційові надлужні комплексні мастила всупереч закономірності щодо взаємозалежності між експлуатаційними і екологічними властивостями рукотворних об'єктів характеризуються високими експлуатаційними і в той же час високими екологічними характеристиками.

**Ключові слова:** експлуатаційні характеристики, кальційові мастила.

#### РЕФЕРАТ

*Евгений Кобылянский,  
УкрНИИИП "МАСМА", evdksas@gmail.com*

#### ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СВЕРХЩЕЛОЧНЫХ СМАЗОК

Первые упоминания о кальциевых пластичных смазках встречаются на древнеегипетских наскальных написах. Во время научно-технической революции XIX-XX ст. появляются высокоэффективные мыльные смазки и смазки на неорганических и органических загустителях, но одновременно с худшими экологическими свойствами.

Полученные в начале XXI ст. кальциевые сверхщелочные комплексные смазки вопреки закономерности во взаимозависимости между эксплуатационными и экологическими свойствами рукотворных объектов характеризуются высокими эксплуатационными и в то же время высокими экологическими характеристиками.

**Ключевые слова:** эксплуатационные характеристики, кальциевые смазки.

#### ABSTRACT

*Evgen Kobylyanski,  
«Research institute «MASMA», evdksas@gmail.com*

#### PERFORMANCE PROPERTIES OF SUPER-ALKALI GREASES

The first mentions about the calcium plastic greasings meet on Ancient Egyptian rock Writings. During scientific and technical revolution of XIX-XX ct., the high-efficiency soapy greasings and greasings on inorganic and organic thiciners appeared, but they were simultaneously with worse ecolutional properties.

Obtained at the beginning of XXI ct. calcium superalkaline complex greasings, despite conformity to the law in interdependence between operating and ecological properties of man-made objects, have high operating and at the same time high ecolutional parameters.

**Key words:** performance properties, super-alkali greases.

УДК 661.721:662.7(043.2)

### III-7. PROJEKTOWANIE PROCESU TECHNOLOGICZNEGO CZĘŚCI KLASY WAŁ

*Dawid Latała, Maksymilian Mądziel*

Artykuł przedstawia zagadnienie projektowania procesu technologicznego wału stopniowego bez obróbki cieplnej. Właściwa część pracy charakteryzuje wybrane elementy procesu ramowego tego wału, takie jak przecinanie materiału, prostowanie, nakiełkowanie, frezowanie rowków wpustowych, wykonanie wielowypustów, gwintów oraz otworów.

Proces produkcyjny jest to całokształt wykonywanych czynności w wyniku których otrzymujemy gotowy wyrób. W skład procesu produkcyjnego wchodzi proces technologiczny i procesy pomocnicze. Procesy pomocnicze to m. in. prace remontowe, prototypowe, wytwarzanie narzędzi specjalnych, uchwytów jak i transport międzywydziałowy. Proces technologiczny stanowi główną część procesu produkcyjnego ponieważ w jego obrębie następują obróbka oraz montaż wytwarzanego wyrobu. Możemy tu wyróżnić procesy:

- obróbkowe,
- montażowe,
- obróbkowo-montażowe.

Proces technologiczny składa się z różnego rodzaju elementów składowych. Jednym z nich są operacje, które wykonuje się na jednym stanowisku przez grupę pracowników na danym przedmiocie obrabianym. Podstawową kwestią obróbki przedmiotu jest jego odpowiednie ustawienie, zwane zamocowaniem. Zamocowanie jest to unieruchomienie przedmiotu obrabianego z odpowiednio dużą siłą, która zapewni niezmienną położeńia podczas operacji technologicznej. Częścią składową zamocowania jest pozycja, która określa położenie przedmiotu obrabianego bez zmiany zamocowania w przyrządzie lub uchwycie względem zespołów roboczych obrabiarki.

Kolejnym elementem, który wchodzi w skład procesu technologicznego jest zabieg. Charakteryzuje się stałością parametrów obróbkowych, niezmiennością stosowanych narzędzi i środków technologicznych jak i obrabianej powierzchni. W technologii maszyn wyróżniamy dwa rodzaje zabiegów. Zabieg prosty, który odnosi się do obróbki jednym narzędziem przy stałych parametrach tylko jednej powierzchni oraz zabieg złożony, który odnosi się do obróbki zespołu powierzchni jednym narzędziem bądź zespołem narzędzi. W zabiegach można wyróżnić zdjęcia kolejnych warstw materiału, które nazywamy przejściami. Każdy zabieg można rozłożyć na czynności robocze np. zamocowanie przedmiotu, włączenie posuwu itd. Czynności robocze możemy również podzielić na ruchy elementarne zwane chwytami. Ruchami elementarnymi nazywamy najmniejsze z możliwych do zmierzenia części czynności np. wzięcie przedmiotu.

Wały występują w większości maszyn i urządzeń. Możemy je zaliczyć do elementów technologicznie prostych pomimo dużej różnorodności kształtów i wymiarów. Ogólny podział wałów jaki spotykamy w budowie maszyn to wał gładki, stopniowy, stopniowy z otworami oraz stopniowy w rowkami wpustowymi. Procesy technologiczne dla wałów mogą być opracowywane wg jednolitego procesu ramowego. Zróżnicowanie tych procesów następuje gdy wymagana jest np. obróbka cieplna, cieplno-chemiczna, otwory osiowe itd. Procesy technologiczne dla wałów związane są ze wszystkim z operacjami toczenia, szlifowania, gwintowania oraz wykonywania rowków wpustowych. Wymagania technologiczne jakie obecnie stawia się wałom są bardzo duże. Szczególnie ważna jest chropowatość powierzchni, współosiowość czopów, klasa dokładności oraz wiele innych wymogów. W budowie maszyn czopy wałów często wykonuje się w piątej lub szóstej klasie dokładności.

Odpowiednio zaprojektowany proces technologiczny jest istotny dla osiągnięcia zamierzonych przez konstruktora wymagań. Jednym z najczęściej stosowanych półfabrykatów na wały są pręty walcowe lub ciągnione. Często spotykane są również odkuwki w szczególności dla wałów, w których występują znaczne zmiany średnicy. W wyjątkowych okolicznościach spotykane są również wały odlewane.

Dla wałów istnieje wiele ramowych procesów technologicznych, na podstawie których możemy opracować ich dowolny kształt. Dla wałów stopniowych ramowe procesy będą zróżnicowane w zależności od obróbki cieplnej.

Na ramowy proces technologiczny wału stopniowego bez obróbki cieplnej składa się:

- przecinanie materiału,
- prostowanie,
- nakiełkowanie,
- obróbka zgrubna,
- obróbka kształtująca,

toczenie powierzchni stożkowych i kształtowych,  
 frezowanie rowków wpustowych,  
 wykonanie wielowypustów,  
 wykonanie gwintów na zewnętrznych powierzchniach walcowych,  
 wykonanie otworów poprzecznych,  
 obróbka wykańczająca,  
 kontrola jakości,  
 wykonanie otworu osiowego.

Przecinanie materiału dokonujemy przeważnie na przecinarkach. Przecinanie możemy podzielić na konwencjonalne i niekonwencjonalne. Do konwencjonalnych sposobów przecinania możemy zaliczyć przecinanie na różnego rodzaju tokarkach, przecinarkach ściernych oraz zębnych. Do przecinania na tokarkach służą nam przecinaki, których szerokość zależy od gabarytów przedmiotu ciętego. Szerokość przecinaków przedstawiono w tab. 1.

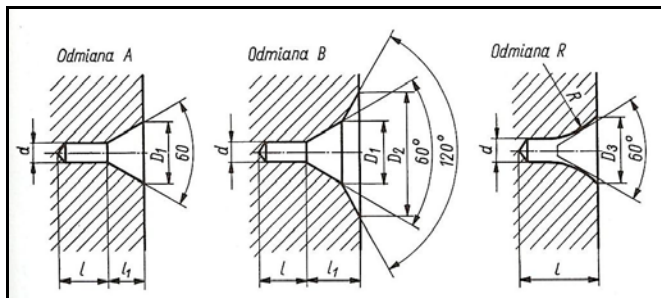
Niekonwencjonalne metody przecinania materiałów są coraz częściej wykorzystywane głównie do cięcia blach, a nie do cięcia wałów. Możemy do nich zaliczyć m.in. drążenie, przecinanie strumieniem wody, wycinanie elektroerozyjne itp.

Do powstawania odchyłek liniowych i odkształceń dochodzi najczęściej podczas obróbki termicznej, jak również podczas przecinania. Wszystkie odkształcenia muszą być usunięte przez prostowanie. Prostowanie dokonujemy w prostarkach, które wyposażone są w specjalne rolki ustawione pod kątem i po których przepuszczany jest pręt. Możemy tego również dokonywać na prasach i ta metoda jest popularna w szczególności dla wałów krótkich. Dokładność takiego prostowania jest mała, ponieważ najczęściej wykonywana jest bez specjalnego oprzyrządowania. Równie często prostowanie wykonujemy na tokarkach. Metoda ta jest często wykorzystywana zarówno dla półfabrykatów jak i dla przedmiotów już częściowo obrobionych. Prostowanie dokonujemy w kłach tokarki za pomocą ręcznej praski umieszczonej na łożu tokarki.

Tabela 1

Szerokości przecinaka w zależności od średnicy przecinanego materiału

Średnica pręta [mm]	Nóż obcinak, szerokość [mm]
>18	2
19–30	3
31–50	4
51–80	5
81–120	6
121–180	6



Rys. 1. Rodzaje nakiełków

Nakiełkowaniem nazywamy wykonanie bazy obróbkowej. Wymiary nakiełków dobieramy z normy PN-EN ISO 6411:2002 w zależności od średnicy wału. Normy rozróżniają trzy rodzaje nakiełków. Nakiełki zwykłe – odmiana A, które stosujemy do przedmiotów względem których jest wymagana duża dokładność, lub w przypadku gdy po paru operacjach nakiełek będzie

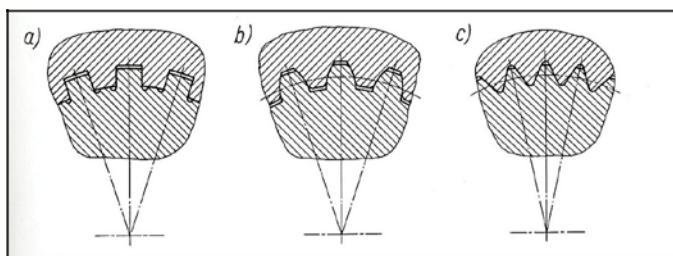
usuwany. Odmiana B – nakiełki chronione, powszechnie stosowane są w wałach, charakteryzują się fazą pod kątem 1200, która chroni powierzchnie pracujące nakiełków. Nakiełki łukowe – odmiana R, w budowie maszyn są rzadko używane. Ich zastosowanie przeważnie występuje w materiałach bardzo ciężko obrabialnych. Na rys. 1 przedstawiono opisane rodzaje nakiełków.

Frezowanie rowków wpustowych na powierzchniach walcowych wykonujemy za pomocą fezów na frezarkach lub w centrach obróbkowych. Najczęściej frezowanie rowka dokonuje się na frezarkach pionowych lub poziomych poprzez zastosowanie freza tarczowego. Rowki wpustowe zgodne z PN najczęściej wykonywane są zgodnie z 9 klasą dokładności. Utworzenie rowków wpustowych przeważnie dokonujemy po obróbce zgrubnej ale przed obróbką wykańczającą. W technologii najczęściej stosuje się dwie metody frezowania rowków pod wpustowych. Pierwszą metodą jest tzw. metoda rotacyjna, która opiera się na następujących cyklach:

zagłębienie freza na pełną głębokość,  
frezowanie wstępne,  
obrót wrzeciona o  $90^{\circ}$  i frezowanie wykańczające jednego boku,  
obrót wrzeciona o  $180^{\circ}$  i frezowanie wykańczające drugiego boku,  
obrót wrzeciona o  $90^{\circ}$ ,  
powrót do pozycji wejściowej.

Druga metoda polega na obróbce wstępnej, a kolejno za pomocą przesuwu poprzecznego dokładnego obrabiane są wykańczająco obydwa boki rowka.

Jak wynika z ramowego procesu technologicznego, po wykonaniu rowków wpustowych przechodzimy do wykonania wielowypustów. Zarysy wielowypustów mogą być następujące: prostokątne, ewolwentowe lub trójkątne. Na rys. 2 przedstawiono zarysy wielowypustów.



Rys. 2. Zarysy wielowypustów: a) prostokątne; b) ewolwentowe; c) trójkątne

Najczęściej spotykaną metodą wykonywania wielowypustów jest frezowanie obwiedniowe za pomocą freza ślimakowego. W produkcji jednostkowej wielowypusty często wytwarza się na frezarce poziomej frezami tarczowymi. W produkcji wieloseryjnej często stosowana jest obróbka plastyczna wielowypustów.

Kolejną obróbką wg procesu ramowego jest wykonanie gwintów. W technologii posługujemy się gwintami wg. PN-83/M-02013 oraz PN-83/M-02113. Najczęściej do wykonania gwintów zewnętrznych wykorzystujemy narzynki, głowice gwinciarские, noże do gwintów oraz frezy do gwintów. W produkcji seryjnej często spotykana jest obróbka plastyczna gwintów na walcarkach.

Otwory najczęściej wykonuje się poprzez ustalanie przedmiotu w uchwycie i prowadzenie narzędzia w tulejkach wiertarskich. Otwory osiowe w technologii są bardzo kłopotliwe ze względu na to, że wykonywane są na samym końcu obróbki. Spowodowane jest to tym, że nie można usunąć przedwcześnie nakiełków. Otwory wykonujemy przeważnie na tokarkach lub w produkcji wielkoseryjnej na wiertarkach.

Podsumowując przedstawiony proces ramowy można stwierdzić, że jest to wytyczna do opracowania procesu technologicznego. W technologii istnieje wiele różnych przypadków wałów i nie możemy stwierdzić jednoznacznie, że postępując zgodnie z powyższym procesem ramowym

wykonamy wszystkie wymagane operacje. Często w praktyce zdarzają się dwa lub trzy punkty procesu, które musimy ze sobą łączyć w jedną operację.

Oprócz ramowego procesu technologicznego wału stopniowego istnieje również ramowy proces technologiczny wału stopniowego nawęglanego i hartowanego. Procesy są bardzo zbliżone do siebie lecz w jednym występuje obróbka cieplno-chemiczna. Poniżej przedstawiony został uproszczony proces ramowy:

przecinanie materiału,  
prostowanie,  
nakielkowanie,  
obróbka zgrubna,  
obróbka kształtująca powierzchni, które nie muszą być hartowane,  
nawęglanie,  
obróbka kształtująca pozostałych powierzchni,  
hartowanie odpuszczanie,  
prostowanie,  
poprawianie nakiełków,  
obróbka wykańczająca,  
obróbka bardzo dokładna,  
kontrola jakości.

Oprócz tych dwóch najczęściej występujących procesów ramowych możemy się spotkać również z procesem ramowym wału stopniowego z otworem osiowym, z dokładną obróbką cieplną z wyżarzaniem odprężającym i stabilizowaniem.

#### **РЕФЕРАТ**

*Давид Латала, Максимиліан Маджіел,  
Жешувська політехніка*

#### **ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ КЛАСУ ВАЛ**

статті представлена проблема проектування технологічного процесу виготовлення вала без термічної обробки. Робота характеризується деякими елементами каркаса технологічного процесу виготовлення цього валу, таких як різання матеріалу, рихтування, центрування, фрезерування шпоночних пазів, виконання сплайнів, ниток і отворів.

**Ключові слова:** проектування, шахти, термічна обробка.

#### **РЕФЕРАТ**

*Давид Латала, Максимиліан Маджіел,  
Жешувская политехника*

#### **ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ КЛАССА ВАЛ**

статье представлена проблема проектирования технологического процесса изготовления вала без термической обработки. Работа характеризуется некоторыми элементами каркаса технологического процесса изготовления этого вала, таких как резка материала, рихтовка, центровка, фрезерования шпоночных пазов, выполнение сплайнов, нитей и отверстий.

**Ключевые слова:** проектирование, шахты, термическая обработка.

#### **ABSTRACT**

*Dawid Latala, Maksymilian Mądział,  
Rzeszów University of Technology*

#### **PROJEKTOWANIE PROCESU TECHNOLOGICZNEGO CZĘŚCI KLASY WAŁ**

The article presents the problem of designing a manufacturing process for producing a shaft without heat treatment. The article is characterized by some framework elements of the process of manufacturing this shaft, such as material cutting, straightening, centering, key hole milling, the accomplish of splines, threads and holes.

**Key words:** designing, shaft, splines.

### III-8. ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИТУРБУЛЕНТНИХ ПРИСАДОК РІЗНИХ ТИПІВ В ТРУБОПРОВІДНОМУ ТРАНСПОРТІ НАФТОПРОДУКТІВ

*Раед Аль-Дандал*

Протитурбулентні присадки (ПТП) – це високомолекулярні полімерні речовини, що допомагають зменшити коефіцієнт гідравлічного опору трубопроводів під час перекачування нафти і нафтопродуктів у турбулентному режимі. Полімери – хімічні сполуки, яких багаторазово повторюються атомні угруповання, так звані мономірні ланки. Молекула полімеру, складена з  $n$  ланок, називається макромолекулою або полімерним ланцюгом. Полімери, що складаються з однакових ланок, називають гомополімерами, а ті, що з різних, – сополімерами. Полімер, що не має бокових відгалужень від основного ланцюга, називаються лінійним.

Здатність знижувати опір течією рідин мають багато високомолекулярних речовин, які умовно можна поділити на три класи:

- синтетичні або природні карболанцюгові полімери;
- координаційні полімери;
- високомолекулярні нафтові залишки.

Сьогодні на ринку представлені такі пропозиції протитурбулентних присадок нафти і нафтопродуктів для їх використання у трубопроводному транспорті:

- присадка CDR-102 фірми «CONOC» (США) являє собою 7–10 % гелеподібний розчин продукту полімеризації олефінів молекулярною масою  $10^6 \cdot 10^7$  у газі;
- присадка FLO (1003, 1008, 1010, 1020, 1031 та ін.) Фірми «Baker Pipeline Products» (США) гелеподібна і містить в активній частині поліолефіни;
- присадка «Віол» Томського політехнічного університету являє собою 6–12 % розчин поліолефінів молекулярною масою  $3 \cdot 10^6$  у бензині;
- присадка Necadd-547 фірми «Fortum Oil & Gas» (Фінляндія) – це 5–8 % гелеподібний розчин поліолефінів молекулярною масою  $3 \cdot 10^6$  у газі.

Останнім часом на ринку стали пропонуватися протитурбулентні присадки з тією ж гідравлічною активною частиною, але у вигляді водної емульсії: CDR-202, Liquid Power™ («CONOC»); вуглеводневої: FLO XL «Baker Pipeline Products» і Necadd-447 «Fortum Oil and Gas Oy». Це дає можливість отримати присадку з великим вмістом полімеру – до 20–25 %.

Поліакриламід – високомолекулярний полімер акриламід (аміду акрилової кислоти) являє собою безбарвний кристал. Хімічна формула:  $[\text{CH}_2=\text{CHC}(\text{O})\text{NH}_2]$   $n$ , молекулярна маса: 71,08; температура плавлення: 84,5 °С, кипіння: 215 °С; ТНП: 0,93 Па за  $t = 25$  °С і 9,3 Па за  $t = 50$  °С. Добре розчинний у воді і спиртах.

Критерій Дебори, або число Дебори ( $De$ ), – це критерій подібності в реології, що показує ступінь текучості матеріалу в експерименті. Число Дебори визначається як відношення

$$De = \frac{t}{t_n}, \quad (1)$$

де  $t_p$  – характерний час релаксації матеріалу,  $t_n$  – характерний час спостереження.

Якщо час спостереження перевищує характерний час релаксації, то матеріал тече, тобто чим менше число Дебори, тим плинніший матеріал у рамках проведеного експерименту. Критерій був введений М. Рейнером, що і запропонував назву, критерій може бути застосовано до рідин Максвелла, але не до рідин Кельвіна–Фойгта.

Як зазначено у, ефективне число Рейнольдса за турбулентного режиму перекачування нафтопродуктів із протитурбулентними присадками може бути знайдене:

$$Re = Re_0(1 - De^2), \quad (2)$$

де  $Re_0$  – число Рейнольдса за тих же умов, але за наявності присадки.

За такої постановки завдання прогнозування величини коефіцієнта гідравлічного опору  $\lambda$  під час транспортування суміші нафтопродукту з ПТП зводиться до розробки методики обчислення числа Дебори  $De$  за відомого значення коефіцієнта гідравлічного опору  $\lambda_0$  під час транспортування чистого нафтопродукту  $\lambda_0$ . Використовуючи для коефіцієнта гідравлічного опору узагальнену формулу

$$\lambda = A Re^{-m},$$

перепишемо (2) у вигляді:

$$\frac{\lambda}{\lambda_0} = \frac{A}{A} \frac{Re_0^{-m}}{Re^{-m}} = \frac{A}{A} \frac{Re_0^{-m}}{(1 - De^2)^{-m}}. \quad (3)$$

Звідси знаходимо:

$$\lambda = \lambda_0 \frac{1}{(1 - De^2)^m}. \quad (4)$$

Як відомо, ефективність ПТП, що характеризує ступінь зменшення гідравлічного опору,

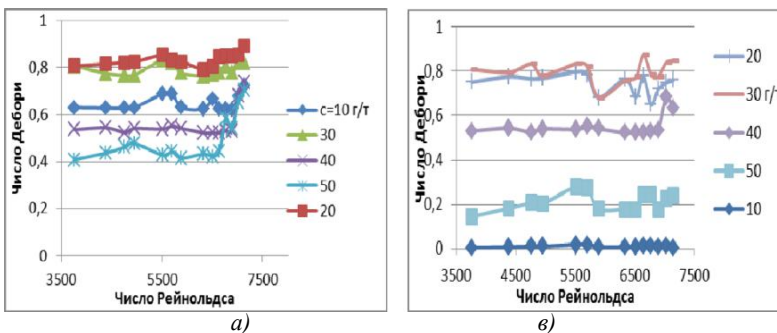
$$\eta = \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0}. \quad (5)$$

Тепер, враховуючи (4), отримаємо

$$De = \sqrt{1 - \frac{\lambda_0 - \lambda}{\lambda_0}}. \quad (6)$$

Залежність (6) пов'язує ступінь ефективності присадки із критерієм Дебори  $De$ , що дає змогу застосувати критерій Дебори для порівняння ефективності різних типів ПТП у різних умовах.

Графіки залежності числа Дебори від числа Рейнольдса для різних ПТП представлено на рис. 1, а – г. Для їх побудови використано дані і результати власних експериментальних досліджень застосування домішок ПАА і КМС як ПТП під час перекачування дизельного палива і газу з оптимальними концентраціями.



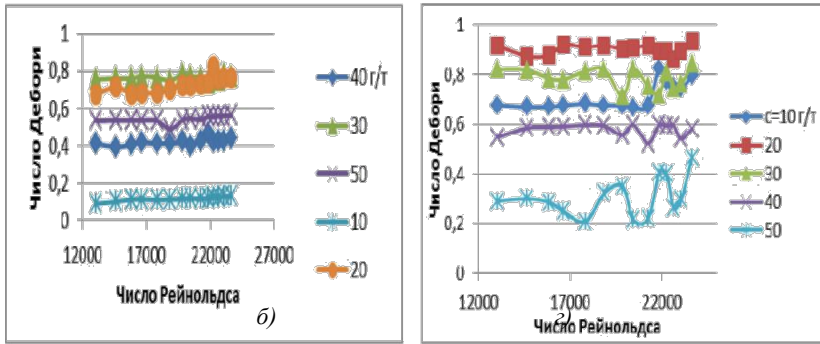


Рис. 1. Експериментальні залежності критерія Дебори від критерія Рейнольдса – дизельне паливо – ПАА; б – керосин – ПАА; в – дизельне паливо КМЦ; – керосин – КМЦ.

Неважко бачити, що розкид експериментальних точок істотний. Частково це пояснюється відмінністю концентрацій високомолекулярних речовин у перекачуваних рідинах.

Однак, мабуть, необхідно погодитися з, де написано, що «...різні полімери помітно відрізняються один від одного за своїми властивостями, і зниження рівня пульсації у них відбувається завдяки різним механізмам». Отримані експериментальні дані різних дослідників відрізняються умовами проведення дослідів, зокрема величиною критерію Рейнольдса, що має вирішальний вплив на ефективність ПТП. Тому для порівняння різнотипних даних, отриманих в різноманітних умовах, використано методику, яка базується на застосуванні формули

$$De_0, Re_i, \quad (7)$$

де – концентрація ПТП у г/т;  $i (0, 1, 2)$  – сталі параметри для кожної пари «нафтопродукт– ПТП», що визначають за експериментальними даними, приведеними на рис. 1.

Використовуючи формулу (7), складно виконати порівняльний аналіз ефективності застосування ПТП різних марок за однакових умов.

Оскільки великим значенням числа Дебори відповідають менші показники коефіцієнта гідравлічного опору, на підставі виконаних розрахунків можна зробити висновки про порівняну ефективність розглянутих додатків.

Аналіз результатів розрахунків показує, що найбільш ефективною присадкою з числа розглянутих як для транспортування дизельного палива, так і для гасу є Necadd-547. Дещо нижчі показники ефективності у присадки FLO XL. Потрібно зауважити, що ефективність присадок із зростанням числа Рейнольдса збільшується, що характерно для всіх без винятку ПТП.

Ефективність присадок ПАА і «Віол» знаходиться приблизно однакова. Дещо нижча ефективність присадки КМЦ, особливо для розчину в гасі.

Вибираючи тип ПТП, у кожному конкретному випадку необхідно враховувати вартість полімеру, яка, за даними, для імпортних продуктів сягає від 12 000 дол. США за тонну, для присадки «Віол» – 5 585 дол. США за тонну, а для вітчизняних ПАА і КМЦ – 2 090 і 1 800 дол. США за тонну відповідно. Тому раціональне рішення щодо вибору ПТП у конкретних умовах необхідно приймати на основі техніко-економічного розрахунку.



## РЕФЕРАТ

*Раед Аль-Дандал,*

*Ивано-Франківський національний технічний університет нафти і газу*

### ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОТИТУРБУЛЕНТНИХ ПРИСАДОК РІЗНИХ ТИПІВ В ТРУБОПРОВІДНОМУ ТРАНСПОРТІ НАФТОПРОДУКТІВ

Авторами проаналізовано асортимент сучасних проти турбулентних присадок.

Виконано порівняльний аналіз ефективності застосування проти турбулентних присадок різних марок за однакових умов. Оскільки великим значенням числа Дебори відповідають менші показники коефіцієнта гідравлічного опору, на підставі виконаних розрахунків автори зробили висновок про порівняну ефективність розглянутих присадок.

Аналіз результатів розрахунків показує, що найбільш ефективною присадкою з числа розглянутих як для транспортування дизельного палива, так і для газу є Necadd-547.

**Ключові слова:** протитурбулентна присадка, процес заміщення, гідравлічний опір.

## РЕФЕРАТ

*Раеда Аль-Дандал,*

*Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа*

### СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОТИВОТУРБУЛЕНТНЫХ ПРИСАДОК РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ В ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА НЕФТЕПРОДУКТОВ

Авторами проанализирован ассортимент современных против турбулентных присадок.

Выполнен сравнительный анализ эффективности применения противотурбулентных присадок разных марок при одинаковых условиях. Поскольку большим значением числа Деборы отвечают меньшие показатели коэффициента гидравлического сопротивления, на основании выполненных расчетов авторы сделали вывод о сравнительной эффективности рассмотренных присадок.

Анализ результатов расчетов показывает, что наиболее эффективной присадкой из числа рассмотренных как для транспортировки дизельного топлива, так и для керосина есть Necadd-547.

**Ключевые слова:** противотурбулентная присадка, процесс замещен, гидравлическое сопротивление.

## ABSTRACT

*Ravda Al-Dandal,*

*Ivano-Frankivsk National University of Oil and Gas*

### COMPARATIVE ANALYSIS OF EFFICIENCY OF DIFFERENT TYPES OF ANTITURBULENT ADDITIVES IN PETROCHEMICAL PIPELINE TRANSPORT

Authors have analyzed an assortment of modern antiturbulent additives.

The comparative analysis of efficiency of different antiturbulent additives application is done, while using in the same conditions. Smaller value of hydraulic resistance coefficient answer the greater value of Deborah number. On the basis of the calculations authors drew a conclusion about the compared efficiency of the considered additives.

The analysis of results of calculations shows that the most effective additive out of a considered number of them both for transporting of fuel-oil and for kerosene is Necadd-547.

**Key words:** antiturbulent additive, substituted for a process, hydrolic resistance.

УДК 665

### III-9. ВПЛИВ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ АВТОМОБІЛЬНОГО БЕНЗИНУ НА ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ

*Лариса Черняк, Василь Ланецький, Маргарита Радомська, Олеся Кондакова*

Як відомо, будь-яке нафтове паливо складається із вуглеводневих фракцій. Сучасні автомобільні бензини містять у своєму складі саме ті вуглеводні, що забезпечують оптимальну випаровуваність для забезпечення швидкого утворення пароповітряної суміші камері згорання та ефективного згорання палива. Тому, найважливішими завданнями, що

постають перед виробниками сучасних палив є покращення експлуатаційних властивостей

палив з одночасним підвищенням рівня їх екологічних властивостей. У результаті реалізації цих завдань має бути підвищена повнота згорання палив до максимального можливого значення. На сьогодні відомо, що кавітаційна обробка автомобільного бензину перед його потраплянням в камеру згорання впливає на його експлуатаційні властивості. Тому, ми поставили за мету дослідити вплив кавітаційної обробки автомобільного бензину марки А-92 на значення його ОЧ.

Відомо, що кавітація є явищем виникнення в крапельній рідині бульбашок (каверн, порожнин). Якщо зниження тиску здійснюється в наслідок появи великих місцевих швидкостей у потоці рухомої крапельної рідини, то кавітація називається гідродинамічною, а якщо внаслідок проходження в рідині акустичних хвиль, то – акустичною.

Акустична кавітація – це утворення та схлопування парогазових бульбашок у рідині під дією звуку. Каверни утворюються в результаті розриву рідини під час на півперіодів стиску. Вони заповнені в основному насиченою парою даної рідини, тому процес іноді називається паровою кавітацією.

Гідродинамічна кавітація виникає в тих ділянках, де тиск знижується до деякого критичного значення. Присутні в рідині бульбашки газу чи пари, рухаючись з потоком рідини та попадаючи в область тиску менше критичного, набувають здатності необмеженого росту. Після переходу в зону підвищеного тиску ріст припиняється і бульбашки схлопуються. Захлопування бульбашок породжує в кавітаційній області потужні гідродинамічні імпульси у вигляді ударних мікрохвиль та мікропотоків.

На сьогодні ефекти кавітації використовуються в галузях діагностики, медицини, сільського господарства.

Для продовження досліджень впливу кавітації на ефективність змішування палив добавок та визначенню впливу часу обробки кавітацією на основні властивості автомобільного бензину був спроектований і виготовлений стенд, принципова гідралічна схема якого представлена на рис. 1. Предметом дослідження було обрано автомобільний бензин марки А-92. Джерелом тиску вибраний насос 1 об'ємного типу. Тиск рідини на вході в генератор коливань 6, регулювався за допомогою дроселя 4, а необхідний тиск на виході із генератора коливань 6, регулювався за допомогою дроселя 8.



Рис. 1. Загальний вид експериментальної установки для дослідження рідин

Обробка проводилась кавітатором (генератором коливань) з діаметром отвору центральної частини 0,7 мм, тиск на вході кавітатор  $P_{\text{вх}} = 6 \text{ кг/см}^2$ . Тиск на виході з кавітатора змінювався наступним чином:  $P_{\text{вих}} = 0,5 \text{ кг/см}^2$ ,  $P_{\text{вих}} = 1 \text{ кг/см}^2$ ,  $P_{\text{вих}} = 2 \text{ кг/см}^2$ ,  $P_{\text{вих}} = 3 \text{ кг/см}^2$ . Час обробки на кожному режимі складав 1 хв. Залежність значення ОЧ даного бензину від часу та інтенсивності обробки кавітацією визначалася за допомогою октанометру SX-300. Результати впливу інтенсивності кавітаційної обробки А-92 на величину октанового числа наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Значення октанових чисел автомобільного бензину марки А-92 при його обробці кавітацією.

Назва параметру	Вихідні дані	Тиск на вході в кавітатор $T_{вх}= 6 \text{ кг/см}^2$			
		$P_{вих} = 0,5 \text{ кг/см}^2$	$P_{вих} = 1,0 \text{ кг/см}^2$	$P_{вих} = 2,0 \text{ кг/см}^2$	$P_{вих} = 3,0 \text{ кг/см}^2$
Температура $T, ^\circ\text{C}$	20,2	20,3	20,6	21	21
RON, од.	95	95,2	95,4	95,35	95,3
MON, од.	85	85,2	85,4	85,4	85,4
АКІ од.	89,9	90,2	90,4	90,3	90,3

Визначення впливу часу обробки бензину А-92 кавітацією на величину октанового числа виконувались на установці (рис. 1) за наступних робочих параметрах:

діаметр циліндричної частини кавітатора складав 0,7 мм;

тиск на вході у кавітатор – 7 кг/см<sup>2</sup>;

тиск на виході з кавітатора – 0,5 кг/см<sup>2</sup> (протитиск);

час обробки становив: 3 хв, 6 хв, 10 хв;

об'єм проби становив 300 см<sup>3</sup>.

Джерелом тиску було обрано насос об'ємного типу. При проведенні досліджень тиск на вході в кавітатор (генератор коливач) і виході із кавітатора встановлювався за допомогою дросельних кранів, а величина тиску вимірювалась манометрами. Температура проби під час дослідження вимірювалась термометром. Час обробки проби бензину А-92 визначається за допомогою секундоміра.

Результати впливу часу обробки бензину А-92 кавітацією на величину октанового числа наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Кавітаційна обробка бензину А-92 (дослід від 10.09.15 р.)

Назва параметру	Вихідні дані	Обробка кавітацією		
		3 хв	6 хв	10 хв
Температура $T, ^\circ\text{C}$	20,1	21,5	23,4	25,1
RON, од.	95,6	95,8	96	96,4
MON, од.	85,7	85,8	86	86,6
АКІ, од. (АКІ = (RON+MON)/2)	90,6	90,8	91,1	91,5

Аналіз результатів досліджень, представлених у табл. 2 показав, що значення ОЧ проби за збільшення часу обробки кавітацією відбувається через підвищення температури.

Під час експериментальних досліджень, на 3-й хв обробки кавітацією колір проби бензину змінився зі світло-жовтого до світло-коричневого. При чому, зі збільшенням часу обробки інтенсивність кольорі зростала. Що свідчить про зниження хімічної стабільності бензину зі зростанням часу обробки проби гідродинамічною кавітацією. А також, про необхідність застосування вакуумування проби палива під час дослідження, щоб видалити кисень.

результаті дослідження впливу обробки бензину гідродинамічною кавітацією на його властивості, встановили, що під час кавітаційної обробки збільшення ОЧ спостерігається на початковому етапі обробки. Збільшення часу кавітаційної обробки проб бензину А-92 негативно впливає на величину ОЧ, що приводить до помутніння проб з подальшим випадом осаду чорного кольору. Для визначення характеру впливу кавітаційної обробки на бензин А-92 авторами планується проведення подальшого повного лабораторного аналізу проб (зокрема визначення компонентного складу хроматографічним методом) на всіх етапах досліджень.

## РЕФЕРАТ

*Лариса Черняк, Василь Ланецький, Маргарита Радомська, Олеся Кондакова,  
Национальный авиационный университет, specially@ukr.net*

### **ВПЛИВ КАВІТАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ АВТОМОБІЛЬНОГО БЕНЗИНУ НА ЙОГО ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ**

Сьогодні принципово важливим є вирішення проблеми підвищення експлуатаційних властивостей палив з одночасним збереженням або ж покращенням їх екологічних характеристик. Авторами статті проаналізовано можливі способи обробки автомобільного бензину, з метою підвищення октанового числа. Визначено, що кавітаційна обробка є перспективним та ефективним способом впливу антидетонаційні властивості автомобільних бензинів. У даній статті представлено результати дослідження впливу кавітаційної обробки автомобільного бензину марки А-92 на його октанове число. Встановлено оптимальні робочі параметри, за яких досягається покращення підвищення октанового числа бензину.

**Ключові слова:** кавітаційна обробка, автомобільний бензин, октанове число, моторні палива, фізична стабільність, етанол.

## РЕФЕРАТ

*Лариса Черняк, Василий Ланецкий, Маргарита Радомская, Олеся Кондакова,  
Национальный авиационный университет, specially@ukr.net*

### **ВЛИЯНИЕ КАВИТАЦИОННОЙ ОБРАБОТКИ АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНА НА ЕГО ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА**

Сегодня принципиально важным является решение проблемы повышения эксплуатационных свойств топлив с одновременным сохранением или же улучшением их экологических характеристик. Авторами статьи проанализированы возможные способы обработки автомобильного бензина, с целью повышения октанового числа. Определенно, что кавитационная обработка является перспективным и эффективным способом влияния антидетонационные свойства автомобильных бензинов. В данной статье представлены результаты исследования влияния кавитационной обработки автомобильного бензина марки А-92 на его октановое число. Установлены оптимальные рабочие параметры, при которых достигается улучшение повышения октанового числа бензина.

**Ключевые слова:** кавитационная обработка, автомобильный бензин, октановое число, моторные топлива, физическая стабильность, этанол.

## ABSTRACT

*Larysa Chernyak, Vasyl Lanetskyi, Radomska Margarita, Olesya Kondakova,  
National Aviation University, specially@ukr.net*

### **RESEARCH OF CAVITATION INFLUENCE ON AUTOMOBILE GASOLINE PERFORMANCE PROPERTIES**

The solution of the tasks related to the improvement of fuels operating properties with simultaneous support or development of their environmental parameters is currently an important problem. The authors have analysed the possible methods of automobile gasoline treatment for octane number increasing. Cavitation treatment is shown to be perspective and efficient method of affecting antiknock properties of petrols. In this article the results of research of cavitation treatment influence on octane number of brand А-92 petrol are presented. Optimum operating parameters, at which the improvement of petrol's octane number is achieved, have been defined.

**Key words:** cavitation treatment, motor-car petrol, octane number, motor fuels, physical stability, ethanol.

УДК 665.733

### **III-10. ЗМІНА ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ ЗА ДОДАВАННЯ ПЕРЕКИСУ ВОДНЮ**

*Олеся Кондакова, Василь Ланецький*

Основні техніко-економічні показники роботи двигуна залежать від досконалості протікання процесу згорання палива. Головними факторами, що впливають на процес згорання палива, є хімічний склад самого палива, склад робочої суміші, тиск, температура,

момент початку і кінця згорання робочої суміші. Згорання робочої суміші може бути нормальним і детонаційним.

Висока детонаційна стійкість палив забезпечує їх нормальне згорання на всіх режимах експлуатації двигуна. Детонаційна стійкість – це показник, що характеризує здатність бензинів протистояти самозайманню при стисненні.

Зовнішніми ознаками детонації може бути димний випуск відпрацьованих газів, оскільки при вибуховому розвитку процесу частина палива не встигає цілком згоріти. Через ударну дію гарячих газів на стінки камери згорання збільшується коефіцієнт теплопередачі, приводить до перегріву двигуна. Невиробничі додаткові втрати тепла в систему охолодження і неповнота згорання палива викликають зниження потужності двигуна.

За підвищення детонаційної стійкості бензинів, підвищується повнота згорання палива, що, в свою чергу, супроводжується підвищенням потужності двигуна та зниженням димності відпрацьованих газів.

Показником детонаційної стійкості бензинів є октанове число. Октанове число чисельно дорівнює вмісту (% об.) ізооктану (2,2,4,-триметилпентана) в його суміші з н-гептаном, яка за детонаційної стійкості еквівалентна паливу, випробуваному на одноциліндровому двигуні зі змінним ступенем стиснення в стандартних умовах.

Найбільшою детонаційної стійкістю володіють ароматичні вуглеводні. Найнижча детонаційна стійкість у парафінових вуглеводнів нормальної будови, причому вона зменшується зі збільшенням їхньої молекулярної маси. Ізопарафіни і олефінові вуглеводні володіють більш високими антидетонаційними властивостями в порівнянні з нормальними парафинами. Збільшення ступеня розгалуженості і зниження молекулярної маси підвищує їх детонаційну стійкість. За детонаційної стійкості нафтени перевершують парафінові вуглеводні, але поступаються ароматичних вуглеводнів.

Для підвищення октанових чисел товарних бензинів використовують також спеціальні антидетонаційні присадки і високооктанові компоненти ( етилову рідину, органічні сполуки марганцю, заліза, ароматичні аміни, метил-третбутиловий ефір, спирти).

Експериментальні дослідження з використання перекису водню в якості палива розпочалися ще з часів другої світової війни. Німеччина та США використовували її в якості компонента до реактивного палива.

Перексид водню або перекис водню ( $H_2O_2$ ) – найпростіший представник пероксидов. Безбарвна рідина з «металевим» смаком, необмежено розчинна у воді, спирті і ефірі. Концентровані водні розчини вибухонебезпечні. Перексид водню є хорошим розчинником. Із води виділяється у вигляді нестійкого кристалогідрату  $H_2O_2 \cdot 2H_2O$ .

Концентрований перекис водню можна використовувати і як однокомпонентне паливо (у цьому випадку він піддається розкладанню під тиском і утворює газоподібну суміш кисню і перегрітої пари) і як окислювач для спалювання пального. Механічно однокомпонентна система простіше, але вона дає менше енергії на одиницю ваги палива.

двохкомпонентній системі можна спочатку розкласти перекис водню, а потім спалити пальне в гарячих продуктах розкладання або ж ввести в реакцію обидві рідини безпосередньо без попереднього розкладання перекису водню. Другий метод простіше механічно оформити, але при цьому може виявитися складним забезпечення займання, а також рівномірне і повне згорання. У будь-якому випадку енергія або тяга створюється за рахунок розширення гарячих газів.

Перекис водню не розчинний в бензині, тому під час зливання в одну ємність, вони просто розділяться на два шари. Внизу вода (розчин перекису водню), нагорі бензин. Якщо добре перемішати таку суміш, то вона за 2–3 секунди знову розділиться. Тому додати в бензин перекис водню неможливо.

Компаундування паливних компонентів нафтового походження з різноманітними добавками потребує його гомогенізації та забезпечення однорідності під час процесів його зберігання.

При кавітації відбувається генерування широкого спектру коливань тиску в поєднанні зі значним локальним механічним і температурним впливом. Поєднання механічних, теплових, ультразвукових ефектів струменя дозволяє гомогенізувати суміш біопалива та вуглеводного палива, зменшити його густину та в'язкість, зруйнувати кластерні утворення в біопаливі, розчиняти і змішувати присадки, добавки та воду в біопаливі.

запропонованому способі генерування здійснюється кавітаційним генератором з широким спектром коливань тиску від 500 до 40000 Гц, значення яких перевищує в 1,5–2 рази значень підведеного тиску нагнітання. Такі генератори відрізняються високою надійністю простою конструкцією, в яких відсутні рухомі елементи. Змінюючи геометрію генератора коливань та вхідні і вихідні параметри тиску, можна створити оптимальні режими обробки.

Інтенсифікація кавітаційних процесів досягається за рахунок послідовного впливу на середовище пульсацій тиску, мікроевихрів і кумулятивних струменів

Фізико-хімічні перетворення з найбільшою ефективністю відбуваються в зонах колапсу кавітаційних бульбашок, в зв'язку з чим в гідропотоці необхідно в першу чергу організувати розвинену бульбашкову кавітацію. Бажано, щоб вектора швидкостей руху кумулятивних мікроструйок, що утворюються при зхлопуванні бульбашок, розташовувалися в площині, паралельній гранях робочих органів кавітатора.

даному випадку значна частина енергії, що виділяється при схлопуванні бульбашок, витрачається на розпорошення потоку.

результаті кавітаційної обробки середовища знижуються обмеження на проходження хімічних реакцій, пов'язаних з наявністю міжфазних кордонів.

Вода під впливом кавітаційних полів дисоціює на іони  $H^+$  і гідроксильні групи  $OH^-$ , що тут же беруть участь в протіканні хімічних процесів синтезу нових вуглеводнів. Генеруються іони  $H^+$  беруть участь в процесі гідрогенізації, а групи  $OH^-$  – в процесах утворення спиртів, накопичення яких тільки покращує властивості цільового продукту.

Необхідна концентрація води в органічному середовищі підтримується послідовним збільшенням її частки разом з формуванням більш легких фракцій.

Таблиця 1

Зміна октанового числа палива у поєднанні з перекисом водню

№ з/п	Параметр	RON	MON	AKI
1	ББС	94,5	84,7	89,6
2	ББС + 5 % перекису водню (механічне змішування)	94,75	84,8	89,8
3	ББС + 5 % перекису водню (кавітаційне змішування 2 прогони)	95,85	85,95	90,9
4	ББС + 5 % перекису водню (кавітаційне змішування 5 прогонів)	97,3	87,5	92,45

Нами було проведено дослідження впливу 60 % перекису водню на базову бензинову суміш (ББС). Для проведення вимірювань використовували прилад октанометр Shatox SX-300. Було виміряно ОЧ палив за дослідницьким (RON) та за моторним (MON) методами. Також відображено антидетонаційний коефіцієнт – насосне октанове число ( $AKI = (RON+MON)/2$ ). Результати випробувань представлені в табл. 1.

За механічного змішування спостерігається розшарування суміші. При кожному кавітаційному прогоні кількість води зменшується. Це свідчить про те, що кавітаційну обробку слід проводити до того моменту, поки не зникне вода з суміші – при цьому октанове число досягне свого максимального значення. У разі подальшої кавітації безводної суміші, відбувається окиснення палива. У результаті чого відбувається виділення осаду та зменшення ОЧ суміші.

Отже подальші дослідження щодо розробки нового палива з перекисом водню необхідно проводити з використанням гідродинамічної кавітації для визначення оптимальних режимів обробки та відсоткового співвідношення компонентів.

#### РЕФЕРАТ

*Олеся Кондакова, Василь Ланецький,*

*Національний авіаційний університет, izabellac@mail.ru*

#### **ЗМІНА ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНУ ЗА ДОДАВАННЯ ПЕРЕКИСУ ВОДНЮ У**

роботі розглянуто вплив перекису водню на октанове число палива за механічного та кавітаційного компаундування досліджуваних компонентів. Встановлено що під час обробки отриманої суміші кавітаційним пристроєм розшарування зменшується та зростає октанове число. Оскільки вода під впливом кавітаційних полів дисоціює на іони  $H^+$  і гідроксильні групи  $OH^-$ . Іони  $H^+$  беруть участь в процесі гідрогенізації, а групи  $OH^-$  - в процесах утворення спиртів, накопичення яких призводить до покращення властивостей вихідного продукту.

**Ключові слова:** детонаційна стійкість, октанове число, перекис водню, кавітація.

#### РЕФЕРАТ

*Алеся Кондакова, Василий Ланецкий,*

*Национальный авиационный университет, izabellac@mail.ru*

#### **ИЗМЕНЕНИЕ ОКТАНОВОГО ЧИСЛА БЕНЗИНА ПРИ ДОБАВЛЕНИИ ПЕРЕКИСИ ВОДОРОДА**

работе рассмотрено влияние перекиси водорода на октановое число топлива при механическом и кавитационном компаундировании исследуемых компонентов. Установлено, что во время обработки полученной смеси кавитационным устройством расслоение уменьшается и растет октановое число. Поскольку вода под воздействием кавитационных полей распадается на ионы  $H^+$  и гидроксильные группы  $OH^-$ . Ионы  $H^+$  участвуют в процессе гидрогенизации, а  $OH^-$  - в процессах образования спиртов, накопление которых улучшает свойства получаемого продукта.

**Ключевые слова:** детонационная стойкость, октановое число, перекись водорода, кавитация.

#### ABSTRACT

*Olesya Kondakov, Vasyl Lanetsky,*

*National Aviation University, izabellac@mail.ru*

#### **CHANGING OF FUEL'S OCTANE NUMBER BY ADDING HYDROGEN PEROXIDE**

The influence of hydrogen peroxide adding on fuel's octane number with cavitation and mechanical compounding of observable components. It was ascertained, that while processing the obtained mixture with cavitation device stratification decreases and octane number increases. It happens because water under the influence of cavitation field dissociates into ions  $H^+$  and  $OH^-$  hydroxyl groups.  $H^+$  ions are involved in the process of hydrogenation, while  $OH^-$  groups are involved in the formation of alcohol, accumulation of which leads to improved properties of the obtained product.

**Key words:** detonation stability, octane number, hydrogen peroxide, cavitation.

УДК 624.04

### **III-11. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НЕРАЗБОРНЫХ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ НА РАЗРАБОТАННЫХ СТЕНДАХ СКП**

*Владимир Радзиевский, Руслан Костюник, Александр Стельмах*

Неразборные шарикоподшипники качения являются сложными механическими трибосистемами и широко используются во всех современных машинах и механизмах. Альтернативы подшипникам качения, например, путем их замены на подшипники скольжения в ближайшем обозримом будущем не предвидится в силу их уникальных трибологических свойств (низкое сопротивление трению качения, высокая долговечность при достаточно длительном сохранении исходных геометрических параметров и динамических свойств). Современные ГТД включают в себя около полусотни неразборных

шарикоподшипников, к которым предъявляются высокие технические требования. Однако на сегодняшний день отсутствуют общепризнанные методы и средства контроля качества даже на уровне сравнения «лучше– хуже».

Широко известные стенды «Протон–СПП–II», «Компакс–РПП», «СП–180», «СКВ–А», «СКФ–04» и соответствующие методики оценки виброхарактеристик неразборных шарико-подшипников находят свое применение в некоторых отраслях машиностроения. Однако их результаты между собой не согласуются, а стенды характеризуются наличием общего недостатка – привод вращающегося кольца подшипника реализуется путем его жесткой связи с приводом, включающим в себя подшипники двигателя и/или подшипники зубчатых и ременных трансмиссий. Проблема заключается в том, что в процессе определения виброускорений или других виброхарактеристик подшипников, при определенных стандартах нагрузках и частотах вращения сенсоры воспринимают кроме сигналов, излучающих испытуемым подшипником, случайные неконтролируемые вибрации от узлов привода.

Цель работы заключается в разработке новых методик и средств оценки индивидуальных виброхарактеристик неразборных шарикоподшипников.

Авторами предложены и запатентованы новый способ и устройство СКП для контроля виброхарактеристик шарикоподшипников путем их бесконтактного вращения.

качестве привода предложено использовать магнитную муфту с постоянными магнитами или с неподвижным источником электромагнитных бегущих полей, схема которого приведена на рис.1.

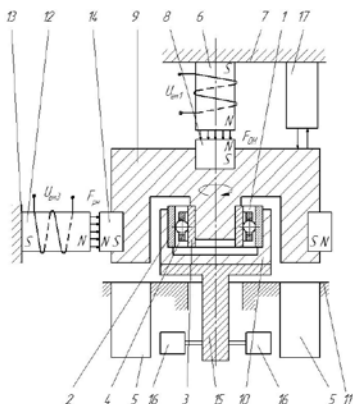


Рис. 1. Схема стенда СКП для оценки виброхарактеристик шарикоподшипника при его бесконтактном вращении

На рис. 1 цифрами обозначен подшипник 1 с внешним кольцом 2, внутренним кольцом 3 и сепаратором 4 с вмонтированными телами качения (в данном случае – шариками), источник бегущего электромагнитного поля – электромагнитные многополюсные индукторы 5, осевой нагружающий электромагнит 6, установленный на верхней неподвижной основе 7, осевой нагружающий постоянный магнит 8, установленный на верхнем ложементе 9, нижний ложемент 10, установленный на нижней неподвижной основе 11, радиальный нагружающий электромагнит 12, установленный на боковой неподвижной основе 13, радиальный нагружающий постоянный магнит 14, выполненный в виде тора. Нижний ложемент 10 жестко устанавливают на измеряемую систему 15, соединенную с датчиками 16 вибрации/шума. Контроль скорости вращения движущейся части приспособления (верхнего ложемента 9 с внутренним кольцом 3 подшипника 1) осуществляется опто-датчиком скорости вращения 17.





Рис. 2. Стенд СКП-01 для оценки состояния неразборных шарикоподшипников

Разработанный стенд контроля виброхарактеристик и оценки степени чистоты подшипников СКП-01 включает в себя бесконтактный привод магнитной муфты, электронный блок преобразования акселерометра и управления приводом магнитной муфты с персональным компьютером.

Многочисленные эксперименты позволили установить, что наиболее надежными критериями оценки чистоты поверхностей и их граничных смазочных слоев в тракте качения являются длительность выбега и соответствующие мгновенные виброускорения, которые в совокупности представляют собой персональную характеристику данного подшипника. Поэтому предложена следующая методика испытаний: после установки подшипника и нагрузочно-приводного диска включается инвертор и бегущими магнитными полями приводится во вращение диск со свободным кольцом подшипника до выбранной потребителем максимальной скорости вращения, например,  $2000 \text{ мин}^{-1}$ . Достигнув частоты вращения больше установленной, питание привода отключается, и нагрузочный диск со свободным кольцом продолжает вращаться до полной остановки. В процессе убывания скорости до установленной оператором частоты вращения ( $2000 \text{ мин}^{-1}$ ) автоматически включаются таймер и регистратор осцилляций акселерометра, которые отключаются после полной остановки диска.

Полученные таким образом осциллограммы (рис. 3) вибро-ускорений во времени выбега позволяют с достаточно высокой степенью точности (неопределенность не превышает 7 %) судить об относительных свойствах подшипника. Уменьшение амплитуды осцилляций виброускорений и увеличение времени выбега свидетельствуют о функциональном качестве подшипника после проведения процедур предэксплуатационной подготовки.

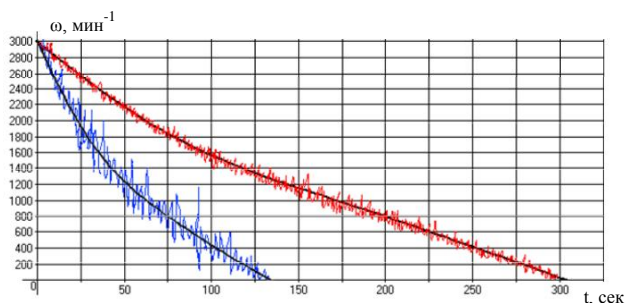


Рис. 3. Сравнительная длительность выбега шарикоподшипника до и после очистки на стенде ОПШ-05, полученные на СКП-01

Кроме этого стенд СКП-01 позволяет определить наиболее эффективное положение радиальных симметричных шарикоподшипников. Установлено, что в зависимости от позиционирования максимальный выбег одного и того же подшипника может отличаться в несколько раз. Так, если машина включает в себя несколько десятков радиальных шарикоподшипников, как в ГТД (до 50 штук), то при правильной их установке относительно направления вращения суммарные потери на трение можно уменьшить до трех раз. Это, несомненно, отражается на технических характеристиках всего двигателя, таких как пусковой крутящий момент, трение на стационарных режимах работы и общий выбег роторных машин, что в совокупности позволяет их существенно улучшить.

основу работы системы положена реализация бесконтактного привода, свободного кольца шарикоподшипника и мониторинг сигнала датчика акселерометра на протяжении всего времени его выбега от максимальной частоты вращения до полной остановки.

Производительность СКП-01 до 30 шарикоподшипников в час, в зависимости от типоразмеров и поставленной задачи испытаний.

Таким образом, разработанная автоматизированная система контроля позволяет путем использования специального программного обеспечения производить мониторинг состояния подшипников в онлайн-режиме, а также обеспечивает оценку виброускорений шарикоподшипников и производить сравнительный спектральный анализ первичных сигналов в динамике.

Апробация стенда СКП-01 проведена на АО «Мотор Сич», ГП «ЗМКБ «Ивченко-Прогресс» и других предприятиях и показала его высокую эффективность.

#### РЕФЕРАТ

*Володимир Радзівєвський, Руслан Костюнік, Олександр Стельмах,  
Національний авіаційний університет, stelmah@nau.edu.ua*

#### **ОЦІНКА СТАНУ НЕРОЗБІРНИХ ШАРИКОПІДШИПНИКІВ НА РОЗРОБЛЕНИХ СТЕНДАХ СКП**

Розроблена автоматизована система контролю, що дозволяє шляхом використання спеціального програмного забезпечення проводити моніторинг стану підшипників в онлайн-режимі. Система забезпечує оцінку віброприскорень шарикопідшипників і дозволяє проводити порівняльний спектральний аналіз первинних сигналів у динаміці.

**Ключові слова:** шарикопідшипник, вібрація, контроль, вибіг підшипника.

#### РЕФЕРАТ

*Владимир Радзиевский, Руслан Костюник, Александр Стельмах,  
Национальный авиационный университет, Киев, Украина,  
stelmah@nau.edu.ua*

#### **ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НЕРАЗБОРНЫХ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ НА РАЗРАБОТАННЫХ СТЕНДАХ СКП**

Разработана автоматизированная система контроля, позволяющая путем использования специального программного обеспечения производить мониторинг состояния подшипников в онлайн-режиме. Система обеспечивает оценку виброускорений шарикоподшипников и позволяет производить сравнительный спектральный анализ первичных сигналов в динамике.

**Ключевые слова:** шарикоподшипник, вибрация, контроль, выбег подшипника.

#### ABSTRACT

*Vladimir Radzievskiy, Ruslan Kostyunik, Alexander Stelmakh,  
National Aviation University, stelmah@nau.edu.ua*

#### **EVALUATION OF THE CONDITION NONSEPARABLE BALL-BEARINGS WITH DESIGNED STANDS SKP**

The automated control system that allows monitoring the state of ball-bearings in the online mode through using special software. The system provides an estimation of vibration acceleration of ball-bearings and allows conducting comparative interactive spectral analysis of the primary signals.

**Key words:** ball-bearings, vibration control, coast bearing.

### **III-12. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРУЮЩЕГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗОВОГО МИКРОСКОПА-ПРОФИЛОМЕТРА В ТРИБОЛОГИИ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ**

*Евгений Смирнов, Сергей Коленов, Юрий Пильгун, Александр Стельмах, Владимир Бондар*

Эффективность современных машин во многом зависит от качества обработки рабочих поверхностей комплектующих деталей.

Цель работы – разработка бесконтактного дифференциально-фазового метода сканирования и трехмерного измерения поверхностей, создание соответствующего измерительного прибора и его апробация в трибологии граничной смазки

Новизна заключается в том, что авторами впервые разработаны методики и средства измерения 3 D состояния поверхностей на созданном бесконтактном лазерном сканирующем дифференциально-фазовом микроскопе-профилометре ЛСДФМП, которые позволяют характеризовать трибологически- эффективную шероховатость.

рабочим поверхностям деталей машин относятся поверхности, которые при эксплуатации определяют эксплуатационное качество машин и механизмов и характеризуются большим спектром показателей в зависимости от условий их эксплуатации:

- поверхности трибосистем качения, скольжения или вращения, контактные поверхности металлообработки и т.п., которые определяют ресурс узлов трения, их надёжность и другие характеристики: износостойкость, сила трения, общий уровень вибраций, шум, коэффициент детонации, стойкость инструмента и качество обработки деталей машин и т.д. (особенно при высоких скоростях и удельных давлениях на контактах);

- поверхности деталей гидро- и/или газодинамических систем, которые образуют с рабочим телом (рабочая жидкость, перегретый пар, воздух и др.) гидро- и/или газодинамическую контактную пару, при эксплуатации которой процессы, протекающие в пограничных слоях, определяют потери и эффективность гидравлического агрегата, системы, или гидравлической пары, например внутренние поверхности продуктопроводов, гидросистем, поверхности гребных винтов, поверхности обшивок водоплавающих объектов, лопаток гидравлических турбин и т.п.; или поверхности деталей газодинамических систем, например, лопаток компрессоров или турбин, поверхности других деталей, образующих газо-воздушный тракт газотурбинных двигателей, то же в турбоэлектрогенераторах, обшивка самолёта, ракеты, снаряда или другого летающего объекта и т.д., особенно при высоких скоростях истечения рабочего тела;

- поверхности деталей радиоэлектронных приборов и других электрических машин (антенны, провода и т.п.), где качество поверхностей определяет их функциональную эффективность за счёт радиоэлектронных и магнитных процессов, протекающих в приповерхностных слоях (особенно на высоких частотах радиоэлектронных и (или) электрических сигналов).

Критериями качества поверхностей деталей машин являются параметры шероховатости. В современном машиностроении наиболее широко используются контактные методы сканирования поверхностей механическим щупом. Получаемый таким образом профиль на профилографах или уровень осцилляций щупа в определённом направлении анализируется и определяются его характеристики в удобном виде системы параметров Ra, Rz, Rmax, Sm или др. Эти параметры стандартизованы соответствующими ГОСТами и регламентируются конструкторской и технологической документацией производства. Традиционно в мировой практике машиностроения используются различные контактные профилографы-профилометры, работающие на принципе ощупывания поверхности индентором весьма внушительных размеров (радиус округления щупа от

4 мкм). При контактном измерении, кроме того, что поверхность повреждается, получаемая при этом информация весьма скудная: оценивается качество поверхности лишь по вертикальному отклонению щупа, скользящего по вершинам лишь одного сечения профиля, не проникая во все впадины; на большинстве приборов щуп осциллирует относительно также осциллирующей базовой поверхности, что не позволяет корректно описать даже один профиль, не говоря о принципиальной невозможности объёмно описать конфигурацию поверхности.

качестве одного из возможных вариантов решения данной проблемы предлагается использование ЛСДФМП (рис. 1). В этом приборе предполагается реализация дифференциально-фазового метода исследований, обеспечивающего высокую чувствительность к изменению профиля поверхности по высоте (до 1 ангстрема) и хорошую виброзащитность, в сочетании с использованием быстродействующих двухкоординатных акустооптических устройств управления лазерным излучением. Это всё в совокупности должно давать возможность получать двумерную дифференциально-фазовую информацию о поверхности объекта исследования путем его растрового сканирования. Это должно позволять не только проводить исследования параметров данной поверхности в любом направлении с минимальными затратами времени и высокой точностью, но и вводить новые двумерные параметры для описания свойств поверхности, которые до сих пор не рассматривались в связи с трудоемкостью их получения. Так, например, существующие методы определения параметров шероховатости поверхности являются либо одномерными, т. е. измеряющими шероховатость вдоль одного профиля поверхности или направления (механический метод, методы светового и теневого сечения, растровый метод), либо по площади освещаемого поверхность светового пятна (рефлектометрический метод). Эти методы предполагают, что исследуемая поверхность является случайной и однородной. Но на самом деле реальные поверхности характеризуются особенностями поведения шероховатости, в частности, по направлению, так как характер шероховатости поверхности значительной степени зависит от способа ее обработки.

Триботехнические исследования, проведенные в научно-исследовательской лаборатории нанотриботехнологий НИЧ НАУ показали, что угловая пространственная зависимость параметров шероховатости является весьма важным фактором при трении. Например, износостойкость, сила трения, контакт-ная температура трибосистемы сильно зависят от пространственного амплитудно-частотного распределения микрогеометрии рабочих поверхностей относительно направления их эксплуатации. В этой связи микроскоп-профилометр дает возможность легко получить представление о периоде или пространственной частоте шероховатости в заданном направлении (рис. 2). Кроме того, собственные предварительные результаты исследования показали большие перспективы использования ЛСДФМП для измерений локальных дефектов поверхностей, в том числе и оценки объёмного износа деталей машин, что весьма актуально, в частности, при лабораторных триботехнических испытаниях. Экспериментально установлено, что именно объёмная пространственная шероховатость поверхностей трения дает наиболее полную информацию и отражает её главные свойства. При исследовании влияния шероховатости на эффективность смазочных материалов экспериментально было установлено, что один из наиболее признанных параметров шероховатости  $R_a$  не несет информацию о свойствах поверхностей трения. То есть, один из наиболее распространённых стандартизованных параметров шероховатости  $R_a$ , который определяется по одному и/или по нескольким профилям, характеризует лишь среднее отклонение выступов и впадин относительно средней линии и не несет информацию о геометрии вершин выступов. При этом именно поверхность вершин выступов вступает в контактные взаимодействия с поверхностью другого тела посредством граничных слоев при трении. Нами была проведена серия следующих экспериментов: образующая цилиндров контрообразцов после шлифования на кругло-шлифовальном станке подвергалась полировке последовательно различными

алмазными пастами зернистостью 40, 20, 10, 5, 3 и 1. Параметр  $R_a$  таких поверхностей после измерений на профилометре «Калибр 283» был менее 0,02 мкм. Одни контробразцы после этого подвергались шлифованию на кругло-шлифовальном станке, после чего параметр  $R_a$  находился в пределах 0,47–0,53 мкм, т.е. приблизительно 0,5 мкм, а поверхность представляла собой вид напильника с пилообразной геометрией (рис. 2, а, б).

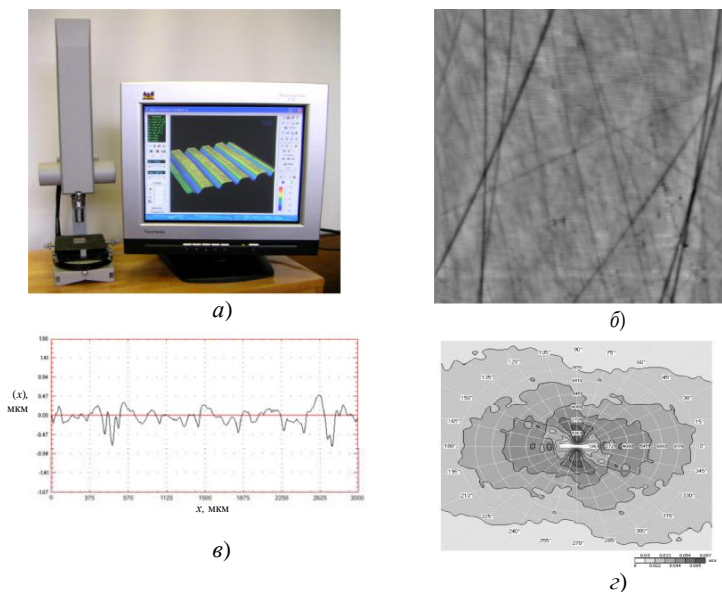


Рис. 1. Исследование шероховатости тестовой поверхности с параметром шероховатости  $R_a$  0,15 мкм: а) Внешний вид микроскопа-профилометра ЛСДФМП, б) двумерное изображение рельефа тестовой поверхности, восстановленного из данных, полученных двумерным дифференциально-фазовым методом; в) профиль тестовой поверхности; г) двумерное распределение дисперсии тестовой поверхности по направлению для отдельных спектральных составляющих пространственного спектра поверхности (по радиусу – пространственные частоты в  $\text{см}^{-1}$ )

Другие полированные контробразцы подвергались шлифованию путём их вращения прижатия к поверхности образующей цилиндра обычной наждачной бумаги с зернистостью, соответствующей №№ 2, 5, 7, 10 последовательно, до тех пор, пока величина  $R_a$  не достигла 0,5 мкм. Такое значение параметра  $R_a$  было достигнуто при шлифовании наждачной бумагой №10. После этого контробразцы с одинаковым значением величины  $R_a$ , равным 0,5 мкм, но с исходной шероховатостью поверхности, которая была получена различными технологическими приемами, подвергались трению по неподвижному плоскому образцу с одинаковой шероховатостью (менее 0,02 мкм). Испытания проводились в среде диалкилбензольного масла. Трение контртела, обработанного на кругло-шлифовальном станке, характеризовалось начальным износом 5 мкм и интенсивностью изнашивания 7 мкм в час. При этом величина коэффициента трения находилась в пределах 0,15–0,2, температура трения достигала 98 °С. При трении контробразцов, полученных другой технологией, (с таким же параметром  $R_a$ ) начальный износ достигал 1 мкм, интенсивность изнашивания 0,3 мкм в час, коэффициент трения не превышал 0,1, а температура не превышала 75 °С. Такое разительное отличие триботехнических свойств поверхностей с одинаковым параметром шероховатости  $R_a$ , измеренным на стандартном профилометре, связана с тем, что процедура шлифования алмазным кругом на кругло-шлифовальном станке при встречном вращении контробразцов и круга приводит к формированию на поверхности выступов. А при шлифовании вращающихся контробразцов путем прижатия неподвижного

шлифовального материала приводит к образованию впадин. Следовательно, в первом случае вершины выступов имели геометрию, близкую к геометрии режущих кромок резцов (рис. 2 а, б), а во втором случае вершины выступов имели геометрию плоских платформ и шероховатость в этом случае по Ахматову А.С. названа каньонообразной (рис. 2 в, г).

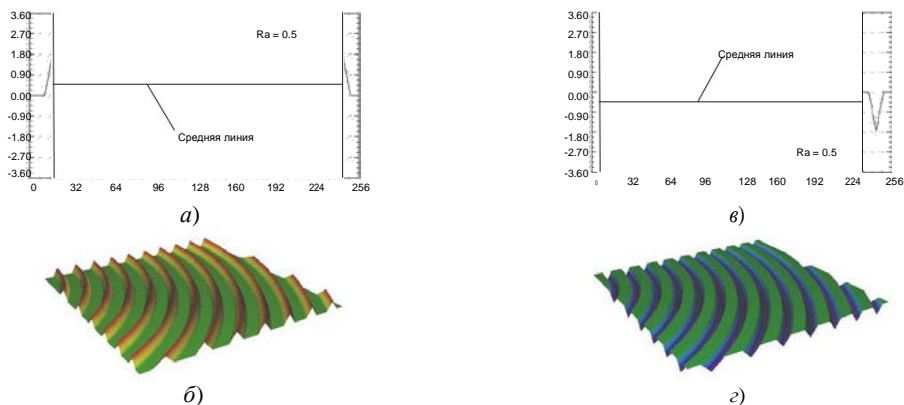


Рис. 2. Модельная поверхность, имеющая геометрию в форме выступов (профиль а) и её 3D вид (б), а также в форме впадин (в) и её 3D вид (г) с одинаковым параметром шероховатости  $Ra$  0,5 мкм

Исследование шероховатости поверхностей, полученных различными технологическими путями, контактными профилографами-профилометрами типа «Калибр» не показали каких-либо принципиальных различий ни по профилограммам, ни путем профилометрирования. То есть, лишь использование ЛСДФМП позволило установить принципиальную разницу состояния поверхностей, полученных различными технологическими приемами. На рис. 2 б и рис. 2 г показаны трехмерные изображения поверхностей контробразцов, полученных на ЛСДФМП, которые свидетельствуют о том, что параметр шероховатости  $Ra$  не отражает фактического состояния поверхности принципиально, т.е. является несостоятельным. Кроме этого, качественно новая информация

пространственном состоянии поверхностей деталей машин, получаемая на ЛСДФМП, позволит разрабатывать новые технологические приемы доводки рабочих поверхностей с наиболее эффективной эксплуатационной микрогеометрией. Это крайне необходимо для машиностроения при изготовлении трущихся деталей машин, лопаток турбин и компрессоров, деталей прецизионной техники и т.д.

Внедрение ЛСДФМП в испытательно-измерительный трибологический комплекс «NAU Friction Wear Test System» позволило существенно уменьшить погрешность получаемых трибологических характеристик конструкционных и смазочных материалов, именно показателей их противоизносных и антифрикционных свойств, с 30 до 9 %. Таким образом, путем использования ЛСДФМП с высокой чувствительностью по профилю (1 нм) в трибологических испытаниях существенно повышается воспроизводимость получаемых результатов как на стадии контроля 3D топографии исходных трущихся поверхностей, так и при измерении величины износа.

#### РЕФЕРАТ

<sup>1</sup> Євген Смирнов<sup>1</sup>, Сергій Коленов<sup>1</sup>, Юрій Пильгун<sup>1</sup>, Олександр Стельмах<sup>2</sup>, Володимир Бондар<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup> Київський національний університет ім. Тараса Шевченка, <sup>2</sup> Національний авіаційний університет,  
 stelmah@nau.edu.ua

#### ВИКОРИСТАННЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНУЮЧОГО ДИФЕРЕНЦІЙНО-ФАЗОВОГО МІКРОСКОПА-ПРОФІЛОМЕТРА В ТРИБОЛОГІЇ ГРАНИЧНОГО ЗМАЗУВАННЯ

При використанні лазерного скануючого диференційно-фазового мікроскопа-профілометра ЛДФСМП з чутливістю по профілю 1 нм суттєво підвищується відтворюваність отримуваних

результатів в ході експериментальних випробувань змащувальних матеріалів за протизносними та антифрикційними властивостями як на стадії контролю 3D топографії вихідних третьових поверхонь, так і при вимірюванні величини зношування.

**Ключові слова:** чутливість по профілю, лазерний скануючий диференційно-фазовий мікроскоп-профілометр.

#### РЕФЕРАТ

*Евгений Смирнов<sup>1</sup>, Сергей Колонов<sup>1</sup>, Юрий Пильгун<sup>1</sup>, Александр Стельмах<sup>2</sup>, Владимир Бондар<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, <sup>2</sup>Национальный авиационный университет, stelmah@nau.edu.ua*

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРУЮЩЕГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗОВОГО МИКРОСКОПА-ПРОФИЛОМЕТРА В ТРИБОЛОГИИ ГРАНИЧНОЙ СМАЗКИ

При использовании лазерного сканирующего дифференциально-фазового микроскопа-профилометра ЛДФСМП с чувствительностью по профилю 1 нм существенно повышается воспроизводимость получаемых результатов в ходе экспериментальных испытаний смазочных материалов на противоизносные и антифрикционные свойства, как на стадии контроля 3D топографии исходных трущихся поверхностей, так и при измерении величины износа.

**Ключевые слова:** чувствительность по профилю, лазерный сканирующий дифференциально-фазовый микроскоп-профилометр.

#### ABSTRACT

*Evgeny Smirnov<sup>1</sup>, Sergei Kolenov<sup>1</sup>, Yuri Pilgun<sup>1</sup>, Alexander Stelmakh<sup>2</sup>, Vladimir Bondar<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Kiev National University Taras Shevchenko, <sup>2</sup>National Aviation University, stelmah@nau.edu.ua*

#### USING LASER SCANNING DIFFERENTIAL-PHASE PROFILING MICROSCOPE IN BOUNDARY LUBRICATION TRIBOLOGY

When using laser scanning differential- socio-phase microscope-profilometer LDFSMP with sensitivity profile bearing 1 nm the reproducibility of the results, obtained during the experimental test of lubricants antiwearing and antifricition properties, considerably increases. It increases both on 3D control stage topography of the original friction surfaces, and on the stage of measuring the amount of wear.

**Key words:** sensitivity profile, the laser scanning microscope of differential-phase-roughness.

УДК 665.765-404.9.033

### III-13. УРЕАТНЕ МАСТИЛО ДЛЯ ШИРОКОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ДІАПАЗОНУ ЗАСТОСУВАННЯ

*Леонід Железний, Григорій Поп, Олексій Панейкін, Олег Македонський, Ірина Венгер*

Швидкість сучасних літаків збільшується, зростає теплове навантаження на окремі їх частини і, як наслідок, більш жорсткими стають режими роботи мастила в підшипниках елеронів, стабілізаторів і рулів. У випадку розширення діапазону робочої температури, наприклад, від мінус 50 до плюс 170 °С, мастила на нафтових оливах виявляються непридатними. Багато загусників, що успішно працюють за 120–150 °С, не витримують більш високої температури, і структура мастил руйнується. Ще одна проблема полягає підбиранні стабільних та ефективних у всьому діапазоні робочих температур антизадирних і антиокиснювальних додатків.

Сучасні авіаційні мастила – високотемпературні продукти з температурою крапання понад 250 °С і втратами на випаровування за 200 °С, не більше 5 %; стійкі до дії води, корозійно неагресивні, механічно стабільні, здебільшого 1–2-го класу пенетрації за шкалою NLGI. З урахування вищенаведених вимог авторами розроблено нове закладне багатоцільове уреатне мастило (УМ) на синтетичних оливах для широкого температурного діапазону застосування у авіаційній техніці. У якості дисперсійного середовища використано суміш полі альфаолефінової оливи з естерами пентаерітриту і жирних кислот фракції С5–С9. Загусник УМ одержано на так званому «сирому» монодіізоціанаті або поліізоціанаті (ПІЦ)

масовою часткою ізоціанатних груп 31,5–38,0 %. Взаємодією ПЦ з октадециламіном та бензиламіном синтезовано продукт зі збільшеною у порівнянні з класичною дисечовиною кількістю груп  $-\text{NH}-\text{CO}-\text{NH}-$ , що позитивно впливає на змащувальні властивості УМ і експлуатаційні характеристики системи в цілому.

Для визначення верхньої температурної межі застосування УМ використано метод дериватографічного аналізу, що базується на одночасному вимірюванні маси та ентальпії матеріалу під час його нагрівання. На кривих термогравиметрії (ТГ) початкова горизонтальна ділянка до 200 °С свідчить про високу стійкість мастильної композиції до термоперетворень (рис. 1). За підвищення температури до 300 °С спостерігається різка втрата маси мастила через інтенсивний хімічний розклад та випаровування синтетичного дисперсійного середовища. На кривих диференціального термічного аналізу (ДТА) спостерігаються два екзотермічні ефекти в температурному інтервалі 300–600 °С, що характеризують інтенсивну термоокиснювальну деструкцію дисперсійного середовища та сечовинного загусника. Отримані результати дають можливість визначити верхню температурну межу застосування УМ, виготовлених на суміші синтетичних олів, на рівні 200 °С.

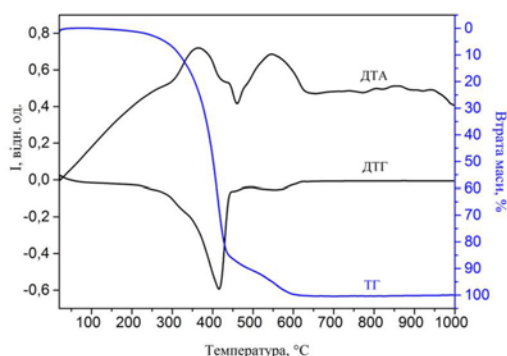


Рис. Дериватограма УМ

Крива ТГ на рисунку свідчить про 100 %-ву втрату маси УМ при нагріванні. Золи, на відміну від мильних мастил, дисечовина не утворює. Це дає вигідні переваги цьому типу мастил при застосуванні у високотемпературних умовах. На поверхнях тертя виключається утворення нагару та відкладення шламів, що подовжує термін експлуатації обладнання.

Дослідження впливу температури термооброблення (ТТ) на властивості мастильної композиції виявили, що зі зростанням ТТ підвищується температура крапання мастила, але погіршуються реологічні властивості – колоїдна стабільність, межа міцності, пенетрація. Оптимальною є ТТ у діапазоні 150–170 °С. При збільшенні частки бензиламіну у мольному співвідношенні ізоціанат:аліфатичний амін:ароматичний амін суттєво покращується термічна та антиокиснювальна стабільність системи. Важливим результатом досліджень є встановлення розрідження УМ після механічного руйнування, характерного для композицій високою часткою ароматичного аміна у складі сечовинного загусника. Тобто, підвищення концентрації бензиламіну призводить до погіршення механічної стабільності УМ, визначеної за зміною показника пенетрації після тривалого перемішування ( $P_2 - P_1 = \Delta P$ ) у стандартній мішалці від пенетрометра.  $P_1$  визначають після 60, а  $P_2$  – після 100 000 подвійних ходів. Зміна стану консистенції УМ у цьому випадку до значення  $\Delta P = 80-100$  в ході тривалого перемішування характеризує слабку стійкість структурного каркасу до руйнування, що може призвести до критичного розрідження мастила та його витікання з вузла тертя.

Грунтуючись на досягнутих результатах, розроблені оптимальна композиція трикомпонентного дисечовинного загусника та ефективні умови синтезу тиксотропної



колоїдної уреатної системи з високим рівнем термічних властивостей та механічної стабільності.

Наявність значного числа сечовинних –NH–CO–NH– та вторинних аміних –NH–груп в молекулі загусника позитивно впливає на антиокиснювальні властивості УМ. По суті, продукт взаємодії ПЩ з амінами є інгібітором 1-ї групи, що обриває ланцюги окиснення за реакцією з пероксидними радикалами, утворюючи полярний перехідний комплекс. Для підвищення рівня термоокиснювальної стабільності до складу УМ додатково введено оброблений борною кислотою продукт конденсації 2,6-ди-трет-бутилфенолу і алкілфенолів з формальдегідом і аміаком. З метою покращення трибологічних характеристик УМ використано пакет протизношувальних та антизадирних додатків у складі діалкілдитіофосфату цинку та суміші сульфидованих олефінів. Показники якості отриманого УМ приведено в таблиці.

Для визначення працездатності мастила за високих температур проведені його випробування на швидкісному підшипниковому стенді SETA- 1860, що відповідає методу FTMS 719B-331.1 Федерального Стандарту США. Критерієм оцінювання працездатності мастила є термін штатної роботи заправленого ним підшипника до виходу його з ладу або появи одного з наступних факторів: підвищення температури підшипника вище заданої норми, відпресовуваність оливи і її витікання з підшипника, посилення шуму підшипника. УМ досліджувалося у підшипнику 70-204К3 за радіального та осьового навантажень 23 Н, швидкості обертання  $10000 \text{ хв}^{-1}$  і температурі  $150^\circ\text{C}$ .

Для дослідження низькотемпературних властивостей УМ використано стенд, що відповідає методу ASTM D 1478. Стенд дозволяє оцінювати пускові характеристики підшипників з мастилом за від'ємних температур. При цьому визначаються два показники: пусковий момент ( $M_p$ ) – максимальний момент, що замірюється на початку обертання підшипника, та сталий момент ( $M_c$ ) – середнє значення моменту після обертання протягом 10 хв.

Як свідчать дані таблиці, УМ володіє високою термічною стійкістю. Працездатність його у підшипнику за високих температур перевищує 1000 год, що у 2 рази краще, ніж у комплексних літійових мастил на тій же синтетичній основі і з тими ж додатками.

Таблиця

Характеристика УМ

Найменування показника, одиниця виміру	Метод випробування	Значення показника
Колоїдна стабільність, %	ГОСТ 7142	8,4
Температура крапанья, $^\circ\text{C}$	ASTM D 566	260
Випарність, $200^\circ\text{C}$ , 1 год, %	ГОСТ 9566	4,5
Приріст кислотного числа ( $150^\circ\text{C}$ , 10 год), мг КОН/г	ГОСТ 5734	Відсутній
В'язкість за мінус $50^\circ\text{C}$ , Па·с	ГОСТ 7163	1490
Крутний момент за мінус $50^\circ\text{C}$ , Н·м		
- $M_p$	ASTM D 1478	0,198
- $M_c$		0,076
Механічна стабільність		
- $P$	ASTM D 217	32
Працездатність на стенді SETA-1860, год	FTMS 719B-331.1	>1060
Трибологічні характеристики на ЧКМ, Н		
- $P_k$	ГОСТ 9490	1098
- $P_z$		2450
- $D_z$ , 392 Н, 1 год, мм		0,5

Застосування багатофункціонального пакету присадок дозволило вийти на новий якісний рівень за трибологічними характеристиками і стійкістю до окиснювальних

перетворень. Тривале випробування в умовах дії термоокиснювальних чинників (висока температура, мідний каталізатор та атмосфера кисню) не призвело до зростання кислотного числа.

Варіюючи мольним співвідношенням компонентів дисечовинного загусника вдалося створити механічно стабільну мастильну композицію з  $\Delta P$ , що не перевищує 40 одиниць. Це дозволяє прогнозувати тривалу стабільну експлуатацію УМ у вузлах тертя без розм'якшення та витікання. Мастило не застигає до мінус 50 °С, що підтверджується низькою в'язкістю за цієї температури та величиною крутних моментів на початку та за сталого обертання підшипника.

Узагальнюючи отримані результати, можна констатувати, що розроблене УМ відповідає сучасним вимогам до авіаційних мастил і може бути рекомендоване для застосування у галузі літакобудування в якості багатофункційного мастила в умовах високих навантажень та в широкому температурному діапазоні.

#### РЕФЕРАТ

*Леонід Железний<sup>1</sup>, Григорій Поп<sup>1</sup>, Олексій Панейкін<sup>1</sup>, Олег Македонський<sup>2</sup>, Ирина Венгер<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України, <sup>2</sup>ТОВ «QIL», leonid\_zhelezny@mail.ru*

#### УРЕАТНЕ МАСТИЛО ДЛЯ ШИРОКОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ДІАПАЗОНУ ЗАСТОСУВАННЯ

Розроблене уреатне мастило та досліджені його експлуатаційні властивості. Встановлено, що воно працездатне в умовах високих навантажень в широкому температурному діапазоні та відповідає сучасним вимогам до авіаційних мастил.

**Ключові слова:** уреатне мастило, властивості, навантаження, температура.

#### РЕФЕРАТ

*Леонид Железный<sup>1</sup>, Григорий Поп<sup>1</sup>, Алексей Панейкин<sup>1</sup>, Олег Македонский<sup>2</sup>, Ирина Венгер<sup>1</sup>,  
<sup>1</sup>Институт биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины, <sup>2</sup>ООО «QIL»,  
leonid\_zhelezny@mail.ru*

#### ПОЛИМОЧЕВИННАЯ СМАЗКА ДЛЯ ШИРОКОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ДИАПАЗОНА ПРИМЕНЕНИЯ

Разработана полимочевинная смазка и исследованы ее эксплуатационные свойства. Установлено, что она работоспособная в условиях высоких нагрузок в широком температурном диапазоне соответствует современным требованиям к авиационным смазкам. **Ключевые**

**слова:** полимочевинная смазка, свойства, нагрузка, температура.

#### ABSTRACT

*Leonid Zhelezny<sup>1</sup>, Grigory Pop<sup>1</sup>, Olexey Papeikin<sup>1</sup>, Oleg Makedonsky<sup>2</sup>, IrinaVenger<sup>1</sup>, <sup>1</sup>Institute of  
Bioorganic Chemistry and Petrochemistry NAS of Ukraine, <sup>2</sup>LLC «QIL», leonid\_zhelezny@mail.ru*

#### UREA GREASE FOR A WIDE TEMPERATURE RANGE OF APPLICATION

Urea grease is developed and its performance characteristics is investigated. It is established that the grease is operable at high loads in a wide temperature range and meets the modern requirements for aviation greases.

**Key words:** urea grease, properties, load, temperature.

УДК 621.89.017

### III-14. ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ МОТОРНИХ ОЛИВ ЗА НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР

*Микола Худолій, Анатолій Чуб*

Відомо, що значний вплив на викид шкідливих речовин з відпрацьованими газами та витрату палива спричиняють режими роботи непрогрітого двигуна та агрегатів автомобіля, особливо при від'ємних температурах навколишнього середовища. Щоб наблизити оцінку

токсичності та економічності автомобіля до реальних умов за методикою Правил ЄЕК ООН 83 перед виконанням їздового циклу передбачено охолодження автомобіля до температури мінус 7 °С. Зниження температури також суттєво позначається на пускових якостях двигуна.

В реальних процесах експлуатації автомобіля в умовах України температура навколишнього середовища може бути значно нижчою мінус 7 °С та досягати мінус 30 °С.

Враховуючи, що натурні випробування впливу різних факторів з метою оптимізації процесів пуску та роботи непрогрітого двигуна та інших агрегатів потребують великих затрат коштів і часу, доцільно проводити такі дослідження моделюванням робочих процесів.

Однією з складових формалізації робочих процесів є моделювання внутрішнього тертя в агрегатах. Відомо, що внутрішнє тертя, що виникає під час роботи агрегату, в значній мірі залежить від динамічної в'язкості оливи, що використовується для змашування його деталей.

З метою отримання експериментальних даних для моделювання процесів тертя в агрегатах при низьких температурах було проведено вимірювання динамічної в'язкості моторних олив при різних температурах за допомогою ротаційного віскозиметра «Реотест 2» та циліндричного вимірювального пристрою. Для охолодження вимірювального пристрою з зразком оливи використовувався термоелектричний охолоджувач з точністю підтримання температури 0,1 °С.

Досить неочікуваним для нас результатом виявилось встановлення суттєвого впливу на величину динамічної в'язкості швидкості зсуву оливи. На рис. 1 показано вплив швидкості зсуву на динамічну в'язкість відповідно мінеральної (15W-40 за мінус 20 °С), напівсинтетичної (10W-40 за мінус 25 °С) та синтетичної (5W-30 за мінус 30 °С) олив. Як видно з рисунка, за збільшення швидкості зсуву динамічна в'язкість всіх олив зменшується, а потім її значення, в міру зростання швидкості зсуву, стабілізується.

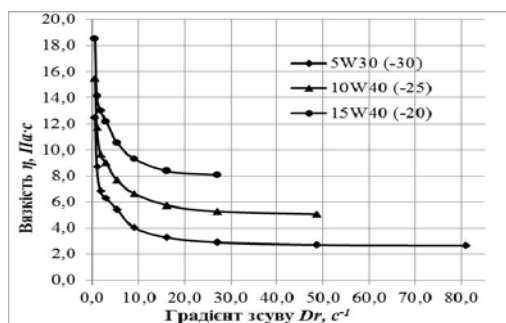


Рис. 1. Залежність динамічної в'язкості моторних олив різного класу в'язкості від швидкості зсуву

При цьому значення за мінімальних швидкостей зсуву в 2 і більше разів перевищують відносно стабільні значення динамічної в'язкості. Отримані залежності свідчать про те, що моторні оливи не є тотожними «ньютонівським» рідинам, для яких характерним є незмінність динамічної в'язкості від швидкості зсуву.

Очевидно, що при моделюванні процесів тертя, а також при нормуванні значень динамічної в'язкості подібний характер залежності від швидкості зсуву має бути врахований.

Слід відмітити, що стандартизований метод вимірювання динамічної в'язкості, передбачає за результат приймати мінімальне стабілізоване значення, отримане за підвищення швидкості зсуву.

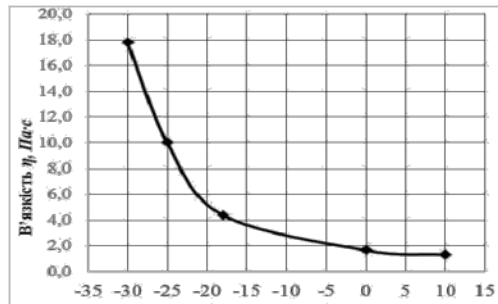


Рис. 2. Залежність динамічної в'язкості мінеральної моторної оливи класу в'язкості 15W-40 від температури

урахуванням отриманих результатів, очевидно, що дослідження впливу температури на динамічну в'язкість оливи необхідно проводити за однакової швидкості зсуву.

Як приклад, на рис. 2 наведена залежність динамічної в'язкості мінеральної моторної оливи класу в'язкості 15W-40 в діапазоні температур від мінус 30 °C (температура застигання оливи – мінус 32 °C) до плюс 10 °C за однакового градієнту швидкості зсуву  $16,2 \text{ с}^{-1}$ . Як видно з рисунка, зниження температури у вказаному діапазоні спричиняє зростання динамічної в'язкості більше ніж у 10 разів.

Виконані дослідження дозволяють зробити наступні висновки:

Для моторних оливи є характерною суттєва залежність динамічної в'язкості від градієнта швидкості зсуву.

Вплив температури на динамічну в'язкість слід оцінювати за однакових значень градієнта швидкості зсуву.

При моделюванні роботи механізмів в режимах зміни частоти обертання необхідно враховувати залежність динамічної в'язкості оливи від швидкості зсуву.

#### РЕФЕРАТ

Микола Худолій<sup>1</sup>, Анатолій Чуб<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>ТОВ «Випробувальний центр паливно-мастильних матеріалів», <sup>2</sup>Національний транспортний університет, [pmm@ntu.edu.ua](mailto:pmm@ntu.edu.ua), [anatoliy.chub@gmail.com](mailto:anatoliy.chub@gmail.com)

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНОЇ В'ЯЗКОСТІ МОТОРНИХ ОЛИВ ЗА НИЗЬКИХ ТЕМПЕРАТУР

На ефективність роботи автомобіля суттєво впливають режими роботи непрогрітих агрегатів. Оптимізацію робочих процесів агрегатів доцільно проводити шляхом моделювання їх роботи в цих режимах. Одним з факторів, що визначає втрати на тертя в агрегатах, є динамічна в'язкість оливи, які використовуються для мащення їх вузлів. В статті розглянуто результати експериментального визначення впливу градієнту швидкості зсуву та температури на динамічну в'язкість моторних оливи.

**Ключові слова:** динамічна в'язкість, градієнт швидкості зсуву, вплив температури, моторна олива.

#### РЕФЕРАТ

Николай Худолый<sup>1</sup>, Анатолий Чуб<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>ООО «Испытательный центр горюче-смазочных материалов», <sup>2</sup>Национальный транспортный университет, [pmm@ntu.edu.ua](mailto:pmm@ntu.edu.ua), [anatoliy.chub@gmail.com](mailto:anatoliy.chub@gmail.com)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ ВЯЗКОСТИ МОТОРНОГО МАСЛА ПРИ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУРАХ

На эффективность работы автомобиля существенно влияют режимы работы непрогретых агрегатов. Оптимизацию рабочих процессов агрегатов целесообразно проводить путем моделирования их работы в этих режимах. Одним из факторов, который определяет потери на трение в агрегатах, является динамическая вязкость масел, которые используются для смазки их узлов. В статье

рассмотрены результаты экспериментального определения влияния градиента скорости сдвига и температуры на динамическую вязкость моторного масла.

**Ключевые слова:** динамическая вязкость, градиент скорости сдвига, влияние температуры, моторное масло.

#### ABSTRACT

*Mykola Kłudoliy<sup>1</sup>, Anatoly Chub<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Fuel and Oil Testing Centre Ltd, <sup>2</sup>National Transport University, pmm@ntu.edu.ua,  
anatoliy.chub@gmail.com*

#### RESEARCH OF DYNAMIC VISCOSITY OF MOTOR OIL AT LOW TEMPERATURES

There is significant influence of not warmed aggregates' modes of operation on a car efficiency. It is reasonable to carry out optimization of aggregates' operating processes by modeling their operation in these modes. One of the factors that determines the friction loss in units is dynamic viscosity of oil, which is used for lubrication. Results of experimental determination of the influence of the gradient speed shift and temperature on motor oils' dynamic viscosity is presented in the article.

**Key words:** dynamic viscosity, gradient speed shift, influence of temperature, motor oils.

УДК 665.753(043.2)

### III-15. SMARNOŚĆ OLEJU NAPĘDOWEGO – OZNACZANIE Z WYKORZYSTANIEM METODY HFRR

*Hubert Kuszewski*

Smarność paliwa ma kluczowe znaczenie w ochronie przed zużyciem węzłów kinematycznych w obrębie współpracujących elementów układów zasilania silników o zapłonie samoczynnym. Spośród kilku metod oceny smarności paliwa, podstawową i zarazem normatywną metodą oceny smarności paliw do silników o zapłonie samoczynnym jest metoda HFRR (High Frequency Reciprocating Rig). W artykule dokonano syntetycznego opisu metodyki badań z wykorzystaniem metody HFRR. Przedstawiono wynik przykładowego oznaczenia smarności oleju napędowego. Średnica śladu zużycia została oznaczona przy pomocy kamery współpracującej z mikroskopem stanowiącym wyposażenie stanowiska badawczego. Przedstawiono także wymagania odnośnie smarności paliw do silników o zapłonie samoczynnym według wybranych norm oraz Światowej Karty Paliw.

Diesel fuel lubricity – determination by using HFRR method.

Jednym z ważniejszych parametrów z punktu widzenia trwałości par precyzyjnych układu zasilania silnika o zapłonie samoczynnym, jest lepkość i smarność paliwa. Aby zapobiec zacieraniu skojarzeń trących w układzie zasilania, powierzchnie trące muszą być rozdzielone trwałą warstwą substancji smarnej. W zdecydowanej większości obecnie stosowanych rozwiązań konstrukcyjnych systemów wtryskowych silników o zapłonie samoczynnym, jedynym środkiem smarnym jest paliwo. Z uwagi na stosunkowo niską lepkość oleju napędowego, w skojarzeniach trących układów wtryskowych zwykle nie występują warunki umożliwiające wystąpienia smarowania hydrodynamicznego, a jedynie granicznego. Trwałość warstw granicznych w skojarzeniach trących ograniczających procesy zużyciowe jest determinowana smarnością paliwa. Im lepsze są właściwości smarne paliwa, tym większa zdolność do tworzenia trwałych warstw granicznych. Z kolei zdolność ta zależy m.in. od właściwości adsorpcyjnych paliwa, tzn. obecności w paliwie substancji o charakterze polarnym. Do substancji takich zalicza się m.in. siarkę i jej związki.

Do oceny smarności paliw stosuje się kilka metod. Spośród nich, jedną z częściej stosowanych, jest metoda HFRR, w której elementem roboczym jest obciążona kulka stalowa. Kulka pod odpowiednim obciążeniem jest dociśnięta do nieruchomej płytki stalowej zanurzonej w badanym paliwie i przesuwana po niej oscylacyjnym ruchem postępowo-zwrotnym przy założonym skoku i z określoną częstotliwością. Miarą smarności paliwa w tej metodzie jest

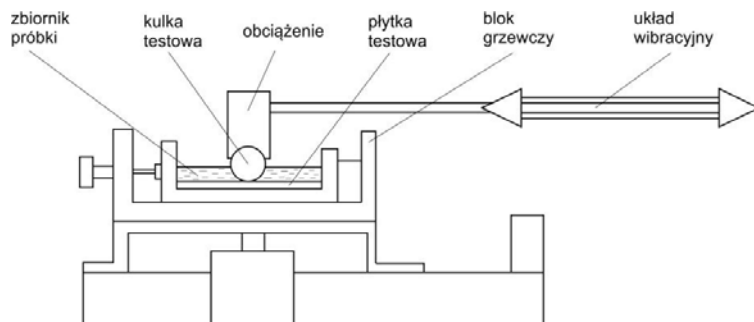
średnica śladu zużycia powstałego na kulce. Wyniki badań dotyczące smerności paliw określanej metodą HFRR można znaleźć m.in. w pracach. Rekomendowaną i zarazem normatywną metodą oceny smerności nafty lotniczej jest metoda BOCLE, w której obciążona kulka współpracuje z obracającym się pierścieniem, częściowo zanurzonym w badanym paliwie, a miarą właściwości smarnościowych paliwa jest średnica śladu zużycia powstałego na kulce. Inne, nieco rzadziej stosowane metody oceny smerności paliwa to BOTS, jego zmodyfikowana wersja BOTD oraz SLBOCLE. Adekwatnie do wymagań normatywnych, smerność oleju napędowego należy określać metodą HFRR. Według normy do oceny smerności oleju napędowego należy wykorzystać normę natomiast według normy należy w tym celu wykorzystać normę lub, przy czym normą rozstrzygającą kwestie sporne jest norma.

W pracy scharakteryzowano metodę HFRR oraz przedstawiono wykorzystanie oprogramowania sterującego pracą urządzenia pomiarowego, w zakresie modułu do pomiaru średnicy śladu zużycia kulki testowej. W tym celu posłużono się wynikiem oznaczenia smerności typowego oleju napędowego. Zaprezentowano również zdjęcie mikroskopowe śladu zużycia kulki testowej, wynik oznaczenia smerności w postaci średniej średnicy śladu zużycia (MSWD) oraz skorygowaną wartość śladu zużycia WS 1,4. W dalszej części scharakteryzowano wymagania normatywne dotyczące smerności paliwa przeznaczonego do silnika o zapłonie samoczynnym oraz wymagania ujęte w Światowej Karcie Paliw.

Jednym z aparatów o ruchu posuwisto-zwrotnym wysokiej częstotliwości (HFRR) jest urządzenie firmy PCS Instruments. Procedura testowa została przeprowadzona z wykorzystaniem takiego aparatu, a sposób postępowania przy jej realizacji był zgodny z normą. Głównymi elementami aparatu (rys. 1), którego schemat ideowy można znaleźć także we wspomnianej normie, jest zbiorniczek na badane paliwo, węzeł tarcia złożony z kulki i płytki testowej, układ obciążający zapewniający odpowiedni docisk kulki do płytki, blok grzewczy oraz układ wymuszający ruch posuwisto zwrotny z określoną częstotliwością i o założonym skoku. Układ mechaniczny aparatu umieszczony był w komorze kondycjonującej (rys. 2) dostarczanej przez producenta wraz z aparatem, dzięki której możliwy był dokładny pomiar wilgotności i temperatury w miejscu badania smerności. W skład całego stanowiska wchodzi dodatkowo czujniki wilgotności i temperatury oraz moduł układu sterowania (rys. 3) współpracujący z komputerem

odpowiednim oprogramowaniem umożliwiającym m.in. wprowadzenie parametrów pomiaru i archiwizację wyników. Warunki badania adekwatne do normy zostały przedstawione w tabeli 1.

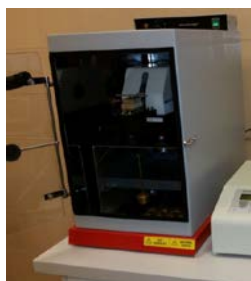
Przed pomiarami kulka i płytka testowa oraz inne elementy, które mają styczność z badanym paliwem, muszą być odpowiednio przygotowane poprzez przetrzymywanie w toluenie oraz mycie w toluenie i acetonie za pomocą myjki ultradźwiękowej. Algorytm postępowania z elementami testowymi zawarty jest w.



Rys. 1. Schemat ideowy aparatu o ruchu posuwisto-zwrotnym wysokiej częstotliwości (HFRR)

Warunki testu smerności

Parametr	Jednostka	Wartość
Objętość próbki paliwa	cm <sup>3</sup>	2 0.2
Długość skoku kulki testowej	mm	1 0.02
Częstotliwość	Hz	50 1
Temperatura próbki paliwa	C	60 2
Masa obciążająca węzeł tarcia	g	200 1
Czas trwania testu	min	75 0.1



Rys. 2. Komora kondycjonująca

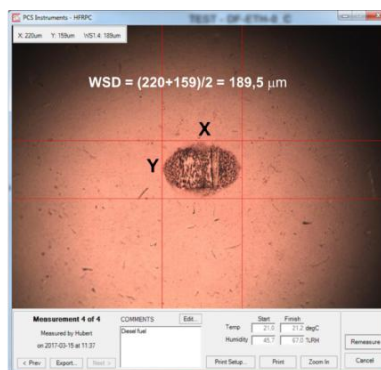


Rys. 3. Jednostka sterująca aparatem HFRR

Po pomiarze kulka wraz z uchwytem jest umieszczana w odpowiednim miejscu mikroskopu pomiarowego ML7000/SP firmy MEIJI Techno Co., Ltd. wyposażonego w kamerę firmy PCS Instruments (rys. 4) . Po kalibracji układu optycznego mikroskopu i kamery za pomocą zestawu kalibracyjnego, ślad zużycia jest wyświetlany i mierzony na ekranie monitora komputera.



Rys. 4. Mikroskop pomiarowy ML7000/SP



Rys. 5. Okno programu przedstawiające obraz mikroskopowy śladu zużycia dla oleju napędowego

Na rys. 5 przedstawiono okno programu przedstawiające obraz mikroskopowy śladu zużycia dla oleju napędowego. Na rysunku oznaczono zmierzone wartości długości śladu zużycia. Ślad zużycia mierzony jest w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach, przy czym długość  $X$  mierzona jest w kierunku prostopadłym do kierunku ruchu kulki testowej, natomiast długość  $Y$  mierzona jest w kierunku równoległym do kierunku ruchu kulki testowej. Po pomiarze długości śladu zużycia automatycznie obliczana była wartość MSWD oraz wartość WS 1.4. Parametr WS 1.4 obliczany był na podstawie temperatury i wilgotności względnej w otoczeniu badanej próbki określonych na początku i na końcu testu. Należy przy tym zwrócić uwagę, że adekwatnie do normy, nie jest wymagane obliczenie wartości średnicy śladu zużycia, skorygowanej do wartości

пари водної в умовах нормального тиснення, рівного 1,4 кПа (WS 1,4). Відповідно, критерієм оцінки смазності оливи напідвального становить параметр WSD (Wear Scar Diameter), який вирахований є так само як MSWD, тобто  $WSD = MSWD = (X+Y) / 2$ . Відповідно параметр WSD є відповідником WS 1,4.

Відповідно допустимий максимальний значення WS 1,4 (WSD) становить 460 м, натомість максимальний допустимий значення відходу оливи визначений методом HFRR, для всіх категорій оливи напідвального становить 520 м. Відповідно вимогам відносно палив, протестованих в Світовій Карті Палив (Worldwide Fuel Charter), для 1, 2 і 3 категорій палив до двигунів з запалом самозапалюючим, середній відхід оливи визначений методом HFRR не повинен перевищувати значення 460 м, натомість для палив 4 і 5 категорій значення це не повинно бути більшим ніж 400 м. Як виходить з рис. 5 використаний в дослідженнях оливи напідвальної характеризується низьким значенням WSD що свідчить, що паливо це виконує вимоги нормативні в області смазності визначені в нормі, а також вимоги протестовані для всіх 5 категорій оливи напідвального, протестовані в Світовій Карті Палив.

Смазність палива відіграє важливу роль в захисті від відходу пар кінематичних виникаючих в механізмах живлення двигунів з запалом самозапалюючим. З цього приводу смазності оливи напідвального є параметром знормалізованим. Підставою процедури дослідження смазності оливи напідвального, є методика використовуюча апарат з рухом ковзально-зворотним високочастотним (HFRR). Відповідно цієї процедури, критерієм оцінки смазності становить відхід оливи (WSD), а відповідно до найновішої редакції норми, не є вимаганою корекція відходу оливи до значення пари водної в умовах нормального тиснення, рівного 1,4 кПа. Великим зручанням в вимірюванні відходу оливи є допустимість застосування норми використовуючи в цьому випадку камеру співпрацюючу з мікроскопом вимірювальним. Відповідно цьому, зображення відходу оливи відображається на екрані монітора, а спеціальне програмування і механізм калібрувальний, дозволяють точний вимірювання відходу оливи безпосередньо користуючись з зображенням відходу оливи. Важливою перевагою такого способу вимірювання є те, що відхід оливи зареєстрований на зображенні може бути виміряний будь-яку кількість разів, а кожен з таких вимірювань є кожний раз архівований в файлі що містить дані стосовно виконаного тесту.

#### РЕФЕРАТ

*Хуберт Кушевський,  
Жешувська Політехніка*

#### **ЗМАЩУВАЛЬНА ЗДАТНІСТЬ ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА – ВИЗНАЧЕННЯ МЕТОДОМ HFRR**

Змащувальна здатність палива має важливе значення для захисту кінематичних пар від зносу в межах робочих елементів систем живлення дизельних двигунів. Серед кількох методів оцінки змащувальної здатності палива, основним і стандартним методом оцінки змащувальної здатності палива для дизельних двигунів є метод HFRR. У статті представлено методику з використанням методу HFRR. У статті представлено результати визначення змащувальної здатності дизельного палива. Діаметр плями зносу вимірювали за допомогою фотокамери, що сполучена з мікроскопом, що включено до випробувального стенду. Також представлено вимоги щодо змащувальної здатності палива для дизельних двигунів відповідно до деяких обраних стандартів та Всесвітньої Паливної

Хартії.

**Ключові слова:** змащувальна здатність, дизельне паливо, дизельний двигун, пляма зносу.

#### РЕФЕРАТ

*Хуберт Кушевський,  
Жешувська Політехніка*

#### **СМАЗЫВАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА – ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕТОДОМ HFRR**

Смазывающая способность топлива имеет существенное значение для защиты кинематических пар от износа в пределах рабочих элементов систем питания дизельных двигателей. Среди нескольких методов оценки смазочной способности топлива, основным и стандартным методом оценки смазочной



способности топлива для дизельных двигателей является метод HFRR. В статье представлена методика с использованием метода HFRR. В статье представлены результаты определения смазочной способности дизельного топлива. Диаметр пятна износа измеряли с помощью фотокамеры, которая соединена с микроскопом, включенным в испытательный стенд. Также представлены требования по смазывающей способности топлива для дизельных двигателей в соответствии с некоторыми избранными стандартами и Всемирной Топливной Хартии.

**Ключевые слова:** смазывающая способность, дизельное топливо, дизельный двигатель, пятно износа.

#### ABSTRACT

*Hubert Kuszewski,*

*Rzeszow University of Technology*

#### **DIESEL FUEL LUBRICITY – DETERMINATION BY USING HFRR METHOD**

Fuel lubricity has essential importance for protecting the kinematic pairs from wear within the working elements of the supply systems of diesel engines. Among several methods to assess the lubricity of the fuel, the basic and standard method of assessing the lubricity of fuels for diesel engines is a method HFRR (High Frequency Reciprocating Rig). The article presents in synthetic way a methodology of using the method HFRR. There are presented the example result of determination of lubricity of diesel fuel. The diameter of the wear scar was measured with a camera cooperating with a microscope which is included in the test bench. Also there are presented requirements regarding the lubricity of fuel to diesel engines according to selected standards and the World Fuel Charter.

**Key words:** lubricity, diesel fuel, diesel engine, wear scar.

УДК 621.311.23:662.7(043.2)

### **III-16. ODDZIAŁYWANIE PRODUKTÓW SPALANIA PALIW NA TRWAŁOŚĆ GNIAZD ZAWOROWYCH I ZAWORÓW SILNIKÓW – ANALIZA LITERATUROWA**

*Jacek MICHAŁSKI*

W mechanizmie zaworowym najbardziej obciążonym cieplnie i mechanicznie układem tribologicznym jest układ grzybek-gniazdo zaworowe. To skojarzenie tribologiczne, jest obciążone mechanicznie i siłą oraz strumieniem ciepła pochodzącym od gazów spalinowych, znajdujących się w komorze spalania. Dodatkowo zawory wylotowe (wydechowe) są narażone na działanie strumienia cieplnego pochodzącego od strumienia gazów spalinowych przepływających przez szczelinę wylotową w okresie otwarcia zaworu. Zawory, gniazda zaworowe oraz tłoki, głowice i cylindry silnika spalinowego pracują w niezwykle agresywnym środowisku gorących gazów spalinowych. Największe obciążenia cieplne występują w początkowym okresie otwarcia zaworu, w czasie gdy gazy spalinowe przepływają przez szczelinę pomiędzy przylgnięciem zaworu a gniazdem zaworowym, z prędkością krytyczną przekraczającą 600 m/s i posiadają temperaturę rzędu 1150–1250 K. Wskutek ograniczonego odprowadzenia ciepła, temperatura na powierzchni uszczelniającej grzybek-gniazdo może wówczas osiągnąć lokalnie wartość dochodzącą prawie do 1173 K. Zawory silnikowe muszą być odporne na pełzanie zarówno nisko- jak i wysokotemperaturowe. Wielkość naprężeń w grzybkach zaworów jest wyższa dla silników o zapłonie samoczynnym niż dla silników o zapłonie iskrowym. Zawory, zwłaszcza wylotowe, silnika spalinowego narażone są, poza oddziaływaniem temperatury, dodatkowo w czasie zamknięcia obciążone siłami rozciągającymi od sprężyn, w czasie otwierania siłami ściskającymi od ciśnienia gazów we wnętrzu cylindra oraz naprężeniami zginającymi w przypadku zużytego gniazda, zniekształconego ułożenia w gnieździe. Wyższe temperatury gazów są charakterystyczne dla silników o zapłonie iskrowym. W celu zapewnienia dobrego przylegania zaworu do gniazda i zabezpieczenie go przed nadpaleniem stosuje się kąt wierzchołkowy przylgnięcia zaworu o około 0,25° do 1° większy niż kąt przylgnięcia gniazda. Kąt przylgnięcia zaworu 90° jest często stosowany,

ponieważ średnica grzybka jest wówczas mniejsza oraz dłużej jest zachowana szczelność zaworu. Nacisk jednostkowy na przylgnię wywarły siłą sprężyny powinien wynosić około 0,06 do 0,7 MPa. Typowe naciski w eksploatacji na powierzchni przylgni, o wielkości 55 MPa, zapewniają dobre uszczelnienie i niskie zużycie. Twardość 359 HV<sub>0,1</sub> lub wyższa w temperaturze 770 K zapewnia wysoką trwałość zaworów. Zawory silnikowe i ich gniazda muszą spełniać wymogi wytrzymałościowe związane z materiałem podłoża, właściwościami warstw powierzchniowych oraz ukształtowania wymiarowo-geometrycznego.

Długookresowa eksploatacja skojarzeń tribologicznych zawór-gniazdo zaworowe silnika spalinowego, zwłaszcza zaworów wylotowych, w warunkach cykliczno zmiennych naprężeń cieplnych i mechanicznych w atmosferze spalin benzyny w podwyższonej oraz wysokiej temperaturze, może powodować powstawanie warstw nalotowych (nalotów, narostów) jak i korozję powierzchni metalu oraz procesy dyfuzyjne w cienkiej warstwie przypowierzchniowej. Praca zaworów silnikowych przebiega w zmiennych warunkach obciążenia, temperatury oraz składu i parametrów otoczenia. Głównymi agresywnymi czynnikami jest temperatura oraz składniki spalin: dwutlenek azotu, węgiel C<sub>2</sub>, przegrzana para wodna, dwutlenek i tlenek węgla, tlenki azotu, węglowodory i wodór. W skrajnych warunkach eksploatacyjnych może prowadzić to do zniszczenia zaworu, gniazda zaworowego oraz odkształcenia zaworów i gniazd zaworowych, zmniejszenia szczelności komory spalania i uszkodzenia lub zniszczenia silnika spalinowego.

Surowa benzyna, otrzymana z rektyfikacji ropy naftowej lub syntezy chemicznej surowców wyjściowych, ma niską liczbę oktanową i ograniczoną przydatność eksploatacyjną. Głównymi parametrami określającymi właściwości benzyny, jako paliwa silnikowego jest wartość opałowa, liczba oktanowa, ciepło parowania, gęstość, prężność par i stała stechiometryczna. Benzyna w zależności od producenta i sieci sprzedaży oraz kraju różni się, jakością i parametrami. Historycznie, pierwsze silniki z komorą wewnętrznego spalania, przeznaczone do samochodu, był napędzane substancją zwaną „spityusem silnikowym”. Było to wyjątkowo czyste paliwo. Składnikami spalin była para wodna, dwutlenek węgla i śladowe ilości czterowartościowego węgla.

Ze względów ekologicznych paliwa silnikowe powinny: mieć jak największą wartość opałową – mającą dodatkowo wpływ na maksymalizację możliwej do wykonania pracy, małą emisję substancji szczególnie szkodliwych dla środowiska – cyrkulację węgla w niewielkiej skali czasu, zapewniać bezpieczeństwa użytkowania pojazdów i silników – biodegradowalność paliw, zapewniać silnikom dostateczną trwałość – ograniczać powstawanie produktów zużycia oraz produktów odpadowych obsługi pojazdów, zapewnić w produkcji i dystrybucji najmniejszą degradację środowiska – paliwa reformowalne. Benzyna silnikowa jest mieszaniną w węglowodorów wrzących w temperaturze 30–210 °C, zawierającą składowiki o liczbie atomów węgla w cząsteczce od C<sub>4</sub> do C<sub>10</sub> z grupy węglowodorów parafinowych, naftenowych, olefinowych i aromatycznych. Benzyna handlowa jest zazwyczaj produktem otrzymanym ze zmieszania (komponowania) różnych strumieni rafineryjnych o temperaturze wrzenia benzyny: benzyny z pierwotnego rozdziału ropy naftowej (po procesie hydroodsiarczania), produktu z reformingu katalitycznego oraz krakingu termicznego i katalitycznego, jak również z produktu procesu alkilacji czy izomeryzacji, hydrokrakingu i innych, w takich proporcjach, aby spełnione były wymagania normatywne prawne. Liczba wykorzystywanych strumieni rafineryjnych o temperaturze wrzenia odpowiadającej temperaturze wrzenia benzyny zależy od głębokości przeróbki ropy naftowej do produktów paliwowych (kompleksowości strumieni rafineryjnych). Benzyna silnikowa zawiera również komponenty takie jak: benzen, etery zawierające 5 lub więcej atomów C w cząsteczce, metanol, etanol, alkohole, żywice, tlen a także dodatki uszlachetniające i poprawiające właściwości paliwa. Skład węglowodorowy benzyny może się zmieniać w szerokim zakresie w zależności od rodzaju przetwarzanego surowca, stosowanych technologii rafineryjnych, w tym warunków procesowych, bilansu benzyny i innych produktów, a przede wszystkim od wymagań. Najpopularniejsza w kraju benzyna bezołowiowa 95 (Eurosuper 95) nie ma stałego składu chemicznego z uwagi na różnorodność stosowanych komponentów i ich wzajemnych proporcji. Najlepiej spala się węglowodór tzw. izooktan (2,2,4-trimetylopentan), a najgorzej n-heptan. Mieszając tylko te dwa

węglowodory można symulować zachowanie prawie wszystkich rodzajów benzyn. W celu poprawy własności benzyny dodaje się, poniżej 1%, związków chemicznych zwanych środkami przeciwstukowymi. Od lat 30 XX wieku, najczęściej dodawanym w tym celu związkiem był czteroetyłek ołowiu (tetraetylołów  $Pb(C_2H_5)_4$ ), a utworzone w ten sposób paliwo nazwano benzyną etylową (etyliną E78, E86, E94, E95 i E98). Niska trwałość układów katalitycznych pojazdów samochodowych o silnikach spalinowych zasilanych etyliną, mającymi środek przeciwstukowy tetraetylołów, spowodowała ich wycofanie. Publicznie najczęściej jednak uzasadniano to silnie trującymi podczas spalania etyliny w silniku wydzielanymi związkami ołowiu działającymi degradująco na otoczenie w pobliżu dróg. W aglomeracji szczecińskiej odnotowano wyraźny spadek dwutlenku siarki, do 3 %, w latach 2000–2002. Wynikał on z likwidacji małych kotłowni osiedlowych i podłączenia ogrzewania miasta do wielkiej elektrociepłowni zaopatrzonej w odpowiednie filtry. Udział w tym, ma także rygorystyczne ograniczenie siarki zawartej w paliwie. Dość gwałtowny jego wzrost do 2005 roku, wynikał ze skażenia powietrza poprzez spaliny ogrzewanych domów. Wzrost dwutlenku azotu w latach 2003–2010, do stężenia  $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , wynika ze wzrostu liczby pojazdów z silnikami wysokoprężnymi. Wyznaczono zależności między tlenkiem azotu, dwutlenkiem siarki, tlenkiem węgla i pyłami zawieszonymi w powietrzu PM10, w zależności od spalania oleju napędowego, estru metylowego kwasu tłuszczowego oleju rzepakowego EMKOR, benzyny Pb 95, etanolu, mieszaniny paliwa etanolowego i benzyny, a podstawowymi wskaźnikami eksploatacyjnymi silników zwłaszcza samochodów ciężarowych

autobusów. Emisja cząstek stałych (konsystencji ciekłej, stałej i budowie organiczną oraz nieorganiczną) w silnika o zapłonie iskrowym jest niewielka, a rozpuszczalne cząstki stałe tworzą się wskutek niecałkowitego spalania benzyny. Wyższe temperatury osiągają zawory i gniazda zaworowe w silnikach o zapłonie iskrowym z paliwami gazowymi oraz z paliwem alternatywnym, którym jest metanol, stosowany samodzielnie lub jako domieszka do benzyn.

Czteroetyłek ołowiu był dodawany do benzyn etylowych w ilości maksymalnie 1,5 g/l. W Unii Europejskiej od 1982 do 2005 r. wolno było stosować etyliny zawierające nie więcej niż 0,15 g tetraetylołowiu w 1 litrze paliwa. Obecnie jego dodawanie do benzyny jest w wielu krajach świata zabronione: w USA i Kanadzie w latach 1976–1986, w krajach Unii Europejskiej od 15 stycznia 2005 roku. Aktualnie benzyna bezołowiowa 95 zawiera max 5 mg/l ołowiu, max 10,0 mg/kg siarki i ma gęstość (w temperaturze  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ )  $720\text{--}775 \text{ kg}/\text{m}^3$ . Benzyny lotnicze mają wysoką dopuszczalną zawartość czteroetylku ołowiu a jedynie benzyny do napędu lotniczych silników tłokowych o niskim stopniu sprężania oraz w samolotach ultralekkich jest bezołowiowa. Benzyna lotnicza Avgas 115/145 ma dodatek przeciwstukowy płyn etylowy TEL – B firmy Innospec/Alcor a stężenie ołowiu w gotowej benzynie nie przekraczające 1,28 g Pb/l benzyny. Jako dodatki przeciwstukowe mogą być stosowane mieszaniny związków, zawierające nie mniej niż 61 % (m/m) czteroetylku ołowiu i taką ilość dwubromoetylenu, aby, na jeden atom ołowiu przepadały dwa atomy bromu. Liczba oktanowa motorowa wynosi minimum 115 a liczba wyczynowa minimum 145. Avgas 115/145 barwiony jest na purpurowo. Benzyna lotnicza B 91/115 (spełniająca wymagania normy GOST 1012-72) ma zawartość ołowiu maksimum 1,60 gPb/l paliwa a zawartość czteroetylku ołowiu maksimum 2,5 g CEO/kg. Liczba oktanowa motorowa wynosi minimum 91 a liczba wyczynowa minimum 115. Benzyna Avgas 100LL „niskołowiowa”, jest obecnie najpopularniejszą odmianą benzyny lotniczej (skład określa norma ASTM D 910 i DEF STAN 91-90). Zawartość czteroetylku ołowiu wynosi maksimum 0,56 g Pb/l benzyny, przy czym jeden gram czteroetylku ołowiu zawiera 0,6 grama ołowiu. Avgas 100LL jest barwiony na niebiesko. Liczba oktanowa motorowa wynosi 100 a liczba wyczynowa min 130. Do napędu silników małej mocy stosowana jest benzyna bezołowiowa 91/96UL (jest to Avgas 100LL bez dodatku tetraetylołowiu) stosowana w niektórych krajach (np. Szwecja) jako zamiennik Avgas 100LL. Benzyna ta nie jest barwiona. Z kolei benzyna Avgas 100 (zwanego czasem również 100/130) ma zawartości czteroetylku 1,12 g/l. Avgas 100 jest barwiony na zielono. Ołowiowa benzyna lotnicza B 91/115 przeznaczona jest do silników gwiazdowych ASz-62IR oraz Ivchenko AI-14 (właściwości określa norma GOST 1012-72) ma liczbę oktanowa motorowa

minimum 91, a liczba wyczynowa minimum 115. Zawartość ołowiu wynosi maksimum 1,6 g/l, a zawartość czteroetylku ołowiu wynosi maksimum 2,5 g/kg. Barwiona na zielono. Benzyna 80/87 użytkowana w silnikach o niskim stopniu sprężania ma zawartość ołowiu nie większa niż 0,13 g/l. Barwiona na czerwono.

W po łowie lat 80 opracowano nowe rodzaje benzyn – tzw. benzyny bezołowiowe. Do benzyn tych dodaje się kilka procent węglowodorów aromatycznych oraz eterów z grupami aromatycznymi MMT ( $Mn(\eta^5-Me-Cp)(CO)_3$ ), lub etery tert-butyłowe, sole litu. Dodatki te skutecznie zwiększają liczbę oktanową, ale związki te nie spalają się całkowicie w komorze silnika. Muszą być "dopalane" na katalizatorach platynowych umieszczanych w układzie wydechowym samochodów. Eliminowanie tym sposobem przedwczesnego zapłonu (pinging), nie niszczy konwertyerów katalitycznych i jednocześnie nie wymusza na spółkach naftowych obowiązku oczyszczania swoich produktów (głównie z siarki i azotu), oraz przerzuciło odpowiedzialność oraz koszty oczyszczenia powietrza na barki użytkowników samochodów. Benzyny bezołowiowe w pojazdach oraz rekreacyjnych jednostkach pływających, wyposażonych w silniki z zapłonem iskrowym to: Eurosuper 95, Super Plus 98, Premium VERVA 98, 98 BP Ultimate z technologią ACTIVE, serii Fuel Save (dodatki Efficiency Improver), BIO85 (E85, 85 % bioetanolu, silnik Flexifuel FFV) wydłużają żywotność świec i układu wydechowego, chronią katalizator

przedłużają jego trwałość oraz zmniejszają emisję węglowodorów do atmosfery. Trujące wpływy, nowych dodatków przeciwstukowych w tych benzynach, nie jest jednak publikowany, jako zmniejszony, jedynie odmienny.

Zawory silnikowe są obciążone zmienną wartością ciśnienia spalania, sił napędowych bezwładności oraz temperaturą zależnych także od składu i parametrów otoczenia. Najczęściej uszkodzenia zaworów (grzybka, powierzchni cylindrycznej trzonka i jego czoła) w silnikach spalinowych mają przyczyny eksploatacyjne (przeciążenie cieplne lub mechaniczne) oraz są spowodowane przez wady wykonawcze i usterki układu rozrządu. Zmniejszenie zużycie powierzchni przylgni zaworów wylotowych wynika niekiedy z obecności w gazach spalinowych niewielkich ilości mgły olejowej i sadzy, mających działanie smarne. Po pewnym czasie eksploatacji może wytworzyć się na powierzchni przylgni cienka warstwa nalotowa (powłoka, narost) zabezpieczająca przed zużyciem. Powierzchnie przylgni zaworów dolotowych (ssących), natomiast, mają zwykle metaliczny połysk świadczący o braku smarowania i intensywnym zużyciu. Zawór dolotowy ma skomplikowany mechanizm zużycia, występują elementarne procesy szepiania, odkształceń ścinających i ścierania. Na przylgni zaworów dolotowych wyróżniamy trzy mechanizmy zużycia: adhezję i zużycie ścierne, odkształcenie plastyczne powierzchni przylgni oraz zużycie utleniające (intensywne dla zaworów wylotowych). W badaniach przyspieszonych zużycia pary grzybek-gniazdo stwierdzono, że mechanizm zużycia był wynikiem odkształcenia plastycznego, ścierania i adhezji oraz przenoszenia materiału pomiędzy współpracującymi elementami. Wyższe temperatury systemu zawór-gniazdo zaworowe wywołują mniejsze zużycie gniazda, które interpretowano ochronną warstwą powstałych tlenków i deformacji gniazda zaworu. Osady utworzone na powierzchni zaworu wylotowego są dwuwarstwowe. Zewnętrzna warstwa zawiera głównie siarczki metali alkalicznych, a warstwa wewnętrzna jest bogata w wanad i pierwiastki materiału podłoża. W przypadku przedmuchów powodowanych przez kanały gazowe na powierzchniach uszczelniających można spodziewać się lokalnego wzrostu temperatury o 200-300 K, to znaczy do temperatur wyższych od temperatury topnienia osadów. Osady na powierzchni zaworu dolotowych silników wysokoprężnych pochodzą głównie z oleju silnikowego, proces koksowania i utlenienia olej silnikowy. W okolicy grzybka zaworu są szare, temperatura 427– 450 °C, z kolei w obszarze przechodzenia grzybka w trzonek mają kolor czarny, temperatura 350 °C. Tendencja do tworzenia osadów czarnych występuje w zakresie temperatury od około 230 °C do 350 °C. Miejsce gromadzenia osadu zależy od temperatury powierzchni zaworu i konstrukcji układu wtryskowego.

Zawór silnikowy i jego gniazdo musi spełniać wymogi wytrzymałościowe związane z materiałem podłoża, właściwościami warstw powierzchniowych oraz ukształtowania wymiarowo-

geometrycznego. Maksymalna temperatura pracy w powietrzu stali przeznaczonych na zawory silnikowe tj. stali żaroodpornych martenzytycznych, ferrytycznych, austenitycznych i ferrytyczno-austenitycznych wynosi od 800 °C do 1100 °C, natomiast żaroodpornych stopów niklu od 1000 °C do 1200 °C. Wytrzymałość na rozciąganie typowych stali zaworowych (silchromów) wynosi 1000–1100 MPa, moduł Younga 200 GPa, wydłużenie 25 %, twardość 32 HRC (99 HRB), udarność KCV=700 kJ/m<sup>2</sup> oraz żarowytrzymałość do 627 °C. Na zawory wylotowe i dolotowe tłokowych silników spalinowych, samochodów i motocykli, stosuje się stal do ulepszenia cieplnego 36HNM 36HNM (36CrNiMo4), stale żaroodporne H9S2 (X45CrSi9-3) i H10S2M (X40CrSi10-2) i inne. Mają one strukturę sorbit po hartowaniu i wysokim odpuszczaniu. Na najbardziej obciążone zawory wylotowe i dolotowe silników lotniczych stosowane są stale o strukturze austenit i węgliki, gatunku 4H14N14W2M (X45CrNiW14-14-2) i 50H21G9N4 (X53CrMnNiN21-9) i inne. Ich utwardzenie wydzieleniowe realizuje się przez przesycanie w temperaturze 1400–1450 K oraz starzenie przez kilkanaście godzin w temperaturze 1000–1050 K. W stalach zaworowych martenzytycznych, ferrytycznych, austenitycznych i ferrytyczno-austenitycznych występują wiązania międzyatomowe C+N zapewniające wysoką wytrzymałość na korozję stali o najwyższej energii pęknięcia. Korozja zaworów i gniazd zaworowych może być równomierna (równomierne zaatakowanie całej powierzchni), międzykrystaliczna (wzdłuż granic ziaren), naprężeniowa (atakuję międzykrystalicznie lub śródkrystalicznie elementy poddane naprężeniu wewnętrznemu), wżerowa (punktowy ubytek masy), zmęczeniowa (współdziałania środowiska korozyjnie agresywnego i cyklicznego lub zmiennego naprężenia), szczelinowa (pojawia się w szczelinach i zagłębieniach konstrukcyjnych, pod uszczelnieniami, pod osadami i zgorzeliną oraz we wszelkiego rodzaju pęknięciach) oraz stykowa (wywołana stykiem dwóch metali lub stopów o różnych potencjałach). Badania stali zaworowej w gazach spalinowych oleju napędowego z dodatkiem 5, 10 i 20 % estrów metylowych kwasów tłuszczowych (FAME) wykazały, że ich odporności korozyjna zmniejsza się wraz ze zwiększeniem zawartości FAME w oleju napędowym oraz zmniejszeniem zawartości Cr, Si, Ni oraz zwiększeniem zawartości Mn. Badania prowadzono w komorze roboczej reaktora utleniającego w warunkach symulujących pracę zaworów wylotowych silnikach o zapłonie samoczynnym. Dąży się różnymi czynnikami, do obniżenia temperatury pracy zaworów (nadmuch powietrza, częściowe wypełnienie zaworu sodem).

Dążenie do zmniejszenia mas ruchomych rozrządu w silnikach spalinowych spowodowało opracowanie zaworów o mniejszej średnicy trzonków, lekkich zaworów ze stopów grupy TiAl, kompozytów i materiałów ceramicznych, jak azotek krzemu, oraz zaworów stalowych drażonych. Temperatury w drażonych zaworach jak i lekkich pełnych zaworach są tylko o kilka procent większe, niż w zaworze stalowym o takiej samej geometrii i poddanych takim samym wymuszeniom cieplnym. Siczek przeprowadził badania doświadczalne i modelowe oporów ruchu i zużycia trzonka zaworu i prowadnicy, przy zmiennym udziale tarcia płynnego, oraz model zużycia oduderzeniowego zaworu i gniazda uwzględniający pośrednio i bezpośrednio zjawisko powstawania nagaru i tlenków w krzywkowym i bezkrzywkowym rozrządzie. Autor przyjął, że prędkość osiadania zaworu stalowego wynosi 0,05 m/s, po zastąpieniu takiego zaworu przez zawór TiAl6Zr4Sn2Mo2 lub Ti6Al4V dopuszczalna prędkość osiadania, umożliwiająca uzyskanie zbliżonej wartości zużycia, wynosi odpowiednio dla gniazda: żeliwo lite 0,24 m/s, brąz lity 0,26 m/s, brąz spiekany 0,061 m/s, brąz dolewany 0,157 m/s i brąz spiekany 0,055 m/s. Ze względu na wymagania: dobrej odporności na zużycie ścierne, erozyjne, korozyjne, odkształcenie plastyczne, żarowytrzymałość, wytrzymałość zmęczeniową oraz dobrej wentylacji silnika; szybkość przesuwu podczas zamykania zaworu wynosi 0,15–0,2 m/s. Styk powierzchni grzybek-gniazdo ma charakter dynamiczny oraz tarcie jest suche. Zmniejszenie obciążenia zespołu prowadnica-zawór-gniazdo uzyskano zmodyfikowanym układem krzywek, dźwigniek i wyeliminowaniem sprężyn – rozrząd desmodromiczny, stosowany przez firmę Mercedes i Ducati.

Stopy tytanu są stosowane na wysokoobciążone zawory tłokowych silników samochodowych. Stop dwufazowy  $\alpha+\beta$  (Ti-6Al-2Cr-2Mo), stop jednofazowy  $\alpha$  (Ti-6Al-2Cr-2Mo) mają wytrzymałość na rozciąganie 860–940 MPa, moduł Younga 114 GPa, wydłużenie 15 %,

twardość 32 HRC (304 HB), udarność KCV = 580 kJ/m<sup>2</sup>, żarowytrzymałość do 527 °C. Stopy na osnowie faz międzymetalicznych wykonane metodą metalurgii proszków zagęszczanych i obciążeniem cyklicznym zmiennym (intermetale), kompozyty FeAl-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (na osnowie faz międzymetalicznych z układu FeAl zbrojone cząstkami Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), nanomateriały i nanokompozyty.

Ze względu na trwałość, przylganie zaworów są napawane stopami o szczególnie wysokich opornościach na korozję wysokotemperaturową i zużycie, najczęściej stellitami. Mają one oprócz dużej odporności na korozję, wysoką odporność na zużycie ściernie w temperaturach zbliżonych do 800 °C. Zamiennikami są stopy wykonane z mieszanin proszków. W napawaniu przylgni zaworów Stellit 6, można zastąpić stopem Fe-20Cr-1.7C-1Si-xB z dodatkiem boru. Stopy zawierające mniej niż 0,6 % wagowych boru wykazała doskonałą odporność na zużycie, co wynika z ochronnej warstwy tlenków utworzonych na powierzchni stykającej się elementów. Z kolei stopy zawierające wagowo więcej niż 1 % wagowych boru, charakteryzują się obecnością kruchych cząstek FeB, mających łatwy proces inicjacji pęknięć. Zawory ze: stali zaworowych, stopów tytanu oraz materiałów na osnowie faz międzymetalicznych (intermetali – FeAl-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) i kompozytów z fazą wzmacniającą ceramiczną; podlegają obróbce jarzeniowej – zwłaszcza azotowaniu i węgloazotowaniu oraz implantacji jonowej. Testy wskazują na poprawność współczesnych technologii natryskiwania cieplnego tak wytwarzanych warstw powierzchniowych jak i warstw z mieszanin proszków, dla skojarzeń tribologicznych: zawór-gniazdo zaworowe oraz zawór-prowadnica.

Badano wytrzymałość zmęczeniową stali zaworowej martenzytycznej X45CrSi9 -3, o różnej mikrostrukturze metalograficznej po obróbce cieplnej, w połączeniu z różnymi zabiegami powierzchniowymi jak twarde chromowanie, azotowanie i szlifowania. Stwierdzono znaczny wzrost wytrzymałości zmęczeniowej stali martenzytycznej po azotowaniu, w porównaniu z stalą poddaną chromowaniu. Zauważono jednak wzrost oporu tarcia ślizgowego na azotowanych elementach, wskutek podwyższenia w stałym roztworze zawartości azot i dwutlenku węgla.

Stwierdzono zgodność modelu numerycznego MES przewidywania wytrzymałości zmęczeniowej powlekanych jednowarstwowo CrN elementów wykonanych ze stali austeniczno-ferrytycznej 2205 duplex, stali narzędziowej H11 i aluminium 6082 z badaniami doświadczalnymi.

Głęboko kriogeniczna obróbka stali zaworowych, zwiększa ilość wtórnych węglików oraz prowadzi do ich równomiernego rozkładu, o większej gęstości, z równoczesnym zwiększeniem twardości osnowy. Zwiększenie odporności na zużycie cienne stali zaworowych zależy w rosnącym porządku od temperatury obróbki, jest korzystniejsze dla głębokiej obróbki kriogenicznej. Obróbka kriogeniczna stali zaworowych poprawia ich odporność na zużycie w ruchu posuwisto-zwrotnym, głównie poprzez tworzenie drobnych węglików rozproszonych w strukturze hartowania, oraz zmniejsza ilość austenitu szczytkowego.

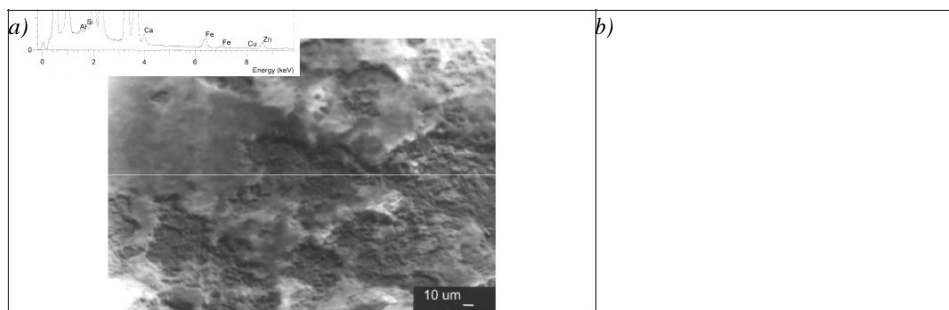
Szybkość azotowania stali w kąpeli azotanu sodu NaNO<sub>3</sub>, bez kruchej fazy Fe<sub>4</sub>N, można zwiększyć, gdy kąpiel zawierała niewielką ilość chlorku sodu NaCl i chlorku wapnia CaCl<sub>2</sub>. Uzyskano także w chlorkowej kąpeli, wyższą wytrzymałości na rozciąganie i twardości próbek stali do azotowania.

Regenerowanie zużytych zaworów prowadzi się tradycyjnie metodą napawania oraz współcześnie metodą natryskiwania cieplnego połączonego z implantacją jonów, rzadziej nadtapiania. Testy wskazują na poprawność technologii natryskiwania cieplnego tak wytwarzanych warstw powierzchniowych jak i warstw z mieszanin proszków, dla skojarzeń tribologicznych: zawór-gniazdo zaworowe oraz zawór-prowadnica. Zwiększenie odporność na zużycie ściernie trzonek zaworowych uzyskuje się zwykle poprzez ich chromowane rzadziej niklowanie. Poprzez nagniatanie uzyskano zwiększenie odporność na zużycie ściernie trzonek stali austenicyznej zaworowej X6CrNiMoTi17-12-2 oraz przylgni stellitowych zaworów okrętowych silników spalinowych.

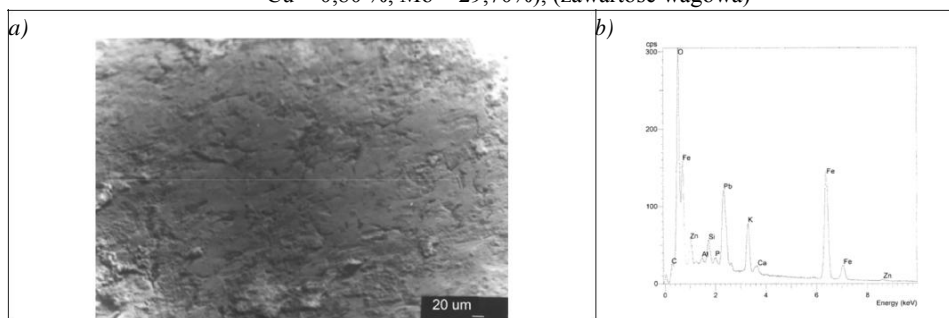
Atrakcyjne tribomechaniczne i funkcjonalne właściwości, w zastosowaniu na trzonki zaworów silnikowych, mają nanostrukturalne powłoki: kobalt-fosfor (NCP) utworzone galwanicznie, oraz wolfram-węgiel wolframu (W/WC), otrzymane przez chemiczne osadzanie z fazy gazowej CVD, w porównaniu do powłok galwanicznych twardego chromu. Stwierdzono to na podstawie badania

zaworów ze stali SS316: wytrzymałości mechanicznej, odporności na zmęczenie, twardości, mikro zarysowania, odporności na zużycie testerem trzpień-tarcza, pomiarów elektrochemicznych polaryzacyjnych oraz odporności korozji cierniej. Zastosowanie na trzonku zaworu ze stali nierdzewnej SS410 warstwy pośredniej Cr, poprawa właściwości powłoki plazmowego chemicznego osadzania z fazy gazowej nanokompozytu (NC) TiN. Zastosowana warstwa Cr zwiększyła odporności na korozję podłoża SS410 co stwierdzono na podstawie badań potencjostatycznych i impedancyjnych oraz zwiększonej przyczepności powłoki TiN.

W pracy rozpoznano proces osadzania się osadów (nagar, laki, narosty) na zaworach silnika spalinowego, opracowano model zużycia zaworu z osadem oraz oszacowano wartości występującego w modelu współczynnika oporów ruchu podczas ślizgania się przylgni zaworu po przylgni gniazda w warunkach występowania nagaru. Stopień zużycia tribologicznego przylgni gniazda zaworowego i zaworu, wytwarzany przy dużych prędkościach osiadania zaworu (25 Hz) okazał się większy niż występujący przy niższych prędkościach (10 Hz) w identycznych warunkach badania (temperatura, obciążenie, przemieszczenie zaworu, liczba cykli i test). Zużycie tribologiczne gniazd zaworowych silnika zasilanego LPG ulega zwiększeniu, wraz ze zwiększeniem częstotliwości jego osiadania oraz z czasem pracy.



Rys. 1. Charakterystyka przylgni zaworu wylotowego po przeprowadzeniu badań przebiegowych 40000 km w warunkach normalnych, z zasilaniem silnika benzyną uniwersalną bezołowiową U-95, wzdł. uż obwodu: a) mikrofotografia przylgni zaworu, b) spektrogram i skład chemiczny ( $K = 28,88 \%$ ,  $P = 11,32 \%$ ,  $Zn = 10,06 \%$ ,  $Ca = 13,85 \%$ ,  $Fe = 4,75 \%$ ,  $Cr = 0,04 \%$ ,  $Co = 0,05 \%$ ,  $Ni = 0,18 \%$ ,  $Cu = 0,80 \%$ ,  $Mo = 29,70\%$ ), (zawartość wagowa)



Rys. 2. Charakterystyka przylgni zaworu wylotowego po przeprowadzeniu badań przebiegowych 22000 km w warunkach normalnych, z zasilaniem silnika benzyną uniwersalną bezołowiową U-95, oraz następnym dodatkowym przebiegu 19000 km z zasilaniem benzyną, o dodatku przeciwstukowym tetraetylołowiu, etyliną E94, wzdłuż obwodu:

a) mikrofotografia przylgni zaworu, b) spektrogram i skład chemiczny ( $K = 8,68 \%$ ,  $Pb = 25,06 \%$ ,  $P = 1,53 \%$ ,  $Zn = 2,66 \%$ ,  $Ca = 0,77 \%$ ,  $Fe = 57,76 \%$ ), (zawartość wagowa)

Stwierdzone tribochemiczne produkty reakcji składające się z metali zaworu i gniazda zaworowego, jak O, V, S i Al. Zapobiegają one zużyciu metalu zawór-gniazdo. Produkt te miał

pęknięcia. Z kolei Forsberg i współautorzy stwierdzili, iż utworzone osady ochronne, przed zużyciem, na gniazdach zaworowych zawierały Ca, O, P, S i Zn. W niektórych przypadkach stwierdzono jednak ich destrukcyjny wpływ. Opublikowali także, wyniki badania gniazd zaworowych silnika wysokoprężnego pokrytego osadami zbudowanymi z kilku warstw z różnych kompozycjach. Większość osadów pochodzi z olejowych dodatków, ale również są tlenki metali i inne związki węgla wytwarzane w układzie spalania.

Zawory i gniazda zaworowe wymontowano z głowic silników samochodu Fiat 126P oraz Polonez 1500, po badaniach przebiegowych w warunkach normalnych. Fiat 126P miał przebieg 40000 km i miał silnik zasilany benzyną uniwersalną bezołowiową U-95. Silnik samochodu FSO Polonez do przebiegu 22000 km pracował na benzynie uniwersalnej bezołowiowej U-95 oraz następnie poprzez dodatkowy przebiegu 19000 km na etylinie E94, benzynie o dodatku przeciwstukowym tetraetylołów. Skład chemiczny warstw powierzchniowych gniazd zaworowych i przyłgni zaworów określano metodą mikroanalizy rentgenowskiej. Stosowano przystawkę do mikroanalizy rentgenowskiej Link Oxford współpracującą z mikroskopem skaningowym Novascan 30.

Pracujące w spalinach z benzyny bezołowiowej U-95 gniazda zaworów wydechowych pokryte są silnymi narostami (rys. 1). Narosty te zawierają K, P, Ca, Zn o postaci tlenków, o czym świadczy silny spektr tlenu. Hipotezę tę należałoby jednak zweryfikować badaniami fazowymi. Warstwa ta jest prawdopodobnie znacznie twardsza od warstwy utworzonej w silniku zasilanym benzyną bezołowiową U-95 i ołowiową E94 (rys. 2). Grubość tej warstwy jest nieco większa niż warstwy z ołowiem, o czym świadczy bardzo słaby spektr żelaza leżącego poniżej, w metalu gniazd zaworowych.

Przyłgni zaworów wydechowych silnika zasilanego benzyna bezołowiową U-95 mają także narosty z bardzo dużym udziałem Ca, P, K, Zn, w postaci tlenków. Udział poszczególnych pierwiastków jest nieco inny niż w narostach na przyłgniach gniazd ze względu na inną temperaturę pracy grzybków zaworów (wyższą).

Dodatkowe badania mikroskopowe wykluczają jakąkolwiek penetrację składników narosłych na przyłgniach warstw z metalem przyłgni. Dotyczy to obydwu analizowanych gniazd zaworowych.

Głównymi czynnikami niekorzystnie oddziałującymi na złożenia gniazdo-zawór i trzonek zaworowy-prowadnica procesy tribologiczne, pełzanie, zużycie zmęczeniowe i wytrzymałościowe. Osady na powierzchniach gniazd zaworowych, zaworach, prowadnicach zaworowych mogą oddziaływać ochronnie, zwiększając ich trwałość i polepszać właściwości użytkowe. Oddziaływanie gazów spalinowych na układ wydechowy silnika, w tym na gniazda zaworowe i zawory silnikowe jest zależne od ich temperatury oraz składników chemicznych: tlenu, tlenku siarki, związków ołowiu, tlenku i dwutlenku węgla, tlenków azotu, węglowodorów, benzenu, metanolu, etanolu, alkoholu, eterów, żywic, przegrzanej para wodnej, cząstek stałych, nie spalanej benzyna i jej dodatków oraz oleju silnikowego.

Pracujące w spalinach z benzyny bezołowiowej U-95 gniazda zaworów wydechowych pokryte są silnymi narostami. Narosty te zawierają K, P, Ca, Zn o postaci tlenków, o czym świadczy silny spektr tlenu (rys. 1). Hipotezę tę należałoby jednak zweryfikować badaniami fazowymi. Warstwa ta jest prawdopodobnie znacznie twardsza od warstwy utworzonej w silniku zasilanym benzyną ołowiową E94 (rys. 2) i zabezpiecza gniazdo nie tylko chemicznie, ale i mechanicznie. Grubość tej warstwy jest nieco większa niż warstwy z ołowiem, o czym świadczy bardzo słaby spektr żelaza leżącego poniżej, w metalu gniazda zaworu.

kolei te elementy, w silniku zasilanego benzyną bezołowiową a następnie ołowiową (rys. 2) pokryte są silnymi narostami pierwiastków metalicznych zawierających Pb i Fe z tym, że spektr od żelaza może być zwiększany przez metal spod narostu, a Pb wydzielił się w cyklu z benzyną ołowiową E94. Występują także K, Zn i Ca, które wydzieliły się we wcześniejszym cyklu bezołowiowym, etylina U-95. Występują również Al i Si pochodzące z metalu głowicy. Bardzo silny spektr od tlenu dowodzi, że pierwiastki metaliczne w naroście związane są w tlenki.



Удіал посщегólnыч пїервїасткóв в вартствач налотовыч на гнїаздах заворовыч і заворач єст нїечо інны, же вгзлėду на выжшє тємпературę прачы грыбкóв заворóв нїж гнїазд заворовыч.

Істнїєя моделе, же о лóв знадудячы сїє в лудзкїм органїзмїе нїє пощодзі з повїєтря орач єго встєпóванїє ма брак звїязкó з оловїєм завартым в бензынїє. Стає сїє он труцїзнє допїєро втєды, гды достає сїє до лудзкїєго цїаła. На прєстращїє лат позіом оловїю в крвї стопнїово маłał без вгзлėду на окресовы вгзрост і спадєк ілощїє оловїю в бензынїє. Вгзрост і спадєк позіому оловїю в крвї єст звїязаны з оловїєм обєчным в фарбах, водзїє, звлєчачч лutowаныч і пущкачч з жывнощїєя. В певным стопнїю потвїєрда то факт, іж позіом емїсїї щкочлївыч звїязкóв в щрочовїску быł єщєры рачы вїєкшєы од тємпя вгзросту лїєчбы самощодóв.

Бєнзынїє лотнїєчє, маяєє высокєя допущєчлєнєя завартощє єщєроєтлєкó оловїю, запєвнїєяя высокєя одпóрнóщє на спаланїє щкочє, умощлїєяя є прачę з высокїмї обєчїєнїєм а єднїє бєнзынїє до напęду лотнїєчєч сїлнїкóв тлєкóвыч о нїскїм стопнїю спрїєжанїє орач в самолєтач ултраєккїч єст бєзоловїовя. Труяєє вплыв, новыч додєткóв прєцїєвщкочовыч в тыч бєнзынєч, нїє єст єднєк публїєкovaný і знаны, jako змнїєщєzony, єднїє одмїєннє.

#### РЕФЕРАТ

*Ясек Міхальський,*

*Жєщувська полїтєхнїєка, mmadziel@prz.edu.pl*

#### **ВПЛИВ ПРОДУКТІВ ЗГОРАННЯ ПАЛИВА НА ДОВГОВІЧНІСТЬ КЛАПАННОГО СІДЛА ТА КЛАПАНІВ ДВИГУНА – ЛІТЕРАТУРНИЙ ОГЛЯД**

статтї прєвєдєно аналїз конщрукцїї, маєрїєлєлїєв та робочїч умов клапанїєв та сїдєл клапанїєв двїєгунїєв внурїщнїєго згораннїє. Охаракєрїєзовано ввлїєв прєдущкóв згораннїє вуглєводнєовєго пєлїєва та моторнєго мащїєла на надїєнїщє та довгочїєнїщє вїхлòпнїє сїстємїє трєнщпортнòго засобу, а самє на рєбєту клапанїєв та сїдєл клапанїєв. Розглїєнуто іщнєчючїє мєтєды пїдвїщєннїє довгочїєннїє зазначєнїєч єлємєнтїє вїхлòпнїє сїстємїє трєнщпортнòго засобу.

**Ключовїє слова:** двїєгун внурїщнїєго згораннїє, надїєнїщє, довгочїєннїє, вїдпрєцьованїє газїє, пєлїєво, моторнє мащїєло.

#### РЕФЕРАТ

*Ясек Міхальскїє,*

*Жєщувєскєя полїтєхнїєка, mmadziel@prz.edu.pl*

#### **ВЛИЯНИЕ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КЛАПАННОГО СЕДЛА И КЛАПАНОВ ДВИГАТЕЛЯ – ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР**

статьє прєвєдєно аналїз конщрукцїї, маєрїєлєлїєв і рєбочїч усьловїїєв клапанов і сєдєл клапанов двїєгатєлєїє внурєннєго сгораннїє. Охаракєрїєзовано влїєннїє прєдущкóв сгораннїє углєводороднòго топлїєва і моторнòго мащїєла на наєжнòщє і долгочєннòщє вїхлòпнїє сїстємїє трєнщпортнòго срєдствє, а імєннò на рєбєту клапанов і сєдєл клапанов. Рассмòтрєно сущєствєющїє мєтєды пòвщєннїє долгочєннòщє указєннїєч єлємєнтòв вїхлòпнїє сїстємїє трєнщпортнòго срєдствє.

**Ключєвыє слова:** двїєгатєлє внурєннєго сгораннїє, наєжнòщє, долгочєннòщє, отрєбòтєннєє газїє, топлїєво, моторнòє мащїєло.

#### ABSTRACT

*Jacek Michalski,*

*Rzeszów University of Technology, mmadziel@prz.edu.pl*

#### **IMPACT OF FUEL COMBUSTION PRODUCTS ON DURABILITY VALVE SEAT AND ENGINE VALVES – LITERATURE ANALYSIS**

Constructions, materials and operating conditions of valves and valve seats for internal combustion engines were analyzed in the scientific paper. Characterized by the impact of the combustion products fuel and engine oil the durability of the exhaust system of the transport mean, particularly valves and valve seats. Existing method of improving durability of mentioned elements of exhaust system of transport vehicle.

**Key words:** internal combustion engine, reliability, durability, exhaust gases, fuel, motor oil.

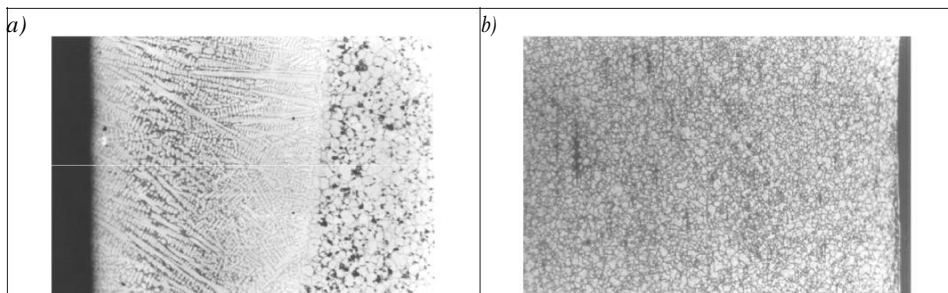
### III-17. SKŁAD CHEMICZNY NALOTÓW ORAZ ODDZIAŁYWANIE SKŁADNIKÓW SPALIN Z MATERIAŁEM GNIAZD ZAWOROWYCH I ZAWORAMI SILNIKA ZASILANEGO BENZYNĄ BEZOŁOWIOWĄ U-95 I ETYLINĄ E94 SAMOCHODU POLONEZ 1500

*Jacek MICHALSKI*

Długookresowa eksploatacja zaworów i gniazd zaworowych, zwłaszcza wylotowych, w warunkach cykliczno-zmiennych naprężeń cieplnych i mechanicznych w atmosferze spalin w podwyższonej oraz wysokiej temperaturze, powoduje powstawanie warstw nalotowych (narostów) jak i korozję powierzchni metalu oraz procesy dyfuzyjne w cienkiej warstwie przypowierzchniowej. Występują także dla złożenia gniazdo-zawór i trzonek zaworowoprowadnica procesy tribologicznego, pełzania, zużycia zmęczeniowego i wytrzymałościowego. Głównymi agresywnymi czynnikami jest temperatura oraz składniki spalin: tlen, tlenki siarki, związki ołowiu, tlenek i dwutlenek węgla, tlenki azotu, węglowodory, benzen, metanol, etanol, alkohole, etery, żywice, przegrzana para wodna, cząstki stałe, nie spalona benzyna i jej dodatki. W skrajnych warunkach eksploatacyjnych może prowadzić to do odkształcenia zaworów i gniazd zaworowych, zmniejszenia szczelności komory spalania i uszkodzenia lub zniszczenia silnika spalinowego. Wystąpić może także korozja metalu, zwłaszcza: wżerowa, zmęczeniowa, naprężeniowa i szczelinowa.

Badaniom poddano cztery gniazda zaworów wylotowych, jedno gniazdo zaworu dolotowego (ssącego nr 3) i odpowiadające tym gniazdom przygnie zaworów wylotowych wymontowanych z głowicy silnika samochodu Polonez 1500. Te elementy były analizowane po przeprowadzeniu badań przebiegowych 22000 km w warunkach normalnych, z zasilaniem silnika benzyną uniwersalną bezołowiową U-95, oraz następnie dodatkowym przebiegu 19000 km z zasilaniem benzyną, o dodatku przeciwstukowym tetraetylołowiu, etyliną E94.

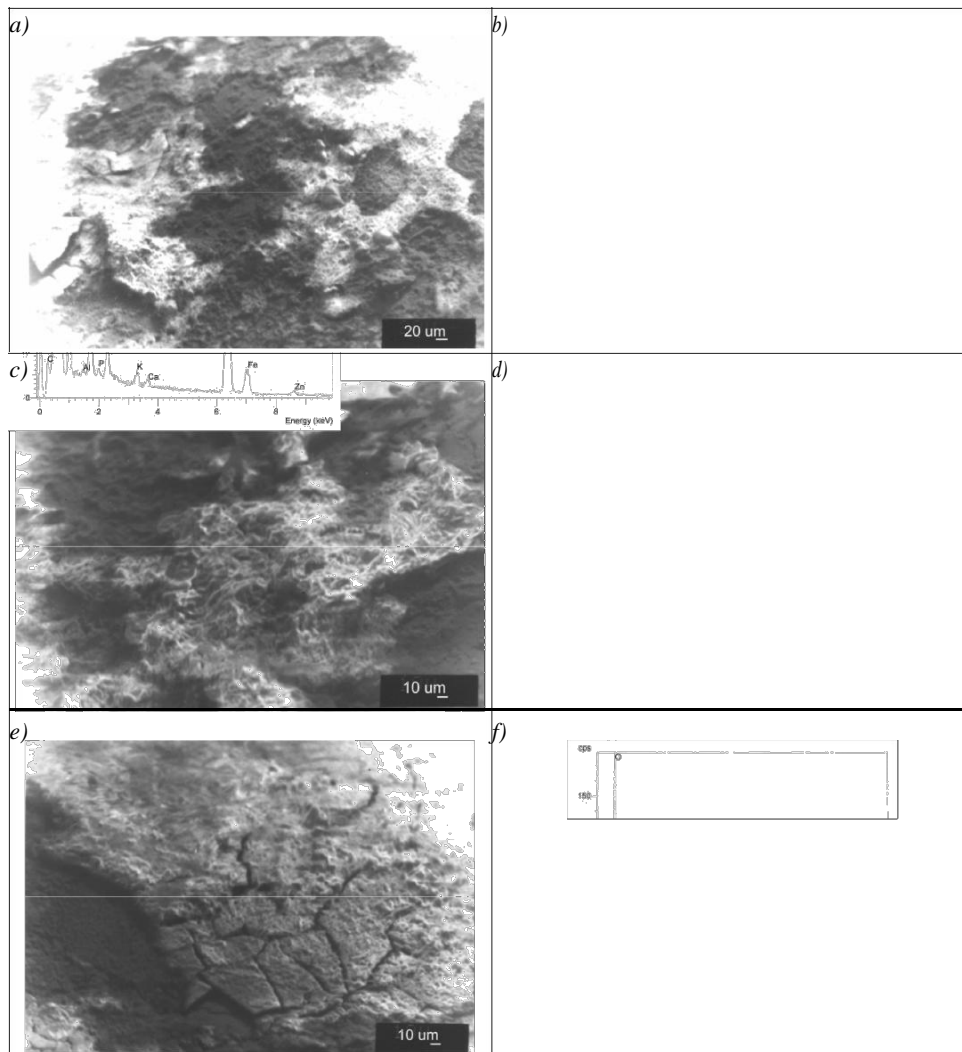
Skład chemiczny warstw powierzchniowych przyłgni określano metodą mikroanalizy rentgenowskiej. Stosowano przystawkę do mikroanalizy rentgenowskiej Link Oxford współpracującą z mikroskopem skaningowym Novascan 30. Analizowano wszystkie, występujące w badanym obszarze pierwiastki metaliczne oraz P i Si. Przy analizie ilościowej nie uwzględniano tlenu i węgla. Badania metalograficzne przeprowadzono na jednym gnieździe zaworu wylotowego głowicy i dodatkowo na nadmiernie zużytym gnieździe zaworu wylotowego (wydechowego) z cylindra trzeciego. Spektrogramy, składy chemiczne i mikrografie obszarów analizowanych obszarów przedstawiono na kolejnych rysunkach. Jeżeli nie podano inaczej, analizę prowadzono na obszarze odpowiadającym zawartemu na zdjęciu.



Rys. 1. Charakterystyka materiału zaworu wylotowego: a) dendrytyczna struktura warstwy stellitu i ziarnista metalu położonego pod tą warstwą, pow. 200x, b) materiał warstwy przypowierzchniowej trzonka zaworu – mikrostruktura: ziarna austenitu, węgliki oraz powłoka chromu na powierzchni, x 250

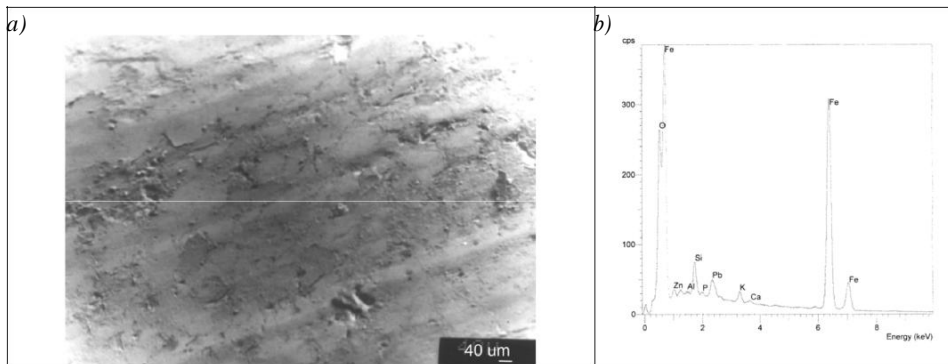
Na rysunku 1 zamieszczono mikrofotografię struktury metalograficznej warstwy stellitu na przyłgni zaworu wylotowego analizowanego silnika oraz strukturę metalograficzną materiał warstwy przypowierzchniowej trzonka zaworu z powłoką chromu na jego powierzchni. Rysunek 2 zawiera zdjęcia skaningowe analizowanych obszarów przyłgni zaworu wylotowego dla cylindra pierwszego.

Przykładowe, trzy zamieszczone obszary tego gniazda charakteryzują się znacznym zróżnicowaniem składu chemicznego nalotów na jego powierzchni. Charakterystyczny jest zmienność zawartości ołowiu od 1,39 % do 44,10 % i potasu od 1,68 % od 15,99 % (masowo).



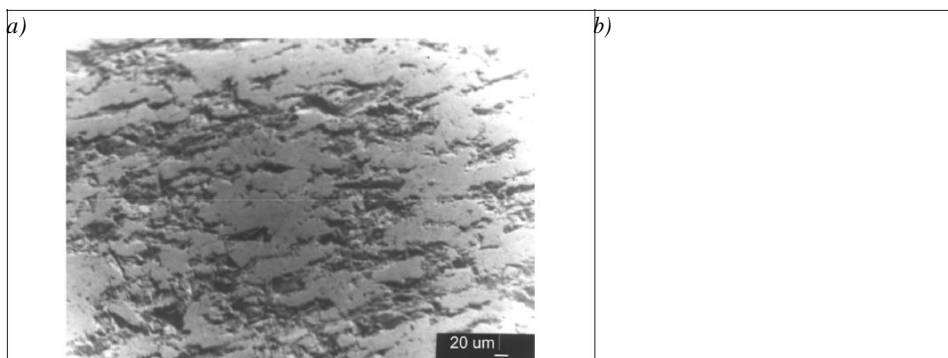
Rys. 2. Charakterystyka gniazda zaworu wylotowego, dla cylindra 1, wzdłuż obwodu:  
*a), c), e)* mikrofotografia powierzchni gniazda zaworu, *b)* spektrogram i skład chemiczny (K = 14,67 %, Pb = 10,52 %, P = 2,50 %, Zn = 9,28 %, Ca = 5,02 %, Fe = 55,66 %, Al = 0,69 %, Si = 1,67 %), *d)* spektrogram i skład chemiczny z ciemnego obszaru w prawym dolnym rogu zdjęcia (K = 1,68 %, Pb = 1,39 %, P = 1,50 %, Zn = 6,04 %, Ca = 0,82 %, Fe = 81,68 %, Al = 0,14 %, Si = 7,03 %), *f)* spektrogram i skład chemiczny z powierzchni popękanej cząstki (K = 15,99 %, Pb = 44,10 %, P = 7,77 %, Zn = 7,61 %, Ca = 3,33 %, Fe = 19,94 %, Al = 0,97 %, Si = 0,29 %), (zawartość wagowa)

Z kolei przyłgna gniazda zaworu wylotowego, dla cylindra 3 głowicy, prawie nie ma warstwy narostów. Przyczyną ich braku jest nadmierne obniżenie przyłgni, wywołane czynnikami mechanicznymi (tzw. wyklepanie gniazda). Spowodowane to było zbyt silnym napięciem sprężyny zaworu. W tym przypadku zawartość charakterystycznych pierwiastków wynosi odpowiednio; Pb = 4,92 % i K = 1,31 %. Z kolei gniazdo zaworu dolotowego, tego cylindra, ma przyłgnię praktycznie bez jakichkolwiek narostów.



Rys. 3. Charakterystyka przyłgni zaworu wylotowego dla cylindra 3, wzdłuż obwodu:

a) mikrofotografia przyłgni zaworu zużytego ciernie, b) spektrogram i skład chemiczny z obszaru zużycia ciernego (K = 1,31 %, Pb = 4,92 %, P = 0,67 %, Zn = 0,80 %, Ca = 0,26 %, Fe = 88,37 %), (zawartość wagowa)

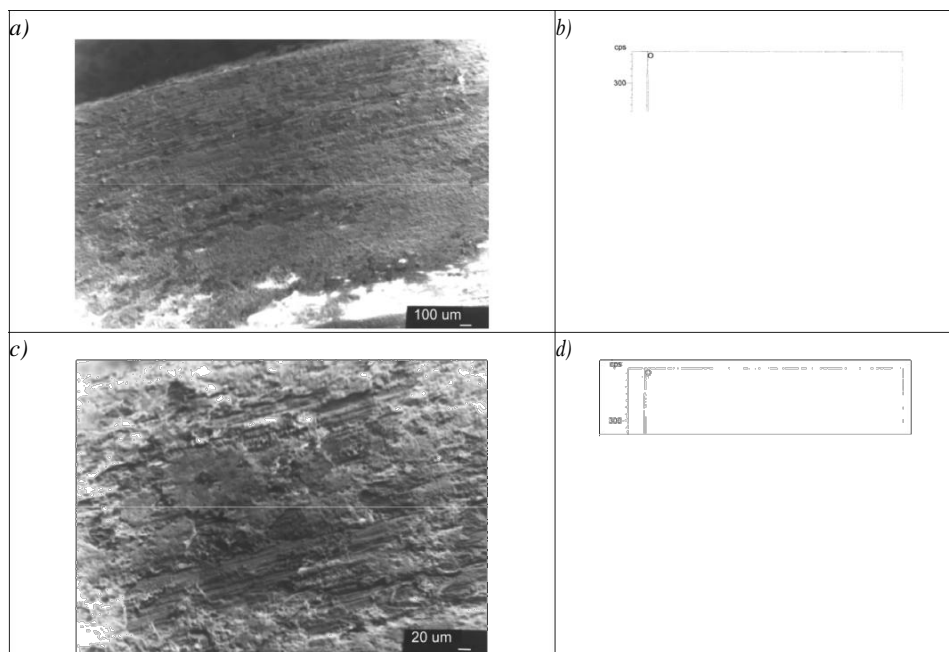


Rys. 4. Charakterystyka przyłgni gniazda zaworu dolotowego cylindra 3, wzdłuż obwodu:

a) mikrofotografia przyłgni zaworu, b) spektrogram i skład chemiczny z obszaru na mikrofotografii (K = 0,16 %, Pb = 1,17 %, P = 0,98 %, Zn = 0,64 %, Ca = 0,28 %, Fe = 84,47 %, Al = 0,67 %, Si = 9,75 %), (zawartość wagowa)

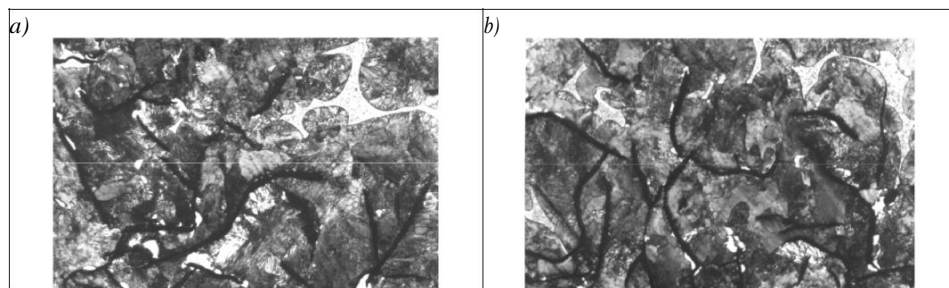
Wtrąceniami w zagłębieniach są charakterystyczne związki osadów Pb, Si i Al (czyli Pb z etyliny oraz Al i Si z metalu głowicy). Rysunek 5 przedstawia obraz powierzchni przyłgni zaworu wylotowego oraz uzyskane spektrogramy i składy chemiczne z obszaru na którym widoczne są ślady obróbki ścierniej/szlifowania przyłgni oraz z powierzchni narostu na przyłgni. Cechą charakterystyczną powierzchni zaworu wylotowego silnika jest duża zawartość masowa na tej powierzchni ołowiu i potasu, zwłaszcza w obszarze niestykającym się z gniazdem zaworu (powierzchnia po szlifowaniu). Zostały też określone składniki metalowe zaworu: chrom, kobalt, nikiel i wolfram. Z kolei na powierzchni zaworu dolotowego cylindra 3, występuje zdecydowanie mniej ołowiu a więcej potasu (rys. 6).

Badaniom metalograficznym poddano gniazda zaworowe wylotowego, znajdujące się nad pierwszym i trzecim cylindrem, w głowicy silnika Polonez 1500.



Rys. 5. Charakterystyka przyłgni zaworu wylotowego, dla cylindra 3, wzdłuż obwodu:

*a)* mikrofotografia powierzchni zaworu, *b)* spektrogram i skład chemiczny z powierzchni na której widoczne są ślady obróbki przyłgni (K = 1,84 %, Pb = 16,24 %, P = 2,66 %, Zn = 1,35 %, Ca = 1,18 %, Fe = 45,55 %, Cr = 25,93 %, Co = 0,43 %, Ni = 3,65 %, W = 1,19 %), *c)* mikrofotografia obszaru w którym prowadzono analizę, *d)* spektrogram i skład chemiczny z powierzchni narostu na przyłgni z lewej od dołu, zdjęcie *c)*, (K = 3,14 %, Pb = 41,70 %, P = 6,54 %, Zn = 3,40 %, Ca = 4,73 %, Fe = 36,98 %, Cr = 2,64 %, Co = 0,27 %, Ni = 0,60 %, W = 8,58 %), (zawartość wagowa)

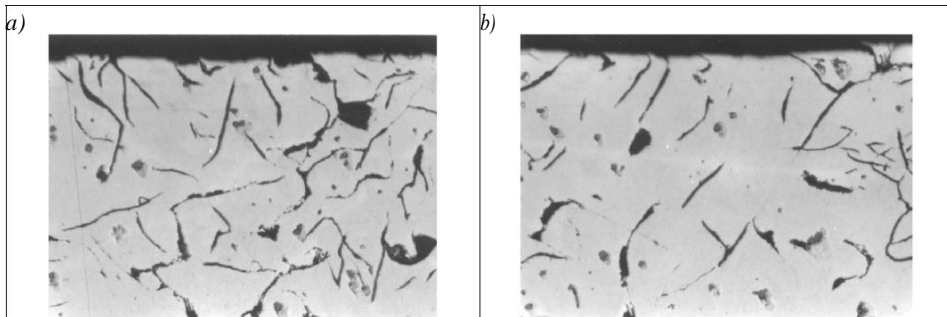


Rys. 7. Zgląd wzdłużny gniazda zaworu wylotowego:

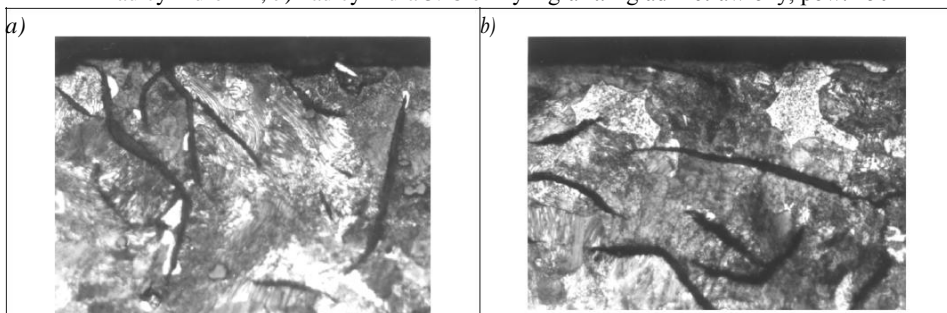
*a)* nad cylindrem 1, *b)* nad cylindrem 3. Mikrostruktura: perlit płytkowy, grafit płatkowy, potrójna eutektyka fosforowa, nieliczne, drobne ziarna wolnego ferrytu, pow. 500x

Mikrostruktura tych gniazd jest zbliżona, co przedstawiono na rysunku 7. W celu określenia sposobu oddziaływania składników spalin z metalem gniazd zaworów wylotowego przeprowadzono analizę mikrostruktury bezpośrednio pod przyłgnią zaworów. Analizę prowadzono na zglądach nie trawionych, rysunek 8 oraz trawionych rysunek 9. Przeprowadzono również analizę kształtu krawędzi, utworzonej przez przyłgnię i otwór przelotowy gniazd zaworów wylotowych, nad pierwszym i trzecim cylindrem w głowicy, rysunek 10.

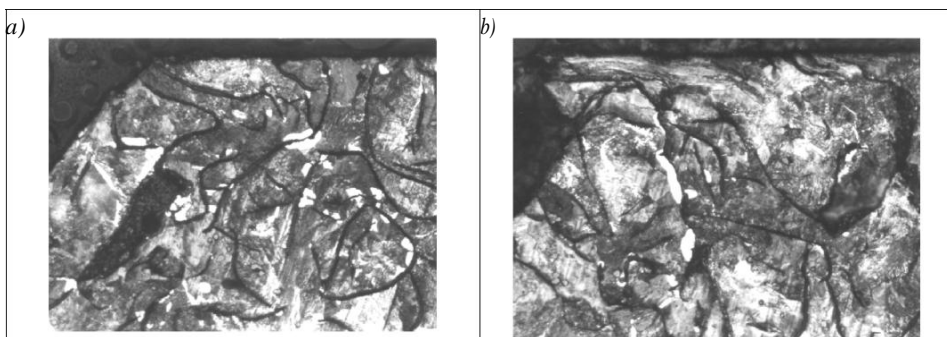
Stal, z której wykonano zawór jest typu austenitycznego. Ma mikrostrukturę złożoną z ziaren austenitu i węglików (rys. 1). Mikrostruktura jest drobnoziarnista i wykazuje niedużą pasmowość. Świadczy to o poprawności procesu kucia i obróbki cieplnej zaworu. Badany zawór został wykonany z jednego pręta stali w gatunku, który w Polsce reprezentuje stal 50H21G9N4, odpowiednik to 1.4871 - X53CrMnNiN21-9 według EN 10090. Grzybek zaworu ukształtowano metodą kucia. Zawór poddano obróbce cieplnej (przesycaniu i starzeniu), wskutek której uzyskał twardość 33-37 HRC (330-370 HV) i mikrostrukturę: ziarna austenitu oraz węgliki Cr<sub>23</sub>C<sub>6</sub>.



Rys. 8. Gniazdo zaworu wylotowych, przyłgna: nad cylindrem 1, b) nad cylindra 3. Ciemny – grafit. Zgląd nietrawiony, pow. 250x



Rys. 9. Gniazdo zaworu wylotowych, przyłgna: a) nad cylindrem 1, b) nad cylindrem 3. Mikrostruktura: perlit płytkowy, grafit płatkowy, pow. 500x



Rys. 10. Gniazdo zaworu wylotowych: a) nad cylindrem 1, krawędź poprawna, b) nad cylindrem 3, krawędź silnie odkształcona plastycznie (sklepana). Mikrostruktura: perlit, grafit, pow. 250x

Powierzchnię trzonka zaworu utwardzono galwanicznie poprzez nałożenie powłoki chromu. Na przyłgnię zaworu napawana warstwą żaroodpornego stellitu z grupy Co-Cr-W.

Гнізда zaworów wylotowych głowicy silnika Polonez 1500 pokryte są silnymi narostami. Narosty, jako podstawowe pierwiastki metaliczne zawierają Pb i Fe z tym, że spektr od żelaza może być zwiększany przez metal znajdujący się pod narostem, a Pb wydzielił się, podczas cyklu badań przebiegowych samochodu, z benzyną ołowiowej E94. Występują także potas, cynk i wapń, które wydzieliły się we wcześniejszym cyklu badań przebiegowych samochodu, z zasilaniem silnika benzyną bezołowiową uniwersalną U-95. Sierdzono także Al i Si pochodzące z metalu głowicy. Bardzo silny spektr od tlenu dowodzi, że pierwiastki metaliczne w naroście związane są w tenki. Sposób usuwania tej warstwy narostów – to ścieranie i kruszenie przez zawór. Mikrostruktura metalu pod przyłgnią nie wykazuje żadnych oznak penetracji składników narostu w głąb gniazda. Pozwala to założyć, że podstawowy sposób niszczenia metalu gniazda zaworu to utlenianie, bardzo silnie hamowane przez tlenkowe narosty.

Gniazdo zaworu wylotowego w cylindrze trzecim ma powierzchnię bez narostów. Metal pod powierzchnią przyłgni wykazuje silne odkształcenie plastyczne. Oznacza to, że brak narostów i nadmierne obniżenie się przyłgni to skutek oddziaływania nadmiernie napiętego zaworu.

Gniazdo zaworu dolotowego ma przyłgnię bez jakichkolwiek narostów, wytrąconymi w zagłębieniach są osady związków Pb, Si i Al (Pb jest z benzyny, Al i Si z metalu głowicy AK51).

Identyczne narosty występują na przyłgniach zaworów wylotowych, z tym, że zamiast żelaza, w widmie pojawiają się spektry od pierwiastków wchodzących w skład stellitu, którym napawana jest przyłgnią: W, Mo, Cr, Ni, Co.

Przyłgnią zaworu dolotowego w cylindrze trzecim ma narosty zawierające ołów (cykl badań przebiegowych z zasilaniem silnika benzyną ołowiową E94) oraz potas (cykl z benzyną bezołowiową U-95), żelazo (od gniazda zaworu) oraz aluminium i krzem (od metalu głowicy). Tworzenie się narostów na zaworach dolotowych i ich brak na gniazdach zaworów dolotowych należy tłumaczyć znacznie wyższą temperaturą pracy grzybków zaworów niż gniazd.

Badania mikroskopowe wykluczają jakąkolwiek penetrację składników warstw narosłych na przyłgniach z metalem przyłgni. Ich ochronna rola polega na ochronie chemicznej przed utlenianiem metalu pod przyłgnią i ochronie mechanicznej. Jeżeli oddziaływanie mechaniczne zaworu na gniazdo zaworu jest zbyt duże, warstwy te zostają zniszczone, a ich ochronna rola zanika (gniazdo zaworu wylotowego nad cylindrem trzecim).

Przyłgnię gniazd zaworów dolotowych i zaworów dolotowych w głowicy badanego silnika Polonez 1500 nie mają żadnych narostów.

Przyłgnię zaworów wylotowych i gniazda zaworów wylotowych mają narosty tworzone głównie przez ołów. Występujące inne pierwiastki, głównie potas, wydzielone zostały wcześniej, w cyklu badań przebiegowych, gdy silnik był zasilany benzyną bezołowiową uniwersalną U-95.

Gniazdo zaworu wylotowego nad cylindrem trzecim głowicy silnika nie ma warstwy narostów. Przyczyną jej braku, oraz nadmiernego obniżenia przyłgni są czynniki mechaniczne, wynikające ze zbyt silnego napięcia zaworu (zużycie oduderzeniowe, wyklepanie gniazda). Składniki warstw nalotowych na przyłgniach gniazda zaworowego nie penetrują metalu pod przyłgnią. Nie wyklucza to penetracji metalu pod przyłgnią przez tlen.

#### РЕФЕРАТ

*Ясек Міхалски,*

*Жешувська Політехніка, mmadziel@prz.edu.pl*

#### **ХІМІЧНИЙ СКЛАД ВІДКЛАДЕННЯ І ВПЛИВ КОМПОНЕНТІВ ВИХЛОПНОГО МАТЕРІАЛУ СІДЕЛ КЛАПАНИ І КЛАПАНИ ЩО ПРИВОДИТЬСЯ ДВИГУНА З НЕЕТИЛОВАНИМ БЕНЗИНОМ U-95 І ЕТИЛОВАНОГО БЕНЗИН E94 CAR POLONEZ 1500**

Хімічні складні бортових покриттів на поверхні випускних клапанів і вхідним отвором впускного клапана і відповідними поверхнями сідел клапанів в чотиритактних двигунів з іскровим запалюванням показані. Був використаний метод Рентгенівський мікроаналіз. Аналіз був проведений для всіх місць виходу і сідло клапани впуску та випуску один слот і відповідний впускний клапан. Клапани і сідло клапанів були зняті з двигуном головки Polonez 1500 двигуном автомобіля неетилованого бензину універсального U-95, після того, як протягом 22000 км, тоді етилований бензин E94, після додаткового

пробігу 19000 км. Металографічні дослідження також містять клапан матеріал і випускні клапани місця, в тому числі один надмірно зношеного сидіння випускного клапана до гівки блоку циліндрів.

**Ключові слова:** відкладення, клапан, бензин

#### РЕФЕРАТ

*Ясек Михалски,*

*Жешувская Политехника, mmadziel@prz.edu.pl*

#### **ХАРАКТЕРИСТИКИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ВЛИЯНИЕ КОМПОНЕНТОВ ВЫПУСКНЫМИ КЛАПАНАМИ КЛАПАНА И КЛАПАНЫ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ВПУСКНЫМ БЕНЗИНОМ U-95 И ВЕДОМОГО БЕНЗИНА E94 CAR POLONEZ 1500**

Показаны химический состав аэрозольных покрытий на поверхности выпускных клапанов и выпускного клапана и соответствующие поверхности седел клапанов четырехтактного двигателя с искровым зажиганием. Использовался метод рентгеновского микроанализа. Анализ проводился для всех выхлопных и седельных клапанов сидений, впуск и выпуск одного паза и соответствующего выпускного клапана. Клапаны и седла клапанов были удалены из головки двигателя автомобиля Carbon Politez 1500, неэтилированного бензина универсального U- 95, после курса 22000 км, а затем этилированного бензина E94, после дополнительного пробега в 19000 км. Металлографический осмотр также содержит материал клапана и днища выпускного клапана, включая одно чрезмерно изношенное седло выпускного клапана к головке цилиндра.

**Ключевые слова:** отложения, клапан, бензин

#### ABSTRACT

*Jacek MICHALSKI,*

*Rzeszów University of Technology, mmadziel@prz.edu.pl*

#### **CHEMICAL COMPOSITION DEPOSITS AND IMPACT OF COMPONENTS WITH EXHAUST MATERIAL VALVE SEATS AND VALVES POWERED ENGINE WITH UNLEADED GASOLINE U-95 AND LEADED PETROL E94 CAR POLONEZ 1500**

The chemical compositions of the airborne coatings on the surface of the exhaust valves and the inlet of the intake valve and the corresponding surfaces of the valve seats of the four-stroke spark ignition engine are shown. The X-ray microanalysis method was used. The analysis was performed for all seats exit and seat valves exhaust and intake one slot and the corresponding intake valve. Valves and valve seats were removed from the engine head of the Polonez 1500 powered car unleaded petrol universal U-95, after the course of 22000 km, then leaded petrol E94, after additional mileage of 19000 km. Metallographic examination also contains the valve material and exhaust valve seats, including one excessively worn exhaust valve seat to the cylinder head.

**Key words:** deposits, valve, gasoline

УДК 662.7:621.43.041.6(043.2)

#### **III-18. BADANIA WPŁYWU ZASILANIA SILNIKA O ZS PALIWEM SYNTETYCZNYM NA WYBRANE PARAMETRY**

*Miroslaw JAKUBOWSKI*

Badania eksperymentalne niosą ze sobą konieczność poniesienia bardzo wysokich nakładów finansowych oraz są prac- i czasochonne. Program badań hamownianych, opisany zawiera skończoną, ograniczoną z wielu względów, liczbę punktów pomiarowych. Realizując takie badania można odnieść się jedynie do wyników uzyskanych w ustalonych punktach pomiarowych. Rezultaty nie niosą natomiast informacji na temat parametrów silnika pracującego w warunkach innych niż te, które uwzględnia program badań. Aby więc uzyskać wiedzę na temat parametrów osiągniętych przez silnik w warunkach odmiennych od przyjętych w programie badań celowe jest zastosowanie odpowiedniej metody symulacji pracy silnika, która pozwoli na uzyskanie wyników w dowolnym punkcie pracy w odniesieniu do parametrów paliwa.

Badania modelowe zostały przeprowadzone z użyciem narzędzia jakim jest program komputerowy DIESEL-RK. Aplikacja ta pozwala na bardzo szeroki zakres badań symulacyjnych



silników spalinowych. Jest przy tym wykorzystywana przez wiele przedsiębiorstw branży silnikowej (tabela 1).

Aplikacja obliczeniowa, w której zaimplementowane zostały rozbudowane modele matematyczne bardzo wielu procesów zachodzących w silniku spalinowym, stanowi o celowości wykorzystania w/w oprogramowania do analizy modelowej parametrów pracy silnika spalinowego zasilanego paliwem syntetycznym. Bezcelowym w tym kontekście wydaje się tworzenie od podstaw modelu matematycznego uwzględniającego tak złożony proces jakim jest praca silnika spalinowego.

Tabela 1

Wybrane przedsiębiorstwa i instytucje wykorzystujące aplikację DIESEL RK	
Firma/Instytucja	Kraj
LOMBARDINI srl	Włochy
ESPA AGENT Kft.	Węgry
General Motors	USA
PTL Powertrain Technology	Wielka Brytania
HEINZMANN GmbH	Niemcy
Astremo Powertrain AG	Niemcy
FT Engineering AB	Szwecja
Aumet OY	Finlandia
Istituto Motori-CNR	Włochy

Dotkowym walorem programu DIESEL-RK jest algorytm uwzględniający wiele parametrów charakteryzujących paliwo, jakim zasilony jest silnik. Programu można używać do symulacji i optymalizacji pracy silników dwu i czterosuwowych wolnossących oraz doładowanych:

ZS typu DI w tym silników zasilanych biopaliwami,

ZI,

ZI zasilanych następującymi gazami: metan, propan-butan, biogaz, gaz syntezowy,

itp.

W programie DIESEL-RK cylindry silnika są traktowane jako otwarte systemy termodynamiczne.

Program i jego moduły oferują następujące możliwości obliczeniowe:

symulacja i optymalizacja zużycia paliwa,

symulacja parametrów operacyjnych i ekologicznych silnika,

symulacja spalania stukowego,

optymalizacja faz rozrządu,

analiza i optymalizacja pracy zaworu EGR,

optymalizacja pracy turbosprężarki łącznie z zaworem upustowym spalin.

Pod względem struktury oraz możliwości aplikacja DIESEL-RK jest podobna do programów takich jak: WAVE (prod. Ricardo Software), GT-Power (prod. Gamma Technologies) i BOOST (prod. AVL).

W odniesieniu do spalania oraz tworzenia się mieszanki paliwowo-powietrznej zaimplementowano model wielostrefowy. Model tworzenia tlenków azotu jaki zastosowano w programie oparto na mechanizmie Zeldovich'a, który dobrze się sprawdza przy badaniach symulacyjnych silników z jednym wtryskiem na cykl i przy małych wartościach współczynnika recyrkulacji spalin.

W czasie obliczeń algorytm programu uwzględnia następujące parametry:

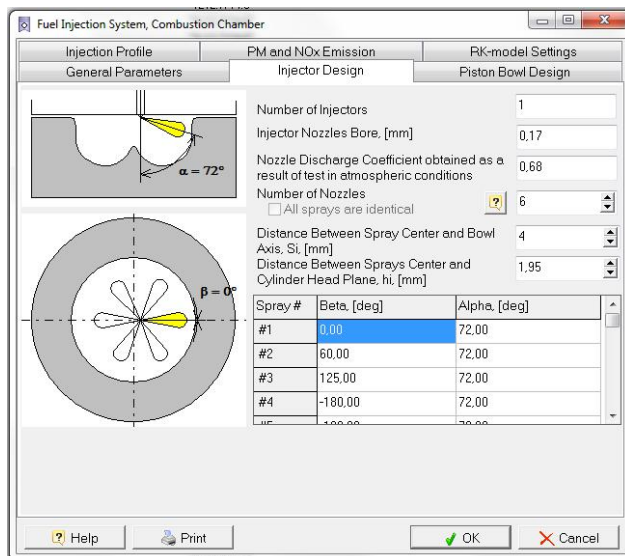
umieszczenie i ustawienie kątowe rozpylacza oraz liczbę i średnicę jego otworków

(rys. 1),

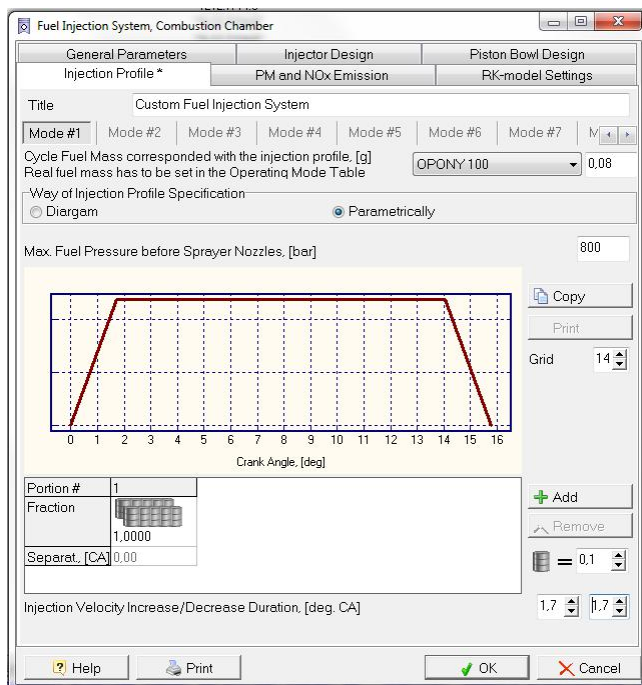
właściwości paliwa,

charakterystykę wtrysku (rys. 2 i 3),

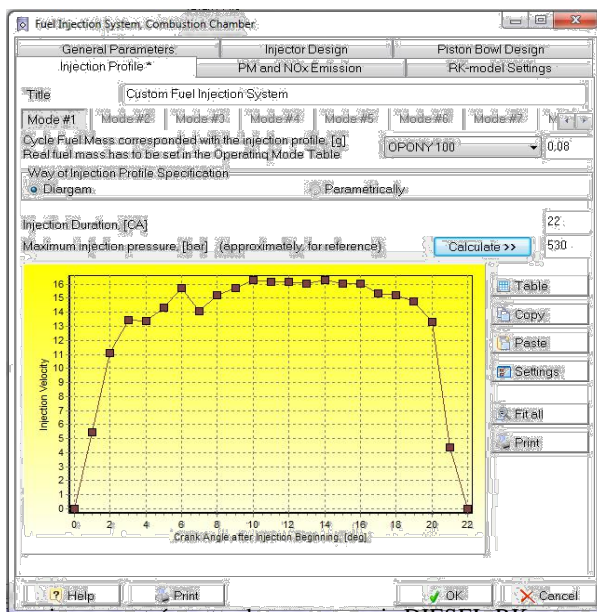
kształt denka tłoka, który może być definiowany przez użytkownika (rys. 4), oddziaływanie strugi paliwa ze ściankami cylindra oraz denkiem tłoka jak i z innymi strugami (przy rozpylaczach wielootworkowych).



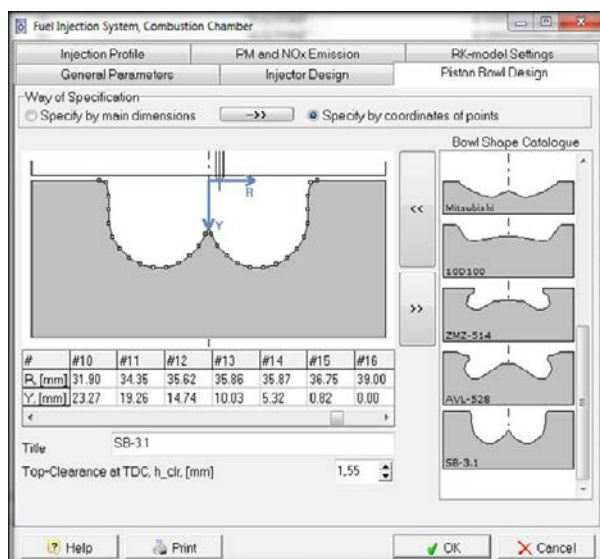
Rys. 1. Okno definiowania parametrów rozpylacza w programie DIESEL-RK



Rys. 2. Okno definiowania parametrów wtrysku w programie DIESEL-RK

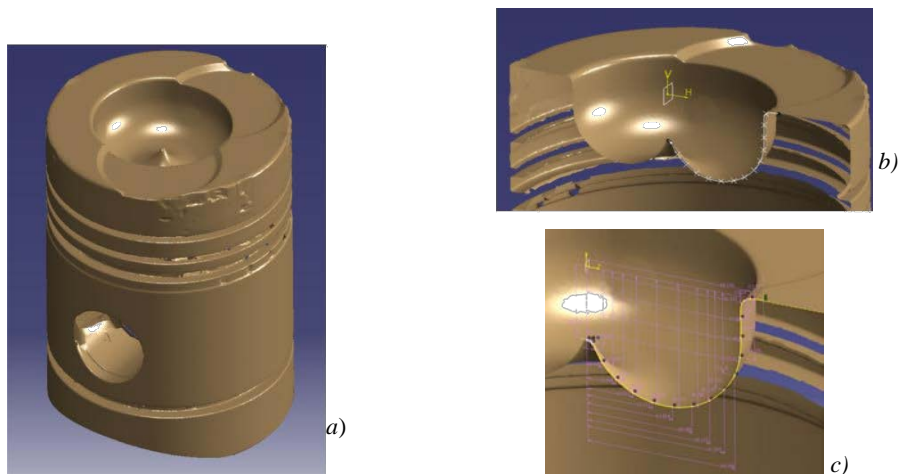


Rys. 3. Okno definiowania parametrów wtrysku w programie DIESEL-RK poprzez ustalenie przebiegu prędkości wypływu strugi paliwa z otworka rozpylacza w funkcji kąta obrotu wału korbowego



Rys. 4. Okno programu DIESEL RK służące do zdefiniowania geometrii komory spalania w systemie wtrysku bezpośredniego

Aplikacja pozwala użytkownikowi na zdefiniowanie geometrii komory spalania w systemie wtrysku bezpośredniego. Aby relatywnie dokładnie odzwierciedlić kształt komory spalania, tłok rzeczywistego silnika został zeskanowany za pomocą skanera 3D ATOS I 2M firmy GOM, następnie wygenerowany został plik \*.stl, który zaimportowano do oprogramowania CATIA V5 i tam poddano obróbce (rys. 5), w wyniku której uzyskano współrzędne punktów wymagane do oprogramowania DIESEL-RK.



Rys. 5. Model 3D tłoka silnika badawczego – wynik skanowania trójwymiarowego:  
 a) widok ogólny; b) przekrój przez oś komory spalania; c) współrzędne 16 punktów krzywej opisującej kształt komory spalania, które zostały przeniesione do programu DIESEL-RK

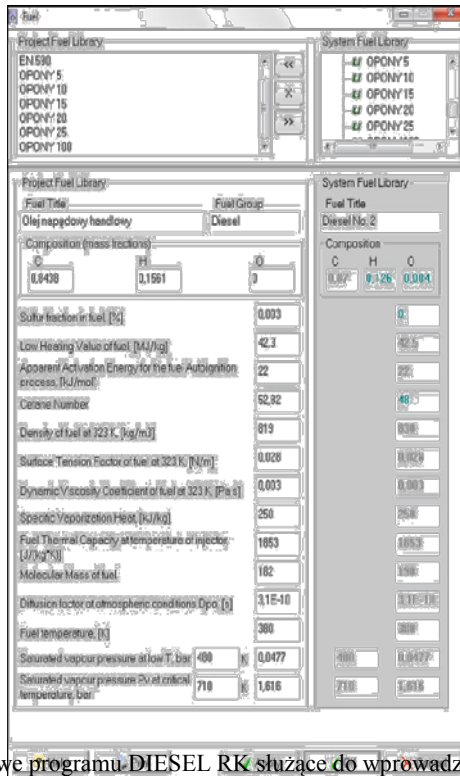
Obliczenia numeryczne posłużyły do określenia przebiegu krzywej mocy użytecznej w funkcji prędkości obrotowej wału korbowego silnika oraz stężenia tlenków azotu, których model tworzenia oparty jest na wspomnianym wcześniej mechanizmie Zeldovich'a, przedstawionym równaniem (1).

$$\frac{d[NO]}{dt} = \frac{p \cdot 2,33 \cdot 10^7 \cdot \frac{18020}{F_{N_2}} \cdot \sigma_{NOeq} \cdot T_{cz} \cdot \left[ 1 - \left( \frac{\sigma_{O_2}}{\sigma_{O_2eq}} \right)^2 \right]}{R \cdot T_{cz} \cdot \left( 1 + \frac{1946}{F_{N_2}} \cdot \frac{F_{H_2O}}{F_{H_2Oeq}} \cdot \frac{\sigma_{O_2}}{\sigma_{O_2eq}} \right)} \cdot \omega \quad (1)$$

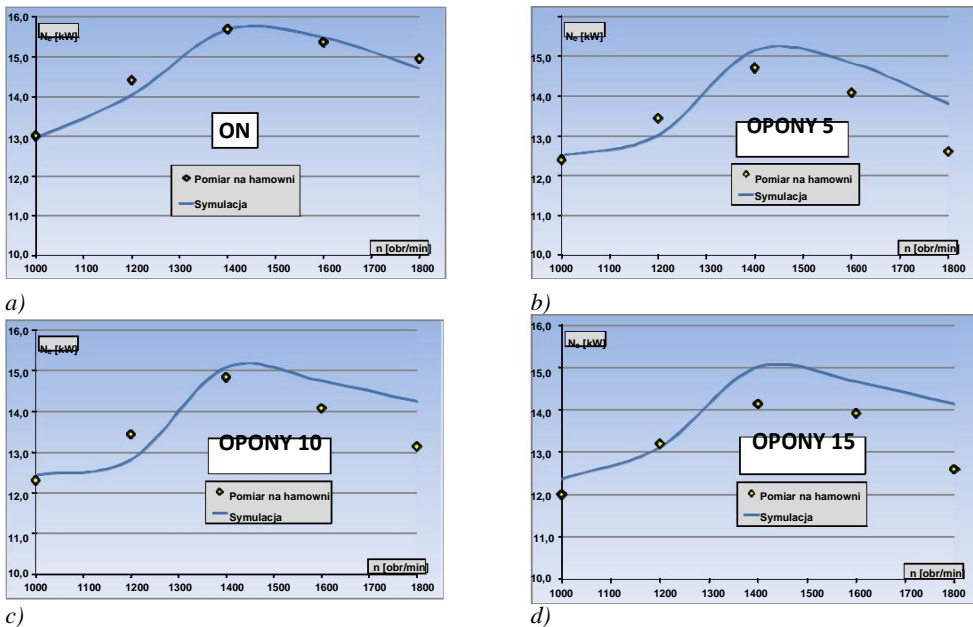
gdzie:  $p$  – ciśnienie panujące w cylindrze [Pa];  $T_{cz}$  – temperatura w strefie spalanej mieszanki [K];  $R$  – stała gazowa;  $F_{NOeq}$ ,  $F_{N_2eq}$ ,  $F_{O_2eq}$ ,  $F_{H_2Oeq}$  – stężenia równowagowe odpowiednio NO, N<sub>2</sub>, O, O<sub>2</sub>;  
 – prędkość kątowna wału korbowego, [1/s]

Rys. 6 przedstawia widok okna dialogowego programu, które służy do wprowadzenia parametrów paliwa. Należy zaznaczyć, iż parametry paliwa konieczne do przeprowadzenia symulacji numerycznej, wymagane przez program DIESEL-RK, oznaczono za pomocą aparatury do pomiarów fizykochemicznych. Przekłada się to na fakt, iż dzięki rzeczywistym parametrom dotyczącym paliwa, zostało bardzo dokładnie określonych szereg danych wejściowych modelu pracy silnika zaimplementowanego w aplikacji DIESEL-RK, przez co wydaje się, że algorytmy obliczeniowe wygenerują miarodajne wyniki.

Na rysunku 7 i 8 przedstawiono porównanie wyników badań symulacyjnych z wynikami uzyskanymi w czasie realizacji eksperymentu badawczego na hamowni silnikowej dla wybranych paliw.

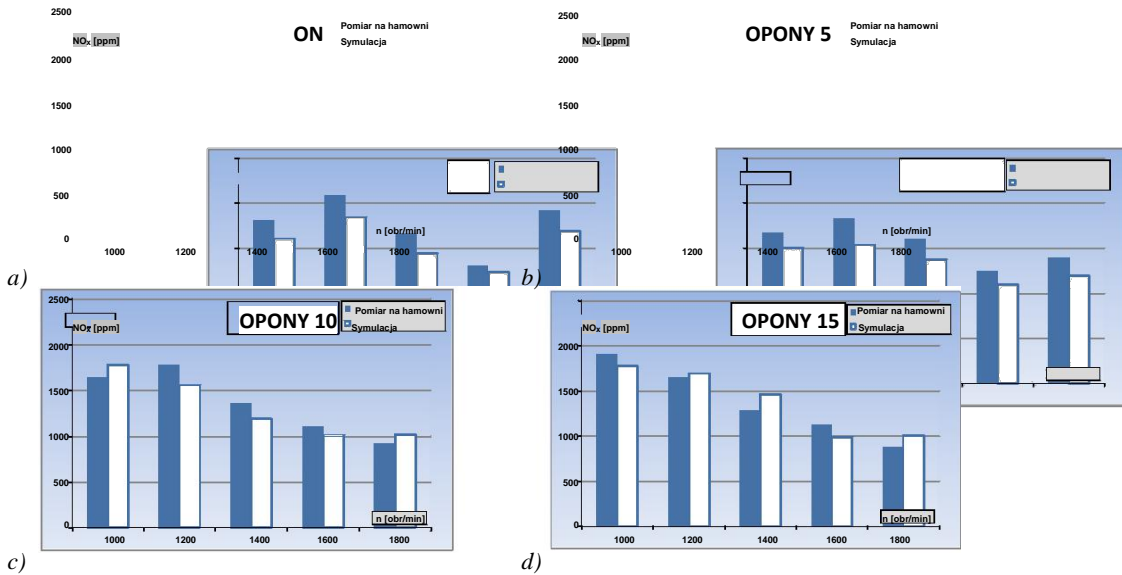


Rys. 6. Okno dialogowe programu DIESEL RK służące do wprowadzenia parametrów paliwa



Rys. 7. Porównanie obliczonej mocy silnika z danymi uzyskanymi w trakcie badań na hamowni silnikowej przy zasilaniu silnika paliwem:

a) ON; b) OPONY 5; c) OPONY 10; d) OPONY 15



Rys. 8. Porównanie obliczonego stężenia NO<sub>x</sub> z danymi uzyskanymi w trakcie badań na hamowni silnikowej przy zasilaniu silnika paliwem: a) ON; b) OPONY 5; c) OPONY 10; d) OPONY 15

Model pracy silnika zaimplementowany w oprogramowaniu DIESEL-RK, w odniesieniu do wyników mocy uzyskiwanej przez silnik przy małych i średnich prędkościach obrotowych, generuje miarodajne i wiarygodne wyniki; błąd względny wynosił 3–5 % dla mieszanin, a dla ON 1–2 %. Obliczenia symulacyjne wykazały, iż model tworzenia tlenków NO<sub>x</sub> oparty na mechanizmie Zeldovich'a, daje zadowalające rezultaty.

#### РЕФЕРАТ

Мирослав Якубовський,

Жешувська Політехніка, [mjakubow@prz.edu.pl](mailto:mjakubow@prz.edu.pl)

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СИНТЕТИЧНОГО ПАЛИВА НА ДЕЯКІ ПАРАМЕТРИ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

роботі представлено обґрунтованість симуляційних досліджень в контексті робочих параметрів двигуна внутрішнього згорання, характеристики комп'ютерного додатку, що використовувався для розрахунків, а також вхідні дані математичних моделей та метод їх отримання.

**Ключові слова:** двигун внутрішнього згорання, дизельне паливо, робочі параметри, властивості палива, симуляційні дослідження.

#### РЕФЕРАТ

Мирослав Якубовский,

Жешувская Политехника, [mjakubow@prz.edu.pl](mailto:mjakubow@prz.edu.pl)

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СИНТЕТИЧЕСКОГО ТОПЛИВА НА НЕКОТОРЫЕ ПАРАМЕТРЫ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

работе представлено обоснованность симуляционных исследований в контексте рабочих параметров двигателя внутреннего сгорания, характеристики компьютерного приложения, которое использовалось для расчетов, а также входящие данные математических моделей и метод их получения.

**Ключевые слова:** двигатель внутреннего сгорания, дизельное топливо, рабочие параметры, свойства топлива, симуляционные исследования.

## ABSTRACT

Mirosław JAKUBOWSKI, Politechnika Rzeszowska, [mjakubow@prz.edu.pl](mailto:mjakubow@prz.edu.pl)

### RESEARCH OF EFFECT OF SYNTHETIC FUEL ON SOME PARAMETERS OF DIESEL ENGINES

The paper presents the validity of simulation research in the context of the operating parameters of the internal combustion engine, the characteristics of the computer application which has been used for calculations, the input data of the numerical model and the method of obtaining them.

**Key words:** internal combustion engine, diesel fuel, operating parameters, fuel properties, simulation research.

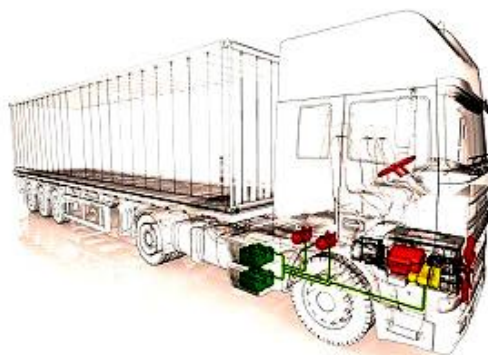
УДК 665.7.035.7:656(043.2)

### III-19. ALTERNATYWNE UKŁADY NAPĘDOWE JAKO STRATEGIA REDUKCJI ZUŻYCIA PALIWA I EMISJI ZWIĄZKÓW TOKSYCZNYCH

*Paweł WOJEWODA*

Alternatywne technologie jako strategię redukcji zużycia paliwa a tym samym CO<sub>2</sub> oraz innowacje w celu poprawy efektywności operacyjnej samochodów ciężarowych i autobusów, ciągników rolniczych i maszyn budowlanych to tematy, które są podejmowane przez wielu naukowców na świecie. Jako główny temat analizowany w wymienionych trzech segmentach jest elektryfikacja. Obejmuje ona wiele technologii tj.: hybrydyzację (HEVs) (pojazdy wyposażone w szeregowo, równoległe, szeregowo-równoległe układy oraz tzw. plug-in), elektryczne pojazdy akumulatorowe (BEVs) oraz pojazdy elektryczne z wykorzystaniem ogniw paliwowych (FCEVs). Stopień, w jakim będą stosowane te technologie będzie zależał od rodzaju pojazdu, zastosowania i warunków pracy.

Lekkie ciężarówki i autobusy miejskie poddawane są średnim obciążeniom działającym w ruchu miejskim i nadają się zarówno do hybrydyzacji jak i eksploatacji jako pojazdy czysto elektryczne (BEV), a być może także dla długoterminowej eksploatacji w postaci zasilania ogniwami paliwowymi. Oszczędności emisji CO<sub>2</sub> związane z miejskimi pojazdami hybrydowymi mieszczą się w zakresie aż do 20 %. W przypadku pojazdów czysto elektrycznych bardzo ważnym aspektem jest pochodzenie energii elektrycznej tzn. skąd ta energia pochodzi. Jeśli większość energii elektrycznej będzie z odnawialnych źródeł energii, zmniejszenie emisji CO<sub>2</sub> będzie znacznie wyższe.

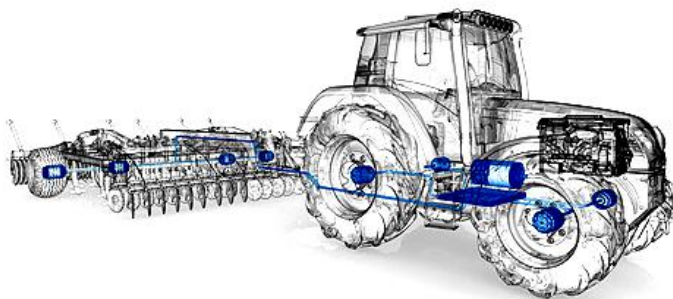


Rys. 1. Układ napędowy samochodu ciężarowego poddany hybrydyzacji; na podstawie

Ciężkie ciężarówki i autobusy dalekobieżne pokonują duże odległości, zwykle od 150.000 do 200.000 km rocznie, a zatem każdy mały procent oszczędności paliwa / CO<sub>2</sub> odgrywa bardzo dużą rolę. Hybrydyzacja w połączeniu z downsizingiem silników wysokoprężnych sprawia, że

można osiągnąć od 8 do 10 % oszczędności zużycia paliwa w zależności od topografii terenu. Poprzez odzysk ciepła odpadowego (rozpraszanego do atmosfery np. tarcze hamulcowe, układ chłodzenia, układ wydechowy) można zaoszczędzić kolejne 3 do 5 %. W obecnym stanie techniki trudno sobie wyobrazić ciężarówkę z napędem czysto elektrycznym. Akumulatory nawet w bardzo zaawansowanym stanie technicznym są nadal zdecydowanie zbyt ciężkie i kosztowne. Ciężarówki służą do przynoszenia dochodów, a więc każdy kilogram masy niewykorzystanej na ładunek zmniejsza ich efektywność i rentowność. Jeśli w ogóle można sobie wyobrazić w dalszej perspektywie ogniwa paliwowe jako pierwotne źródło energii w ciężarówkach dalekobieżnych, to tylko i wyłącznie w połączeniu z lekkimi akumulatorami o małych gabarytach i o dużej pojemności.

Ciągniki rolnicze pracują w ciężkich i bardzo różnorodnych warunkach terenowych, elektryfikacja osprzętu i układów napędowych ciągników może znacznie obniżyć emisję CO<sub>2</sub> i materiałów eksploatacyjnych stosowanych w różnych narzędziach rolniczych. W takim układzie silnik wysokoprężny napędza generator, a nie wałek przekaznika mocy i / lub do narzędzi, które teraz już nie mają połączenia mechanicznego z silnikiem spalinowym, ale są napędzane silnikami elektrycznymi. To sprawia, że cały system jest znacznie bardziej efektywny i elastyczny dla różnych zastosowań.



Rys. 2. Ciągnik rolniczy poddany elektryfikacji osprzętu i układu napędowego; na podstawie

Sprzęt budowlany czysto elektryczny BEVs może być odpowiedni dla bardzo małych urządzeń wykonujących nieduże ruchy operacyjne. Hybrydyzacja to idealny wybór dla wszystkich pojazdów działających w silnie zmieniających się cyklach obciążenia i hamowania. Tutaj silniki elektryczne mogą być wykorzystane w fazach przejściowych działania maszyn poprzez zwiększenie przyspieszenia oraz działać jako generatory podczas hamowania, a tym samym odzyskiwać energię doładowując baterie, która z kolei może być użyta do następnego przyspieszenia. Symulacje przeprowadzone przez firmę AVL dla ładowarek kołowych wykazały oszczędności paliwa / CO<sub>2</sub> rzędu 10–15 %.

Związki toksyczne o najwyższych stężeniach generowane przez środki transportu to NO<sub>x</sub>, węglowodory i cząstki stałe. Na chwilę obecną ostatnie nowe wnioski lub intencją amerykańskiej Agencji Ochrony Środowiska (EPA) oraz California Air Resources Board (CARB) jest wymuszenie na inżynierach ograniczenie zużycia paliwa silników samochodów ciężarowych do 2027 o kolejne 4 % w porównaniu do modeli z roku 2017, zgodnie z EPA. CARB planuje wprowadzić przepis, aby obniżyć zużycie paliwa nawet o 8% w tym samym czasie w połączeniu z dalszą redukcją NO<sub>x</sub> wynoszącą 90 % w porównaniu do 2017 roku. Ponadto, nowa propozycja EPA wzywa do 20 % redukcji zużycia paliwa w samochodzie ciężarowym. Jest to dość nowy trend i stawia w bardzo trudnej sytuacji przemysł motoryzacyjny. Jest też bardzo prawdopodobnym, że podobne ograniczenia zostaną przeniesione do sektora maszyn rolniczych i budowlanych.

Wiele firm obecnie z powodzeniem pracują nad rozwiązaniami nowoczesnych technologii układów napędowych, które mogą być zaimplementowane w taki sposób, aby spełnić przyszłe



surowe przepisy. Oczywiście jest jeszcze możliwość poprawy potencjału konwencjonalnych jednostek napędowych oraz skrzyń biegów. Ogniwa paliwowe z dużym prawdopodobieństwem w dalszej perspektywie są brane pod uwagę do stosowania w samochodach ciężarowych dalekobieżnych. Chociaż same ogniwa paliwowe oferują dość wysoką wydajność, istnieją znaczne straty, które są brane pod uwagę do jakich dochodzi w produkcji i transporcie wodoru. Problemy infrastrukturalne będą główną przeszkodą dla takich napędów, zwłaszcza jeśli chodzi o traktory lub maszyny budowlane.

Rośnie potencjał paliw syntetycznych lub tak zwanych e-paliw. Paliwo syntetyczne to paliwo otrzymane w drodze syntezy chemicznej mogące stanowić alternatywę dla benzyny lub oleju napędowego. W zależności od zastosowanego surowca wyróżnia się technologie: Gas to liquid (GTL) – paliwa otrzymywane z gazu ziemnego. Coal to liquid (CTL) – paliwa otrzymywane z węgla. Proces produkcji syntetycznego paliwa jest bardzo skomplikowany i obejmuje podgrzewanie wody do stanu lotnego, a następnie stosowanie elektrolizy w temperaturze 800 stopni Celsjusza, która wytrąca wodór i tlen. Inżynierowie twierdzą, że zastosowanie wysokotemperaturowej elektrolizy jest znacznie bardziej efektywne niż w przypadku tradycyjnych metod. Następnie CO<sub>2</sub> wchodzi w reakcję z wodorem, czego efektem jest niebieska substancja, która po poddaniu jej oczyszczeniu, zmienia się w paliwo. Co istotne, wyprodukowane w ten sposób paliwo jest wolne od siarki oraz węglowodorów aromatycznych, zaś duża liczba oktanowa sprawia, że można na nim jeździć.

Zdaniem inżynierów Audi efektywność tego procesu sięga aż 70 %, co pozwala w przyszłości myśleć o jego zastosowaniu na skalę przemysłową. Plany zakładają, że w kilka miesięcy nowa fabryka będzie mogła wyprodukować około 3000 litrów nowego paliwa. Podstawowe techniki i sposoby są znane i według ostatnich publikacji nawet koszt takiego paliwa może być znacznie niższy niż konwencjonalnego. Poważne zaangażowanie w przemysłową ścieżkę produkcji e-paliw jest konieczne, ponieważ otwierają one dużo bardziej skuteczną drogę, którą konwencjonalny silnik benzynowy, a także silniki o zapłonie samoczynnym mogłyby być wykorzystane w dalszej perspektywie czasowej. Byłoby to wielkim osiągnięciem, ponieważ te rodzaje paliw alternatywnych, mają bezpośredni wpływ na przyszłe istnienie silnika spalinowego.

Dla samochodów ciężarowych, zmniejszenie oporu toczenia i powietrza ma potencjał do % redukcji zużycia paliwa. Masa jest dużym problemem i nowe materiały zostaną zastosowane takie jak: aluminium, tworzywa sztuczne, włókna węglowe, a oprócz nowych procesów i sposobów łączenia części konstrukcyjnych i blach umożliwią zmniejszenie wagi.

Okres 10–15 lat jest rozsądnym horyzontem na ewolucyjny rozwój, poprzez poprawę istniejących rozwiązań w wyniku hybrydyzacji i elektryfikacji tam, gdzie ma to sens i gdy zacząć wchodzić nowe przepisy. Pojazdy elektryczne BEVs pojawią się w miastach oraz na jego obrzeżach. Zdecydowana większość pojazdów użytkowych będzie nadal z silnikami wysokoprężnymi. I jest nadzieja, że syntetyczne paliwa na bazie CO<sub>2</sub> zyskają większą uwagę aplikacyjną.

#### РЕФЕРАТ

*Павел Воєвода,*

*Жешувська Політехніка, pwojewod@prz.edu.pl*

#### **АЛЬТЕРНАТИВНІ ПРИВІДНІ СИСТЕМИ ЯК СТРАТЕГІЯ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВИТРАТИ ПАЛИВА ТА ЕМІСІЇ ТОКСИЧНИХ СПОЛУК**

даній статті розглядаються можливості використання альтернативних силових установок, що підвищують ефективність експлуатації вантажних автомобілів і автобусів, сільськогосподарських тракторів та будівельної техніки, зменшуючи тим самим витрати палива і викиди токсичних сполук в атмосферу. Також обговорено зміст нового законодавства щодо скорочення викидів забруднюючих речовин від транспортних засобів в атмосферу, а також використання альтернативних технологій силових установок і синтетичних палив, що відповідають жорстким вимогам щодо викидів.

**Ключові слова:** транспортні засоби, емісія, токсичні речовини, синтетичні палива, витрата палива.

## РЕФЕРАТ

*Павел Воевода,*

*Жешувская Политехника, pwojewod@prz.edu.pl*

### **АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ПРИВОДНЫЕ СИСТЕМЫ КАК СТРАТЕГИЯ ДЛЯ УМЕНЬШЕНИЯ РАСХОДА ТОПЛИВА И ЭМИССИИ ТОКСИЧНЫХ ВЕЩЕСТВ**

данной статье рассматриваются возможности использования альтернативных силовых установок, которые повышают эффективность эксплуатации грузовых автомобилей и автобусов, сельскохозяйственных тракторов и строительной техники, уменьшая тем самым расход топлива и выбросы токсичных веществ в атмосферу. Также рассмотрено содержание нового законодательства относительно сокращения выбросов загрязняющих веществ от транспортных средств в атмосферу, а также использования альтернативных технологий силовых установок и синтетических топлив, которые отвечают жестким требованиям относительно выбросов.

**Ключевые слова:** транспортные средства, эмиссия, токсичные вещества, синтетические топлива, расход топлива.

## ABSTRACT

*Pawel WOJEWODA,*

*Politechnika Rzeszowska im. Ignacego Lukaszewicza, pwojewod@prz.edu.pl*

### **ALTERNATIVE DRIVING SYSTEMS AS A STRATEGY FOR REDUCTION OF FUEL CONSUMPTION AND TOXIC COMPOUNDS EMISSION**

This article explores the possibilities of using alternative driving systems to improve the operational efficiency of trucks and buses, agricultural tractors and construction machinery, thereby limiting fuel consumption and reducing toxic compounds, emitted into the atmosphere. The topics of the new legislation on reducing emissions of atmospheric pollutants by means of transport as well as the use of alternative technologies of driving systems and synthetic fuels meeting strict emission limits were also discussed.

**Key words:** transport means, emission, toxic substances, synthetic fuels, fuel consumption.

УДК 629.7.03:662.7(043.2)

### **III-20. STUDY OF OPERATION PARAMETERS OF JET ENGINE POWERED BY CONVENTIONAL AND ALTERNATIVE FUELS**

*Anna Yakovlieva, Sergii Boichenko, Oksana Vovk, Kazimierz Lejda,  
Viktor Kozlov, Michael Okhrimenko*

Constant increase of aircraft fleet and exhausting crude oil deposits promote worsening of the world energy crisis. As a result we observe rise in prices for jet fuel that today comprise about 25–30 % of passenger travel. Moreover, products of fuel combustion cause detrimental impact on environment. Thus, the task of search and development of alternative JFs became especially important.

Today alternative fuels from various renewable feedstock are actively developed and studied. Among them are fuels made of biomass, plant oils, animal fats, microalgae, and waste from agriculture, wood processing industry, municipal waste, etc..

There is also a considerable experience in the use of aviation biokerosene that is a mixture of conventional jet fuel and bio-additives produced from plants oil. These bio-additives are methyl or ethyl esters of plant oils mainly rapeseed or camelina oils. Today application of rapeseed oil esters as additives to jet fuel is at the early stage of development and needs to be studied more comprehensively.

Common achievements of scientists from the National Aviation University, Rzeszow university of technology and Institute of bioorganic chemistry and petrochemistry of the NAS of Ukraine resulted in development of alternative jet fuels, which are blends of conventional jet fuel and bio-additives in quantity up to 30 % (vol.). The complex laboratory tests of physical-chemical,

exploitation and ecological properties of new jet fuels were done. The results of test had shown that the developed fuels satisfy requirement of modern specifications for jet fuels.

Bench tests of JE were done with the aim of testing newly developed JFs blended with bio-additives in conditions of engine operation and checking the hypothesis that these alternative jet fuels may be used as working body of jet engine.

For fulfilling bench tests the gas-turbine engine of model PY19A-300 was used. Primarily this type of jet engine was developed for aircrafts of models Yak-30 and Yak-32. Later this JE was being installed on aircrafts on models An-24, An-26 and An-30 as auxiliary power unit (fig. 1). The bench tests were fulfilled on certified engine-test base with specific stand at State Enterprise 410 factory of Civil Aviation (Kyiv, Ukraine).

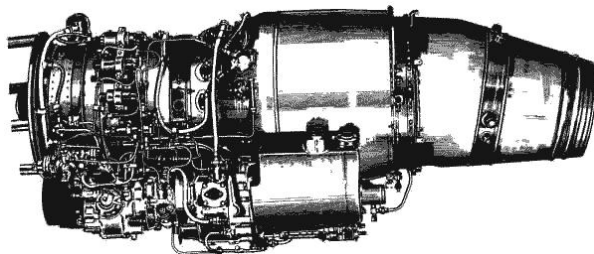


Fig. 1. External view of engine PY19A-300

Program of bench tests of jet fuels blended with bio-additives on jet engine foresees tests of two alternative jet fuels on certain operation regimes with checking acceleration response time of the engine with further comparing to result, using conventional jet fuel.

The bench tests were fulfilled for 3 kinds of jet fuel:

conventional jet fuel of grade Jet A-1 ;

conventional jet fuel + 10 % (vol.) of bio-additive based on fatty acids ethyl esters (FAEE) of rapeseed oil;

conventional jet fuel + 20 % (vol.) of bio-additive based on fatty acids ethyl esters (FAEE) of rapeseed oil.

Engine control during the tests was done from the control room with the help of throttle control lever connected with fuel pump throttle through transmission.

The testing itself was done according to the following testing program:

Start of the engine and warming up at idling regime (rotor speed is  $n = 36$  %); duration of regime is not less than 40 s with registration of parameters.

Bringing the engine to cruise regime 0,8 of nominal ( $n = 90$  %); duration of regime is not less than 40 s with registration of parameters.

Bringing the engine to nominal regime ( $n = 97$  %); duration of regime is not less than 40 s with registration of parameters.

Checking of acceleration response time: engine is brought to idling regime during 25 s, parameters are registered and then engine is brought to nominal regime during 1–2 s and holding at regime during 10 s with registration of parameters.

Bringing the engine to 0,75 of nominal regime ( $n = 80$  %); duration of regime is not less than 40 s with registration of parameters.

Bringing the engine smoothly to idling regime during 25 s with further stop, measuring of engine rotor run-out and registration of parameters.

During the bench tests the following engine operation parameters were measured:

Rotor speed  $n$ , %;

Engine inlet temperature  $t_{e.in.}$ , °C;

Barometric pressure,  $Batm$ ;

Thrust,  $R$ ;  
 Pressure in fuel manifold,  $P_{f.m.}$ ,  $\text{kg/cm}^2$ ;  
 Jet pipe temperature,  $t_{j.p.}$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ;  
 Fuel flow,  $G$ , l/hour;  
 Acceleration response time,  $s$ .

Values of rotor speed, thrust and fuel flow, which were measured during bench tests need to be recalculated to the International Standard Atmosphere using standard formulae.

After processing and analysis of experimental data the following results were obtained (fig. 2–5).

From the graph (fig. 2) it is seen that using conventional jet fuel generate higher gas temperature in the jet pipe comparing to jet fuels blended with bio-additives. A gradual decrease of jet pipe temperature with increasing content of bio-additive in jet fuel blends was observed. This effect is considered to be positive. On one hand temperature decrease may positively influence on materials and structure of jet engine exhaust system, which are subjected to destruction under the influence of hot gas stream. Thus, using blended jet fuels may contribute to durability of jet engine's construction. On other hand decreasing of jet pipe temperature may positively contribute to overall reduction of  $\text{NO}_x$  emissions, which are in direct dependence on temperature.

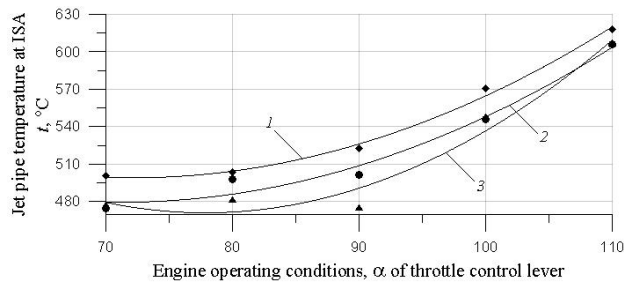


Fig. 2. Jet pipe temperature as a function of engine rotor speed when powered with 1 – jet fuel Jet A-1; 2 – jet fuel + 10 % of modified FAEE; 3 – jet fuel + 20 % of modified FAEE

From the graph (fig. 3) it may be seen that jet fuels blended with 10 % and 20 % of modified FAEE bio-additive have presented a significant reduction in fuel flow comparing to conventional jet fuel. The fuel flow for jet fuel blended with 10 % of modified FAEE bio-additive is on 50–70 l/h less that comparing to conventional JF. At the same time jet fuel with higher content of bio-additive (20 %) has provided slightly greater fuel flow, that is on 5–15 l/h more than for jet fuel with 10 % of bio-additive. Evidently this positive result on fuel flow reduction was achieved due to the higher densities of blended jet fuels.

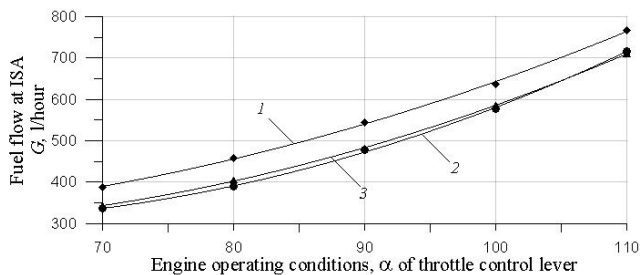


Fig. 3. Fuel flow of the jet engine as a function of engine rotor speed when powered with 1 – jet fuel Jet A-1; 2 – jet fuel + 10 % of modified FAEE; 3 – jet fuel + 20 % of modified FAEE

From the graph (fig. 4) it is seen that all the tested fuels produced almost the same jet engines thrust. At jet engine acceleration to 0,8 of nominal regime ( $\alpha \approx 80$ ) JFs blended with 10 % and 20 % of modified FAEE show higher thrust values. At the same time during acceleration to nominal regime better thrust is produced by conventional jet fuel. However the variations in jet engine's thrust are insignificant and are within the acceptable limits.

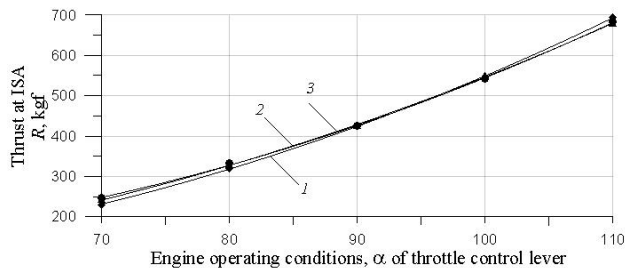


Fig. 4. Jet engine's thrust as a function of engine rotor speed when powered with 1 – jet fuel Jet A-1; 2 – jet fuel + 10 % of modified FAEE; 3 – jet fuel + 20 % of modified FAEE

The final parameter that was controlled during bench tests of jet fuel samples is acceleration response time. This parameter characterizes the time necessary for the jet engine to reach its maximal thrust (maximal power). The results at the graph (fig. 5) show that the least acceleration response time was reached by the jet engine using conventional jet fuel. The decrease of this parameter for blended jet fuels was in the range of 0,36–0,575 s. Thus the difference is not significant and within the acceptable limits.

In a result of fulfilling bench tests of newly developed jet fuels blended with bio-additives on jet engine the hypothesis that these alternative jet fuels may be used as working body of jet engine was proved. The experimental results on jet engine thrust, fuel flow, jet pipe temperature and acceleration response time of the engine had shown that these parameters are with the acceptable limits (introduced for the given type of jet engine). Moreover positive improvements were reached for such parameters as fuel flow and jet pipe temperature.

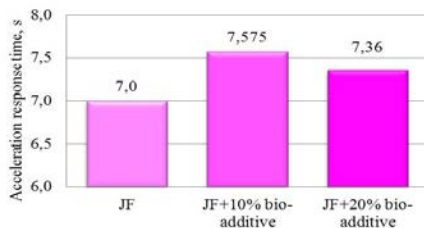


Fig. 5. Acceleration response time of jet engine when powered with: 1 – jet fuel Jet A-1; 2 – jet fuel + 10 % of modified FAEE; 3 – jet fuel + 20 % of modified FAEE

#### РЕФЕРАТ

Анна Яковлева<sup>1</sup>, Сергій Бойченко<sup>2</sup>, Оксана Вовк<sup>1</sup>, Казимир Лейда<sup>2</sup>, Віктор Козлов<sup>1</sup>,  
Михайло Охрименко<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, <sup>2</sup>Жешувська Політехніка, <sup>3</sup>  
Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України

#### ДОСЛІДЖЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА З ВИКОРИСТАННЯМ ТРАДИЦІЙНИХ І АЛЬТЕРНАТИВНИХ ПАЛИВ

Робота присвячена проведенню стендових випробувань нових сумішевих палив для ПРД з біокомпонентами на основі етилових естерів ріпакової олії. У роботі обґрунтовано необхідність розроблення та упродовження альтернативних авіаційних палив з відновлюваної рослинної сировини.

статті подано детальний опис та конструкцію авіаційного двигуна, що було використано для проведення стендових випробувань. Представлено перелік робочих параметрів, за якими проведено стендові випробування. Підтверджено гіпотезу про те, що розроблені альтернативні палива для повітряно-реактивних двигунів з вмістом біокомпонентів 10 % та 20 % можуть використовуватися як робоче тіло авіаційних двигунів. Представлено результати за показниками витрати палива та температури газів за турбіною авіаційного двигуна під час використання сумішевих палив для повітряно-реактивних двигунів з біокомпонентами.

**Ключові слова:** авіаційний двигун, паливо для повітряно-реактивних двигунів, альтернативне паливо, тяга, витрата палива, прийомистість, естери ріпакової олії.

#### РЕФЕРАТ

*Анна Яковлева<sup>1</sup>, Сергей Бойченко<sup>2</sup>, Оксана Вовк<sup>1</sup>, Казимир Лейда<sup>2</sup>, Виктор Козлов<sup>1</sup>,  
Михаил Охрименко<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>Национальный авиационный университет, Жешувская Политехника,  
<sup>2</sup>Институт биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины*

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ АВИАЦИОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТРАДИЦИОННЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ

Работа посвящена проведению стендовых испытаний новых смесевых топлив для воздушно-реактивных двигателей с биоконпонентами на основе этиловых эфиров рапсового масла. В работе обосновано необходимость разработки и внедрения альтернативных авиационных топлив из возобновляемого растительного сырья. В статье представлено детальное описание и конструкцию авиационного двигателя, который был использован для проведения стендовых испытаний.

Представлено перечень рабочих параметров, по которым проведено стендовые испытания. Подтверждено гипотезу о том, что разработанные альтернативные топлива для воздушно-реактивных двигателей с содержанием биоконпонентов 10 % и 20 % могут использоваться в качестве рабочего тела авиационных двигателей. В роботі показано досягнення позитивних результатів по показателям расходу топлива и температуры газов за турбиною авиационного двигателя во время применения смесевых топлив для воздушно-реактивных двигателей с биоконпонентами.

**Ключевые слова:** авиационный двигатель, топливо для воздушно-реактивных двигателей, альтернативное топливо, тяга, расход топлива, приемистость, эфиры рапсового масла.

#### ABSTRACT

*Anna Yakovlieva<sup>1</sup>, Sergii Boichenko<sup>2</sup>, Oksana Vovk<sup>1</sup>, Kazimierz Lejda<sup>2</sup>, Viktor Kozlov<sup>1</sup>, Michael Okhrimenko<sup>3</sup>,  
National aviation university, Rzeszow university of technology,*

*<sup>3</sup>Institute of bioorganic chemistry and petrochemistry of the NAS of Ukraine*

#### STUDY OF OPERATION PARAMETERS OF JET ENGINE POWERED BY CONVENTIONAL AND ALTERNATIVE FUELS

The work is devoted to fulfilling jet engine bench tests of newly developed jet fuels blended with bio-additives produced from rapeseed oil ethyl esters. The necessity for developing and implementing alternative jet fuels from renewable plant feedstock was substantiated. The type and design of jet engine were given in the paper. The number of parameters, which were controlled during bench tests are presented. The hypothesis that newly developed alternative jet fuels, which contain 10 % and 20 % of rapeseed oil bio -additives, may be used as working body of jet engine was proved. Positive improvements in fuel flow and jet pipe temperature of jet engine, when powered with jet fuels blended with bio-additives, were shown in the paper.

**Key words:** jet engine, jet fuel, alternative fuel, thrust, fuel flow, acceleration response time, rapeseed oil esters.

УДК 629.7.03:665.7.035.7:662.7(043.2)

#### III-21. EMISSION PARAMETERS OF A SMALL-SCALE TURBOJET FOR JET FUEL AND BIODIESEL

*Coban Kahraman, Colpan C. Ozgur, Karakoç T. Hikmet*

As a known fact, energy is mostly produced by fossil fuels through conventional technologies in today's world in spite of the continuous progress in the alternative and renewable

energy technologies. According to the forecasts, the global energy consumption growth should be 53 % from 2008 to 2035 and our reliance on non-renewable energy resources creates negative problems for the environment.

Gas turbine engines are power-producing systems, which are used for different purposes such as powering electrical generators and generating thrust for aerial vehicles. Turbojet engines are the simplest type of the gas turbines and they form the basis of other aviation type gas turbine engines. In recent years, small-scale turbines (also called as micro gas turbine) have drawn remarkable attention and have found large area of usage including the small combined power system, drones, and remotely controlled unmanned aircrafts.

Due to their fuel flexibility, the biodiesel utilization researches are easier to conduct on these engines. Biodiesel, which are gaining more attention for the aero engine use, is produced by the transesterification of vegetable oils or animal fats by replacing the triglyceride molecules with methanol or ethanol. Until today, many researchers and research groups investigated aero gas turbine engines with biodiesel utilization. Lopp, tested a gas turbine using jet fuel and soy biodiesel with 0 %, 10 % and 20 % blends and found that fuel consumption increased slightly with the addition of biodiesel. Tan and Liou investigated used oil feedstock biodiesel and Jet A-1 blends on a micro turbojet engine. They reported that fuel consumption decreased with the increased biodiesel content in the blend and the engine thrust increased with the increased percentage of biodiesel. French used SR-30 turbojet engine with canola biodiesel, and found that maximum thrust was less than Jet A-1 by 8 %. Habib et al., on the other hand, investigated the same engine with several fuels in different blends. The addition of biodiesel resulted a decrease in thrust while resulted an increase in thermal efficiency. In addition, CO and NO emissions were reduced with biodiesel blends.

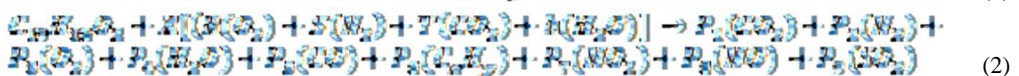
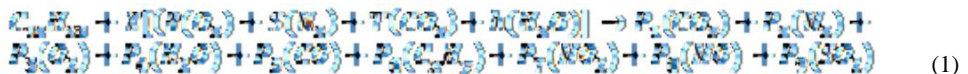
This study aims to compare the emission index performance parameters JP-8 and Canola biodiesel fuel to evaluate the biodiesel utilization on aero turbine engines.

The engine used in this research is basically a single spool turbojet engine. The main components of this indigenous turbojet engine are as follows: an air compressor (including a diffuser), an annular combustion chamber and a single stage axial high-pressure turbine. The aforementioned small-scale turbojet engine rotates at a shaft speed of 120,000 RPM at the maximum throttle level where the engine produces a thrust of 177 N with a thrust specific fuel consumption (TSFC) of  $125 \text{ g} \cdot \text{N}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$  at the sea level corrected conditions.

Measured quantities during the experiments are listed as follows:

- Ambient pressure and temperature ( $P_o, T_o$ )
- Air compressor inlet and outlet pressure ( $P_1, P_2$ )
- Air compressor inlet and outlet temperature ( $T_1, T_2$ )
- High-pressure turbine outlet temperature ( $T_4$ ) and pressure ( $P_4$ )
- Mass flow rate of fuel ( $\dot{m}_f$ ) and air ( $\dot{m}_a$ )
- Static thrust ( $N$ )

The overall chemical reaction for one mole of fuel with air is defined as in Eq. (1) and in Eq. (2) for jet fuel and biodiesel according to SAE ARP1533, respectively.



Since, SO<sub>2</sub> can only arise from fuels containing sulphur, it is neglected in this study.

Table 1

Ambient Air properties		
Component	Chemical Formula	Percent by volume
Oxygen	O <sub>2</sub>	R, 20.948 (dry)
Nitrogen	N <sub>2</sub>	S, 79.02 (dry)
Carbon dioxide	CO <sub>2</sub>	T, 0.034 (dry)
Water vapor	H <sub>2</sub> O	h, 1.657
Methane	CH <sub>4</sub>	U, 0
<b>Total</b>		<b>100 (dry)</b>

where h is specified as number of moles water vapour per number of moles dry air, as X is also defined as number of moles dry air per mole fuel.

$$X = \frac{P_{H_2O}}{P_{Air} - P_{H_2O}} \tag{3}$$

The composition of the hydrocarbon in the exhaust gas was defined in this paper according to x=m and y=n assumption. In Eq. 1 are the mole fractions of each exhaust gas constituent per one mole of fuel. In order to solve for unknowns, the ten linear independent equations are defined in matrix form per ARP1533.

The P values for the chemical reaction for jet fuel and biodiesel are shown in Table 2 and Table 3, respectively.

Once P values are computed, the Air-Fuel-Ratio (AFR), which is the ratio of dry air to fuel mass is found as below per ARP1533:

$$AFR = \frac{P_{O_2}}{P_{N_2} + P_{O_2}} \tag{4}$$

Similarly, emission index values – which is the mass of the constituent to 1000 mass units of fuel consumed- of some species can be calculated.

$$EI_{CO} = \frac{P_{CO} \times 1000}{P_{Fuel} \times 1000} \tag{5}$$

$$EI_{CO_2} = \frac{P_{CO_2} \times 1000}{P_{Fuel} \times 1000} \tag{6}$$

$$EI_{H_2O} = \frac{(P_{H_2O} + P_{H_2}) \times 1000}{P_{Fuel} \times 1000} \tag{7}$$

$$EI_{CH_4} = \frac{P_{CH_4} \times 1000}{P_{Fuel} \times 1000} \tag{8}$$

Finally, combustion efficiency  $\eta_{FD}$  can be calculated by subtracting the inefficiencies due to unburned hydrocarbon and CO.

$$\eta_{FD} = \left[ 1 - 10109 \frac{EI_{CO}}{AFR} - \frac{EI_{HC}}{1000} \right] \times 100 \tag{9}$$

The results of emission parameters are presented in Table 4 and Table 5 for jet fuel and biodiesel, respectively. According to the results, EI index of nitrogen oxide for biofuel is less than the jet fuel, which is a desirable consequence. Additionally, the combustion efficiency also shows a slight increase with biodiesel burning.



Table 2 Table 3

Mole fractions for jet fuel			Mole fractions for biodiesel		
		mole / mole fuel			mole / mole fuel
<b>Total (wet)</b>	PT	447.48	<b>Total (wet)</b>	PT	747.80
<b>CO<sub>2</sub></b>	P1	11.62	<b>CO<sub>2</sub></b>	P1	18.48
<b>N<sub>2</sub></b>	P2	343.16	<b>N<sub>2</sub></b>	P2	577.61
<b>O<sub>2</sub></b>	P3	73.67	<b>O<sub>2</sub></b>	P3	126.71
<b>H<sub>2</sub>O</b>	P4	18.49	<b>H<sub>2</sub>O</b>	P4	24.22
<b>CO</b>	P5	0.30	<b>CO</b>	P5	0.51
<b>CxHy</b>	P6	0.21	<b>CxHy</b>	P6	0.24
<b>NO<sub>2</sub></b>	P7	0.01	<b>NO<sub>2</sub></b>	P7	0.02
<b>NO</b>	P8	0.00	<b>NO</b>	P8	0.00
<b>Air</b>	X	434.28	<b>Air</b>	X	730.98
<b>Total (dry)</b>	PT-P4	428.90	<b>Total (dry)</b>	PT-P4	723.58

Table 4

Emission results for jet fuel		Emission results for biodiesel	
Parameter	Value	Parameter	Value
$EI_{CO} \left[ \frac{kg}{1000 kg fuel} \right]$	50.73	$EI_{CO} \left[ \frac{kg}{1000 kg fuel} \right]$	54.14
$EI_{NO} \left[ \frac{kg}{1000 kg fuel} \right]$	0.79	$EI_{NO} \left[ \frac{kg}{1000 kg fuel} \right]$	0.32
$EI_{NOx} \left[ \frac{kg}{1000 kg fuel} \right]$	4.64	$EI_{NOx} \left[ \frac{kg}{1000 kg fuel} \right]$	4.10
$EI_{HC} \left[ \frac{kg}{1000 kg fuel} \right]$	17.90	$EI_{HC} \left[ \frac{kg}{1000 kg fuel} \right]$	12.59
<b>AFR</b>	75	<b>AFR</b>	80
<b><math>\eta_b</math> (%)</b>	97.02	<b><math>\eta_b</math> (%)</b>	97.28

The present study provides that aero gas turbines can be operated on biodiesel with no significant performance degradation in comparison to jet fuel performance. According to the results, the emission index for CO increases, where emission indexes for NO, NO<sub>x</sub> and C<sub>x</sub>H<sub>y</sub> decrease for the biodiesel case.

Consequently, a small turbojet engine can be operated with both jet fuel and biodiesel. Therefore, this can eliminate the fuel dependence of this engine, which makes its utilization on different usage area.

#### РЕФЕРАТ

Кобан, Кахраман<sup>1</sup>, Кадлан, К.Озгур<sup>2</sup>, Каракоч, Т.Хікмет<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>Вища школа наук, Університет Анатолу, <sup>2</sup>Факультет машинобудування, <sup>3</sup>Факультет авіонавтики астронавтики, Університет Анатолу, [kahramanc@anatolu.edu.tr](mailto:kahramanc@anatolu.edu.tr), [ozgur.colpan@deu.edu.tr](mailto:ozgur.colpan@deu.edu.tr), [hkarakoc@anatolu.edu.tr](mailto:hkarakoc@anatolu.edu.tr)

#### ЕМІСІЙНІ ПАРАМЕТРИ МОДЕЛЬНОГО АВІАЦІЙНОГО ДВИГУНА З ВИКОРИСТАННЯМ АВІАЦІЙНОГО ПАЛИВА ТА БІОДИЗЕЛЮ

дослідженні розглянуто робочі параметри модельного авіаційного двигуна, а саме параметри емісії. випробування проводилися на двигуні на режимі 87,6 % з традиційним авіаційним паливом марки JP-8 та біодизелем (метилові естери олій канаоли). Робочі та емісійні параметри визначалися для 100 % авіаційного палива та біодизельного палива. Результати показали, що витрата біодизельного палива була на 16,2 % вище ніж для традиційного авіаційного палива. Індекс емісії CO склав 50,73 для традиційного авіаційного палива, в той час як для біодизельного палива 54,14. У той же час ефективність згорання біодизелю становила 97,28 %, а традиційного авіаційного палива 97,02 %. Дана стаття буде корисною для проведення досліджень з використання альтернативних авіаційних палив на авіаційних двигунах.

**Ключові слова:** біодизель, емісія, авіаційний двигун, робочі параметри, чадний газ, оксиди азоту.

## РЕФЕРАТ

Кобан, Кахраман<sup>1</sup>, Колпан, К.Озгур<sup>2</sup>, Каракоч, Т.Хикмет<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> Академия естественных наук, Университет Анатолу, <sup>2</sup> Факультет машиностроения, <sup>3</sup> Факультет авионики и астронавтики, Университет Анатолу, <sup>1</sup> kahramanc@anadolu.edu.tr, <sup>2</sup> ozgur.colpan@deu.edu.tr, <sup>3</sup> hkarakoc@anadolu.edu.tr

### ЭМИССИОННЫЕ ПАРАМЕТРЫ МОДЕЛЬНОГО АВИАЦИОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА И БИОДИЗЕЛЯ

исследовании рассмотрены рабочие параметры модельного авиационного двигателя, а именно параметры эмиссии. испытания проводились на двигателе на режиме 87,6 % с традиционным авиационным топливом марки JP-8 и биодизелем (метиловые эфиры масла канолы). Рабочие и эмиссионные параметры определялись для 100 % авиационного топлива и биодизельного топлива. Результаты показали, что расход биодизельного топлива была на 16,2 % выше чем для традиционного авиационного топлива. Индекс эмиссии CO составил 50,73 для традиционного авиационного топлива, то время как для биодизельного топлива 54,14. В то же время эффективность сгорания биодизеля составляла 97,28 %, а традиционного авиационного топлива 97,02 %. Данная статья будет полезной для проведения исследований по использованию альтернативных авиационных топлив на авиационных двигателях.

**Ключевые слова:** биодизель, эмиссия, авиационный двигатель, рабочие параметры, угарный газ, оксиды азота.

## ABSTRACT

Coban, Kahraman<sup>1</sup>, Colpan, C, Ozgur<sup>2</sup>, Karakoç, T. Hikmet<sup>3</sup>,

<sup>1</sup> Graduate School of Sciences, Anadolu University, <sup>2</sup> Department of Mechanical Engineering, <sup>3</sup> Faculty of Aeronautics and Astronautics, Anadolu University, <sup>1</sup> kahramanc@anadolu.edu.tr, <sup>2</sup> ozgur.colpan@deu.edu.tr, <sup>3</sup> hkarakoc@anadolu.edu.tr

### EMISSION PARAMETERS OF A SMALL-SCALE TURBOJET FOR JET FUEL AND BIODIESEL

This research investigates a small-scale turbojet engine performance through emission parameters. The engine was tested at 87,6 % throttle level with conventional jet fuel (JP-8) and biodiesel (canola methyl ester), respectively. Engine performance and emission parameters were determined for 100 % jet and biodiesel fuels. The results show that the fuel flow for biodiesel run was 16,2 % higher than for the jet fuel test run. The emission index of CO was calculated to be 50,73 for the jet fuel test case where it was 54,14 for the biodiesel test. The combustion efficiency, on the other hand, was 97,28 % for biodiesel while this value was 97,02 % for the conventional jet fuel. This paper might contribute to the researches on renewable fuel utilization studies on gas turbines.

**Key words:** biodiesel, emissions, jet engine, performance, carbon monooxide, nitrogen oxides.

УДК 621.891/.892-022.532(043.2)

## III-22. ТРИБОЛОГІЧНА ПОВЕДІКА НАНОРОЗМІРНИХ

### МЕТАЛОВМІСНИХ ЧАСТИНОК У ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛАХ

*Петро Топільницький, Сергій Бойченко, Орест Кунтий*

Нанорозмірні частинки неорганічних речовин, оксидів металів (CuO, ZnO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, TiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>2</sub>) і неметалів (SiO<sub>2</sub>), сульфідів (MoS<sub>2</sub>), карбонатів (CaCO<sub>3</sub>), нітридів (BN), боридів (TiB<sub>2</sub>), карбідів (TiC), металів (Cu, Fe, Co, Ni, Al, Sn, In), карбонові нанотрубки (КНТ) – один із напрямів у трибології наноматеріалів останнього десятиліття, що інтенсивно розвивається. Увага до таких додатків в мастильних матеріалах зумовлена не тільки успішним тотальним впровадженням продуктів нанотехнологій в усі сфери людської діяльності. Мінітюаризація нових прецизійних приладів, машин і механізмів, зростання навантажень потребують нових підходів до забезпечення їх надійності у роботі в екстремальних умовах, збільшення довговічності.

Нанорозмірні частинки металів і металовмісні системи та композиції відносять до перспективних додатків до мастильних матеріалів й особливо “сухих” електропровідних

мастил (табл.1). За природою наночастинок, методом одержання та галузями застосування їх можна умовно поділити на такі дві групи: 1) моно- та біметалеві та 2) композити. Метою цього короткого аналізу було підняти одне з актуальних питань трибології – класифікація наноматеріалів як антифрикційних додатків.

Таблиця 1

Металовмісні наночастинки як додатки для пластичних мастил

Природа металовмісних наночастинок і матеріалів	Морфологія	Застосування
Мідь	Агломерати з овальних частинок 50 nm	Дизельні моторні мастила
Залізо	Сфероподібні дискретні нанорозмірні частинки	Моторні олії
Кобальт	Сфероподібні дискретні нанорозмірні частинки	Моторні олії
Нікель	Сфероподібні 4–11 nm (середній 7,5 nm)	Моторні олії
Індій	Сфероподібні дискретні, середній розмір 30 nm	Моторні олії
Суміші Fe + Cu, Co + Cu	Сфероподібні дискретні нанорозмірні частинки сплавів і структур core/shell	Моторні олії
Суміш Al + Sn	Агломерати зі сферичних частинок 30 % 50 nm	Моторні олії
Система Fe-Cu	Нанорозмірні частинки структури core/shell	Моторні олії
Композити Cu–TiB <sub>2</sub>	Частинки TiB <sub>2</sub> розміром 10–20 nm у мідній матриці	“Сухі” електропровідні мастильні матеріали
Композити мідь-нанографіт	Агломеровані частинки структури core/shell з розмірами 50–100 nm	“Сухі” електропровідні мастильні матеріали
Композити мідь-карбонові нанотрубки	Покриття КНТ міддю товщиною 50 nm	“Сухі” електропровідні мастильні матеріали

Монометалеві наночастинки. Найбільше вивчені трибологічні характеристики наночастинок міді. Проте, в останнє десятиліття увагу привертають наночастинки інших металів – заліза, кобальту, нікелю, індію. Притім, серед наведених металів є такі, що вирізняються високою твердістю (залізо, кобальт, нікель) та відносно м'які – мідь й, особливо індій.

Наночастинки міді. Уже на стадії одержання наночастинки міді схильні до агломерації (рис. 1), що ускладнює їх рівномірний розподіл в об'ємі пластичних мастил. Тому, перед введенням в останні, агломерати максимально “руйнують” з одночасною стабілізацією частинок дифільними молекулами органічних сполук. Часто для того використовують вищі карбонові кислоти, наприклад, олеїнову. Притім, таку модифікацію проводять на стадії одержання “стабілізованих” порошків, або ж помолом у суміші агломерованих частинок з органічною речовиною.

“Стабілізовані” порошки, завдяки наявності на поверхні гідрофобного шару, добре розподіляються в неполярних органічних розчинниках, мінеральних і синтетичних маслах, хоча й зберігають фрагменти агломератів (рис. 2).

Еліптичні частинки міді (рис. 1) на початковій стадії тертя деталей виконують роль своєрідних нанорозмірних підшипників. Проте через їх високу хімічну активність, низьку твердість й температуру плавлення наночастинки осідають на контактні ділянки, а також вступають в реакції з компонентами суспензії. Як наслідок – формується своєрідна захисна трибоплівка, що містить металеву мідь, сполуки Купруму (I, II) разом з оксидами Феруму, Силіцію та органічними речовинами. Перераховане сприяє покращанню трибологічних характеристик мастил (рис. 3). Так, суттєвому зменшується коефіцієнт тертя (рис. 3 а).

Утворена наночастинками міді захисна плівка зумовлює також згладжування зони зносу, зменшенню розмірів канавок (рис. 3 *с*).

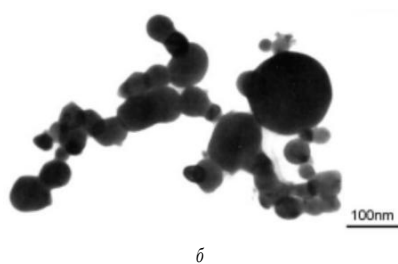
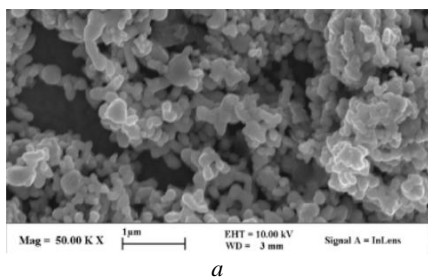


Рис. 1. SEM (*a*) і TEM (*б*) зображення агломерованих наночастинок міді

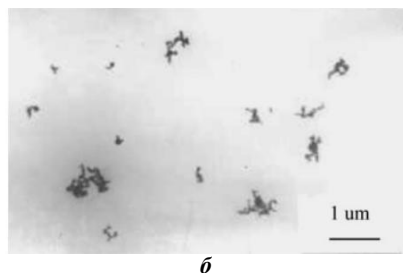
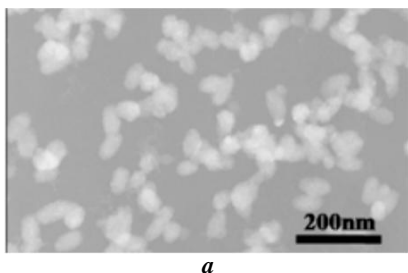


Рис. 2. TEM зображення стабілізованих олеїною кислотою (*a*) та поліізобутиленбутадієном (*б*) наночастинок міді після диспергування у базовій олії

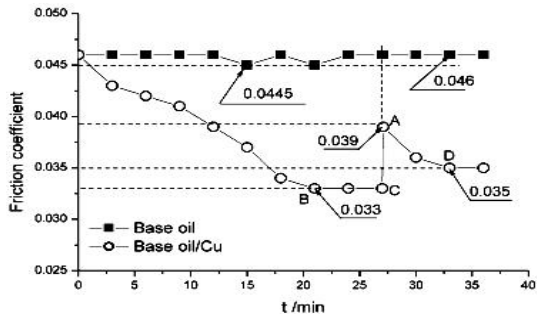
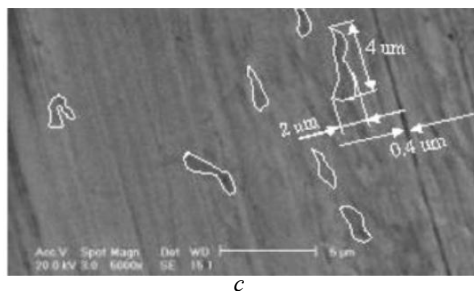
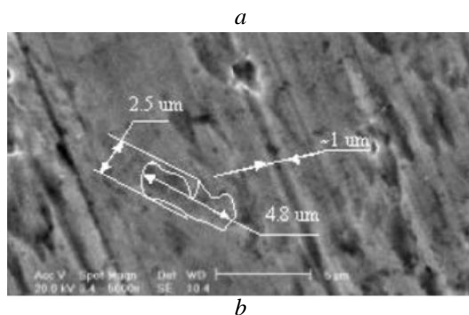


Рис.3. Зміна коефіцієнта тертя в часі у базовому мастилі та мастилі з наночастинками міді (*a*) та SEM зображення зони зносу базового мастила (*б*) й з додаванням наночастинок міді (*с*)



Наночастинки заліза та кобальту зменшують коефіцієнт тертя мастил у 1,5 рази, проте гірше мідних (рис. 4). Це, вірогідно, зумовлено функцією частинок твердих металів, переважно як нанорозмірних “підшипників” (вальниці). Мідні, як було зазначено, сприяють

формуванню захисної трибоплівки. Тому суміш (Fe + Cu), (Co + Cu) проявляє деякий синергізм, що зумовлено подвійною дією бінарних систем M-Cu – “нанопідшипники” з M (Fe, Co) і захисна трибоплівка з Cu.

Аналогічну дію мають наноструктури core/shell, що показано на прикладі Fe/Cu (рис. 4 с). Синергічний ефект проявляють суміші наночастинок м’яких і легкоплавких металів – Sn + Al. Вони легко заповнюють впадини, рубці та інші дефекти поверхні металу, що спричиняє формування на ній стійкої тонкої плівки з низьким коефіцієнтом тертя.

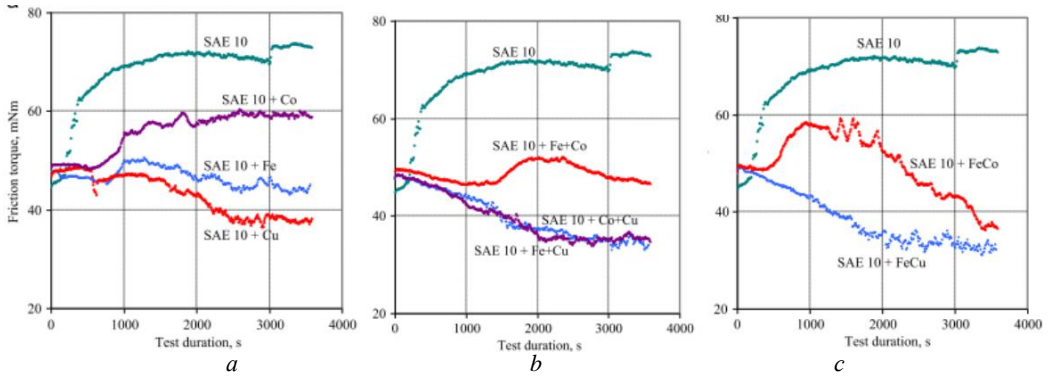


Рис. 4. Залежність фрикційного тертя базової олії та олій з додатками металевих наночастинок (а), суміші наночастинок (b) та наночастинок заліза, покритих кобальтом чи міддю (с)

Аналогічна закономірність спостерігається на залежності діаметра зношення від природи металу наночастинок і бінарних систем як додатків до пластичних мастил (рис. 5). Впливу розміру та форми наночастинок міді, заліза, кобальту й бінарних систем таких металів на трибологічні характеристики мастил автори не наводять. Тому, такі роботи варто розглядати як піонерські, що свідчать про перспективність такого напрямку досліджень.

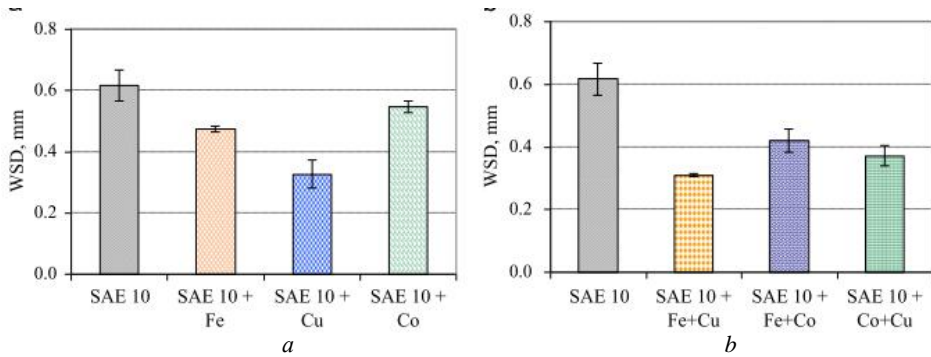


Рис. 5. Залежність діаметра плями зношення за використання базового мастила (SAE 10) та мастила з нанододатками: а) з металевими наночастинками; б) з сумішами наночастинок

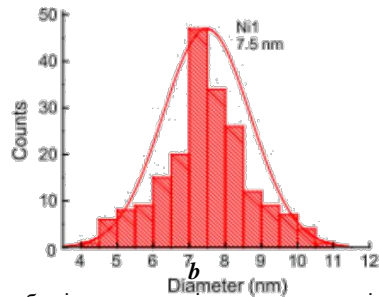
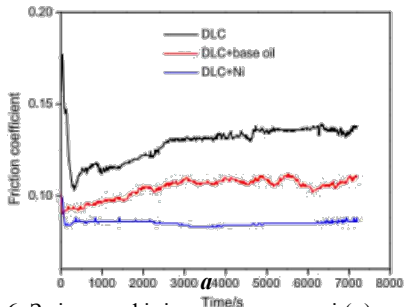


Рис.6. Зміна коефіцієнта тертя в часі (а) пластичних мастил без і за наявності наночастинок нікелю з розмірами 4–11 нм (b)

Наночастинок нікелю зі середнім розміром 7 нм сприяють суттєвому зменшенню коефіцієнта тертя (до 50 %) моторних мастил (рис. 6). Це дещо переважає ефект зміни такої величини для наночастинок заліза та кобальту (рис. 4). До того ж наночастинок нікелю забезпечують стабільно низьке значення коефіцієнта тертя протягом тривалого часу. Однак, зважаючи на високу хімічну активність таких частинок та схильність до агрегації, що зумовлено надмалими розмірами, їх використовують тільки у стабілізованому стані (олеїнова кислота). Саме нанорозмірним ефектом автори пояснюють формування трибоплівки з оксидів феруму та нікелю, яка має добре зчеплення зі сталеву поверхню.

Наночастинок індію (30 нм) очікувано покращують трибологічні характеристик мастил (рис. 7 а), оскільки цей метал відносять до антифрикційних через низьку твердість.

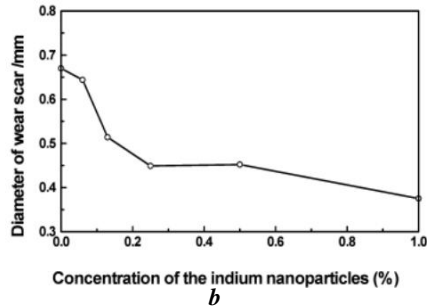
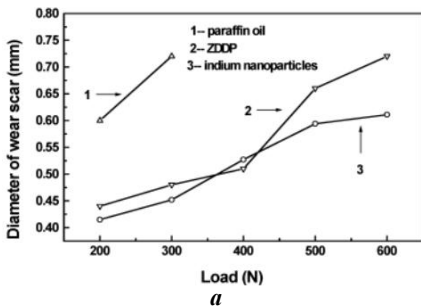


Рис.7. Зміна діаметру зношення мастила з наночастинками індію (а) та вплив їх концентрації (b)

Закономірним є також покращання трибологічних характеристик мастил із збільшенням вмісту наночастинок (рис. 7 b), оскільки вони головню забезпечують формування захисного шару на поверхні деталей. Доцільність використання саме наночастинок цього металу автори обґрунтовують складністю рівномірного розподілу (“розчинення”) макро- і навіть мікрочастинок в об’ємі мастила, що є необхідною властивістю трибоприсадок.

Наночастинок алюмінію та олова (до 100 нм) та їх агломерати аналогічно наночастинкам індію формують антифрикційний захисний шар, осідаючи на зношеній поверхні та заповнюючи мікро- та нанозаглиблення. Комбінація ж нано-Al і нано-Sn частинок зумовлює синергію. У той же час, за малих навантажень захисну функцію виконує нано-олово та його сполуки, за високих – нано-алюміній та його оксиди.

Наноконстанти. Наноконстанти на основі міді – одні з найбільш досліджуваних завдяки високій електро- та теплопровідності, що є необхідною умовою в “сухих” мастилах для електричних контактів, що експлуатуються в умовах ковзання. Другим компонентом є

нанододатки, що підвищують зносостійкість контактів. Притім, вони відзначаються 1) високою твердістю (оксиди, карбіди, бориди), що покращує механічні властивості металу матричних композитів (міді) або 2) підвищеними мастильними властивостями (нанографіт, графітові нанотрубки), які зменшують коефіцієнт тертя, тобто покращують зносостійкість. Окрім природи додатків, нанокompозити відрізняють також морфологією: додатки рівномірно розподілені в матриці міді (рис.8, а) та додатки, що покривають наночастинки міді (рис. 8 *b*) чи навпаки (рис. 8 *c*).

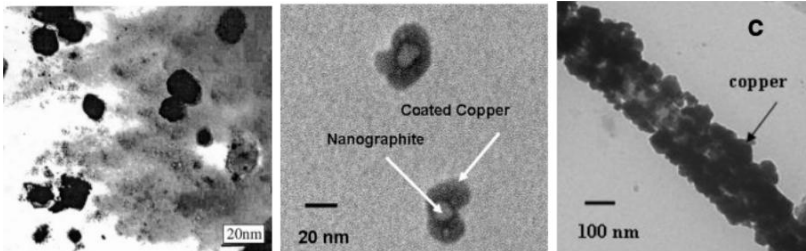


Рис. 8. Зображення нанокompозиту Cu-TiB<sub>2</sub> (а), наночастинок графіт/мідь (b) та нанокompозиту графіт/мідь (с)

Прикладом нанокompозитів першого типу є система Cu-TiB<sub>2</sub>, де додаток TiB<sub>2</sub> відзначається високою твердістю (уступає тільки алмазу, BN і B<sub>4</sub>C) та високою механічною міцністю (750 МПа), Окрім того, цей борид електро- та теплопровідний. Наноструктурна композиція Cu-TiB<sub>2</sub> забезпечує високу зносостійкість, що покращується механічними характеристиками бориду. 0,5–2,5 мас.% бориду забезпечує високу зносостійкість без відчутного зменшення електропровідності порівняно з чистою міддю (табл. 2). Це дає змогу використовувати її як “сухе” електропровідне мастило для деталей, що труться.

Таблиця 2

Механічні властивості нанокompозиту Cu-TiB<sub>2</sub>

Склад “сухого” мастила	Межа міцності (МПа)	Мікротвердість за Вікерсом (HV)
Cu	383	63
Cu + 0.5 мас.% TiB <sub>2</sub>	410	77
Cu + 1.5 мас.% TiB <sub>2</sub>	502	98
Cu + 2.5 мас.% TiB <sub>2</sub>	610	125

Композит мідь-нанографіт порівняно з традиційними мідно-графітовими має значно вищі трибологічні показники, насамперед через розподіл додатку у мідній матриці (рис. 9 *a*, *b*). Зважаючи, що вміст додатку обмежений 15-ма % від об’ємної частки в композиті, це забезпечує формуванню щільнішої протизношувальної плівки на поверхні ковзаючого контакту (рис. 9 *c*, *d*).

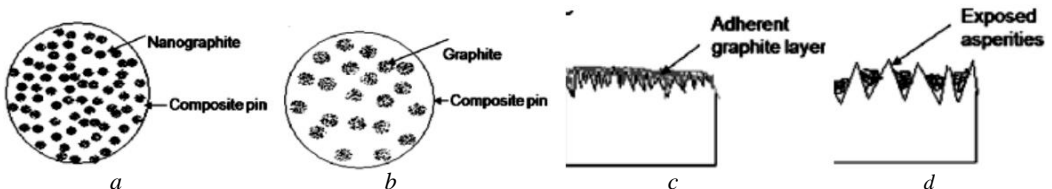


Рис. 9. Схеми розподілу нанокompозиту (а) та графіту (b) в мідній матриці та заповнення мікродфектів поверхні контакту ковзання композитом з нанокompозитом (с) і графітом (d)

Автори показали, що композит з карбоновими нанотрубками (КНТ) – новий перспективний “сухий” мастильний матеріал, насамперед, для електродвигунів. За аналогією з композитом мідь-нанографіт коефіцієнт тертя зменшується зі збільшенням вмісту додатку та обмежується 15-ма % об. (рис.10). Проте, нанотрубки суттєво підвищують зносостійкість електричних контактів за великих механічних навантажень.

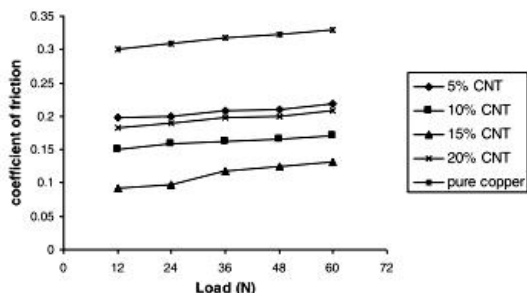


Рис. 10. Зміна коефіцієнта тертя від прикладеного навантаження залежно від вмісту нанотрбок у нанокompозиті на основі міді

Синтез нанорозмірних металовмісних присадок до мастильних матеріалів

Технологія нанорозмірних порошків металів багато в чому базується на групах методів ( фізичні, хімічні, фізико-хімічні), що використовують для одержання дисперсних металів і субмікронних зокрема. Проте, розмірний ефект, що спричиняє високу хімічну активність нанопорошків неблагородних металів на повітрі та у присутності вологи, а також схильність до агломерації. Це ускладнює синтез, оскільки зумовлює необхідність його проведення практично одночасно зі стабілізацією.

Складним в аспекті керованого синтезу за вмістом компонентів, їх розподілом в об’ємі частинок та геометрією останніх є одержання бінарних металевих систем – наносплавів (рис.11 a) і наноструктур core/shell (рис.11 b), що показано авторами на прикладі реакцій відновлення заліза та міді за рівняннями (1) і (2).

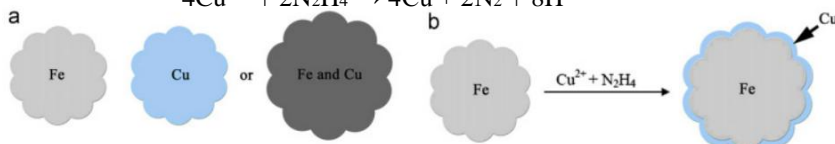
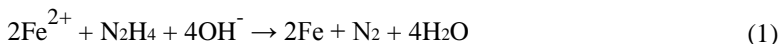
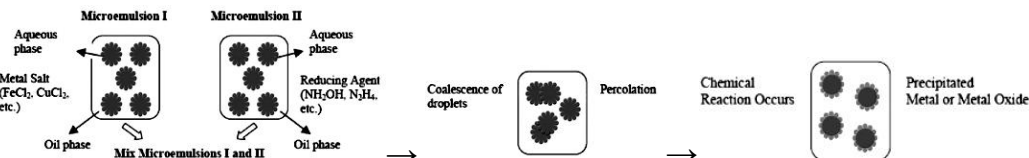


Рис.11. Схема формування (a) наносплаву Fe-Cu і (b) наноструктури core/shell FeCu

Складність полягає також у необхідності одночасно із синтезом проводити стабілізацію, як схематично показано на рис.12.



Інженерія нанокompозитів у літературі не описана. Їх, переважно, одержують лабораторними методами. До того ж це відносно новий тип наноматеріалів, тому методики синтезу вирізняються розмаїттям і водночас не технологічністю.



Таким чином, під час виконання роботи ми дійшли висновків: 1. Частинки нанорозмірних твердих металів (нікель, кобальт) як присадки до мастил виконують функцію своєрідних підшипників, тоді як м'яких (мідь, алюміній, індій) сприяють формуванню антифрикційних плівок на поверхнях, що труться. Тому, найбільш ефективними можна вважати бінарні системи (наносплави, наноструктури core/shell), що проявляють синергію.

Висока реакційна здатність металовмісних нанорозмірних частинок і схильність до агломерації, ускладнює їх синтез та рівномірний розподіл у мінеральних чи синтетичних мастилах. Тому, умовою їх одержання та застосування є стабілізація їх поверхні молекулами органічних сполук дифільної природи, що інколи є стримуючим чинником промислового виробництва.

“Сухі” електропровідні мастила на основі композитів міді з наноборидами, нанографітом й, особливо карбоновими нанотрубками, суттєво переважають традиційні промислові. Тому, зважаючи на технологічність синтезу, слід очікувати широкого промислового їх виробництва.

#### РЕФЕРАТ

*Петро Топільницький, Сергій Бойченко, Орест Кунтій,*

*Національний університет «Львівська політехніка», [topoil@lp.edu.ua](mailto:topoil@lp.edu.ua)*

#### ТРИБОЛОГІЧНА ПОВЕДІКА НАНОРОЗМІРНИХ МЕТАЛОВІСНИХ ЧАСТИНОК У ПЛАСТИЧНИХ МАСТИЛАХ

Нанорозмірні частинки неорганічних речовин, оксидів металів і неметалів, сульфідів, карбонатів, нітридів, боридів, карбідів, металів, карбонові нанотрубки – один із напрямів у трибології наноматеріалів останнього десятиліття, що інтенсивно розвивається. Увага до таких додатків в мастильних матеріалах зумовлена не тільки успішним тотальним впровадженням продуктів нанотехнологій в усі сфери людської діяльності. Мінітюаризація нових прецизійних приладів, машин механізмів, зростання навантажень потребують нових підходів до забезпечення їх надійності у роботі в екстремальних умовах, збільшення довговічності.

**Ключові слова:** нанорозмірні частинки, трибологічні властивості.

#### РЕФЕРАТ

*Петр Топильницкий, Сергей Бойченко, Орест Кунтий,*

*Национальный университет «Львовская политехника», [topoil@lp.edu.ua](mailto:topoil@lp.edu.ua)*

#### ТРИБОЛОГИЧЕСКОЕ ПОВЕДЕНИЕ НАНОРАЗМЕРНЫХ МЕТАЛЛОСОДЕРЖАЩИХ ЧАСТИЦ В ПЛАСТИЧНЫХ МАСЛАХ

Наноразмерные частицы неорганических веществ, оксидов металлов и неметаллов, сульфидов, карбонатов, нитридов, боридов, карбидов, металлов, карбоновые нанотрубки – одно из направлений трибологии наноматериалов последнего десятилетия, который интенсивно развивается. Внимание таким приложениям в смазочных материалах обусловлена не только успешным тотальным внедрением продуктов нанотехнологий во все сферы человеческой деятельности. Миниатюризация новых прецизионных приборов, машин и механизмов, рост нагрузок требуют новых подходов обеспечению их надежности в работе в экстремальных условиях, увеличение долговечности. **Ключевые слова:** наноразмерные частицы, трибологические свойства.

#### ABSTRACT

*Peter Topilnytskyi, Sergey Boichenko, Orest Kunt, Lviv Polytechnic National University, [topoil@lp.edu.ua](mailto:topoil@lp.edu.ua)*

#### TRIBOLOGICAL BEHAVIOR OF NANOSIZED METAL CONTAINING PARTICLES IN PLASTIC GREASES

Nanosized particles of inorganic substances, metal and nonmetal oxides, sulfide, carbonates, nitrides, borides, carbamides, metals, carbon nanotubes – one of the directions in tribology of nanomaterials of the last decade, that develops intensively. Attention to these additives in lubricating materials is stipulated not only by total implementation of nanotechnology products into all spheres of human life. Miniaturization of new precious devices, machines and mechanisms, rising of loads require new approaches to providing its reliability during operation in extreme conditions, increasing its durability.

**Key words:** nanosized particles, tribological properties.

## РОЗДІЛ IV

### АВІАЦІЙНА ХІММОТОЛОГІЯ ТА ПРОБЛЕМИ АВІАПАЛИВОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

УДК 632.735.004.12.629.735.036.3

#### IV-1. ГАРМОНІЗАЦІЯ ТА УПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО ЯКОСТІ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ

*Сергій Бойченко, Анна Яковлева, Ірина Шкільнюк*

Україна традиційно є однією з авіаційних держав світу. На шляху України до інтеграції у європейську та світову спільноту очевидними є перспективи її розвитку як транзитної держави, де одну з головних ролей відіграє авіатранспорт. Вихід української авіації на міжнародний рівень ставить перед нею високі технічні та екологічні вимоги до роботи паливних систем, що не в останню чергу пов'язано з якістю авіаційного палива.

Сучасна авіація є одним з основних споживачів палив нафтового походження: авіаційних бензинів та палив для ПРД. Більша частина авіапарку цивільної авіації оснащена ПРД. На сьогодні потреби України у паливі для ПРД забезпечує лише один нафтопереробний завод, та й то, не в достатній мірі. Більшу частину авіаційного палива доводиться імпортувати. Згідно офіційних статистичних даних, у 2015 р. в Україні було спожито 128904 тис. т палива для ПРД.

Україні склалася нагальна потреба розробки та впровадження Технічного регламенту (ТР) щодо вимог до авіаційного бензину та палив для реактивних двигунів.

Існуюча система нормативно-технічного регулювання у сфері авіапаливозабезпечення недосконалою. Насамперед це пов'язано з тим, що розроблялася вона ще досить давно й подекуди є застарілою. Загалом система технічного регулювання у нашій державі перебуває у стадії реформування, тож розроблення ТР щодо вимог до авіаційного бензину та палив для реактивних двигунів є плановим заходом. Упровадження ТР дасть можливість у подальшому регулювати належним чином відносини у сферах виробництва та постачання авіаційного палива, контролю його якості, захисту прав споживачів та нагляду за дотриманням вимог законодавства у галузі авіапаливозабезпечення.

рамках впровадження Робочої програми розроблення технічних регламентів на період до 2020 року, затвердженої наказом Держспоживстандарту України від 14 грудня 2010 року № 567, Директиви 2015/1513 Європейського Парламенту та Ради від 09 вересня 2015 р. з відповідними змінами та уточненнями, та згідно із Законом України від 1.12.2005 р. № 3164-IV «Про стандарти, технічні регламенти та процедури оцінки відповідності»

представниками УкрНДНЦ хімотології та сертифікації паливно-мастильних матеріалів технічних рідин Національного авіаційного університету було розроблено Технічний регламент щодо вимог до авіаційного бензину та палива для ПРД.

**Технічний регламент** – це нормативно-правовий акт, прийнятий Кабінетом Міністрів України, у якому визначено характеристики продукції або пов'язані з нею процеси чи способи виробництва, системи контролю якості, а також вимоги до послуг, у тому числі відповідні положення, дотримання яких є обов'язковим. Кожний затверджений регламент має містити перелік національних стандартів, що забезпечують відповідність вимогам регламенту.

Згідно з Концепцією розвитку технічного регулювання та споживчої політики, відкритість та прозорість процесу розроблення та прийняття технічних регламентів є одним основних принципів створення сучасної системи технічного регулювання й захисту прав споживачів та її адаптація до вимог світової організації торгівлі та Європейського Союзу.

теперішній час технічна гармонізація досягається наявністю в країні сучасної системи технічного регулювання, що відповідає загальноновизнаним міжнародним нормам

правилам, перш за все СОТ і міжнародних організацій зі стандартизації: ISO, IEC, ITU. Основними складовими системи технічного регулювання є стандартизація, оцінка відповідності, метрологія, акредитація органів з оцінки відповідності, випробувальних та калібрувальних лабораторій.

Основною метою розроблення ТР є створення сучасної системи технічного регулювання й захисту прав споживачів у сфері авіапаливозабезпечення та її адаптація до вимог світової організації торгівлі та ЄС що, в свою чергу, дозволить долучитися до європейського проекту «Вільне небо», тобто спільний авіаційний простір (САП) України та країн Європейського союзу.

процесі розроблення ТР було зроблено огляд існуючих технічних регламентів та нормативних документів міжнародного, національного, міждержавного та регіонального рівня, що стосуються авіаційних бензинів та палив для реактивних двигунів, а також інших нормативних документів у галузі нафтопродуктозабезпечення, сертифікації та стандартизації. Крім того, було вивчено та зроблено порівняльний аналіз вимог до якості авіаційних бензинів та палив для ПРД, що встановлюються стандартами США, країн Європи, Росії та України.

вирішенні питань щодо якості моторних палив у світі існує два основних підходи: ЄС та північно-американський, вимоги яких дещо відрізняються. Таким чином, першим етапом розробки ТР був аналіз світового досвіду щодо зазначеного питання.

Беручи до уваги географічне положення України, більш доцільною та більш прийнятною, безперечно, є орієнтація на підхід ЄС. Основним нормативним документом ЄС, що регулює вимоги до моторних палив, є Директива 2015/1513 Європейського Парламенту та Ради, що вносить зміни до Директиви 98/70/ЄС щодо якості бензину та дизельного палива та Директиви 2009/28/ЄС щодо стимулювання використання енергії з відновлюваних джерел. Головною метою розроблення даної Директиви було встановлення єдиних вимог до якості автомобільних бензинів та дизельних палив у відповідності до вимог щодо якості атмосферного повітря. Іншими словами, Директива 2015/1513 покликана на встановлення більш жорстких екологічних вимог до якості моторних палив та зменшення негативного впливу автомобільної та іншої наземної техніки на навколишнє середовище. Крім того, дана Директива визначає процедури контролю якості моторних палив та правила їх маркування у процесі реалізації, контролю відповідності вимогам даного документу. Ця Директива об'єднала технічні та екологічні вимоги до автомобільних бензинів, дизельного палива, палив для інших видів наземної техніки та судових палив. Проте вона не розглядає вимоги до авіаційних бензинів та палив для ПРД.

Постановою РФ від 27.02.2008 р. № 118 «Об утверждении технического регламента «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» було затверджено технічний регламент, розроблений з урахуванням вимог Директиви 98/70/ЄС Європейського Парламенту та Ради як пріоритетних. У 2011 р. було введено Технічний Регламент Митного Союзу ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазута», дія якого поширюється на території країн, які входять до Митного Союзу (Республіка Білорусь, Республіка Казахстан та Російська Федерація). Два останні ТР визначають лише загальні вимоги до авіаційних бензинів і палив для ПРД, а також основні принципи та правила їх постачання та обігу на ринку, що є спільними (загальними) для усіх розглянутих нафтопродуктів.

світовій практиці правила постачання та використання, контролю якості авіаційних палив зазвичай прийнято розглядати у межах нормативної документації, що стосується діяльності цивільної авіації (Регламент Комісії (ЄС) № 2015/1088). Так, для країн Європи основним керівним документом з авіапаливозабезпечення є Joint Aviation Requirements (JAR).

Європейською комісією було прийнято Постанову № 859/2008 від 20.08.2008, що визначає загальні технічні вимоги та адміністративні процедури стосовно комерційних авіаційних перевезень. Дана постанова складається із низки підчастин A–S, що визначають такі сфери дії документу:

Для США основним керівним документом з авіапаливозабезпечення є документи Joint Inspection Group (JIG). Їх було створено на початку 1970-х рр. групою нафтопереробних компаній, що постачають паливо найбільшим міжнародним аеропортам. Ними було розроблено комплекс стандартів, що регулюють операції з постачання, зберігання та експлуатації авіаційного палива в аеропортах.

На сьогоднішній день найбільш комплексним документом, що визначає рекомендації щодо авіапаливозабезпечення у цивільній авіації є Настанова DOC ICAO 9977 AN489 «Керівництво щодо постачання авіаційного палива у цивільній авіації». Дана Директива була видана у 2012 р., однак вона має рекомендаційний характер та передбачає використання з урахуванням національних нормативних документів.

основу запропонованих принципів технічного регулювання в сфері авіаційних бензинів та палив для реактивних двигунів було покладено єдність правил встановлення вимог до зазначеної продукції, процесів (методів) виробництва й експлуатації, відповідність технічного регулювання інтересам національної економіки, стану матеріально-технічної бази та рівню науково-технічного розвитку, незалежність органів з акредитації, сертифікації та випробувальних лабораторій (центрів) від виробників, продавців, виконавців та покупців, єдність системи та правил акредитації та принципів безпеки польотів. Головними складовими технічного регулювання є системи стандартизації, метрології та сертифікації (підтвердження відповідності).

Під час розроблення ТР за основу було прийнято діючі національні стандарти, що враховують сучасний стан національної економіки, основні принципи державної політики

сфері охорони навколишнього середовища, стан парку ПС і забезпеченість внутрішніх потреб країни у енергоресурсах, а також інші специфічні фактори. Було проаналізовано національні та міжнародні нормативні документи в частині виробництва, обігу, реалізації та застосування авіаційних бензинів і палив для ПРД.

На відміну від нормативних документів на авіаційний бензин та палива для реактивних двигунів, що встановлюють лише вимоги до якості палив, ТР має на меті регулювання відносин між виробником (постачальником), споживачем (покупцем) палива та його експлуатантом. Іншими словами, ТР має комплексно забезпечити дотримання вимог законодавства на усіх стадіях життєвого циклу палива: від його виробництва та введення в обіг до безпосереднього використання за призначенням.

Таким чином, ТР, розроблений відповідно до вимог діючих нормативних документів, традиційно складається з таких розділів: 1) Загальні положення; 2) Вимоги щодо обігу палива на ринку; 3) Вимоги щодо якості палив; 4) Оцінка відповідності; 5) Захисні застереження; 6) Додатки.

розділі «Загальні положення» наведено основні нормативні акти та документи, на основі яких розроблювався технічний регламент. Визначені суб'єкти, які повинні дотримуватися вимог технічного регламенту, подано основні терміни, що вживаються у ТР, та посилання на відповідні законодавчі та нормативні документи.

розділі «Вимоги щодо обігу палива на ринку» наводиться точне визначення палив, що підпадають під дію ТР, а також їх класифікація. У розділі визначено вимоги щодо введення в обіг та обігу палива на ринку. Разом з тим наводиться перелік супровідної документації, що підтверджує якість палива. Наголошено на обов'язковості наявності такої документації та пред'явлення її споживачеві на його вимогу.

розділі «Вимоги щодо якості палив» наведено вимоги, яким мають відповідати авіаційні бензини та палива для ПРД. Вони передбачають низку фізико-хімічних, експлуатаційних та екологічних показників та розроблені у відповідності до нормативних

документів на авіаційні бензини та палива для реактивних двигунів. Крім того, у розділі наведено інформацію щодо використання присадок у паливах, а також вимоги до їх якості.

розділі «Оцінка відповідності» описано процедуру оцінки відповідності авіаційних палив вимогам розробленого ТР. Орієнтуючись на досвід країн ЄС, оцінка відповідності відбувається через процедуру декларування. Вона передбачає приведені модулі (комплекси уніфікованих процедур) оцінки відповідності, що мають використовуватися виробником або уповноваженим представником для проведення процедури оцінки відповідності. До цього розділу також належать вимоги щодо складу технічної документації на продукцію, що обов'язково має бути у виробника (постачальника) та надає контролюючим органам можливість оцінки її відповідності вимогам технічного регламенту, а також вимоги щодо пакування, маркування та вмісту палива.

Розроблення гармонізованих технічних вимог до якості авіаційного бензину та палива для реактивних двигунів в Україні потребувало комплексного підходу з урахуванням розглянутих вище нормативних документів. Упровадження та реалізація Технічного регламенту у майбутньому дасть змогу забезпечити виробництво авіаційних бензинів та палив для реактивних двигунів у відповідності до вимог даного документу. Окрім того, прийняття ТР надасть можливість:

- 1) забезпечити високий рівень паливної складової безпеки польотів;
- 2) упорядкувати існуючу нормативно-правову базу у сфері авіапаливозабезпечення;
- 3) відмовитися від зайвих та переглянути застарілі обов'язкові вимоги, що містяться

стандартах та інших документах;

провести прийняття для української економіки гармонізацію з міжнародними нормами;

забезпечити відповідність технічного регулювання інтересам національної економіки, стану матеріально-технічної бази та рівню науково-технічного розвитку;

забезпечити незалежність органів з акредитації, сертифікації та випробувальних лабораторій (центрів) від сфери обігу авіаційних ПММ;

створити сучасну лабораторну базу аналітичного контролю та державного контролю та нагляду за дотриманням вимог щодо якості авіаційних бензинів та палива для реактивних двигунів на всіх етапах їх виробництва, зберігання та реалізації;

створити сучасну систему технічного регулювання та захисту прав споживачів сфері авіапаливозабезпечення, життя та здоров'я людини, тварин, рослин, національної безпеки, охорони навколишнього середовища та природних ресурсів.

## РЕФЕРАТ

*Сергій Бойченко, Анна Яковлева, Ірина Шкільнюк,*

*Національний авіаційний університет, chemmotology@ukr.net*

### **ГАРМОНІЗАЦІЯ ТА УПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ДО ЯКОСТІ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ**

Розглянуто сучасний стан нормативно-технічного регулювання у сфері авіапаливозабезпечення. Детально представлено основні принципи підходу до нормативно-технічного регулювання у країнах ЄС, а також у інших розвинених країнах. Розглянуто основні нормативні документи, що визначають вимоги до якості авіаційних бензинів і палив для ПРД. Присвячено увагу проблемі невизнання багатьма провідними державами авіаційних палив вітчизняного виробництва у зв'язку з деякою невідповідністю вимог до якості палив українських і міжнародних стандартів. Розглянуто документи, що регулюють відносини у сфері авіапаливозабезпечення, що було покладено в основу розробленого регламенту. Представлено розділи технічного регламенту та розглянуто основний їх зміст. Зроблено висновки про доцільність розроблення технічного регламенту, а також позитивні наслідки його впровадження в Україні.

**Ключові слова:** технічний регламент, нормативно-технічне регулювання, авіаційний бензин, паливо для реактивних двигунів, авіапаливозабезпечення.

## РЕФЕРАТ

*Сергей Бойченко, Анна Яковлева, Ирина Шкільнюк,  
Національний авіаційний університет, chemmotology@ukr.net*

### **ГАРМОНИЗАЦИЯ И ВНЕДРЕНИЕ НОВЕЙШИХ ТЕХНИЧЕСКИХ ТРЕБОВАНИЙ К КАЧЕСТВУ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВА**

Рассмотрено современное состояние нормативно-технического регулирования в сфере авиатопливообеспечения. Детально представлены основные принципы подхода к нормативно-техническому регулированию в странах ЕС, а также в других развитых странах. Рассмотрены основные нормативные документы, определяющие требования к качеству авиационных бензинов и топлив для реактивных двигателей. Уделено внимание проблеме непризнания многими ведущими странами авиационных топлив отечественного производства в связи с некоторым несоответствием требований к качеству топлив украинских и международных стандартов. Рассмотрены документы, регулирующие отношения в сфере авиатопливообеспечения, которые были положены в основу разрабатываемого регламента. Представлены разделы технического регламента и рассмотрено их основное содержание. Сделаны выводы о целесообразности разработки технического регламента, а также положительные последствия его внедрения в Украине.

**Ключевые слова:** технический регламент, нормативно-техническое регулирование, авиационный бензин, топливо для реактивных двигателей, авиатопливообеспечение.

## ABSTRACT

*Sergii Boichenko, Anna Yakovleva, Irina Shkilnyuk,  
National Aviation University, chemmotology@ukr.net*

### **HARMONIZATION AND IMPLEMENTATION OF NEW QUALITY DIRECTIVE OF AVIATION FUELS**

Current situation of normative-technical regulation in the sphere of aviation fuel supply is presented in the article. The article describes in details the main principles of approach to normative-technical regulation in EU countries and other developed countries. The main normative documents that determine requirements to aviation gasolines and jet fuels are presented in the articles. Attention is paid to the problem of unacknowledgement of jet fuels produced in Ukraine by numerous leading countries. It is connected with some inconformity of requirements to jet fuels quality stated in Ukrainian and international standards. The article describes documents that regulate relations in the sphere of aviation fuel supply and that can be used as a base for future technical regulation. The parts of the developed technical regulation are presented and the main content of these parts are considered. There was drawn a conclusion about practicability of technical regulation development and about positives consequences as results of its implementation in Ukraine.

**Key words:** technical regulation, quality, normative-technical regulation, aviation gasoline, jet fuel, aviation fuel supply.

УДК 621.892.097.3: 519.67

## **IV-2. АВИАЦИОННЫЕ РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ**

*Леонид Яновский, Василий Ежов, Александр Молоканов, Ксения Шаранина*

Применение в ЛА гидравлических систем различного назначения позволяет реализовать на выходном звене исполнительного механизма широкий диапазон изменения скоростей и высокие удельные нагрузки ( до 30–35 МПа), в то время как в электрических устройствах вследствие ограниченной индукции насыщения магнитопроводящих материалов эта величина не превышает 1,5–2 МПа.

гидравлическим системам перспективных воздушных судов предъявляются следующие требования:

надёжность эксплуатации при высоких рабочих давлениях в широком температурном диапазоне;

минимальная общая масса приводов и увеличенное отношение передаваемой мощности к массе, т.е. более интенсивная эксплуатация рабочей жидкости;

минимальные рабочие зазоры между деталями рабочего органа привода;

связи с этим авиационные рабочие жидкости (РЖ), предназначенные для обеспечения работоспособности гидроагрегатов и гидросистем самолётов в интервале температур от минус 60 °С до плюс 150 °С при давлении до 35 МПа, должны обладать низкой температурой застывания, хорошими вязкостно-температурными свойствами, высокой гидролитической и термической стабильностью, повышенными противозернистыми и антикоррозионными свойствами, совместимостью с конструкционными материалами, высоким классом чистоты, стойкостью к расслоению при воздействии различных факторов (вибрация, нагрев, охлаждение), хорошими деаэрирующими, противоизносными и антипенными свойствами, низкой летучестью, а также минимальной плотностью, большим ресурсом работы, удобством в обращении и безопасностью для человека и окружающей среды.

Из всех требований к качеству авиационных РЖ наиболее важным является требование их высокой стабильности, характеризующей способность сохранять на необходимом уровне физико-химические и эксплуатационные свойства при длительной работе в гидросистеме без расслоения и образования отложений. Весьма важными являются также требования пожаровзрывобезопасности. Опасность, порождаемая высокой воспламеняемостью РЖ, связана с уязвимостью гидравлических линий, размещённых по всему воздушному судну, в том числе в горячей зоне у выхлопного устройства двигателя. При повреждении гидравлической линии РЖ может попасть на горячие металлические детали и вызвать пожар.

Первые авиационные РЖ были созданы на основе растительных масел. По мере развития авиации возрастали и требования к гидравлическим системам. Помимо нефтяных, качестве основ для РЖ находили применение различные синтетические вещества: полиальфаолефины (ПАО), эфиры фосфорных и кремниевых кислот, галлоидированные углеводороды, сложные органические эфиры, полиорганосилоксаны, гликоли, водомасляные эмульсии, силаны и др. В настоящее время для гидросистем воздушных судов в основном применяют РЖ на нефтяных или совместимых с ними синтетических маслах, а также пожаровзрывобезопасные жидкости на основе эфиров фосфорной кислоты.

настоящее время, ввиду экономической выгоды, большинство авиационных РЖ вырабатывают на основе нефтяных масел, получаемых с использованием экстракционных и гидрокаталитических процессов. Основной недостаток нефтяных РЖ – высокая пожаровзрывоопасность (оценивают по ГОСТ 12.1.044–89) и склонность к механической деструкции, вследствие чего при эксплуатации ряда воздушных судов отмечено ухудшение вязкостно-температурных свойств РЖ, рост пено- и шламообразования, а также снижение ресурса гидроагрегатов и гидросистем самолётов.

Для обеспечения современных и перспективных воздушных судов конкурентоспособными российскими РЖ при содействии ЦИАМ была разработана новая рабочая жидкость – АСГИМ.

АСГИМ (авиационное синтетическое гидравлическое масло) – первая полностью синтетическая российская РЖ с вязкостью 9 мм<sup>2</sup>/с при 50 °С, разработанная на основе ПАО, содержащая усовершенствованный пакет функциональных присадок (загущающую, антиокислительную, противоизносную и антипенную присадки, ингибитор коррозии, краситель и др.). Требования к АСГИМ и АМГ-10 по СТО и ГОСТ приведены в табл. 1.

Из представленных данных видно, что масло АСГИМ обладает повышенными эксплуатационными свойствами и пожаровзрывобезопасностью. Так, требования АСГИМ по устойчивости к механической деструкции на ультразвуковой установке в сравнении

АМГ-10 в 2 раза выше, по температуре вспышки – выше на 57 °С.

целью повышения безопасности полётов, в 80-х гг. было принято решение создать негорючие РЖ. Однако позднее было показано, что полностью негорючую жидкость создать невозможно и требования негорючести были заменены требованиями пожаровзрыво-

безопасности. Перспективными базовыми компонентами пожаровзрывобезопасных РЖ являются эфиры фосфорной кислоты вследствие их высокой огнестойкости и удовлетворительного сочетания термостабильности, вязкостно-температурных и смазывающих свойств. К их недостаткам относятся высокая токсичность, химическая агрессивность

неудовлетворительная совместимость с углеводородными маслами. Тем не менее, в настоящее время РЖ на фосфатной основе применяют в большинстве гидравлических систем тяжёлых воздушных судов российской авиации (Ту-214, Ил-114, Бе-200).

Таблица 1

Нормативные показатели авиационных рабочих жидкостей АСГИМ и АМГ-10

Показатель	СТО 07548712-006-2010 для АСГИМ	ГОСТ 6794 для АМГ-10
Внешний вид	Прозрачная жидкость сине-зеленого цвета	Прозрачная жидкость красного цвета
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с, при: 50 °С, не менее минус 50 °С, не более минус 60 °С, не более	9,0 1250,0 –	10,0 1250,0 4100,0
Стабильность вязкости после озвучивания масла на ультразвуковой установке в течение 50 мин, %, не более	20	42
Температура вспышки в о.т., °С, не ниже	150	93

целью повышения конкурентоспособности российских фосфатных жидкостей при поддержке ЦИАМ была разработана новая российская рабочая жидкость – ВГЖ.

ВГЖ (взрывопожаробезопасная гидравлическая жидкость) – это новейшая российская РЖ с вязкостью 9 мм<sup>2</sup>/с при 50 °С на основе смеси сложных эфиров фосфорной кислоты, разработанная взамен жидкости НГЖ-5у. Целью создания ВГЖ было совершенствование российских фосфатных РЖ, путем улучшения эксплуатационных свойств, характеризующих способность РЖ сохранять на необходимом уровне физико-химические и эксплуатационные свойства при длительной работе в гидросистеме без образования недопустимого количества отложений продуктов окисления и деструкции. К таким показателям относятся термоокислительная и гидролитическая стабильности. В результате исследований ЦИАМ установлено, что по этим показателям ВГЖ превосходит НГЖ-5у. Так, ВГЖ обладает меньшей вязкостью при минус 60 °С после окисления, кислотное число окисленных масел находится в пределах сходимости. По показателям гидролитической стабильности ВГЖ,

сравнении с НГЖ-5у, имеет лучшие значения изменения кислотного числа, реакции водного слоя и коррозии меди. Достигнутые улучшения получены путём изменения состава базовой смеси эфиров фосфорной кислоты и применения импортной присадки, противостоящей деструкции этих эфиров. Однако необходимо отметить, что выигрыш по целевым показателям привёл к ожидаемому снижению некоторых других эксплуатационных свойств. Так, ВГЖ, в сравнении с НГЖ-5у, по вышеназванной причине, обладает меньшей температурой вспышки, повышенной вспениваемостью, сниженными противоизносными свойствами и меньшей стабильностью после озвучивания.

рамках программы по разработке дефицитных и импортозамещающих материалов созданы и испытаны в объёме технических требований рабочие жидкости нового поколения:

1. АСГИМ – новая авиационная РЖ на основе синтетических углеводородов, разработанная взамен АМГ-10. АСГИМ значительно превосходит все российские РЖ на углеводородных основах, в том числе товарную АМГ-10, по ряду показателей. Кроме этого, по вязкостно-температурной характеристике АСГИМ на порядок превосходит и зарубежные аналоги, что позволяет говорить о создании российской жидкости нового поколения. В дальнейшие задачи по созданию российских синтетических РЖ входит



совершенствование показателей стабильности после озвучивания (на ультразвуковой установке) и характеристик пожаровзрывоопасности.

ВГЖ – новая авиационная взрывопожаробезопасная РЖ, разработанная взамен НГЖ-5у. Жидкость ВГЖ превосходит НГЖ-5у по ключевым показателям (термоокислительной и гидролитической стабильности), однако однозначно судить о её бесспорном превосходстве пока рано. В дальнейшие задачи входит разработка синтетической жидкости на фосфатной основе с улучшенными показателями вспениваемости, стабильности вязкости после озвучивания, а также термоокислительной гидролитической стабильностями.

#### РЕФЕРАТ

*Леонід Яновський, Василь Єжов, Олександр Молоканов, Ксенія Шараніна,  
Центральний інститут авіаційного двигунобудування ім. П.І. Баранова, yanovskiy@ciam.ru*

#### АВИАЦІЙНІ РОБОЧІ РІДИНИ НОВОГО ПОКОЛІННЯ

Розглянуто еволюцію нафтових і синтетичних авіаційних робочих рідин. Для новітніх російських синтетичних робочих рідин визначені основні переваги та недоліки

**Ключові слова:** робочі рідини, авіаційні гідравлічні масла, синтетичні робочі рідини.

#### РЕФЕРАТ

*Леонид Яновский, Василий Ежов, Александр Молоканов, Ксения Шаранина,  
ЦИАМ им. П.И. Баранова, yanovskiy@ciam.ru*

#### АВИАЦИОННЫЕ РАБОЧИЕ ЖИДКОСТИ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

Рассмотрена эволюция нефтяных и синтетических авиационных рабочих жидкостей. Для новейших российских синтетических рабочих жидкостей определены основные достоинства и недостатки.

**Ключевые слова:** рабочие жидкости, авиационные гидравлические масла, синтетические рабочие жидкости.

#### ABSTRACT

*Leonid Yanovski, Vasili, Yezov, Alexandr Molokanov, Ksenia Sharanina,  
P. Baranov Central Institute of Aviation Motors, yanovskiy@ciam.ru*

#### AVIATION TECHNICAL LIQUIDS OF NEW GENERATION

The evolution of oil and synthetic aviation workings liquids is considered. Basic advantages and disadvantages of newest Russian synthetic workings liquids are determined.

**Ключові слова:** workings liquids, aviation hydraulic butters, synthetic workings liquids.

УДК 503.3.054:629.735.03 (045)

### IV-3. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З МОНІТОРИНГУ ЕМІСІЇ АВИАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ У МЕЖАХ АЕРОПОРТУ

*Катерина Синило*

Сьогодні в Україні моніторинг локального та регіонального забруднення атмосферного повітря (АП) внаслідок авіатранспортних процесів, зокрема викидів повітряного судна (ПС), відсутній. Керівництво ІКАО «Airport Planning Manual, Doc 9184» не розглядає принципів та методів моніторингу емісії АД. Керівництво ІКАО «Airport Air Quality, Doc 9889» включає низку рекомендацій для організації вимірювань локального та регіонального забруднення АП внаслідок експлуатації всіх джерел викидів забруднюючих речовин (ЗР) в межах аеропорту з метою контролю якості АП на прилеглих сельбищних територіях.

Аналіз методів, засобів та заходів щодо контролю якості повітря АП в межах провідних аеропортів Європи вказує на наявність постійного моніторингу в аеропортах Франкфурт-на-Майні, Цюрих та Хітроу. Так, у міжнародному аеропорті Франкфурт-на-

Майні моніторинг здійснюється двома вимірювальними станціями (Sommi 1, Sommi 2) на території аеропорту та додатковою станцією, яка розташована поблизу аеропорту (м. Кельстербах) і спрямована на довгострокове вимірювання концентрації оксидів азоту, рис. 1. В аеропорті Цюрих вимірювання концентрацій забруднюючих речовин (ЗР) у АП здійснюється на станціях моніторингу, що об'єднані та розміщені відповідно до інтенсивності викиду джерела забруднення АП. Отже, система інструментального моніторингу включає (рис. 2): станції вимірювання забруднення АП від експлуатаційних операцій аеропорту, включаючи викиди ПС під час злітно-посадкового циклу (ЗПЦ); станції вимірювання забруднення АП від інших джерел викидів; станції вимірювання забруднення АП від автотранспорту на прилеглих територіях аеропорту; станції вимірювання фоновому забрудненню.

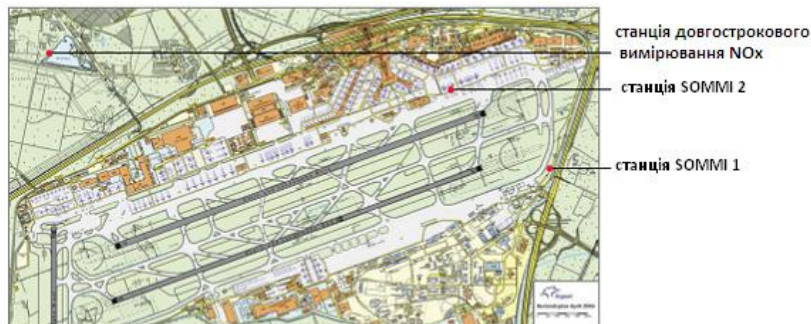


Рис. 1. Розміщення станцій моніторингу у межах та на прилеглих територіях міжнародного аеропорту Франкфурт-на-Майні

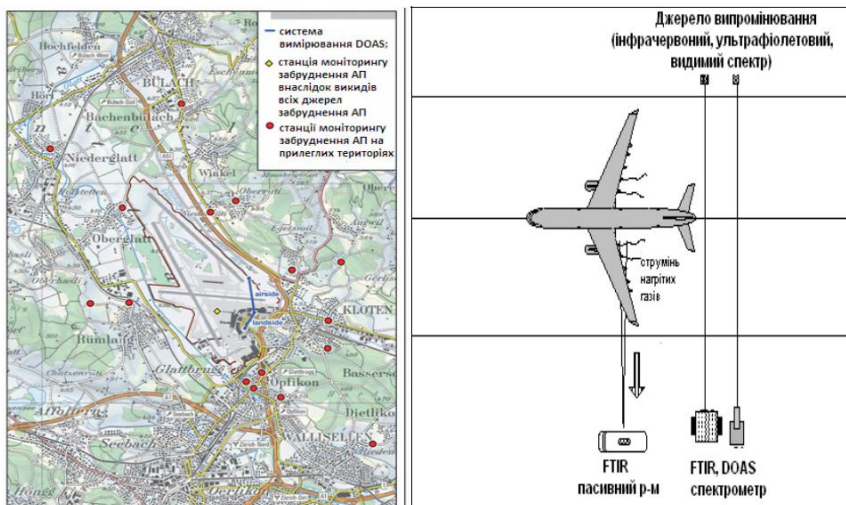


Рис. 2. Інструментальний моніторинг забруднення повітря у межах і на прилеглих територіях аеропорту Цюрих

На сьогодні діючі керівництва з моніторингу забруднення повітря аеропорту на національному (ОНД-90) та міжнародному (ICAO Doc9889) рівнях не містять принципів та рекомендацій, спрямованих на виявлення та визначення складової емісії авіадвигуна (АД).

Аналіз експериментальних досліджень у головних аеропортах світу – Лондон-Хітроу (1999-2000), Франкфурт-на-Майні (2000), Відень (2003) та Кеннеді (2004) – вказує на

поширеність спектроскопічних методів, як FTIR, DOAS, LICOR, TILDAS та лазерних методів, як LIDAR. Спектроскопічні системи вимірювання (FTIR, DOAS, LICOR, TILDAS) забезпечують дистанційність та безконтактність обладнання з ПС, що є важливою передумовою з боку служб безпеки аеропорту. Аналіз досліджень в аеропортах Цюрих, Відень та Будапешт вказує на недоцільність застосування методів DOAS і FTIR для визначення концентрацій ЗР у струменях від АД, оскільки принцип вимірювання цих систем спрямований на визначення тільки осереднених концентрацій. Період осереднення залежить від довжини оптичного шляху, що сканує газову суміш як у струмені, так і в оточуючому середовищі (рис. 2). Таким чином, виміряні осереднені концентрації (1–3 хв) є недостатньо репрезентативними щодо оцінки складової емісії ЗР від кожного АД досліджуваного ПС.

На базі аналізу результатів вимірювання концентрацій ЗР в струменях від АД провідних європейських аеропортах та результатів моделювання механізмів утворення та викиду ЗР АД, переносу й розбавлення домішок ЗР струменем газів, розсіювання домішок ЗР вітром й атмосферою турбулентністю були розроблені практичні рекомендації моніторингу забруднення АП внаслідок експлуатації ПС у зоні аеропорту. Зазначена система моніторингу повинна щонайменше включати 3 станції вимірювання: пересувну та дві стаціонарні. Пересувну станцію моніторингу необхідно орієнтувати на виявлення концентрацій ЗР у струмені газів від АД за експлуатаційних та метеорологічних умов. Отже, необхідно, щоб вимірювальне обладнання відповідало основним характеристикам перенесення та розбавлення домішок ЗР струменем газів від АД і розсіювання вітром за наступними показниками:

Високий ступінь розділення концентрацій у часі – 1 с, що забезпечує вимірювання максимальних концентрацій, що формуються у струмені від кожного АД досліджуваного ПС, й, відповідно – достовірну оцінку складової викидів кожного АД у загальному забрудненні повітря аеропорту;

Високий рівень чутливості системи ( $\pm 2$  ppbv), що забезпечує дотримання безпечної відстані до ПС, виявлення максимальних концентрацій від АД та їх відокремлення від інших джерел забруднення АП.

Забір газової суміші на різних висотах, що є важливою перевагою для моніторингу забруднення АП внаслідок викидів АД, а саме можливості урахування ефекту плавучості струменя.

Мобільність станції забезпечує вимірювання максимальної концентрації, що утворюється в струмені газів від АД, з урахуванням домінуючого напрямку вітру та вимог безпеки аеропорту щодо дотримання відстані до ділянок експлуатації ПС (запуск та прогрівання АД, руління, розбіг уздовж ЗПС).

Для оцінки тенденцій та впливу всіх джерел викидів на якість АП в зоні аеропорту необхідна наявність станції фонового забруднення АП. Для перевірки розміру санітарно-захисної зони аеропорту, з урахуванням емісії АД, необхідна наявність станції моніторингу на межі аеропорту. Місце розташування станції має також враховувати повторюваність напрямку вітру, що призводить до перенесення забруднення АП з аеропорту на прилеглу сельбищну територію.

## РЕФЕРАТ

*Катерина Синило,*

*Національний авіаційний університет, [synyka@gmail.com](mailto:synyka@gmail.com)*

### **ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ З МОНІТОРИНГУ ЕМІСІЇ АВІАЦІЙНИХ ДВИГУНІВ У МЕЖАХ АЕРОПОРТУ**

Виконано аналіз методів, засобів та принципів вимірювання існуючих систем інструментального моніторингу в головних аеропортах Європи. Виконано обґрунтування практичних рекомендацій щодо удосконалення системи моніторингу забруднення повітря аеропорту урахуванням процесів переносу та розбавлення домішок забруднюючих речовин струменем газів від авіадвигуна та впливу

експлуатаційних і метеорологічних умов на параметри викидів забруднюючих речовин і струменів газів від авіадвигуна.

**Ключові слова:** емісія авіадвигунів, забруднення атмосферного повітря аеропортів, моніторинг емісії.

#### РЕФЕРАТ

*Катерина Синило,  
НАУ, synyka@gmail.com*

### ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО МОНИТОРИНГУ ЭМИССИИ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ В ЗОНЕ АЭРОПОРТА

Представлены результаты анализа методов, принципов измерения существующих систем

мониторинга в главных аэропортах Европы. Выполнено обоснование практических рекомендаций по усовершенствованию системы мониторинга загрязнения воздуха аэропорта за счет оценки эмиссии авиадвигателя и определения максимальных концентраций в струях от авиадвигателей в реальных эксплуатационных и метеорологических условиях.

**Ключевые слова:** эмиссия авиадвигателей, загрязнение атмосферного воздуха аэропортов, мониторинг.

#### ABSTRACT

*Katerina Synylo,  
NAU, synyka@gmail.com*

### PRACTICAL RECOMMENDATIONS FOR THE MONITORING OF AIRCRAFT ENGINE EMISSIONS INSIDE THE AIRPORTS AREA

Analysis of methods and measurement principle of aircraft engine emissions has been implemented on the ground of measurement campaigns at major European airports. Practical recommendations were developed for organization of the monitoring of aircraft engine emissions and atmospheric air pollution in the vicinity of the airport with taking into account operational and meteorological conditions impact on the process of transport and dilution of air contaminants by exhaust gases jet from aircraft engine.

**Key words:** aircraft engine emission, atmospheric air pollution in the vicinity of airport, monitoring.

УДК 629.735.064.3

#### IV-4. ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ РІДИНИ НА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВІАЦІЙНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ТИСКУ

*Володимир Бутько, Ірина Любасюк*

В'язкість робочих рідин, що застосовуються в сучасних літакових гідросистемах змінюється в широкому діапазоні під впливом різних зовнішніх і внутрішніх експлуатаційних факторів, зокрема температури, окислення і т. д. Слід відмітити при цьому, що найбільш суттєвий вплив на в'язкість здійснює температура, що розглядається як один з найбільш важливих експлуатаційних факторів.

Для з'ясування характеру і рівня впливу в'язкості робочої рідини на роботу регуляторів тиску були проведені експериментальні дослідження статичних і динамічних характеристик запобіжних клапанів непрямої дії авіаційних гідросистем. Розширений діапазон в'язкості досягався, по-перше, використанням декількох типів робочих рідин різними фізико-хімічними властивостями, а по-друге, зміною температури кожної з них в ході дослідження.

Як робочу рідину використовувалось мастило АМГ-10, що отримало найбільше розповсюдження в сучасних гідросистемах. Відомо, що це мастило має відносно стабільні властивості. Тим не менше при зміні температури від мінус 40 °С до 90 °С (робочий діапазон температур для авіаційного гідроприводу) в'язкість його змінюється майже

500 разів. Крім того, в досліджах використовувались також рідини типу МС-20 і суміш (АМГ-10 + Т-І). Діапазон температур складав від 15 °С до 90 °С. Це дозволило отримати діапазон кінематичної в'язкості від 2 до 2000 сСт.

Дослідження виконувались на спеціальній установці, в склад якої входять: плунжерний насос з регульованою подачею, фільтри, гідропневноаккумулятор для згладжування пульсацій і миттєвого зростання витрат при спрацюванні користувачів, гідророзподільвачі з електромагнітним управлінням для регулювання напрямлення потоку

різкого перекриття магістралі при створенні ступінчатого збурення по витратах, холодильний агрегат, а також контрольно-реєструюча апаратура. Температура рідини регулювалась зміною витрати холодоагента, а контроль її здійснювався за допомогою електроконтактних термометрів, вмонтованих в бак і на ділянці гідросистеми безпосередньо перед досліджуваним гідроклапаном. Для реєстрації тиску робочої рідини, а також перемішень рухомих елементів клапану управління і основного клапану використовувались індуктивні перетворювачі типу ДІ і тензорезисторні перетворювачі, підсилені електричні сигнали від яких надходять на вхід світлопроменевого осцилографа. В'язкість рідини за заданої температури визначалася по в'язкісно-температурним монограммам, а також контролювалась за допомогою віскозиметру Енглера.

Програмою передбачалось проведення експериментів в 2 етапи по паралельно-послідовній схемі. На першому етапі досліджувались властивості гідроклапану в сталому режимі на основі обробки серій залежності  $P = f(Q)$ , отриманих для кожної ступені з ряду значень в'язкості (2, 10, 20, ..., 1000) сСт. Величини тиску і витрат реєструвались при прямому і зворотному ході клапана для оцінки гістерезису.

Основний внесок в помилку, що виникає під час моделювання низьких температур заміною рідини вноситься ділянкою гідросистем, що включає в себе гідропідсилювач. Динамічні характеристики, отримані під час роботи на МС-20 і АМГ-10 за відповідних температур відрізняються на величину до 12 % при зниженні температури до мінус 45 °С. Очевидно, що такий вплив окремих ділянок гідросистем на величину погрешностей моделювання пов'язано з прийнятими при розробці методики допущеннями.

Також не враховувався вплив температури як рідини, так і середовища, на роботу партертя в регуляторі тиску. Відповідно, моделювання його роботи як частини гідравлічної системи управління буде визначатись не тільки отриманими критеріями подібності.

Проаналізуємо залежність жорсткості статичної характеристики авіаційних запобіжних гідроклапанів трьох конструктивних виконань від в'язкості робочої рідини  $\delta P = f(\nu)$ . Збільшення в'язкості призводить до зменшення жорсткості статичної характеристики, при цьому характер зміни для досліджуваних типів гідроклапанів подібний. При збільшенні в'язкості від 5 сСт до 500 сСт жорсткість зменшується в 4–6 разів, причому за  $\nu > 100$  сСт ефект найбільш значний. При зменшенні в'язкості спостерігається більш полого параболічна ділянка статичної характеристики  $P = f(Q)$ . Аналіз показав, що він пов'язаний з роботою клапану управління, і спостережене явище пояснюється збільшенням внутрішніх витоків за  $\nu < 5$  сСт. Експерименти показали також незначне збільшення гістерезису за в'язкістю робочої рідини  $\nu < 10$  сСт. З розглянутих конструкцій максимальну жорсткість статистичної характеристики має гідроклапан типу ГА-121, що пояснюється найбільш досконалою формою затвору основного клапану.

На другому етапі проводилась реєстрація перехідної характеристики при подачі на вхід гідроклапану ступінчатого збурення по витратах. Такий режим є найбільш важким для роботи гідроклапана і достатньо інформативним для оцінки його динамічних властивостей.

Експерименти показують, що розбіжність в отриманих величинах амплітудного затухання і фазового запізнення є не більше 15 % (температура АМГ-10 дорівнює мінус 5 °С). Однак, для температури АМГ-10 мінус 15 °С похибка складає до 20 % і за мінус 35 °С близько 50 %.

Аналіз доводить, що максимальні значення перерегулювання  $P$  і часу регулювання спостерігається у гідроклапану типу ГА-186. Це пояснюється наявністю додаткового ущільнення затвору основного клапану, що реалізовується за допомогою гумового кільця для зменшення внутрішніх перетічок. У гідроклапанах ГА-77 і ГА-121 вказане ущільнення

відсутнє, а потрібна герметичність досягається через малого зазору в прецизійних парах.

всіх конструкціях гідроклапанів спостерігається зростання часу регулювання і зменшення максимального перегулювання за збільшення в'язкості  $\nu > 100$  сСт. Крім того, при цьому зменшується коливання перехідного процесу. Це пояснюється впливом в'язкості робочої рідини на коефіцієнти місцевого гідравлічного опору, в результаті чого змінюється співвідношення сил в перехідному процесі.

Одним із способів підвищення стійкості клапану є зниження коефіцієнту використання периметру сідла  $K_1$ . Очевидно, що існує поріг зниження коефіцієнту  $K_1$ , величину якого найбільш зручно встановити за допомогою інтегральної оцінки якості перехідного процесу вигляду:

$$I_0 = \int_0^{\infty} P^2(t) dt$$

Інтегральна квадратична оцінка дозволяє непрямим шляхом врахувати вплив піків тисків, так як вона включає миттєве значення тиску  $P(t)$  в другій степені і залежить, в основному, від великих, а не від малих помилок.

Вирахування мінімуму зводиться до рішення системи рівнянь, що має позитивні корені:

$$K_Q^* = \frac{1}{3\sqrt{3}}; \quad n^* = \frac{1}{\sqrt{3}}$$

Цим рівностям відповідають розмірні величини оптимального коефіцієнту посилення по витратах і коефіцієнту в'язкого тертя.

На основі отриманих залежностей побудована діаграма (рис.1), завдяки якій можна визначити величину інтегральної квадратичної помилки для різних значень безрозмірного коефіцієнту посилення по витратах  $K_a$  і демпфірування  $n$ . У практиці часто зустрічаються випадки, коли один із коефіцієнтів заданий і потрібно визначити значення другого коефіцієнту. Тоді зручно скористатися лініями I і III найменших значень інтегралів.

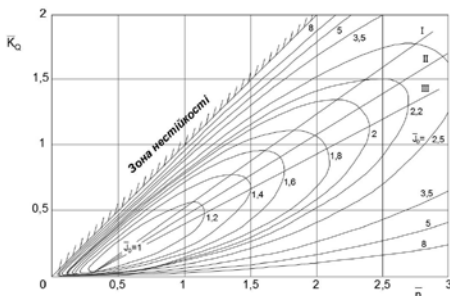


Рис. 1. Діаграма безрозмірної інтегральної квадратичної помилки

Для наближених розрахунків в розглянутому діапазоні безрозмірних коефіцієнтів ( $0,15 < K_Q < 2,5$ ;  $0,4 < n < 3,5$ ) можна користуватися наближеною формулою,

$$n = 0,26 + 1,55K_Q,$$

що відповідає лінії II на діаграмі. При цьому похибка за величиною інтегралу  $I_0$  не перевищує 5%.

Виконані дослідження підтверджують можливість визначення оптимальних параметрів і проектування переливних клапанів з найменшою інтегральною квадратичною помилкою перехідного процесу. Мінімум інтегралу забезпечує високу швидкодію клапана – малий час розгону і невелике число коливаний при ступінчатому збуренні.

Результати дослідження підтверджують можливість визначення оптимальних параметрів і проектування переливних клапанів з найменшою інтегральною квадратичною помилкою перехідного процесу. Мінімум інтегралу забезпечує швидка взаємодія клапана – малий час розгону та невелике число коливань при ступінчатій взаємодії.

Аналіз отриманих результатів показує, що в'язкість робочої рідини суттєво впливає на статичні і динамічні характеристики запобіжних гідроклапанів, причому в найбільшій мірі цей вплив позначається за  $5 \text{ сСт} < \nu < 100 \text{ сСт}$ .

Результати роботи можуть бути використані під час розроблення та конструювання гідроагрегатів, працюючих в умовах широкого діапазону температур. Вони підкреслюють важливість стабілізації температурного режиму гідросистем, з одного боку, і необхідність в нових рідинах з високостабільними фізико-хімічними властивостями, з другого.

#### РЕФЕРАТ

*Володимир Бутько, Ірина Любасюк,*

*Національний авіаційний університет, Butko37@mail.ru, Lyubasyuk@ukr.net*

#### **ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОЇ РІДИНИ НА ДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВІАЦІЙНИХ РЕГУЛЯТОРІВ ТИСКУ**

Наведені результати експериментальних досліджень статичних і динамічних характеристик деяких конструкцій авіаційних запобіжних гідроклапанів за зміни в'язкості робочої рідини.

Встановлено характер зміни найважливіших показників якості роботи запобіжних гідроклапанів при зміні в'язкості, а також наведено діапазон її значень з максимальним ефектом впливу.

Представлено порівняльний аналіз рівня впливу в'язкості на характеристики гідроклапанів в залежності від конструктивного виконання.

**Ключові слова:** робоча рідина, динамічні характеристики, в'язкість

#### РЕФЕРАТ

*Владимир Бутько, Ирина Любасюк,*

*Национальный авиационный университет, Butko37@mail.ru, Lyubasyuk@ukr.net*

#### **ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВИАЦИОННЫХ РЕГУЛЯТОРОВ ДАВЛЕНИЯ**

Приведены результаты экспериментальных исследований статических и динамических характеристик некоторых конструкций авиационных предохранительных гидроклапанов при изменении вязкости рабочей жидкости.

Установлен характер изменения важнейших показателей качества работы предохранительных гидроклапанов при изменении вязкости, а также приведен диапазон ее значений с максимальным влияющим эффектом.

Представлен сравнительный анализ уровня влияния вязкости на характеристики гидроклапанов в зависимости от конструктивного исполнения.

**Ключевые слова:** рабочая жидкость, динамические характеристики, вязкость

#### ABSTRACT

*Volodymyr Butko, Irina Lyubasyuk,*

*National Aviation University, Butko37@mail.ru, Lyubasyuk@ukr.net*

#### **EFFECT OF THE WORKING FLUID PARAMETERS ON THE DYNAMIC CHARACTERISTICS OF AVIATION PRESSURE REGULATORS**

The results of experimental studies of static and dynamic characteristics of some design of aviation hydraulic valves under the influence of working fluid viscosity changing .

Behaviour of the most important indicators of the operating quality of the safety hydraulic valves under the influence of viscosity changes has been determined. The range of its values with the maximum influencing effect is given.

A comparative analysis of the level of influence of viscosity on the characteristics of the hydraulic valves, depending on the design.

**Key words:** working fluid, dynamic characteristics, viscosity

#### **IV-5. ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛИКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА РАКЕТНО-ПРЯМОТОЧНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ**

*Маргарита Алексеева, Анна Севрюк, Владимир Разносчиков*

Создание ЛА на твердом топливе многодисциплинарная и сложная проблема. Одной из задач в этой проблеме является процесс формирования объемно – массовой компоновки ракетно-прямоточного двигателя на твердом топливе (РПДТ) в составе ЛА.

Процесс формирования объемно – массовой компоновки (ОМК) является одним из основных этапов формирования облика изделия и позволяет осуществлять расчет массы ЛА его основных частей, массы и объема топлива, координат центра масс частей и ЛА в целом т.п. С целью предварительного формирования ОКМ ЛА была создана комплексная математическая модель (КММ) и программное обеспечение формирования облика системы «Летательный аппарат – силовая установка – топливо (ЛА–СУ–Т)». Все исходные данные вводятся через диалоговый интерфейс программы «Авиационный химмотологический анализ (АХА)», что позволяет в реальном режиме времени вносить изменения в проектные данные и просматривать результаты ОКМ ЛА. Применение на практике такой программы позволяет повысить достоверность получаемого результата, используя при этом единую информационную базу, наиболее точные методики расчета характеристик и автоматические проверки значений параметров. Увеличение скорости вычислительных и графических работ позволяет повысить производительность труда проектировщиков.

При создании КММ использовался метод структурного моделирования, который предполагает разбиение моделируемой системы на ряд подсистем, для каждой из которых разработана своя математическая модель (ММ), которая осуществляет решение определенных уравнений. Уравнения описывают аэродинамические силы, характеристики СУ и т.д. Данный метод облегчает доработку КММ и ее усовершенствование. Отличительной чертой данной модели является ее многодисциплинарность и адаптированность к оптимизационной постановке исследования. В отличие от ранее созданных, данная КММ представляет собой единый программный комплекс, предназначенный для формирования технического облика ЛА и его СУ на этапах предварительного проектирования.

На рис. 1 представлена блок-схема процедуры объемно-массового проектирования ЛА, реализованная в рассматриваемой системе «ЛА–СУ–Т».

После ввода исходных данных производится расчет геометрических параметров основных элементов ЛА и СУ исходя из полученных параметров компоновки и размеров ЛА, а также располагаемых объемов. Определение стартовой массы и геометрии облика осуществляется при решении уравнения существования ЛА, которое в свою очередь состоит из массового и объемного баланса. Существует широкий спектр элементов, на которые можно разделить ЛА. В качестве допущения было принято, что ЛА состоит из четырех основных элементов: полезная нагрузка (ПН), планер ЛА, СУ, топливные баки (ТБ). При расчете масс основных частей планера используется большое количество инженерных методик, адаптированных, как правило, для определенного класса ЛА. Удельно-массовые характеристики СУ рассчитываются на основе уравнения массового баланса, где массы отдельных элементов определяются по корреляционным и статистическим зависимостям учетом марки конструкционного материала, размеров и параметров элемента двигателя, также толщины стенки исходя из прочностного расчета.

Для данного расчета используются встроенные базы данных по конструкционным материалам и теплозащитным покрытиям (ТЗП). Также в программе имеется учет массы дополнительных элементов для наиболее точного расчета. Следует отметить, что найденное из уравнения существования ЛА значение массы топлива, которое может быть размещено



топливных баках, геометрические размеры которых были определены ( $V_n$ ), должно быть обеспечено располагаемыми объемами ( $V_p$ ) для размещения этого топлива на борту ЛА. Если такое условие не выполняется, то начинается итерация по масштабированию планера ЛА до момента выполнения условия.

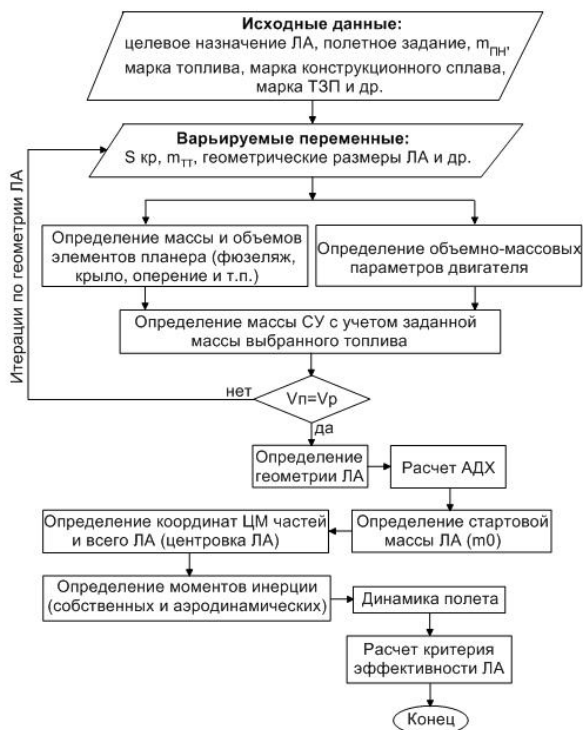


Рис. 1. Блок-схема процедуры ОМК в КММ «ЛА-СУ-Т»

Поскольку одной из задач ОМК является размещение основных элементов (ПН, СУ, ТБ) внутри планера так, чтобы возможный в эксплуатации диапазон положения центра масс ЛА находился внутри диапазона, определяемого заданными характеристиками устойчивости управляемости, далее идет расчет координат центра масс (ЦМ) элементов и всех частей ЛА на основании аэродинамической компоновки (АДК), полученной от ММ ЛА. АДК задается последовательно для всех частей ЛА: фюзеляжа, крыла, оперения. Так же задается расположение и компоновка СУ и ТБ. Все настройки осуществляются с расчетом аэродинамических характеристик (АДХ), так же можно воспользоваться базой данных АДХ готовых изделий, полученных в ходе эксперимента. Чертеж общего вида ЛА отображается в трех проекциях (вид спереди, сбоку, сверху). При некорректном или ошибочном задании параметров происходит соответствующее предупреждение для пользователя. Следующим этапом является определение моментов инерции ЛА. После определения моментов инерции ЛА все полученные данные поступают в ММ расчета динамики полета и критерия эффективности системы «ЛА – СУ – Т». При расчете дальности полета и других лётно – технических характеристик (ЛТХ) ЛА интегрируется система дифференциальных уравнений первого порядка, описывающих движение центра масс ЛА в скоростной системе координат. Исходными данными для расчета ЛТХ служат полученные на предыдущих этапах аэродинамические и объемно-массовые характеристики ЛА, высотно-скоростные и габаритно-массовые характеристики СУ. Если сформированный облик удовлетворяет

требованиям, то расчет прекращается, в противном случае пользователю предлагается скорректировать исходные данные и начать расчет заново.

Таким образом, с помощью разработанного алгоритма объемно-массовой компоновки РПДТ в составе ЛА решаются задачи предварительного формирования облика перспективных СУ на различных топливах, что значительно расширяет возможности как параметрических, так и оптимизационных исследований по различным критериям.

#### РЕФЕРАТ

*Маргарита Олексієва, Ганна Севрюк, Володимир Разнощиков,  
Центральний Інститут авіабудування ім. П.І. Баранова, alexeeva@ciam.ru*

#### **ФОРМУВАННЯ ОБРАЗУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТУ З РАКЕТНО-ПРЯМОТОЧНИМ ДВИГУНОМ НА ТВЕРДОМУ ПАЛИВІ**

Розроблено алгоритм попереднього формування об'ємно-масового компонування ракетно-прямоточного двигуна на твердому паливі у складі ЛА.

Створено математичне забезпечення, що дозволяє виконувати попередні дослідження щодо формування об'ємно-масової компонування ЛА різного призначення на різних твердих паливах, що відрізняються комплексними характеристиками.

В основу формування образу виробу покладено системне урахування енергетичних експлуатаційних властивостей твердого палива, а його вибір здійснюється за критерієм ефективності системи «ЛА – силова установка – паливо»

**Ключові слова:** літальний апарат, силова установка, ракетно-прямоточний двигун, тверде паливо, об'ємно-масова компоновка.

#### РЕФЕРАТ

*Маргарита Алексеева, Анна Севрюк, Владимир Разнощиков,  
ЦИАМ им. П.И. Баранова, alexeeva@ciam.ru*

#### **ФОРМИРОВАНИЕ ОБЛИКА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА РАКЕТНО-ПРЯМОТОЧНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ НА ТВЕРДОМ ТОПЛИВЕ**

Разработан алгоритм предварительного формирования объемно-массовой компоновки ракетно-прямоточного двигателя на твердом топливе в составе ЛА.

Предложенное авторами математическое обеспечение позволяет выполнять предварительные исследования по формированию объемно-массовой компоновки ЛА различного назначения на различных твердых топливах, отличающиеся комплексным и multidisciplinary подходом.

основу формирования облика изделия положен системный подход с учетом энергетических эксплуатационных свойств твердого топлива, а его выбор идет по критерию эффективности системы «ЛА – силовая установка – топливо».

**Ключевые слова:** летательный аппарат, силовая установка, ракетно-прямоточный двигатель, твердое топливо, объемно-массовая компоновка.

#### ABSTRACT

*Margaryta Alexeeva, Anna Sevrjuk, Vladimir Raznoschikov  
P. Baranov Central Institute of Aviation Motors, alexeeva@ciam.ru*

**FORMATION OF AIRCRAFT IMAGE WITH SOLID-FUELED ROCKET-RAMJET ENGINE** The algorithm of preliminary forming of weight space layout of solid-fueled rocket-ramjet as a part of an aircraft is developed by the authors.

The mathematical support created by the authors allows to carry out preliminary researches on forming weight space layout of an aircraft for different purposes fuelled by different solid fuels. The support is characterised by different complex and multidisciplinary approach

A system approach is used for layout forming with respect to power and operating properties of solid fuel. The choice of it is done on the basis of criterion of efficiency of the system «aircraft – engine – fuel».

**Keywords:** aircraft, power-plant, rocket-by engine, hard fuel, by volume of – mass arrangement.

## IV-6. ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОСТАВНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТНЫХ СТУПЕНЕЙ

*Игорь Аверьков, Ильяна Демская, Владимир Разносчиков*

настоящее время актуальной является проблема замены традиционного горючего Нафтил, используемого на ракетах-носителях (РН), на новые горючие, позволяющие поднять удельный импульс тяги двигателей и, таким образом, увеличить эффективность средств выведения. В настоящей статье приведены результаты исследований по поиску альтернативы горючему Нафтил. Был разработан программный комплекс, в состав которого включен программный модуль Тегга расчёта термодинамических свойств продуктов сгорания, и проведено оптимизационное исследование по формированию двухкомпонентного углеводородного горючего.

Проанализированы энергетические возможности различных углеводородных горючих, в том числе и энергоёмких, для космических ракетных ступеней и описаны результаты оптимизационного исследования формирования оптимальных двухкомпонентных составов топлив по критерию "удельный импульс тяги двигателя".

Удельный импульс тяги двигателя определяется энергоёмкостью применяемого топлива, молекулярным весом продуктов сгорания, качеством организации внутрикамерных процессов, а также степенью геометрического расширения сопла двигателя. Расчёты проводились для двигателя, имеющего параметры, близкие к параметрам серийного жидкостного ракетного двигателя (ЖРД) 11Д58М: давление в камере сгорания – 8 МПа, геометрическая степень расширения сопла – 400.

Исследование состояло из 3-х этапов.

На первом этапе была произведена оценка оптимального удельного импульса тяги на основе известных углеводородных горючих (керосин ТС-1, бензин Б-95/130, бензин Б-70, бензин Б-91/115, Синтин, Боктан, изопропилметакарборан (ИПМК), а также этиловый спирт) путем варьирования коэффициента избытка окислителя. Данные горючие сопоставлялись с горючим Нафтил по удельному пустотному импульсу. В таблице 1 представлены пустотный удельный импульс тяги ( $J_{\text{пуст.,уд}}$ ), коэффициент избытка окислителя ( $\alpha$ ), а также плотность горючего при 20 °С ( $\rho_{20}$ ).

При расчёте использовались брутто-формула горючего и окислителя (жидкий кислород), а также их энтальпии образования. Для каждого топлива находился оптимальный коэффициент избытка окислителя.

Таблица 1

Горючее	$J_{\text{пуст.,уд}}$ , сек.	$\alpha$	$\rho_{20}$ , кг/м <sup>3</sup>
Синтин	399.0	0.86	851.2
Боктан	398.0	0.87	828.0
<b>Нафтил</b>	<b>393.0</b>	<b>0.90</b>	<b>833.0</b>
ИПМК	392.0	0.80	918.8
Керосин ТС-1	392.0	0.90	755.0
Этиловый спирт	377.0	0.99	789.0
Бензин Б-95/130	349.0	0.92	736.0
Бензин Б-70	348.0	0.92	751.0
Бензин Б-91/115	348.0	0.92	729.0

На втором этапе исследовались перспективные высокоплотные углеводородные горючие, разработанные для авиационных систем: Ц-ДЦОТ (циклопропанированный димер циклооктатетраена), Пенталан, Децилин, ЦП-ИБС (циклопропанированный изомер бинора

S), ГДН (гидрированный димер норборнадиена). Эти горючие также сравнивались с горючим Нафтил. В таблице 2 представлены результаты расчета ( $J_{пуст.,уд.}$ ,  $\alpha$  и  $\rho_{20}$ ).

На рис. 1 представлены зависимости пустотного удельного импульса тяги от коэффициента избытка окислителя для различных горючих (Синтин, Боктан, Ц-ДЦОТ, ЦП-ИБС, Нафтил и Децилин).

Таблица 2

Горючее	$J_{пуст.,уд.}$ , сек.	$\alpha$	$\rho_{20}$ , кг/м <sup>3</sup>
Ц-ДЦОТ	394.0	0.84	969.0
ЦП-ИБС	394.0	0.85	1124.0
Пенталан	393.0	0.84	1034.0
<b>Нафтил</b>	<b>393.0</b>	<b>0.90</b>	<b>833.0</b>
Децилин	391.0	0.89	938.0
ГДН	386.0	0.88	1077.0

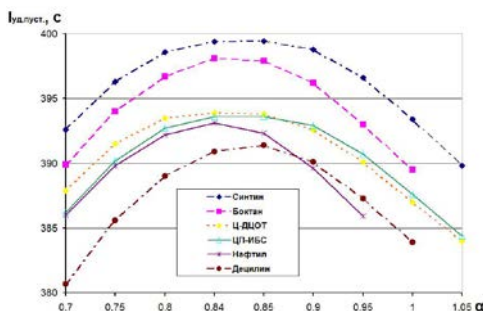


Рис. 1. Зависимость пустотного удельного импульса тяги от коэффициента избытка окислителя для разных горючих

На третьем этапе рассматривалась задача поиска оптимальной комбинации двухкомпонентного горючего. Данные композиции сопоставлялись с горючим Нафтил.

Таблица 3

Горючее	Доля второго компонента	$\alpha$	$J_{пуст.,уд.}$ , сек.	Прирост импульса тяги, сек
Синтин	–	0.855	399.4	6.3
Боктан	–	0.867	398.2	5.1
Ц-ДЦОТ+ИПМК	0.408	0.806	394.1	1.0
Нафтил+ ИПМК	0.633	0.818	394.1	1.0
Ц-ДЦОТ	–	0.843	393.9	0.8
ИПМК+Пенталан	0.469	0.806	393.9	0.8
Керосин ТС-1+ИПМК	0.694	0.818	393.8	0.7
Децилин+ИПМК	0.735	0.806	393.4	0.3
ЦП-ИБС+ ИПМК	0.714	0.794	393.3	0.2
Пенталан	–	0.843	393.3	0.2
<b>Нафтил</b>	–	<b>0.904</b>	<b>393.1</b>	<b>0.0</b>
ИПМК	–	0.794	392.7	-0.4
Керосин ТС-1+ЦП-ИБС	0.061	0.904	392.1	-1.0
Керосин ТС-1	–	0.904	392.1	-1.0
ЦП-ИБС	–	0.855	391.9	-1.2
Децилин	–	0.892	391.5	-1.6
ГДН	–	0.88	386.4	-6.7
Спирт этиловый	–	0.99	376.6	-16.5

качестве критерия для оптимизационного исследования выбран пустотный удельный импульс тяги. Вектор варьируемых переменных включал: коэффициент избытка окислителя (от 0,75 до 1) и массовые доли (от 0,001 до 1) компонентов составного горючего.

качестве компонентов составного горючего рассматривались как существующие горючие: Нафтил, Децилин, этиловый спирт, синтетические углеводородные горючие (Синтин и Боктан), ИПМК, так и перспективные горючие (Ц-ДЦОТ, Пенталан). Идея использования составных горючих состоит в том, чтобы обеспечить увеличение удельного импульса не только за счет энергоемкости, но и за счет повышения молекулярного веса продуктов сгорания.

таблице 3 представлены: состав оптимальных композиций составных горючих, оптимальный коэффициент избытка окислителя, удельный импульс тяги и прирост удельного импульса тяги по сравнению с горючим Нафтил.

На рис. 2 представлены гистограмма пустотных удельных импульсов тяги для сформированных оптимальных композиций составных горючих и жидкого кислорода космических ракетных ступеней.

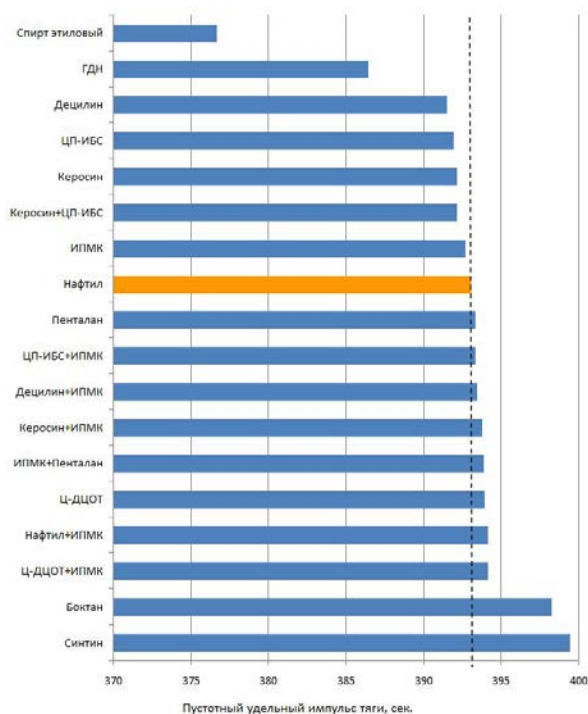


Рис . 2. Сравнение пустотных удельных импульсов тяги для различных топливных композиций

Таким образом, в результате выполнения этой работы получены следующие результаты:

Среди известных углеводородных горючих Синтин и Боктан остаются вне конкуренции: для давления в камере сгорания – 8 МПа и геометрической степени расширения сопла – 400, Синтин обеспечивает прирост удельного импульса тяги на 6 сек. по сравнению с горючим Нафтил, а Боктан – на 5 сек.

Из перспективных энергоемких авиационных горючих интерес представляет горючее Ц-ДЦОТ, которое обеспечивает прирост удельного импульса тяги на 0,8 сек. по сравнению с горючим Нафтил.

Установлено, что среди двухкомпонентных горючих наибольший интерес может представлять композиция из ИПМК и Ц-ДЦОТ, обеспечивающая прирост удельного импульса тяги на 1,0 сек. по сравнению с горючим Нафтил.

Установлено, что существует 9 композиций горючих, позволяющих заменить Нафтил без снижения удельного импульса.

Из перспективных энергоемких авиационных однокомпонентных и двухкомпонентных горючих может быть выделен ряд с относительно небольшим приростом удельного импульса тяги, но с относительно высокой плотностью, который будет представлять интерес для двигателей различных ступеней ракеты.

#### РЕФЕРАТ

*Володимир Разнощиков, Ігор Аверьков, Іляна Демська,  
Центральний Інститут авіабудування ім. П.І. Баранова, raznoschikov@ciam.ru*  
**ЭНЕРГЕТИЧНІ МОЖЛИВОСТІ СУМШЕВИХ ВУГЛЕВОДНЕВИХ ПАЛІВ  
ДЛЯ ДВИГУНІВ КОСМІЧНИХ РАКЕТНИХ СТУПЕНІВ**

Виконані розрахункові дослідження по пошуку альтернативи паливу Нафтил. Проведено оптимізаційне дослідження по формуванню двокомпонентного вуглеводневого пального. Проаналізовані енергетичні можливості різних вуглеводневих паливних. Проведена оцінка оптимального питомого імпульсу тяги на основі відомих вуглеводневих паливних. Досліджувалися перспективні високощільні вуглеводневі паливні, розроблені для авіаційних систем. Розглядалося завдання пошуку оптимальної комбінації двокомпонентного палива.

**Ключові слова:** вуглеводневі палива, перспективні високощільні вуглеводневі палива, паливні композиції, двигуни космічних ракетних ступенів.

#### РЕФЕРАТ

*Владимир Разнощиков, Игорь Аверьков, Илья Демская,  
ЦИАМ им. П.И. Баранова, raznoschikov@ciam.ru*  
**ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ СОСТАВНЫХ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГОРЮЧИХ  
ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ КОСМИЧЕСКИХ РАКЕТНЫХ СТУПЕНЕЙ**

Проведены расчетные исследования по поиску альтернативы горючему Нафтил. Проведено оптимизационное исследование по формированию двухкомпонентного углеводородного горючего. Проанализированы энергетические возможности различных углеводородных горючих. Проведена оценка оптимального удельного импульса тяги на основе известных углеводородных горючих. Исследовались перспективные высокоплотные углеводородные горючие, разработанные для авиационных систем. Рассматривалась задача поиска оптимальной комбинации двухкомпонентного горючего.

**Ключевые слова:** углеводородные горючие, перспективные высокоплотные углеводородные горючие, топливные композиции, двигатели космических ракетных ступеней.

#### ABSTRACT

*Vladimir Raznoschikov, Igor' Aver'kin, Iliana Demskaia,  
Baranov Central Institute of Aviation Motors, raznoschikov@ciam.ru*  
**POWER POSSIBILITIES OF MIXED HYDROCARBON FUELS FOR ENGINES  
OF THE SPACE ROCKET STAGES**

Calculation researches are conducted on the search of alternatives to the fuel Naphthyl. Optimization research is conducted on forming two compounds hydrocarbon fuel. Power possibilities of different hydrocarbon fuels are analysed. The estimation of optimum specific impulse of traction is conducted on the basis of the known hydrocarbon fuels. Perspective high-dense hydrocarbon fuels, developed for the aviation systems, were probed. The task of search of optimum combination of two compounds fuel was examined.

**Keywords:** hydrocarbon fuels, perspective high-dense hydrocarbon fuels, fuel compositions, engines of the space rocket stages.

**IV-7. УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА РЕДУКТОРОВ ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ДВУХФАЗНОЙ МАСЛОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ**

*Игорь Кравченко, Петр Колесник, Андрей Единович, Александр Стельмах*

Разработка, конструирование и организация производства новых серийных авиационных летательных аппаратов требует значительных материальных затрат. Поэтому при создании нового ЛА всегда рассматривается возможность использования в его составе серийно выпускаемых агрегатов, которые хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации

по техническим характеристикам соответствуют предъявляемым требованиям в составе нового изделия. При создании новых типов самолётов Ан-140, Ан-148 и Ан-158 в КБ «Ивченко-Прогресс» разрабатывались двигатели ГТД ТВЗ-117ВМА-СБМ1 и Д-436-148 на базе существующих ТВЗ-117ВМА и Д-436.

Для обеспечения нормального теплового режима работы подшипников качения роторов и редукторов ГТД и ВСУ традиционно применяется система смазки и охлаждения с прокачкой десятков и сотен литров в минуту, в то время как на полное смазывание поверхностей трения требуются миллилитры масла. Принято считать, что потери на трение в подшипниках, смазываемых масляным туманом, существенно (до трех раз) снижаются, хотя интенсивность теплоотвода в воздушно-масляную смесь также уменьшается. Из этого следует, что охлаждающая жидкая (однофазная) смазочная среда в трибоконтакте, обеспечивая теплоотвод от него, в условиях фрикционного взаимодействия поверхностей одновременно является источником тепловыделения.

Известное повышение износостойкости и ресурса высокооборотных трибосистем качения при уменьшении количества смазочного материала, подаваемого в зону контакта в виде масловоздушной смеси, не находит своего однозначного объяснения с позиции известных теорий, гипотез и положений о трении и изнашивании. Общепризнанная эластогидродинамическая (ЭГД) теория смазки включает в себя ряд положений, исходя из которых, для повышения ресурса трибосистем необходимо реализовывать обильное смазывание контакта и избегать возможности возникновения режима масляного голодания. При этом эксплуатация высокоскоростных трибосистем качения и скольжения показала, что в ряде случаев обильное смазывание ЭГД-контакта приводит к интенсивному изнашиванию поверхностей, их выкрашиванию или термическому разрушению. Увеличение расхода смазочного материала для обеспечения интенсивного теплоотвода от ЭГД-контакта оказалось малоэффективным, а в ряде случаев – пагубным.

Цель этого исследования заключается в использовании новых подходов адгезионно-гидродинамической теории трения и изнашивания при создании форсированной высоконагруженной авиационной техники, в частности путем использования масло-парогазовой суспензии.

**Новизна** заключается в оригинальном решении контакт-ной задачи переднего редуктора двигателя ТВЗ-117-ВМА-СБМ1 при его смазке маловязким синтетическим маслом ИПМ-10.

2007 году была выдвинута гипотеза о компрессионно-вакуумной природе трения, исходя из которой, в ЭГД-контакте протекают значительно более сложные процессы, чем взятые за основу в эластогидродинамической теории смазки. Основным положением этой гипотезы является самопроизвольное возникновение относительно минимального зазора каждого элементарного трибоконтакта двух характерных областей – конфузорной (КО) и диффузорной (ДО). Установлено, что адгезионное изнашивание поверхностей в трибоконтактах скольжения и качения локализуется в ДО контактов, где возникает высокий вакуум, десорбция граничных слоев, повышение фактических контактных напряжений, т.е. условия квазисухого трения.

Применительно к трению качения, гидродинамические процессы в граничных слоях протекают аналогично трению скольжения, лишь с той разницей, что в КО градиент давления понижается, а в ДО степень разрежения повышается. На рис. 1 показана схема возникновения области повышенного (+  $P$  в КО) и пониженного (-  $P$  в ДО) давления

граничных слоев смазки (компрессионных  $U_k$  и вакуумных  $U_v$ ), направленных противоположно набегающим смазочным слоям при давлении окружающей среды равном атмосферному  $P_{атм.}$  (пересечение осей  $x$  и  $P_{ос.}$ ) и распределение давлений смазочного слоя на поверхности ролика. Пунктиром показано распределение упругих контактных напряжений по Г.Герцу без смазки, в среде воздуха (зазор – условный).

КО каждого контакта повышается давление в граничных слоях смазки, вызванное не только вязким трением, но и возникающим возвратным течением (рис. 2). В этой области при высоких скоростях трение происходит между набегающими с движущейся поверхностью слоями граничной смазки и слоями вторичного возвратного течения, вызванного градиентом давлений в сужающейся зоне трибоконтакта. По сути реализуются два взаимообуславливающих встречных течения Куэтта и Пуазейля. Их трение приводит к повышению температуры в предконтактных конфузорных областях (рис. 3 а). При этом установлено, что в ДО всегда возникает газовоздушная полость, генерирующая и обогащающая смазочную среду микро- и нанопузырьками (рис. 3 б), которые, поступая в КО, играют роль высокосжимаемой фазы, что уменьшает трение граничных слоев и теплообразование в них.

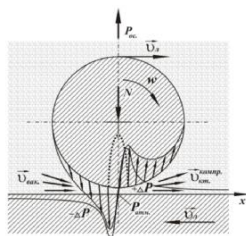


Рис. 1. Схематическое возникновение компрессионных и вакуумных гидродинамических процессов в граничных слоях смазки при трении качения ролика по кольцу

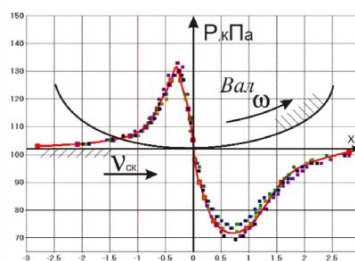
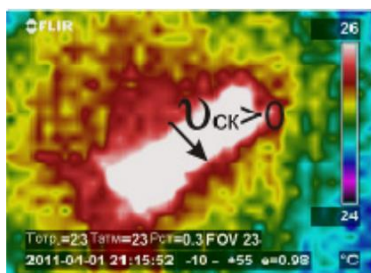
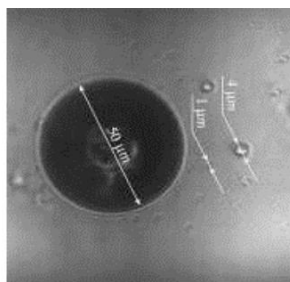


Рис. 2. Распределение давления в контактной области при качении вала с проскальзыванием при скорости скольжения  $V = 0,251$  м/с и сканирования  $V_{ск} = 0,00036$  м/с в направлении вращения вала



а)



б)

Рис. 3. Повышение температуры в предконтактной области (а) микропузырьки в масле ИПМ-10 после длительного трения скольжения (3 часа) при осевой нагрузке 4 Н и линейной скорости 0,8 м/с, измеренные путем сканирования на ЛСДФМП (б)



Если наблюдать за качением ролика по кольцу по схеме, представленной на рис. 1, когда контакт относительно наблюдателя неподвижен, то в конфузурной области набегающие с движущимися поверхностями ролика и дорожки кольца потоки, по мере приближения к минимальному зазору, будут встречать сопротивление вторичных течений, направленных противоположно движению. При этом через минимальный зазор в соответствии

физическим законом сохранения количества вещества, смазка пройдет в количестве, не превышающем имеющегося вещества в зоне максимальных контактных напряжений, где граничные слои максимально упруго деформированы. В диффузорной области контакта будет происходить разрежение прошедших через минимальный зазор слоев смазки, понижение в них давления относительно давления окружающей среды, например атмосферного. Как следствие, здесь вторичные вакуумные течения будут направлены из среды в контакт и также против движения. Соответственно на ролик будут действовать давления сжатых и разреженных слоев смазки, как показано на рис. 1, в виде эпюры давлений. Так как основным источником теплообразования в КО трибоконтактов является трение набегающих граничных и интенсивных возвратных течений смазочных слоев, то для улучшения теплового режима зоны контакта необходимо отказаться от обильного смазывания и применять масловоздушную смесь, объемная вязкость и плотность которой существенно (на порядок) меньше, а коэффициент сжатия (на порядки больше), чем у базового масла. Это подтверждают лабораторные трибоиспытания, когда при трении в искусственно созданной масловоздушной среде ИПМ-10 степень сжатия и разрежения в КО и ДО областях контакта действительно уменьшалась (рис. 4), что, естественно, приводило к уменьшению силы трения, температуры и адгезионного изнашивания.

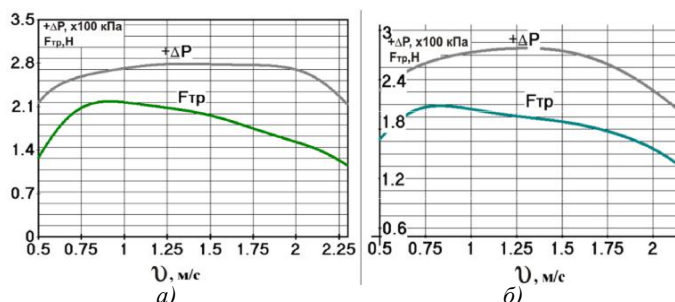


Рис. 4. Зависимость силы трения  $F_{тр}$  и максимального избыточного давления  $P$  от скорости линейного скольжения  $v$  при осевой нагрузке 4 Н через 1 мин (а) и через 10 мин (б) после выхода на установившийся режим

Эти и другие результаты лабораторных исследований, а также основные положения компрессионно-вакуумной гипотезы трения и изнашивания впервые рассматривались при решении проблем повышения ресурса подшипников сателлитов переднего редуктора двигателя ТВ3-117ВМА-СБМ1, являющегося маршевым для самолетов Ан-140. Суть проблемы заключалась в следующем: так как в высокофорсированном двигателе ТВ3-117ВМА-СБМ1 развиваются высокие температуры на опорах ротора, их смазку и охлаждение могут обеспечить только синтетические масла типа ИПМ-10. Прототипом переднего редуктора являлся редуктор двигателя АИ-24, в котором смазка подшипников сателлитов производилась путем подачи минерального моторного авиационного масла непосредственно на дорожки качения через соответствующие форсунки (рис. 5 а). Однако стендовые испытания показали крайне неудовлетворительные результаты: после 400-часовых испытаний редукто-ров с радиальными зазорами в подшипниках сателлитов 0,005–0,025 мм на беговых дорожках были выявлены дефекты, классифицированные как «усталостное выкрашивание», расположенные по всей длине контактного трения. Средняя

наработка до возникновения таких дефектов, свидетельствующих о необходимости замены редуктора, составила 415 часов. При этом подвод масла ИПМ-10 оставался прежним – через те же две форсунки непосредственно на дорожку качения с расходом 1,2 л/мин. Недопустимо низкий ресурс редуктора стал одной из острых проблем при создании двигателей нового поколения.

ходе анализа результатов испытаний, мнения специалистов относительно возникшей проблемы разделились: одни, с позиций ЭГД-теории смазки, настаивали увеличить расход масла для более обильного смазывания и снижения теплонапряженности трибоконтактов путем более интенсивного отвода теплоты. Авторы, с позиций компрессионно-вакуумной гипотезы трения, предложили отказаться от подачи обильной смазки поверхностей трения, а смазывание производить двухфазной масловоздушной смесью, для чего форсунки разместили под венчиками сепараторов. Такая схема подачи масла позволила создать двухфазную среду ИПМ-10, обогащенную микро- и нанопузырьками путем барботажа быстро вращающимися поверхностями деталей подшипников. Использование такой двухфазной смазочной среды обеспечило уменьшение теплообразования в КО, а также степени разрежения – в ДО. При этом в ДО трибоконтактов уменьшится трибокавитация, которая также является источником теплоты и причиной усталостного и кавитационного разрушения поверхностей. Для реализации этой идеи была произведена конструкторская доработка (рис. 5 б) осей сателлитов роликовых подшипников переднего редуктора двигателя ТВ3-117ВМА-СБМ1, а именно: масло, с тем же расходом, подавалось не на дорожки качения, а через каналы на торцы роликов. Это привело к естественному образованию двухфазной смазочной среды в виде масловоздушной смеси при больших частотах вращения (4000 об/мин) роликов и сепараторов сателлитов.

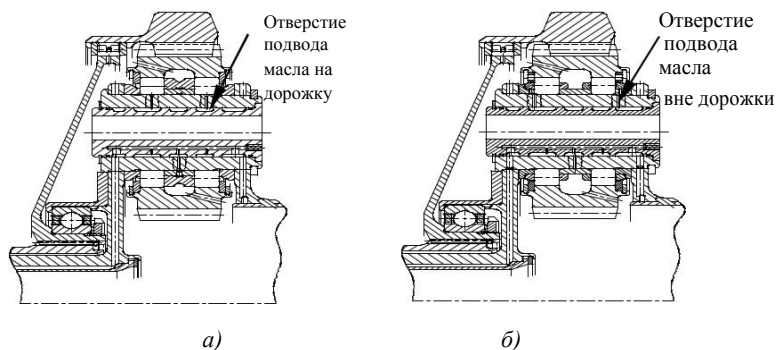


Рис. 5. Схема подвода смазки в подшипники главного редуктора двигателя ТВ3-117ВМА-СБМ1: – исходная конструкция; б – доработанная конструкция подшипника сателлита

Проведенные стендовые испытания на ОАО «Мотор Сич» двигателей с серийными номерами 317001 и 317013 в течение 2007–2009 гг. подтвердили существенное повышение ресурса главных редукторов без признаков усталостного выкрашивания поверхностей качения осей сателлитов. Такая конструктивная доводка была внедрена на восьми двигателях ТВ3-117ВМА-СБМ1. При их суммарной наработке более 5000 часов съемов редукторов по дефекту выкрашивания осей сателлитов не было. Таким образом, методы повышения эффективности трибосистем, разработанные в рамках компрессионно-вакуумной гипотезы трения и изнашивания, в отличие от известных, находят свое применение при создании новой техники путем тесной кооперации научной лаборатории нанотриботехнологий НАУ и конструкторского бюро «Ивченко-Прогресс».

Таким образом, лабораторные исследования, стендовые испытания и эксплуатация восьми двигателей с конструкторскими доработками по организации смазки масловоздушной смесью показали, что ресурс осей сателлитов передних редукторов

двигателів ТВ3-117ВМА-СБМ1 підвищилися більше ніж в 7 раз, а ознаки їх викрашівання не виявлялися, редуктори працюють надійно і стійко. Приведені результати досліджень підтверджують справедливості компресійно-вакуумної гіпотези тертя і трибокавітаційного механізму изнашивання.

#### РЕФЕРАТ

*Ігор Кравченко<sup>1</sup>, Петро Колесник<sup>1</sup>, Андрій Єдинович<sup>1</sup>, Олександр Стельмах<sup>2</sup>,  
ДП «Івченко-Прогрес»,<sup>2</sup> Національний авіаційний університет,  
progress@ivchenko-progress.com, stelmah@nau.edu.ua*

#### З ВИКОРИСТАННЯМ ДВОФАЗНОЇ ОЛИВНО-ПОВІТРЯНОЇ СУМІШІ

Лабораторні дослідження, стендові випробування і експлуатація восьми двигунів з конструкторськими доробками по організації змащування оливно-повітряною сумішшю показали, що ресурс осей сателітів передніх редукторів двигунів ТВ3-117ВМА-СБМ1 підвищився більше ніж у 7 разів, а ознаки їх викрашівання не спостерігались, редуктори працюють надійно і стійко. Наведені результати досліджень підтверджують справедливості компресійно-вакуумної гіпотези тертя і трибокавітаційного механізму зношування.

**Ключові слова:** тертя, оливно-повітряна суміш, редуктор, ресурс, тиск, граничні шари.

#### РЕФЕРАТ

*Ігорь Кравченко<sup>1</sup>, Петр Колесник<sup>1</sup>, Андрей Единович<sup>1</sup>, Александр Стельмах<sup>2</sup>,  
ГП «Ивченко-Прогресс»,<sup>2</sup> Национальный авиационный университет,  
progress@ivchenko-progress.com, stelmah@nau.edu.ua*

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХФАЗНОЙ МАСЛОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Лабораторные исследования, стендовые испытания и эксплуатация восьми двигателей с конструкторскими доработками по организации смазки маслотовоздушной смесью показали, что ресурс осей сателлитов передних редукторов двигателей ТВ3-117ВМА-СБМ1 повысился более чем в 7 раз, признаки их выкрашивания не обнаруживались, редукторы работают надёжно и устойчиво. Приведенные результаты исследований подтверждают справедливость компрессионно-вакуумной гипотезы трения и трибокавитационного механизма изнашивания.

**Ключевые слова:** трение, маслотовоздушная смесь, редуктор, ресурс, давление, граничные слои.

#### ABSTRACT

*Igor Kravchenko<sup>1</sup>, Petr Kolesnik<sup>1</sup>, Andrei Edinovich<sup>1</sup>, Alexander Stelmakh<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>SE «Ivchenko-Progress»,<sup>2</sup>Ukraine, National Aviation University, progress@ivchenko-progress.com,  
stelmah@nau.edu.ua*

#### RESOURCE INCREASING OF GAS TURBINE ENGINE'S REDUCERS BY USING BIPHASIC OIL-AIR MIXTURE

Laboratory researches, bench testing and operation of eight engines with design modifications on the organization of lubrication with oil-air mixture have shown that resource of axes of front engine gearboxes satellites of engines TV3-117VMA-SBM1 has increased more than 7 times, and the signs of chipping were not detected, reducers operate reliably and steadily. These results confirm the justice compression-vacuum friction hypothesis hypothesis and tribology cavitation wear mechanism.

**Key words:** friction, oil-air mixture, reducer, resource pressure, boundary layers.

УДК 621.892.2 (045)

#### ІV-8. НОРМУВАННЯ ЧИСТОТИ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНІЧНИХ РІДИН

*Василь Федина, Сергій Бабкін, Валерій Ткаченко*

Забруднення у вигляді твердих частинок значно знижують терміни служби елементів паливних, масляних і гідравлічних систем літаків, а також можуть призвести до повної відмови агрегатів і, як наслідок, до виникнення аварійних ситуацій. Загальновідомо, що до

90 % відмов у гідравлічних системах в тій чи іншій мірі пов'язані з забрудненням робочої рідини, викликаним наявністю механічних твердих частинок. Ускладнює ситуацію також різноманітність природи, кількості, якості та впливу забруднень на агрегати машин.

Розвиток техніки призводить до вдосконалення існуючих методів і засобів контролю, нормування та очищення робочих рідин до необхідного рівня. Дуже важливе місце займає побудова класифікації чистоти оливи і технічних рідин. Уся справа в тому, що для однозначного сприйняття забруднень, як і будь-якого іншого об'єкта або явища, вони повинні бути належним чином систематизовані. Систематизація дозволяє провести класифікацію, тобто розподіл забруднюючих домішок на класи відповідно до характерних ознак. На практиці можуть бути прийняті як кількісні, так і якісні показники, оскільки виключно їх поєднання дає найбільш повну та об'єктивну картину досліджуваного об'єкта або явища.

Відповідно до стандарту NASA-SP-5045: «Контроль забруднення є дія, що здійснюється вимірюванням структури для того, щоб досить добре підтримувати на незмінному рівні ступінь забруднення на внутрішніх поверхнях, а також в околицях зовнішніх поверхонь предмета вивчення (гідравлічні пристрої)». У даному випадку забруднення називають всілякі матеріальні частинки (сторонні тверді частинки, краплі води, повітряні бульбашки), що завдають шкоди різним агрегатам і пристроям. Проблема полягає не тільки в тому, яким чином встановити фільтр для видалення твердих частинок,

і в тому, щоб здійснювати систематичний контроль за відповідною системою і при цьому забезпечити тривалий термін служби технічних рідин і запобігти зносу вузлів і агрегатів. Варто зазначити, що на сьогодні, як правило, використовується методологія, що в першу чергу визначає кількісні показники, і тільки потім якісні, оскільки вони більш різноманітні й складні, а також вимагають тривалого аналізу та опрацювання.

На сьогодні в світі існує ціла низка класифікацій (стандартів) промислової чистоти технічних рідин. Найбільш поширеними є наступні стандарти: NAS-1638; MIL-T-1246; SAE; ACTM; ISO-4406; ГОСТ 17216.

NAS-1638 – національний аерокосмічний стандарт США. Саме американський документ на сьогодні має статус міжнародного, оскільки його найбільш часто застосовують

світовій практиці. ГОСТ 17216 – це міждержавний стандарт, що діє на території країн СНД. В Україні він має назву ДСТУ ГОСТ 17216:2004 «Промислова чистота. Класи чистоти рідин».

Типом основної класифікаційної ознаки в даних стандартах дисперсні системи (аерозолі, суспензії) або їх дисперсні фази (центрифугати, мікропорошки, пил і т.п.). За його допомогою представляють класи чистоти через кількість забруднюючих домішок в прийнятих розмірних групах в одиниці об'єму досліджуваної рідини. Послідовність класів в таких класифікаціях визначається принципом зростаючої величини. Стандарт NAS-1638 встановлює 14 класів чистоти (від 00 до 12), а стандарт ДСТУ ГОСТ 17216:2004 – 19 класів чистоти (від 00 до 17).

Загальним принципом побудови цих класифікацій є принцип зростаючої величини, коли послідовність класів визначається в порядку зростання вимірюваної величини – розміру частинок. У зв'язку з цим діючі сьогодні класифікації забруднень є послідовними рядами дисперсій, побудовані на основі геометричної прогресії з модулем 2. На цьому ж принципі будуються шкали розміру частинок забруднень або їх фракцій. Доцільність використання явища універсальності рядів або каскадів подвоєння для побудови класифікаційних шкал обумовлена тим, що послідовність значень параметра, відповідних послідовним подвоєнням, асимптотично поводить як геометрична прогресія, модуль якої є універсальною константою, що не залежить від конкретної системи.

Якщо кількість частинок забруднення обумовлює однорідність забруднень, то їх якість відображає неоднорідність, що істотно впливає на процеси абразивного зносу машин, забруднення та очищення технічних рідин. Існуючі стандарти класифікують забруднення

тільки по їх кількості, тобто за дисперсним складом, за показника якості, тобто гранулометричному складі, єдиному для всіх класів. Дійсне розходження діючих класифікацій забруднень за якісними показниками всередині кожної класифікації показано в таблиці 1.

Таблиця 1

Стандарт	Гранулометрична характеристика (%складу) класів забруднень при розмірних групах часток, мкм					K <sub>п</sub>
	5–10	10–25	25–50	50–100	100–200	
ДСТУ ГОСТ 17216:2004	64,2	32,1	3,2	0,4	0,1	2
SAE, АСТМ	72–78	23,7–24	2,7–3,7	0,45–0,55	0,03–0,05	3–4
NAS-1638	5–15	15–25	25–50	50–100	100–200	
	82,3	14,5	2,63	0,49	0,08	5,7

Дана таблиця свідчить про істотне розходження в оцінці і вимогах до допустимих якісних показників забруднень з боку розробників представлених стандартів, що повинні були враховувати фізичні властивості, умови утворення і динаміку зміни забруднень, властиві конкретним видам техніки.

Для більш повної оцінки забруднень їх можна і необхідно класифікувати також і за гранулометричним складом, що характеризує ступінь дисперсності або подрібнення частинок забруднень. З наведених у таблиці гранулометричних характеристик також випливає, що вміст в забрудненнях частинок розміром понад 25 мкм не перевищує 4 %. Тому вміст частинок в розмірних групах 5–10 та 10–15 мкм (ДСТУ ГОСТ 17216:2004), або 5–15 і 15–25 мкм (NAS-1638) є досить представницьким для якісної оцінки забруднень.

Необхідно відмітити, що частинки розміром до 10–25 мкм розглядаються як найбільш небезпечні для більшості агрегатів сучасної техніки. У зв'язку з цим, для зручності на практиці гранулометричну характеристику забруднень доцільно представляти коефіцієнтом подрібнення K<sub>п</sub>, що визначається як відношення кількості частинок розмірної групи 5–10 або 5–15 мкм до кількості частинок другої розмірної групи (10–25 або 15–25 мкм), тобто

$$K_{п} = \frac{n_{5-10}}{n_{10-25}}$$

Можлива в цьому випадку класифікація забруднень за якістю із використанням коефіцієнта подрібнення наведена в таблиці 1. Чим вище значення коефіцієнта K<sub>п</sub>, тим більш однорідним, високодисперсним є забруднення і навпаки.

Проведені дослідження показують, що із усього різноманіття гранулометричних складів забруднень можна виділити чотири граничних рівня, характерних для наступних умов експлуатації рідин.

1-й граничний рівень (K<sub>п</sub> = 2) обумовлений гранулометричним складом ґрунтового пилу, що є початковим і постійним джерелом забруднення рідин. Він характерний для рідин на стадії їх зберігання, транспортування і заправки без попередньої очистки, а також при експлуатації в окремих системах живлення, змащення або управління, які обладнані тільки фільтрами грубої очистки, в яких має місце низька інтенсивність диспергування частинок пилу (редуктори, системи управління з великими об'ємами і т.п.).

2-й граничний рівень (K<sub>п</sub> = 4) може бути обумовлений певною постійною селективною здатністю до часток різних розмірів і щільності силових очищувачів (сепаратори, циклони і т.п.), що забезпечують високу сталість гранулометричного складу забруднень незалежно від його дисперсного складу. Даний рівень характерний для

рідинпри їх заправці й експлуатації в системах, заправка, технологічна і подальша очистка яких здійснюється за допомогою силових очищувачів.

3-й граничний рівень ( $K_p = 8$ ) може бути обумовлений високою інтенсивністю диспергування частинок пилу і характерний для рідин під час їх експлуатації в системах без фільтрів або обладнаних грубими фільтрами, коли має місце висока інтенсивність диспергування частинок пилу (редуктори, системи управління з малими об'ємами рідини т.п.).

Для обґрунтування 3-го граничного рівня забруднення за якістю була використана наступна фізична модель подрібнення забруднення: приймається, що в системі без сепаратора або фільтра має місце ідеальне прогресуюче диспергування, тобто механічне дріблення всіх частинок забруднення у всіх розмірних групах без осколків.

4-й граничний рівень ( $K_p = 16$ ) обумовлений змінною з часом вибірковою здатністю фільтрів при їх експлуатації в системах, заправка, технологічна й подальша очистка яких здійснюється за допомогою тонких фільтрів (25 мкм і менше).

#### РЕФЕРАТ

*Василь Федина, Сергій Бабкін, Валерій Ткаченко,  
НАУ, fedina@email.ua*

#### НОРМУВАННЯ ЧИСТОТИ Авіаційних ПАЛИВНО-МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНІЧНИХ РІДИН

Розглянуто сучасні існуючі методи і засоби контролю, нормування та очищення робочих рідин до необхідного рівня на фоні аналізу впливу твердих домішок на ресурс та працездатність агрегатів вузлів гідравлічних систем. Виділено найбільш поширені в світі (NAS-1638) і в Україні (ДСТУ ГОСТ 17216:2004) класифікації (стандарти) промислової чистоти робочих рідин.

Встановлено, що для більш повної оцінки впливу забруднень на працездатність і ресурс елементів гідравлічних систем їх можна і необхідно класифікувати не лише за кількісними, але і якісними ознаками, які характеризують ступінь дисперсності або подрібнення частинок забруднень. У зв'язку з цим, для зручності на практиці гранулометричну характеристику забруднень доцільно представляти коефіцієнтом подрібнення  $K_p$ .

**Ключові слова:** авіаційні палива, технічні рідини, забруднення.

#### РЕФЕРАТ

*Василий Федина, Сергей Бабкин, Валерий Ткаченко,  
НАУ, fedina@email.ua*

#### НОРМИРОВАНИЕ ЧИСТОТЫ Авиационных ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

Рассмотрены современные существующие методы и средства контроля, нормирования и очистки рабочих жидкостей до необходимого уровня на фоне анализа воздействия твердых примесей на ресурс работоспособность агрегатов и узлов гидравлических систем. Выделены наиболее распространенные в мире (NAS-1638) и в Украине (ДСТУГОСТ 17216: 2004) классификации (стандарты) промышленной чистоты рабочих жидкостей.

Установлено, что для более полной оценки влияния загрязнений на работоспособность и ресурс элементов гидравлических систем их можно и необходимо классифицировать не только по количественным, но и качественным признакам, которые характеризуют степень дисперсности или измельчения частиц загрязнений. В связи с этим, для удобства на практике гранулометрическую характеристику загрязнений целесообразно представлять коэффициентом измельчения  $K_p$ .

**Ключевые слова:** авиационные топлива, технические жидкости, загрязнения.

#### ABSTRACT

*Vasily Fedina, Sergey Babkin, Valery Tkachenko,  
NAU, fedina@email.ua*

#### PURITY REGULATION OF AVIATION FUELS AND LUBRICANTS AND TECHNICAL LIQUIDS CLEANLINESS

The modern existing methods and means of control, regulation and purification of working liquids to the required level on the basis of the analysis of the influence of solid impurities on the resource and operability of units and components of hydraulic systems were considered. The most widespread in the world (NAS-1638)

and in Ukraine (ДСТУ ГОСТ 17216:2004) classifications (standards) of industrial purity of working liquids were pointed.

It was found that for more complete assessment of the influence of pollutions on the operability and resource of hydraulic systems they must be classified not only on quantitative but also qualitative characteristics, which characterize the degree of dispersion or grinding particles of pollution. In this connection, for the purpose of convenience, granulometric characteristics of pollutions are represented by grinding coefficient.

**Key words:** aviation fuels, technical liquids, impurities.

УДК 662.75:621.593.3

#### **IV-9. ТЕРМООКИСНЮВАЛЬНА СТАБІЛЬНІСТЬ ПАЛИВ ДЛЯ ПОВІТРЯНО-РЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУЛЕРЕНУ**

*Валерій Єфіменко, Олександр Єфіменко*

Вуглеводні ПММ нафтового походження мають низьку хімічну та термоокиснювальну стабільність, тобто характеризуються підвищеною схильністю до окиснення, смолоосадоутворення. Встановлено, що стабілізація таких палив та олив традиційними інгібіторами недостатньо ефективна. Існує необхідність розроблення та впровадження додатків нового покоління для поліпшення експлуатаційних властивостей ПММ.

Із удосконаленням авіаційної техніки відбувається підвищення теплового навантаження двигунів і їх паливних систем, використання палива як робочого тіла для охолодження масла, радіолокаційної та іншої апаратури, тому особливо актуальним є питання контролю термоокиснювальної стабільності палив, під якою розуміють стійкість вуглеводнів до окиснення киснем повітря та мінімальну схильність смолоутворення.

Окисненню піддаються вуглеводні всіх класів, але з різною швидкістю та напрямом реакцій, а отже, і складом продуктів окиснення, що має велике значення для експлуатаційних властивостей палив.

Особливою відмінністю експлуатаційних властивостей палив є їх безпосередній зв'язок з надійністю авіаційної техніки. Правильна й швидка перевірка якості авіаційного палива за показником термоокиснювальної стабільності сприяє не лише забезпеченню надійної експлуатації двигунів і літаків, але й подальшому прогресу в області створення нових ефективніших зразків палив, розробки перспективних технологічних процесів їх виробництва.

Протягом останнього часу відбувся досить значний прогрес в технологічних процесах одержання та дослідження наноматеріалів, синтезу нанокластерів ряду металів, фулеренів вуглецевих нанотрубок, зроблений значний крок вперед в методах вивчення їх властивостей та застосування.

Один із напрямів сучасної хімічної технології, що найдинамічніше розвивається, пов'язаний з відкриттям і дослідженням фулеренів. Останнім часом їх вивченню приділяють багато уваги і це логічно. Адже відкриття нової алотропної модифікації вуглецю сприяло значному розвитку багатьох напрямків науки і техніки. Не минуло це відкриття й нафтохімію.

Застосування наноматеріалів у цій галузі є особливо перспективним напрямком. Так проводяться дослідження можливості застосування фулеренів в якості присадок та добавок, що значно поліпшують фізико-хімічні властивості палив.

Велика увага до фулеренів була зумовлена їх унікальними хімічними властивостями. Молекули побудовані з п'яти і шестикуткових фрагментів. П'ятикутники, що відсутні у шаровій структурі графіту, забезпечують замкнутість каркасів фулеренів. Найменш стабільними і тим самим найбільш доступними із фулеренів є фулерен C<sub>60</sub>. Молекула C<sub>60</sub> відноситься до ікосаедричної групи і представляє собою багатогранник, що має 12 – п'яти

20 – шести кутових граней, що своєю структурою та формою нагадує футбольний м'яч (рис. 1).

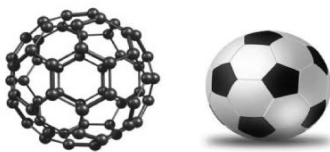


Рис. 1. Молекула фулерену C<sub>60</sub> і футбольний м'яч

Фулерени відрізняються високою хімічною інертністю по відношенню до процесу мономолекулярного розпаду. Так, молекула C<sub>60</sub> зберігає свою термічну стабільність до 1700К.

Проте, у присутності кисню окиснення цієї форми вуглецю до СО і СО<sub>2</sub> спостерігається вже при істотно нижчих температурах (близько 500 К). Процес приводить до утворення аморфної структури, в якій на одну молекулу C<sub>60</sub> припадає дванадцять атомів кисню, при цьому молекула фулерену практично повністю втрачає свою форму. При подальшому підвищенні температури до 700 К відбувається інтенсивне утворення СО і СО<sub>2</sub> і остаточне руйнування впорядкованих структур фулеренів.

Окисненню піддаються вуглеводні всіх класів, але з різною швидкістю та напрямом реакцій, а отже, і складом продуктів окиснення, що має досить велике значення для експлуатаційних властивостей палив.

Нагрівання палив за наявності кисню зменшує термоокиснювальну стабільність і призводить до виникнення твердої фази у вигляді осаду і смол, що, відкладаючись на деталях паливної системи, змінюють її характеристики і викликають забруднення паливних фільтрів та форсунок, заїдання золотникового регулятора, зниження ефективності теплообмінних пристроїв.

Тому з удосконаленням техніки виникла необхідність у розробці та дослідженнях модифікованих присадок – фулеренів для покращення окиснювальної стабільності палив.

Для оцінки впливу фулерену C<sub>60</sub> на антиокисні властивості палив проводили випробування відповідно до ГОСТ 11802 (рис. 2). Метод полягає в окисненні зразка палива в присутності міді як каталізатора у приладі ТСРТ-2 за температури 150 °С протягом 4 год наступною кількісною оцінкою утвореного осаду.

Апарат ТСРТ-2 – це металевий електротермостат, в якому розміщені чотири герметично закриті сталеві бомби з нержавіючої сталі. Для контролю герметичності на кожній бомбі встановлений манометр. Постійну температуру в апараті (150 °С) підтримують точністю  $\pm 2$  °С і контролюють термометром. Місткість однієї бомби становить 225– 250 см<sup>3</sup>, співвідношення обсягів палива і повітря в бомбі становить від 1:3 до 1:4 (на 50 см<sup>3</sup> палива від 175 до 200 см<sup>3</sup> повітря).



Рис. 2. Прилад для дослідження ТСРТ-2



Для проведення дослідів включають апарат ТРСТ-2 в електромережу, нагрівають до 150 °С, а потім поміщають туди підготовлені бомби з паливом. Через 1 год температура палива досягає 150 °С. Після закінчення 4 год від початку випробування бомби виймають з апарату і охолоджують до кімнатної температури. Потім бомби відкривають і паливо фільтрують та промивають розчинником. Після цього фільтри переносять в стаканчики, що застосовувалися для сушки і зважування фільтрів, та висушують фільтри до постійної маси.

Масову концентрацію осаду ( $C_{oc}$ ), мг на 100 см<sup>3</sup> розраховують за формулою:

$$C_{oc} = 2 (m_2 - m_1),$$

де  $m_1$  – маса стаканчика для зважування з чистим фільтром, мг;  $m_2$  – маса стаканчика для зважування з осадом на фільтрі, мг.

процесі дослідження спостерігали за зміною концентрації осаду залежно від концентрації фулерену, що додавали як присадку, для покращення антиокисних властивостей палива. Для дослідження було вибрано паливо Для ПРД. Результати випробування наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Термоокиснювальна стабільність палива РТ		
Склад	Концентрація фулерену, г/л.	Концентрація осаду, мг /100 см <sup>3</sup>
РТ	–	6
РТ+ C <sub>60</sub>	0,011	5,2
РТ+ C <sub>60</sub>	0,018	4,5
РТ+ C <sub>60</sub>	0,025	3,8
РТ+ C <sub>60</sub>	0,036	3,3
РТ+ C <sub>60</sub>	0,043	3,1

одержаних даних досліджень помітно, що додавання навіть незначної кількості фулерену як антиокиснювальний додаток, зменшує кількість осаду в паливі.

Використання фулеренів як антиокиснювальних додатків значно поліпшує фізико-хімічні властивості палив і є перспективним напрямом виконання наукових досліджень.

#### РЕФЕРАТ

*Валерій Єфименко, Олександр Єфименко,  
Національний авіаційний університет, e.valeri.ua@mail.ru*  
**ТЕРМООКИСНЮВАЛЬНА СТАБІЛЬНІСТЬ ПАЛИВ**

#### **ДЛЯ ПОВІТРЯНО-РЕАКТИВНИХ ДВИГУНІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ФУЛЕРЕНУ**

Нагрівання палив за наявності кисню зменшує їх термоокиснювальну стабільність і призводить до виникнення твердої фази у вигляді осаду і смол, відкладаючись на деталях паливної системи, змінюють її характеристики і викликають забруднення паливних фільтрів та форсунок, заїдання золотникового регулятора, зниження ефективності теплообмінних пристроїв. Наноматеріали, експлуатаційні характеристики яких значно перевершують природні, є основою просування людства по шляху прогресу. Тому з удосконаленням техніки виникла необхідність у розробці та дослідженнях модифікованих присадок – фулеренів, для покращення окиснювальної стабільності палив. Виконано дослідження термоокиснювальної стабільності палива РТ залежно від концентрації фулерену C<sub>60</sub>, що додавали як присадку. Результати досліджень показали, що додавання навіть 0,043 г /л фулерену в якості антиокиснювального додатку, зменшує кількість осаду в паливі майже вдвічі. Застосування фулеренів для покращення експлуатаційних властивостей нафтопродуктів є перспективним напрямком проведення наукових досліджень.

**Ключові слова:** фулерен, паливо для ПРД, термоокиснювальна стабільність, концентрація осаду.

## РЕФЕРАТ

*Валерий Ефименко, Александр Ефименко,*

*Национальный авиационный университет, e.valeri.ua@mail.ru*

### **ТЕРМООКСИЛИТЕЛЬНАЯ СТАБИЛЬНОСТЬ РЕАКТИВНЫХ ТОПЛИВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФУЛЛЕРЕНА В КАЧЕСТВЕ ПРИСАДКИ**

Нагрев топлив при наличии кислорода уменьшает их термоокислительную стабильность и приводит к возникновению твердой фазы в виде осадка и смол, которые, откладываясь на деталях топливной системы, изменяют ее характеристики и вызывают загрязнение топливных фильтров и форсунок, заедания золотникового регулятора, снижения эффективности теплообменных устройств. Наноматериалы, эксплуатационные характеристики которых значительно превосходят естественные, являются основой продвижения человечества по пути прогресса. Поэтому с усовершенствованием техники возникла необходимость в разработке и исследованиях модифицированных присадок – фуллеренов, для улучшения окислительной стабильности топлив. Проведено исследование термоокислительной стабильности топлива РТ в зависимости от концентрации фуллерену  $C_{60}$ , который добавляли как присадку. Результаты исследований показали, что добавление даже 0,043 г/л фуллерену

качестве антиокислительной присадки, уменьшает количество осадка в топливе почти вдвое. Применение фуллеренов для улучшения эксплуатационных свойств нефтепродуктов является перспективным направлением проведения научных исследований.

**Ключевые слова:** фуллерен, реактивное топливо, термоокислительная стабильность, концентрация осадка.

## ABSTRACT

*Valery Efimenko, Alexander Efimenko,*

*National Aviation University, e.valeri.ua@mail.ru*

### **THERMOOXIDATIVE STABILITY OF JET FUEL WITH FULLERENES AS AN ADDITIVE** Heating of fuels in presence of oxygen reduces their thermal-oxidative stability, leads to a solid phase in

the form of sludge and tar, which, sedimented at the details of the fuel system, change its characteristics and cause contamination of fuel filters and injectors, spool control sticking, reduce efficiency of heat exchangers. Nanomaterials, performance of which is considerably superior to the natural materials, are the basis for the movement of humanity's progress. Therefore, with a development of technologies it has become necessary to carry out a research of modified additives – fullerenes, to improve an oxidative stability of fuels. We have carried out an investigation of thermal-oxidative stability of fuel PT as a function of additive  $C_{60}$  concentration. The results has shown that even 0,043 g / fullerene addition as an antioxidant, reduces the amount of sediment in the fuel almost by half. Usage of fullerenes for improvement of petroleum products performance properties is a promising area of research

**Key words:** fulleren, jet fuel, thermooxidative stability, sediment concentration.

УДК 625.717.02:528.52 (043.2)

### **ІV-10. ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОНІТОРИНГУ ПОКРИТТІВ АЕРОДРОМІВ ВИКОРИСТАННЯМ ПОЛЯРИМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ**

*Андрій Белятинський, Дмитро Васильєв, Арсен Ключан*

даний час в Україні, і в світі загалом, набувають широкого застосування авіаперевезення. Така популярність авіаційних перевезень ставить перед авіаційною галуззю низку завдань: підвищення вантажопідйомності та швидкості польоту літаків, оптимізація маршрутів польоту, збільшення кількості рейсів та ущільнення потоку авіатранспорту, всепогодність та всесезонність польотів та багато інших. Але головним завданням, до цього часу, є завдання підвищення рівня безпеки польотів. Аналіз статистики авіаційних катастроф показує, що найбільш критичними етапами польоту ПС є етапи зльоту та посадки. На етап зльоту припадає до 12 % авіакатастроф та авіаційних інцидентів, а на етап посадки – до 49 %. Критичність цих етапів полягає в переході від руху ПС по поверхні злітно-посадкової смуги (ЗПС) до польоту – для етапу зльоту, та в переході від польоту ПС до його руху по

поверхні ЗПС – для етапу посадки. При чому на якість цих переходів суттєво впливає стан покриттів аеродрому. Таким чином безпека авіаперевезень у значній мірі залежить від належного стану аеропортів та їх здатності забезпечити відповідні умов для розміщення техніки на території аеродрому та для успішного виконання зльоту та посадки.

Штучне покриття аеродрому в цілому має відповідати наступним критеріям: забезпечувати достатню несучу здатність, забезпечувати хороші експлуатаційні якості, забезпечувати хороші характеристики щеплення, бути довговічним, характеризуватись легкістю обслуговування. Перший критерій стосується структури штучного покриття, другий – геометричної форми верхнього шару поверхні штучного покриття, третій – текстури фактичної поверхні і дренажу покриття, що знаходиться в мокрому стані, четвертий і п'ятий критерії крім економічного аспекту торкаються придатності штучного покриття для експлуатації ПС. Основними параметрами, що характеризують аеродромне покриття є: повздовжні та поперечні ухили, коефіцієнт щеплення, текстура поверхні, рельєф поверхні та інші. Повздовжні ухили під час зльоту чи посадки створюють складову сили тяжіння літака. Таким чином при рухові літака проти ухилу збільшується довжина розбігу і скорочується довжина пробігу, а при рухові по ухилу довжина розбігу зменшується

збільшується довжина пробігу. Поперечні ухили, з однієї сторони спричинюють зміщення результуючої вектора ваги ПС і вектора підйомної сили вбік, що в свою чергу знижує безпеку польотів, а з іншої сторони поперечні ухили забезпечують дренаж води з поверхні покриття, що підвищує коефіцієнт щеплення та підвищує безпеку польотів. Значення поперечних та повздовжніх ухилів строго регламентуються для кожного класу ЗПС. Коефіцієнт щеплення на поверхні аеродромного покриття тісно зв'язаний з коефіцієнтом гальмування повітряного судна. Він залежить від наступних факторів: текстури покриття, сезону року, забрудненості покриття, текстури пневматика коліс та інших. Зниження коефіцієнта щеплення веде до зниження рівня безпеки. Текстура поверхні аеродромного покриття – це найбільш важливий аспект поверхні штучного покриття з точки зору характеристик щеплення. Під час зльоту текстура впливає на довжину розбіг ПС через коефіцієнт тертя кочення коліс. А при посадці текстура впливає на довжину пробігу через коефіцієнт тертя гальмування коліс. Під рельєфом розуміються нерівності аеродромного покриття, що виникають під час його експлуатації. Оскільки під час експлуатації аеродромних поверхонь відбувається зміна параметрів, що його характеризують, то виникає потреба в проведенні періодичного їх моніторингу. Моніторинг текстури ЗПС забезпечує своєчасне проведення робіт по відновленню текстури, це в свою чергу підвищує безпеку

ефективність польотів. Необхідність моніторингу рельєфу викликана тим, що наявність нерівностей обумовлює додатковий рівень динамічних навантажень на конструкцію літака саме покриття. До того ж ці навантаження зростають зі збільшенням ваги і злітно-посадкової швидкості літака. Це призводить до більш інтенсивного руйнування аеродромного покриття і конструкції літака, особливо шасі і вносить обмеження в злітно-посадкову швидкість і вагу літака. На сьогодні одним з головних стримуючих факторів для збільшення вантажопідйомності літаків і швидкості польоту є неспроможність аеропортів забезпечити необхідні умови для успішного зльоту та посадки і забезпечити відповідні умови розміщення техніки на території аеропорту.

Підвищення інтенсивності руху ПС і скорочення часу для моніторингу аеродромних покриттів призвели до появи двох, здавалося б суперечливих, тенденцій в процесі визначення стану аеродромного покриття: підвищення точності та скорочення часу вимірювань. За останній період значно підвищилися вимоги до точності й швидкості отримання інформації про параметри аеродромного покриття. Більшість з параметрів, за якими проводиться оцінка придатності аеропортів до експлуатації, визначаються за результатами класичних геодезичних вимірювань, що характеризуються відносно високою точністю та низькою швидкістю проведення вимірювань. Тому актуальною є задача

розробка методів і приладів на їх основі, що дозволили б забезпечити проведення високоточних вимірювань з високою швидкістю.

Перспективною є розробка методів, що вимірюють мезорельєф всіх типів аеродромного покриття з точністю класичних методів геометричного і тригонометричного нівелювання і швидкодією вимірювань, що забезпечують супутникові системи. Швидкість вимірювань, тобто автоматизація процесу вимірювань в GPS системах забезпечується тим, що в точці координати якої ми вимірюємо відсутня необхідність фокусування електромагнітного випромінювання, що несе необхідну інформацію. Відпадає необхідність покрокових вимірах із зупинкою системи, що присутні в точних методах тригонометричного і геометричного вимірювань. Крім того, в точці виміру система вимірює або приймає потрібну інформацію, при цьому відсутні просторові орієнтири (рівні, акселерометри, гіроскопи), що також вимагають значного часу для відновлення режиму роботи. У супутникових методах інформація знімається за допомогою фазових методів вимірювання параметрів електромагнітного випромінювання, а навігаційні прилади не потрібні, тому що в кожен момент часу координати супутників відомі. При вимірах середньоквадратична помилка не перевищувала 1 см, а час вимірювання всієї доріжки 4–5 хв. Прилади супутникового позиціонування, що працюють у рухомому режимі, дозволяють виконати вимірювання з дискретом запису в 1 сек.

даний час для вимірювання поздовжнього профілю використовується мікронівелір, якому використовується електронний акселерометр, що сприймає будь-яке прискорення, тому числі і гравітаційне. Акселерометр визначає кут нахилу чутливого елемента щодо горизонтального положення. Використовуючи фіксовані, з високою точністю відстані між опорними точками і вимірний кут нахилу в точці виміру, виконуються обчислення визначається профіль з високою точністю. При проведенні таких вимірів з використанням, наприклад, електронного мікронівеліра Dipstick-2000 були отримані такі результати: на зйомку двох поздовжніх профілів ШЗПС довжиною 2500 м з кроком зйомки 0,5 м витрачається 12–15 год безперервної роботи. За результатами порівняльного аналізу було встановлено, що похибка визначення різниці висот точок, віддалених на відстань до 1 км. при зйомці з кроком 0,5 м. становить не більше 2 мм. При цьому з'являється можливість роботи в темний час доби, тобто в період найменшої інтенсивності польотів, яка практично відсутня під час використання традиційних геодезичних методів.

Однак потреба в геодезичній інформації постійно зростає, пред'являючи нові вимоги як до обсягу та оперативності поновлення геодезичних даних про аеродром. Найбільш важливими на сьогодні є наступні параметри:

оцінка деформаційних характеристик штучного покриття ЗПС, руліжних доріжок (РД) перону;

результати нівелювання для оцінки рівності покриття та побудови профілю ЗПС; координати і висоти порогів для визначення геометричних характеристик ЗПС, кордонів областей приземлення, істинного і магнітного азимутів.

Наземні вимірювання можна також робити швидко, якщо за аналогією з супутниковими вимірювати не направлення розповсюдження електромагнітної хвилі, а азимут площини поляризації електромагнітної хвилі, тобто використовувати поляриметричні методи вимірювань. У цій роботі пропонується новий метод визначення найбільш важливих геодезичних характеристик ВВП, в першу чергу вимірювання поздовжнього і поперечного профілю, відхилення від горизонту і рівністю покриття ЗПС. Метод заснований на вимірюванні кута обертання площини поляризації світлового пучка, так званий ізометричний метод. Сучасні поляризатори використовують парамагнітні кристали, що вимагають великі управляючі потужності, і при цьому кут модуляції площини поляризації невеликий, що не дозволяє зробити малогабаритний, малопотужний прилад, що працює при великих засвіченнях. Тобто використання парамагнетиків не дозволяє створити прилад, що працює в польових умовах.

Перспективними матеріалами для використання в фотополариметрах є синтезовані для радіотехнічних цілей феримагнетики, які прозорі не тільки в радіо і НВЧ діапазонах, але в оптичному, зокрема в ближньому ІЧ діапазоні. Поворот площини поляризації в оптично прозорих феритах досягає 100° і більше при керуючих магнітних полях порядку 100– 200 А/м. При дослідженні цих матеріалів було виявлено ряд переваг: зокрема різке зниження потужності керуючих сигналів і зменшення вимог до яскравості оптичного каналу за рахунок збільшення кута обертання площини поляризації світла.

Коли було виявлено, що феромагнетики прозорі в ІЧ діапазоні і володіють великим поворотом площини поляризації світлового променя, що проходить через нього, при малих керуючих потужностях, була відпрацьована методика використання цих матеріалів для створення фотополариметра, здатного працювати в польових умовах. Блок-схема одного з таких фотополариметрів представлена на рис. 1. До створення фотополариметра (рис. 1), поляриметричні методи використовувалися в геодезичних вимірюваннях. У 1949 році був розроблений поляризаційний небесний компас для роботи в денний час у районах, близьким до магнітних полюсів Землі, де магнітні комплекси майже непридатні, немає радіоапаратури для визначення напрямку і неможливо пряме спостереження Сонця, наприклад, в умовах сильної, але не суцільної хмарності або коли Сонце вже знаходиться за горизонтом. Його дія заснована на тому факті, що переважний напрямок коливань світла, розсіяного блакитним небом, перпендикулярний площині, в якій знаходиться Сонце і напрямоку спостереження. Знайшовши напрямок переважних коливань світла і взявши до уваги час дня, можна визначити дійсний напрям руху. У 1953 р. Кембелл описав модифікації цього приладу, призначеного для геологів. Точність приладу .

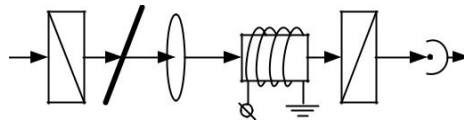


Рис. 1 – Блок-схема фотополариметра

1 – джерело плоскополяризованого випромінювання; 2 – плоскопаралельна діелектрична пластина; 3 – фокусуюча лінза; 4 – комірка фарадея (модулятор); 5 – аналізатор; 6 – фотоприймач

даний час найвищі вимоги по точності пред'являються до значень висот порогів ЗПС – до 0,3 м. Забезпечити таку точність можна, використовуючи спільно апаратуру супутникового позионування і геодезичного нівелювання. Маючи значення порогів у всіх системах висот, побудова профілю осі ЗПС може бути виконана будь-яким з відомих методів.

За допомогою поляриметричного методу вимірювань у наземній геодезії та інших галузях вирішується задача забезпечення високоточного і одночасно неперервного та швидкого процесу вимірювання.

Вираз для гіромагнітного ефекту Фарадея в оптично прозорих феромагнетиках має вигляд:

$$\frac{\sqrt{2}}{c} M, \quad (1)$$

Для світлового променя що пройшов через фотополариметр (рис. 2.) вектор Стокса дорівнює:

$$(V_e)_{пр} [P_A] [P_M] (V_i) \quad (2)$$

де  $(V_i)$   $\Phi_0(1 - \cos 2 \quad \sin 2 \quad 0)$  – вектор Стокса падаючого променя;  $\Phi_0$  – енергія світлового потоку на вході системи;  $[P_M]$ ,  $[P_A]$  – відповідно матриці, що описують властивості модулятора та аналізатора.

Забезпечення точності вимірювань досягається завдяки застосуванню поляриметра, забезпечення швидкості – наявності рухомої основи, на яку встановлено поляризатор і джерело світла. Конструктивно основа може бути представлена у вигляді візка, колеса або іншого рухомого об'єкта.

На рис. 2. представлена загальна схема поляриметричного методу вимірювання рельєфу поверхні. Аналізатор, розташований на візку приймає плоско поляризоване випромінювання. Площина поляризації (напрямок вектора  $\vec{E}$ , електромагнітної компоненти світлового потоку) збігається з площиною платформи, а сам промінь поширюється перпендикулярно площині поляризації. У процесі руху площина платформи і відповідно площина поляризації будуть змінювати свій напрям відповідно до рельєфу покриття. Кут повороту площини поляризації світла (отже, напрямку платформи і напрямку дотичній до рельєфу в області розташування рельєфу) вимірюється за межами рухомої системи в стаціонарних умовах, що дозволяє проводити вимірювання з точністю до десятків секунд. Знаючи напрямку дотичної до рельєфу, обчислюється і сам рельєф. Таким чином, підвищується точність та швидкість вимірювань.

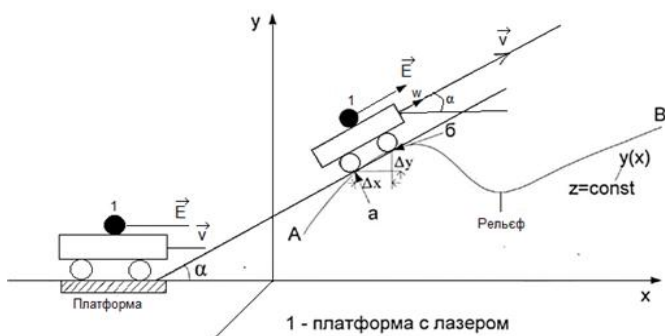


Рис. 2. Загальна схема поляриметричного методу вимірювання рельєфу поверхні

Запропонований метод забезпечує значне зменшення витрат часу на проведення вимірювальних робіт, так як він передбачає майже повну їх автоматизацію. Метод також забезпечує винесення обробки результатів вимірювання за межі області вимірювань, що дає змогу проводити вимірювання з високою точністю. Він дозволяє при необхідності проводити експрес-моніторинг місцевості, рельєф якої постійно змінюється, наприклад, ЗПС на аеродромі. Схема поляриметричного вимірювача рельєфу ЗПС представлена на рис.3.

Реєструючи зміну кутів падіння променів  $\alpha$ , отже, і положення аналізатора в просторі визначаємо кути нахилу візка, що відповідно рівні кутам нахилів рельєфу і відповідають нерівностям пройденого шляху. Реєструючи значення цих кутів отримаємо відповідні значення перепаду напруги на виході фото чутливих елементів (переводимо кути в напругу). Здійснення синхронної передаючі значення напруг із трьох аналізаторів і значення пройденого шляху за допомогою радіо передатчика (або зберігаючи дані на флеш пам'ять), встановленого на візку, дозволяє забезпечити прив'язку вимірюваних кутів до відповідних координат. Після закінчення процесу вимірювання проводиться аналіз та моделювання вимірюваного рельєфу за допомогою комп'ютерної техніки. На основі обробки даних визначаються значення параметрів, що характеризують рельєф.

Таким чином, у роботі розглянуті існуючі пристрої для вимірювання рельєфу штучних покриттів аеропортів та запропоновано поляриметричний метод і поляриметричний вимірювач рельєфу поверхні. Використання запропонованого методу дозволить потенційно підвищити точність та швидкість вимірювань рельєфу штучних покриттів аеропортів, а також дозволить забезпечити їх повну автоматизацію.

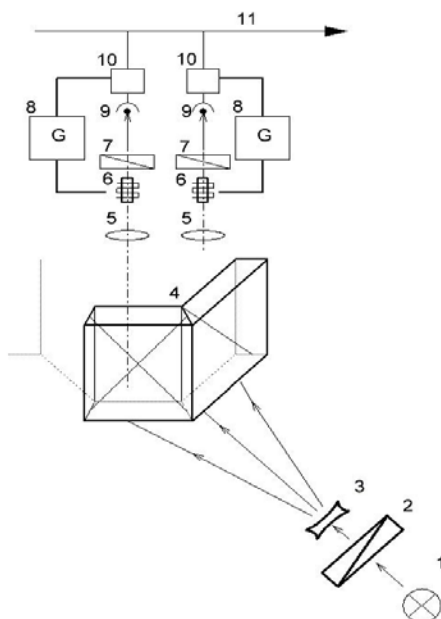


Рис. 4. Блок-схема поляриметричного вимірювача рельєфу:

- 1 – джерело плоскополяризованого випромінювання; 2 – поляризатор; 3 – розсіююча лінза; 4 – кварцева пластина; 5 – фокусуюча лінза; 6 – комірка фарадея (модулятор); 7 – аналізатор; 8 – генератор; 9 – фотоприймач; 10 – підсилювач; 11 – вихідна шина даних.

## РЕФЕРАТ

Андрій Белятинський, Дмитро Васильєв, Арсен Ключан, Національний авіаційний університет, freimaster.af@gmail.com

### ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ МОНІТОРИНГУ ПОКРИТТІВ АЕРОДРОМІВ ВИКОРИСТАННЯМ ПОЛЯРИМЕТРИЧНОГО МЕТОДУ ВИМІРЮВАННЯ

Досліджується метод вимірювання ухилів та рівності поверхні за зміною площини поляризації.

Визначаються напрями підвищення ефективності моніторингу аеродромного покриття, виявлення його невідповідності вимогам, що виникають під час експлуатації ЗПС.

Досліджуються технічні можливості створення засобів реалізації методу. Наводяться приклади характеристик можливої елементної бази основних світлочутливих вузлів пристрою, для реалізації поляриметричного методу вимірювання.

Наводяться основні характеристики оптичної системи приладу, у котрому може бути реалізовано поляриметричний метод вимірювання. Розглянута схема моделі вимірювань рельєфу штучних покриттів в районі аеродрому.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – підвищення регулярності та інтенсивності експлуатації ЗПС, зменшення кількості авіаційних пригод в районі аеродрому.

**Ключові слова:** вимірювання рельєфу, мікрорельєф, ферити, поляризація, фотополіариметр.

## РЕФЕРАТ

*Андрей Белятинський, Дмитрій Васильєв, Арсен Клочан,  
Национальный авиационный университет, freimaster.af@gmail.com*

### **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОНИТОРИНГА ПОКРЫТИЯ АЭРОДРОМОВ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЛЯРИМЕТРИЧЕСКИЕ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЯ**

Исследуется метод измерения уклонов и ровности поверхности за изменением плоскости поляризации.

Определяются пути повышения эффективности мониторинга аэродромного покрытия, выявление его несоответствия требованиям, возникающим при эксплуатации ВПП.

Исследуются технические возможности создания средств реализации метода. Приводятся примеры характеристик возможной элементной базы основных светочувствительных узлов устройства, для реализации поляриметрического метода измерения.

Приводятся основные характеристики оптической системы прибора, в котором может быть реализовано Поляриметрический метод измерения. Рассмотренная схема модели измерений рельефа искусственных покрытий в районе аэродрома.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования – повышение регулярности и интенсивности эксплуатации ВПП, уменьшение количества авиационных происшествий в районе аэродрома.

**Ключевые слова:** измерение рельефа, микрорельеф, ферриты, поляризация, фотополяриметр.

## ABSTRACT

*Andrei Bieliatynskiy, Dmitry Vasiliev, Arsen Klochan,  
National Aviation University, reimaster.af@gmail.com*

### **IMPROVING OF MONITORING EFFICIENCY OF AIRFIELD SURFACE BY USING POLARIMETRIC MEASUREMENT METHOD**

There is studied the method of measuring surface slope and flatness by measuring the change of plane polarization.

Ways to improve monitoring of aerodrome coverage are identified. Non-compliance of its quality to requirements, which arise during the operation of the runway, are also identified.

There is studied the possibility of creating technical means to implement the method. Performance examples of performance possible components of basic units of light-sensitive device to implement polarimetric measurement method.

The basic characteristics of the optical system of the device are pointed, which can be implemented polarimetric measurement method. Schematics measurement model of artificial surfaces relief near the airport is considered.

Assumptions about development of the object of study, such as increasing the regularity and intensity of exploitation of runway, reducing the number of aviation accidents near the airport are made.

**Key words:** measuring relief, micro-relief, ferrite, polarization, photopolarimeter.

УДК 665.7.035.7

## **IV-11. ПРОБЛЕМИ ЧИСТОТИ АВІАЦІЙНИХ ПММ ТА БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ**

*Сергій Зозуля*

Вимоги різних країн до кондиційності палива дуже великі. Як приклад наведемо таблицю 1 у якій вказані вимоги до чистоти палива для ПРД, вкладені в стандартах та специфікаціях різних країн.

Зміна якості нафтопродукту під час зберігання залежить від їх хімічного складу, умов зберігання, конструктивних особливостей технічних засобів і стану їх поверхні, що контактує з нафтопродуктом.

Під дією зовнішніх факторів у нафтопродукту проходять хімічні та фізичні процеси. Основними фізичними процесами являються: випаровування, розшарування, забруднення механічними домішками, наявність води, випадання високоплавких компонентів при охолодженні, а також випадкове змішування в резервуарах і при послідовній перекачці по трубопроводам НП різного сорту, наприклад, РП й бензину. У більшості випадків ці процеси



приводять до безповоротного змінення кондиційності НП. Основні хімічні процеси, наступні: окислення, розклад, полімеризація й конденсація, корозія. При протіканні в НП цих процесів можливе таке погіршення якості: виділення гетерогенної рідкої й твердої фаз, поважання фракційного складу, збільшення забрудненості, обводнення, зміна хімічного складу і фізичних властивостей, збільшення кислотності, смол і осадів, накопичення продуктів корозії та інші.

Розглянемо детальніше фізичні й хімічні процеси:

**Випаровування.** Втрати палива від випаровування обумовлені їх випаровуваністю. Випаровуваність характеризує здатність палива переходити з одного агрегатного (рідкого) інше (пароутворене). Повна оцінка випаровуваності палив одним конкретним показником, що охопив би всі характерні сторони процесу випаровування, неможлива. Про випаровуваність того чи іншого нафтопродукту прийнято судити за ТНП, фракційним складом, теплою випаровування, ентальпією, теплоємністю та низкою інших фізичних параметрів. Кінетику випаровування палива прийнято характеризувати, насамперед, тиском насичених парів і коефіцієнтом дифузії.

Таблиця 1

Вимоги деяких фірм і країн до чистоти РП, викладені в стандартах та специфікаціях

Найменування країн, фірм та їхніх стандартів і специфікацій	Допустима норма вмісту механічних домішок	Допустима норма вмісту води, %
Англійська фірма British Petroleum	Не більше 0,00024 %	Не більше 0,0015
Англійські повітряно-військові сили Рекомендації ІСАО	0,0001 (відсутність частинок більших за 5 мкм). Не більше 0,00012 %	Не більше 0,003
Специфікація США: Mil-F-8901-1961 Mil-I-5624-1961 Mil-T-56248-1965 Mil-N-831333-1967	Не більше 0,5 мг/л (максимальний розмір частинок 5 мкм.) Не більше 1,3 г/т Не більше 0,00013 мг/л Не більше 0,00012 мг/л	Не більше 0,0015 - - -
Канадські стандарти: 3-ср-221 (для довідки); 3-ср-242 (для зберігання)	Не більше 0,00024 мг/л Не більше 0,0012 мг/л	- -
Фірма ЕССО-1969	Не більше 0,00006 №	0,003
Паливний центр США	Не більше 0,000025 №	-
Фірма Millipor	Розмір частинок, мкм: 5–10 10–25 25–50 50–100 Більше 100	Число частинок (100 см <sup>3</sup> ) Не більше: 4600 1840 210 28 3
ГОСТ 10227-86, п. 21	Відсутність механічних домішок. Паливо в скляному циліндрі діаметром 40–50 мм при розгляді його в прохідному світлі не повинно вміщувати зважених й осілих на дно циліндра зайвих домішок і води	Відсутність вільної води
Наказ Міністра цивільної авіації за № 265 від 17.12.84 р.	Не більше 0,0002	0,003

**В'язкість.** Одним із найважливіших показників, що дозволяє визначити порівняльну характеристику схильності палива різного вуглеводного складу й втратам від випаровування, є ТНП. Присутність низькокиплячих фракцій, що обумовлюють кінетику випаровування палива, оцінюється цим показником.

Для товарного моторного палива, що являє собою суміш великої кількості різних вуглеводів, ТНП залежить від їх складу і тиску пари всіх складових вуглеводів, а також співвідношення об'ємів рідкої V<sub>ж</sub> і парової V<sub>п</sub> фаз. А в насиченому парі вміщується більше низькокиплячих компонентів, чим у рідині (згідно 1-му закону Коновалова). Отже, рідка фаза збагачується більш висококиплячими компонентами. Тому, за малих співвідношень V<sub>п</sub>/V<sub>ж</sub> у паровій фазі вміщується більше низькокиплячих фракцій, і навпаки. Тобто, залежність ТНП від об'єму парової фази прямо зв'язана із фракціонуванням палива в процесі випаровування. Отже, другим важливим показником випаровуємості палива являється фракційний склад, що обумовлюється їх груповим складом різних вуглеводів із різними температурами кипіння.

Густина нафтопродукту поряд з фракційним складом є найважливішим фізичним показником і в низці випадків експлуатаційним (під час перерахування об'єму й маси палива місцях виробництва, споживання й транспортування). За густиною непрямо можна судити про груповий склад палива, а отже, і про його випаровуваність.

В'язкість тої чи іншої речовини являє собою усереднене значення в'язкостей складових його компонентів. Більше випаровування буде мати паливо з меншою в'язкістю, і навпаки. Як правило, випаровування палива відбувається з поверхні рідини. А для описання поверхневих явищ необхідний показник поверхневого натягу.

Процес випаровування в основному зв'язаний з підводом чи відводом тепла. Отже, під час оцінки випаровуваності нафтопродукту важливе значення мають його теплові властивості. До таких показників відносяться теплоємність і теплота пароутворення палива. Таким чином, маючи набір таких фізико-хімічних і теплофізичних показників як тиск насичених парів, фракційний склад, густина, в'язкість, поверхневий натяг, теплоємність і теплота пароутворення можна отримати загальне бачення про випаровування того чи іншого виду палива. А виходячи з цього можна скласти якісну характеристику втрат нафтопродукту від випаровування.

Швидке випаровування і пов'язане з цим погіршення кондиційності палива спостерігається під час зберігання в резервуарах, що мають нещільності. При правильному зберіганні випаровування можна звести до мінімуму. Ефективним засобом зменшення випаровування і зберігання кондиційності нафтопродукту є виконання спеціальних технічних заходів – зберігання в резервуарах з підвищеним тиском, з плаваючими дахами й понтонами, в заглиблених резервуарах, а також застосування мікрополіх кульок із пластмаси, захисних емульсій і поверхнево-активних плівок, головної обв'язки, відбивально-теплової ізоляції і спеціальної покраски резервуарів.

**Забруднення.** Змінення кондиційності через процеси забруднення залежать від властивостей нафтопродукту, визначаються в основному умовами зберігання, а також забрудненістю зовнішнього середовища. При зберіганні, перекачках всередині складу повинні бути створені умови, що можливо повністю обмежать попадання води, бруду, піску та інших забруднень до складу нафтопродукту. Невиконання цих умов заздалегідь зв'язано з поганим станом технічних засобів і низької кваліфікації обслуговуючого персоналу. При зниженні температури інколи спостерігається виділення високоплавких компонентів і деяких присадок. Ці процеси зворотні, тому нагріванням можна відновити якість нафтопродукту.

**Змішування.** Паливо під час змішування з іншими нафтопродуктами або технічними рідинами може бути зіпсоване. Найбільш сильно якість змінюється під час змішування нафтопродукту, що значно відрізняються по фізико-хімічним властивостям. На складах ПММ такі випадки поодинокі і спостерігаються при неправильному керуванні перекачками всередині складу, а також процесами видачі й приймання палива.

**Розшарування.** Зміна якості внаслідок процесів розшарування для палива не характерно, оскільки вуглеводи в основному добре розчиняються один в одному. Ці процеси більш характерні для сумішей вуглеводів із погано розчинними в них органічними речовинами, особливо за низьких температурах. Процеси розшарування характерні для деяких технічних рідин.

Таким чином, фізичні процеси можуть призвести до значного погіршення якості нафтопродуктів.

**Термоокиснювальна стабільність.** Визначення термоокиснювальної стабільності палива в динамічних умовах (ГОСТ 17751). Стабільність палива визначають на приладі ДТС-1М, головними працюючими вузлами якого є підігрівач і контрольний фільтр. Суть цього способу полягає в тому, що паливо, що випробовується в процесі одноразової перекачки по системі трубопроводів приладу нагрівається до визначеної температури,

окиснюється розчиненням в паливі киснем. Утворений в процесі окислення осад і смоли відкладаються на трубці підігрівача, що омиває паливо, також залишається на фільтрі, при цьому впливає на зміну кольору трубки і забрудненість фільтра.

**Окиснення.** Значно погіршується якість палива внаслідок процесів окиснення. Цим процесам можна запобігти, якщо із рідкого й газового середовища нафтопродуктів видалити кисень. Однак під час зберігання десятків, тисяч тонн палива це рішення стає практично важковтілюваним. У наш час зберігання здійснюється в середовищі повітря, і окиснення – одна з найважливіших причин зміни якості палива.

Негативним наслідком процесу окиснення є утворення смол і осадів, що погіршують експлуатаційні властивості палива. Нажаль, спеціальними технічними засобами, що застосовуються в наш час (зменшення газової фази, зниження температур і т.ін.), можна лише уповільнити процеси окиснення, повністю їх видалити не вдається навіть найбільш кваліфікованому технічному персоналу при використанні сучасного обладнання. Важко піддаються обмежуванню й процеси корозії конструктивних матеріалів при контакті з ПММ. Присутність у них сіркоорганічних з'єднань (особливо меркаптанів, сірководню), кислот (карбонових, сульфокислот) і води прискорює процеси корозії. Продукти корозії забруднюють паливо і погіршують їх кондиційність.

Таким чином, під час виконання даного літературного огляду ми дійшли висновків:

За результатами аналізу впливу якості палива на термогазодинамічні параметри робочого процесу двигуна та на технічний стан конструктивних вузлів проточної частини ТРДД встановлено наступне: - якість палива впливає на коефіцієнт повноти згорання ППС;

фізико-хімічний склад палива впливає на питомі показники двигуна (питома витрата палива зростає, питома тяга – зменшується); - низька термостабільність палива призводить до коксування робочих паливних форсунок, та як наслідок, до прогару конструктивних вузлів проточної частини двигуна, а саме: камери згорання, турбіни.

## РЕФЕРАТ

*Сергій Зозуля,*

*Національний авіаційний університет, sergeyzo@ukr.net*

### **ПРОБЛЕМИ ЧИСТОТИ АВІАЦІЙНИХ ПММ ТА БЕЗПЕКИ ПОЛЬОТІВ**

статті розглянута проблема впливу чистоти авіаційних палив на надійність роботи паливних систем літаків. Охарактеризовано основні причини зміни якості палив під час зберігання, транспортування та використання. Вказано, як оскільки процеси впливають на рівень чистоти авіаційних палив. Також охарактеризовано вплив випаровування на якість палив.

**Ключові слова:** чистота, авіаційні палива, окиснення

## РЕФЕРАТ

*Сергей Зозуля,*

*Национальный авиационный университет, sergeyoz@ukr.net*

### **ПРОБЛЕМЫ ЧИСТОТЫ АВИАЦИОННЫХ ГСМ И БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЕТОВ**

статье рассмотрена проблема влияния чистоты авиационных топлив на надежность работы топливных систем самолетов. Охарактеризованы основные причины изменения качества топлив при хранении, транспортировке и использовании. Указано, как оскини процессы влияют на уровень чистоты авиационных топлив. Также охарактеризованы влияние испарения на качество топлива.

**Ключевые слова:** чистота, авиационные топлива, окиснение

## ABSTRACT

*Sergey Zozulya,*

*National Aviation University, sergeyoz@ukr.net*

### **CLEANLINESS PROBLEMS OF AVIATION FUEL AND LUBRICANTS AND SAFETY FLIGHTS**

The problem of aviation fuels purity influence on aircraft's fuel system operation reliability is analyzed in the article. The main causes of changes in fuel quality during storage, transport and use are characterized. Mechanism of oxidizing processes affect on the level of purity of aviation fuel is shown. The impact of evaporation on the quality of fuels is discussed.

**Key words:** cleanliness, aviation fuels, oxidizen.

УДК 629.735.03.063

### **IV-12. ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВНИХ СИСТЕМ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВ З ПІДВИЩЕНОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОЧАТКУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ**

*Олена Матвєєва*

Технологія виробництва палива для ПРД потребує змін через дефіцит нафти в Україні та світі, тому важливим є вдосконалення процесів переробки нафти втіленням нових технологій, що будуть давати більший вихід продуктів переробки. Це може призвести до зміни експлуатаційних властивостей, розширення фракційного складу, підвищення температури початку кристалізації (ТПК).

Зупинимося на одному з найвідповідальніших за працездатність паливної системи літака показників якості при дії низькотемпературного чинника – показнику ТПК. Дослідженнями визначено, що по ступеню значущості в межах відповідності заправляемого палива нормативним вимогам ДСТУ він є визначальним у забезпеченні працездатності паливної системи дозвукових літаків.

Сьогодні, коли питання раціонального забезпечення енергоносіями вкрай актуальне, підвищення ТПК дозволило б збільшити вихід палива з нафтової сировини, на жаль відсутній системний аналіз методів забезпечення експлуатаційної надійності паливних систем при використанні палив зі зміненою ТПК. Таке систематизаційне дослідження дозволило б, на нашу думку, не тільки визначити особливості широкого застосування вище означених палив та методіку відповідного забезпечення експлуатаційної надійності техніки, й вести обґрунтовану розмову про зміни в нормативній базі щодо виробництва реактивних палив, підготовки палива до заправлення тощо.

Умови експлуатації літаків досить різноманітні. Під час перебування на землі та при невеликих швидкостях польоту паливо може піддаватися значному охолодженню, особливо баках-кесонах. Це явище є небажаним через можливе порушення подавання палива двигун внаслідок підвищення в'язкості палива, утворення кристалів високоплавких вуглеводнів та кристалів льоду з води, що знаходиться в паливі у розчиненому стані.

Як відомо, максимально допустима температура початку кристалізації реактивних палив обумовлена умовами їх застосування та конструкцією паливної системи ПС. А ступінь охолодження палива на кожному типі ПС залежить від низки чинників, основними з яких є:

- температура навколишнього повітря;
- швидкість, висота та тривалість польоту;
- компонування та конструктивне виконання паливних баків;
- порядок вироблення палива з баків;
- початкова температура та об'єм палива.

Дослідженнями та експлуатаційною практикою встановлено, що максимальна інтенсивність зниження температури палива ( $10\text{--}20\text{ }^{\circ}\text{C}$  за год) спостерігається в перші години польоту, потім швидкість охолодження зменшується до  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  за год. Проте, під час заправлення паливом, що має температуру в межах мінус  $5$  до  $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ , після 5 -годинного польоту ПС температура палива знижується максимум до мінус  $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а під час більш довготривалих польотів – до мінус  $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

На даному етапі в експлуатації ПК використовується керування висотою польоту та його швидкістю для зміни інтенсивності охолодження палива та досягнення критичної температури у баках паливної системи. Критична температура під час використання палива повинна бути вища на  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  від температури початку кристалізації.

Що ж стосується польотів на паливах з підвищеною ТПК, то вони виконуються з визначеними обмеженнями по тривалості часу. Так, для попередження кристалізації палива польоті на літаках, необладнаних засобами контролю температури палива у баках, потрібно обмежувати тривалість польоту в залежності від температури заправленого палива: за температур заправленого палива до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  тривалість польоту не повинна перевищувати 2,5 год, за температур до мінус  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 2 год, за температур до мінус  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  – 1,5 год.

Проведені дослідження зміни температури палива для ПРД в експлуатаційних умовах дозволили авторам фізико-математично визначити ступінь охолодження палива в залежності від початкової температури палива, ступеню наповнення паливних баків, їх конструктивного виконання, тривалості польоту. Взнявши за основу дані залежності нами було отримано графічну залежність (рис. 1) зміни температури палива літака в процесі виконання польоту за умов заправлення паливом з температурою  $15\text{ }^{\circ}\text{C}$  (1) та  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (2). Як бачимо, різниця

температурах спостерігається приблизно до 5 годин польоту, після чого при досягненні температури в баках мінус  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , вони співпадають. При досягненні паливом першої критичної температури ( $t_{кр1} = \text{мінус } 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), що приймається коли використовується паливо

температурою початку кристалізації мінус  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , враховуючи існуючу експлуатаційно-льотну практику, літаку необхідно знизити висоту польоту для відповідного збільшення температури загальмованого повітря, у зв'язку з чим температура палива протягом певного часу починає зростати (3, 4).

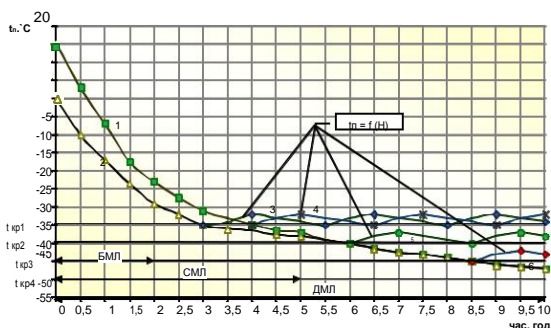


Рис. 1. Зміна температури палива в баках літаків під час застосування експлуатаційних обмежень

рисунок видно, що для ближньомагістральних літаків (БМЛ), тривалість польоту яких, як правило, не перебільшує двох год, можна рекомендувати використання без обмежень палива з ТПК мінус 40 °С. Температура заправленого в даному випадку не визначальна.

Для середньомагістральних літаків (СМЛ) вона є важливим чинником, бо видно, що залежність (2) запізнюється від залежності (1) приблизно на годину, а для літаків цього типу тривалість польоту складає від 3 до 6 годин, причому, температури зрівнюються приблизно на шостій годині польоту. На підставі цього можна запропонувати заправляти літаки

паливом з ТПК мінус 40 °С паливозаправниками, що відстоювалися в теплих боксах холодний період року для забезпечення температури заправляемого палива більше 5 °С. До того ж для СМЛ можна дозволити використання без обмежень палива з ТПК мінус 45 °С.

Що ж стосується дальньомагістральних літаків (ДМЛ), тривалість польоту яких складає до 10 год, можна вважати, що зміна ешелонів польоту під час використання палива з ТПК мінус 40 °С не є вирішенням проблеми забезпечення працездатності паливних систем, хоча беручи до уваги масу заправленого палива, процес охолодження в таких літаках буде проходити повільніше, ніж для БМЛ, СМЛ. На наш погляд, важливими для цього випадку є як організація оптимального випрацювання палива з баків, особливо прикінцевих, де вірогідність застигання палива найбільша, так і обладнання паливних систем системами стабілізації температури.

Як вже зазначалося, проведені експериментальні дослідження гідромеханічного впливу на низькотемпературні властивості вуглеводневих палив показали, що при безперервному перемішуванні палива струменевим насосом різке наростання в'язкості відбувається при температурах нижче ТПК приблизно на 8 °С, тобто більш низьких температурах, ніж при охолодженні в статичному стані. На нашу думку встановлений ефект від безперервного перемішування палива струменевим насосом представляє собою практичний інтерес. Ми згодні з авторами, що його використання можливе за умови вдосконалення паливних систем ПС забезпеченням транзитного перекачування палива

паливних баків останньої черги випрацювання, при цьому можливим є пониження обмеження для критичної температури палива у баках на 8 практично 10 °С, що дозволить збільшити максимальну тривалість польотів не менш ніж на 2 год і практично вирішити проблему застосування палив з підвищеною ТПК для БМЛ, СМЛ без відповідних льотних обмежень.

Виконання польотів на БМЛ, що становлять 64 % від всього авіапарку нашої країни, не потребує додаткової модернізації паливних систем ПК при застосуванні палив з підвищеними ТПК навіть за умов заправлення паливом з від'ємною температурою, тому що за час виконання рейсу температура палива в баках літака не встигне досягти температури початку кристалізації.

Розробка системи організаційно-технологічних заходів дозволить створити передумови для забезпечення надійного рівня працездатності паливних систем під час застосування палив з підвищеною ТПК та запропонувати зміни в нормативній базі щодо виробництва палив для ПРД у перспективі.

## РЕФЕРАТ

*Олена Матвєєва,*

*Національний авіаційний університет, mol@nau.edu.ua*

### **ПРОБЛЕМИ НАДІЙНОСТІ Авіаційних ПАЛІВНИХ СИСТЕМ ПІД ЧАС ВИКОРИСТАННЯ ПАЛІВ З ПІДВИЩЕНОЮ ТЕМПЕРАТУРОЮ ПОЧАТКУ КРИСТАЛІЗАЦІЇ**

Розглянуто питання чутливості паливних систем літаків щодо використання палив з підвищеною температурою початку кристалізації. Наведено аналіз заходів, що дозволяють експлуатувати такі палива. Визначені експлуатаційні обмеження застосування палив з підвищеною температурою початку кристалізації в залежності від тривалості польоту.

**Ключові слова:** температура початку кристалізації, палива, паливні системи, літаки.

## РЕФЕРАТ

*Елена Матвеева,*

*Национальный авиационный университет, mol@nau.edu.ua*

### **РАБОТОСПОСОБНОСТЬ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМ ПРИ ПРИМЕНЕНИИ ТОПЛИВ С ПОВЫШЕННОЙ ТЕМПЕРАТУРОЙ НАЧАЛА КРИСТАЛЛИЗАЦИИ**

Рассмотрены вопросы чувствительности топливных систем воздушных судов при использовании топлив с повышенной температурой начала кристаллизации. Проанализированы мероприятия, позволяющие эксплуатировать такие топлива. Определены эксплуатационные ограничения применения топлив с повышенной температурой начала кристаллизации в зависимости от длительности полета.

**Ключевые слова:** температура начала кристаллизации, топлива, топливные системы, самолеты.

## ABSTRACT

*Olena Matvyeyeva,*

*National Aviation University, mol@nau.edu.ua*

### **SERVICEABILITY OF AVIATION FUEL SYSTEMS WHILE USING FUELS WITH INCREASING CRYSTALLIZATION TEMPERATURE**

Sensitivity of aircrafts fuel systems to using fuels with high crystallization temperature is discussed. Measures, which allow to operate such fuel, are proposed. Operational limitations for application fuels with higher crystallization temperature are identified, depending on duration of flights.

**Key words:** the temperature of crystallization starts, fuel, fuel systems, aircraft.

УДК 621.822

### **VI-13. ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОНТАКТНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ МАГНИТНО- ТУРБУЛЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ В АВИАЦИОННОМ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ**

*Владимир Радзиевский, Александр Стельмах, Руслан Костюник*

Безопасность полетов, как самая важная комплексная характеристика воздушного транспорта, определяет способность выполнять полеты без угрозы для жизни и здоровья людей. Техническую основу системы управления безопасностью полетов составляют работы по выявлению, анализу и устранению или уменьшению до приемлемого или допустимого уровня тех опасных факторов и последующих рисков, которые угрожают безопасности воздушных перевозок, что сдерживает темпы развития гражданской авиации.

Цель работы – ознакомить специалистов двигателестроения с разработанной в научно-исследовательской лаборатории нанотриботехнологий НАУ технологией предэксплуатационной подготовки неразборных шарикоподшипников, позволяющей комбинированными импульсными электромагнитными и турбулентными полями удалять с их рабочих поверхностей металлические и нашаржированные металлообразивные частицы и другие загрязнения.

Эта технология, как способ и устройство для его реализации защищаются патентами на изобретения, а также международным патентом PCT. Имеется положительное заключение официального органа всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС) о научной новизне, практической реализуемости и патентной чистоте данного интеллектуального проекта.

настоящее время два стенда ОПШ проходят заводскую апробацию на участках ремонта подшипниковых узлов ПАО «Мотор Сич» (рис.1).



Традиционные гидродинамический, ультразвуковой и комбинированные способы очистки шарикоподшипников не позволяют удалять те ферромагнитные и металл-абразивные частицы, которые нашаржированы в поверхности деталей шарикоподшипников, также частицы, удерживаемые локальными электромагнитными полями на поверхностях границах доменно-структурированных ферромагнитных деталей подшипников.

Авиационные двигатели, с точки зрения механики представляют собой сложнейшую совокупность различных узлов трения (трибосистем), в том числе и подшипников качения. Поэтому техническое состояние каждой трибосистемы во многом определяет работоспособность каждого узла, агрегата и всего изделия (двигателя) в целом. Соответственно постоянно повышаются требования к надежности и долговечности каждого узла трения в пределах регламентов. Отличительной особенностью авиационных шарикоподшипников является то, что они в десятки и сотни раз дороже аналогичных с одинаковыми типоразмерами подшипников массового производства, используемых для широкого потребления в общем машиностроении, а также высокий (в десятки раз) больший ресурс по сравнению с межремонтным ресурсом ГТД и его агрегатов. Поэтому полная замена дорогостоящих шарикоподшипников в ходе капитального ремонта ГТД – одна из весьма существенных статей расходов, которую несут ремонтные предприятия и, в конечном счете, авиакомпании-перевозчики. Убытки от неоправданно частой и преждевременной замены авиационных шарикоподшипников в ходе плановых ремонтов узлов и агрегатов ГТД оцениваются от 10 до 25 % стоимости капитального ремонта. Поэтому разработка новых высокоэффективных методов реновации неразборных шарикоподшипников актуальная задача, решение которой позволит существенно уменьшить эксплуатационные расходы на ремонт авиационной техники.

Представленная технология подготовки такой сложной трибосистемы, как шарикоподшипник, на стендах ОПШ позволяет существенно (до 30 %) снизить уровень шумов и вибраций, увеличить ресурс как новых, так и бывших в эксплуатации трибосистем качения, что чрезвычайно важно для двигателестроительных, агрегатных и других роторных изделий авиационно-космического машиностроения.

Данная технология позволяет существенно улучшить качество удаления как твердых частиц, так и углеводородных отложений и структурообразований на поверхностях качения ремонтных подшипников после длительной эксплуатации в условиях высоких температур.

Кроме того, стенды ОПШ позволяют совершенствовать методики очистки шарикоподшипников в сборе, например, рекомендуется их внедрять не только на этапе реновации подшипников в ходе ремонта ГТД, но и в качестве предэксплуатационной подготовки новых подшипников.

Обеспечение высокой чистоты всех поверхностей деталей ГТД и особенно шарикоподшипниковых при сборке новых ГТД является актуальной проблемой в серийном производстве. Эту проблему также возможно решить на стендах ОПШ. Новые заводские шарикоподшипники с консервационным маслом или смазкой, в герметичной упаковке, расконсервируются, промываются и подвергаются ультразвуковой промывке. После этого эти подшипники устанавливаются в камеру очистки стенда ОПШ и подвергаются





#### РЕФЕРАТ

*Володимир Радзівський, Олександр Стельмах, Руслан Костюник,  
Національний авіаційний університет, stelmah@nau.edu.ua*

#### **ВИКОРИСТАННЯ БЕЗКОНТАКТНОГО ІМПУЛЬСНОГО МАГНІТНО-ТУРБУЛЕНТНОГО ОЧИЩЕННЯ ШАРИКОПІДШИПНИКІВ В АВІАЦІЙНОМУ ДВИГУНОБУДУВАННІ**

Інноваційна технологія передексплуатаційної підготовки авіаційних шарикопідшипників на стенді ОПШ-05 із залученням модуля контролю їх віброхарактеристик СКП-01 в 2012–2016 рр. пройшла широку апробацію на ряді авіаційних підприємств і отримала високу оцінку спеціалістів, які рекомендують її використання при відновленні та ремонті підшипників двигунів сімейства Д-36, Д-136, Д-436 та їх модифікацій.

**Ключові слова:** мікрозабруднення, нерозбірний шарикопідшипник, віброхарактеристика.

#### РЕФЕРАТ

*Владимир Радзиевский, Александр Стельмах, Руслан Костюник,  
Национальный авиационный университет, stelmah@nau.edu.ua*

#### **ПРИМЕНЕНИЕ БЕСКОНТАКТНОЙ ИМПУЛЬСНОЙ МАГНИТНО-ТУРБУЛЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ШАРИКОПОДШИПНИКОВ В АВИАЦИОННОМ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИИ**

Инновационная технология предэксплуатационной подготовки авиационных шарикоподшипников на стенде ОПШ-05 с привлечением модуля контроля их виброхарактеристик СКП-01 в 2012–2016 гг. прошла широкую апробацию на ряде авиационных предприятий и получила высокую оценку специалистов, которые рекомендуют ее применение при восстановлении и ремонте подшипников двигателей семейства Д-36, Д-136, Д-436 и их модификаций.

**Ключевые слова:** микрзагрязнения, неразборный шарикопод-шипник, виброхарактеристика.

#### ABSTRACT

*Vladimir Radzievsky, Alexander Stelmakh, Ruslan Kostuk, National Aviation University,  
stelmah@nau.edu.ua* **NON-CONTACT PULSED MAGNETIC TURBULENCE CLEANING BALL  
BEARINGS IN AVIATION ENGINE**

The innovative pre -operational training aircraft bearings on the stand OPSH-05 with the assistance of the control module of the vibration characteristics of the СКП-01 in 2012–2016 has passed wide approbation in a number of aviation companies and was highly appreciated by experts, who recommend its use in the restoration and repair of bearings engine family D-36, D-136, D-436, and their modifications.

**Key words:** trace contamination, molded sharikopod-bearing, vibration characteristics.

UDC 629.735.03:621.43.031.3

#### **IV-14. WORKING PROCESS OF BYPASS GAS TURBINE ENGINES WITH TURBO-FAN ADDITIONAL UNIT**

*Yuri Tereshchenko, Kateryna Doroshenko, Yuri Tereshchenko*

Turbojet engine with turbo-fan additional unit consists of two modules: module of gas generator and module of turbo-fan unit. Universal gas generator module and turbo-fan additional module combination provided to design a lot of gas turbine engines with minimum cost for different airplanes. This factor is very important during design the engines for different types of drones because the cost of construction and production engines has big meaning in total airplane live cycle cost. The scheme of gas turbine engine with turbo-fan module is shown on Fig.1.

Usually, turbojet engines are used by construction gas generator module of gas turbine engine with turbo-fan module. For example, modules of gas turbine engines J-79 and J-85 are used in construction engines with turbo-fan additional unit CJ-805 and CF-700. The module of turbo-fan additional unit is mounted after gas generator module.

The turbo-fan additional unit has two-stored blades. Down part of additional unit works as turbine, but top part of additional unit works as fan.

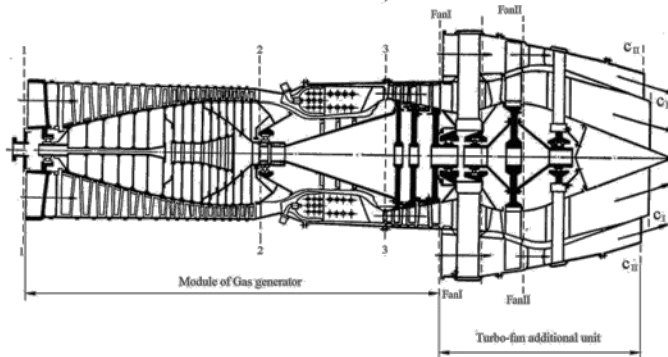


Fig. 1. The scheme of gas turbine engine with turbo-fan module

Relation air flow rate across top part of additional unit to gas flow rate across under part of additional unit is named bypass ratio of turbo-fan additional unit –  $m_{II}$ .

The general disadvantage of bypass turbojet engines with turbo-fan additional unit is big temperature gradient along two-stored blades. Down part of two-stored blades have temperature  $3^* 800\ 900\ K$ , but top part of two-stored blades has atmospheric air temperature.

Double bypass engines have not this disadvantage, because these engines use bypass gas turbine engines as gas generator. Turbo-fan additional module is mounted after mixing chamber (fig. 2).

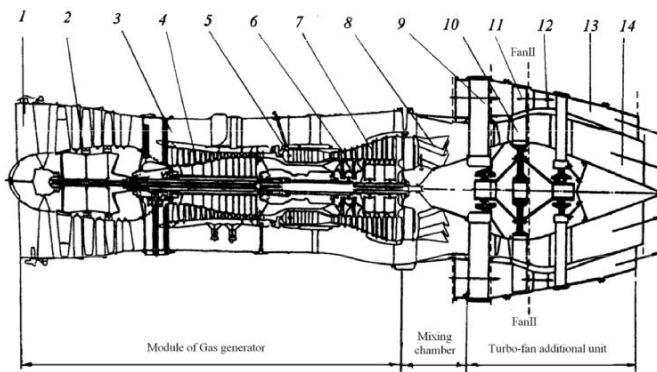


Fig. 2. The scheme of double bypass engine with turbo-fan module:

- 1 – Inlet guide vanes; 2 – Fan and low pressure compressor of gas generator; 3 – double contour channel of gas generator; 4 – high pressure compressor of gas generator; 5 – combustion chamber; 6,7 – multistage gas turbine of gas generator; 8 – mixing chamber; 9 – Inlet guide vanes of third contour; 10 – turbine contour of turbo-fan additional unit; 11 – fan contour (the third contour) of turbo-fan additional unit; 12 – outlet guide vanes of turbo-fan additional unit; 13 – exhaust nozzle of outside contour; 14 – exhaust nozzle of inside contour

Gas flow after low pressure turbine is used by turbine contour of turbo-fan additional unit. Ratio mass flow rate across second contour  $G_{airII}$  to mass flow rate across first contour of gas generator  $G_{airI}$  is named bypass ratio of bypass gas generator :

$$m_I = G_{airII} / G_{airI} .$$

Ratio mass flow rate across outside contour of turbo-fan additional unit  $G_{airIII}$  to total mass flow rate across of gas generator (inside contour of turbo-fan additional unit)  $G_{airI}(1+mI)$  is named bypass ratio of turbo-fan additional unit:

$$m_{II} = G_{airIII} / G_{airI} (1 + mI) = m_{III} / (1 + mI).$$

Ratio mass flow rate across outside contour of turbo-fan additional unit  $G_{airIII}$  to mass flow rate across first contour of gas generator  $G_{airI}$  is named double bypass ratio of double bypass engine  $m_{III} = G_{airIII} / G_{airI}$ .

Main parameters of working process of double bypass engine are: temperature before high pressure turbine  $T_3^*$ ; compressor pressure ratio of gas generator  $^*_{\Sigma} p_2^* / p_1^*$ ; fan pressure ratio of turbo-fan additional unit  $^*_{fanII} p_{fII}^* / p_{fI}^*$ ; temperature  $T_{mix}^*$  and pressure  $p_{mix}^*$  of mixture in outlet cross section of mixing chamber.

Let's consider main parameters of efficiency and economy of double bypass engines. Engine total thrust equals of sum of outlet contour thrust and inlet contour thrust  $R = R_I + R_{II}$ .

If pressure in outlet cross section of nozzles equals atmospheric pressure, every contour thrust will calculate by equations:

$$R_I = (1 + mI) G_{airI} c_{cI} V; \quad R_{II} = m_{III} G_{airI} c_{cII} V.$$

The specific thrust of every contour:

$$R_{GI} = (1 + mI) c_{cI} V; \quad R_{GII} = m_{III} (c_{cII} V).$$

Velocity of gas after inlet and outlet contour exhaust nozzle  $c_{cI}$  and  $c_{cII}$ .

The thermodynamic processes in gas generator of double bypass engine are similarly the thermodynamic processes in gas generator of bypass engine with mixing chamber. The cycle work of inlet contour is calculated by equation

$$L_I = \frac{k}{k-1} R T_{II} \frac{e_1 - 1}{m} - \frac{c_{cI}^2}{2}.$$

We use basic parameters of gas generator working process ( gas temperature before gas generator turbine  $T_3^*$ , total compressor pressure ratio in first contour of gas generator  $^*_{\Sigma} p_2^* / p_1^*$ , compressor pressure ratio in second contour of gas generator  $^*_{II} p_{2II}^* / p_1^*$  ) for calculation the optimal value of double bypass ratio  $mI = G_{airII} / G_{airI}$ . Useful cycle work of gas generator during calculation of gas turbine engine with turbo-fan additional unit is regarded as the free energy of exiting gas flow from the mixing chamber. It is determined by the parameters of the working process of the first contour of the gas generator. Part of free energy as external work is transferred to the third (fan) contour of turbo-fan additional unit by turbine part.

At the optimal ratio of the flight speed and gas velocity at the outlet of the nozzle of external contour of turbo-fan additional unit we get. Internal (turbine) part of turbo-fan additional unit is characterized by turbine pressure ratio  $\pi^*_{t.fan} = p_{mix}^* / p_5^*$ . Expansion work of gas in turbine part of turbo-fan additional unit is determined by parameters of gas flow at outlet of mixing chamber. External (fan) part of turbo-fan additional unit is characterized by the fan pressure ratio  $^*_{fanII}$  and compression work:

Consider the basic equations describing the collaboration of the turbofan gas generator and turbo-fan additional unit.

The energy balance equation of the first contour of turbofan gas generator is

$$G_{air1} i_{air1}^* + G_{fuel} H_{fuel} = G_{air2} i_{air2}^* + G_{air4} i_{air4}^* \quad (1)$$

The energy balance equation in the combustion chamber of the gas generator:

$$G_{fuel} H_{fuel} + G_{air3} i_{air3}^* = G_{air2} i_{air2}^* + G_{air4} i_{air4}^* \quad (2)$$

The power balance equation of the gas generator:

$$G_{air1} L_{air1} = G_{air2} L_{air2} + G_{air4} L_{air4} \quad (3)$$

Simultaneous solution of equations (1) – (3), we get value of free energy of gas flow after gas generator turbine

$$G_{air4} i_{air4}^* + G_{air1} i_{air1}^* - G_{air3} i_{air3}^* = (1 - \frac{T_{air3}}{T_{air4}}) G_{air4} L_{air4} \quad (4)$$

We denote

$$\frac{T_{air3}^*}{T_{air4}^*} = \frac{T_{air3}^*}{T_{air4}^*} = \frac{T_{air3}^*}{T_{air4}^*} = \frac{T_{air3}^*}{T_{air4}^*} = \frac{k-1}{k} e^{-\frac{k-1}{k} \frac{p_{air3}}{p_{air4}}}, \text{ where } \frac{T_{air3}^*}{T_{air4}^*} = \frac{k-1}{k} \quad (5)$$

Considering (5) the equation (4) takes the form

$$E_{air1} + G_{air1} \frac{k_0 RT_{air1}^*}{k_0} (1 - \frac{1}{k_0}) = m_{air1} G_{air1} L_{air1} \quad (6)$$

We write the equation (6) in the form

$$L_{air1} = \frac{k_0 RT_{air1}^*}{k_0} (1 - \frac{1}{k_0}) = m_{air1} \frac{k RT_{air1}^*}{k} (e^{-\frac{k-1}{k} \frac{p_{air3}}{p_{air4}}} - 1) = \frac{k RT_{air1}^*}{k} (1 - e^{-\frac{k-1}{k} \frac{p_{air3}}{p_{air4}}}) \quad (7)$$

The free work of turbo-fan additional unit is calculated by formula

$$L_{free} = \frac{m_{III}}{1} \frac{(1 - \frac{1}{2^2}) V^2}{2^2} \quad (8)$$

Simultaneous solution of equations (7) and (8) allows to define double bypass ratio of turbofan additional unit  $m_{III}$ .

At full expansion of the gas in the contours specific thrust of gas turbine engine with For calculating flight conditions optimal pressure turbo-fan additional unit is equal to specific thrust each contour

$$R_G R_{G^2} R_{G^{22}} = (\tilde{n}_{\tilde{n}^2} V) = (\tilde{n}_{\tilde{n}^{22}} V).$$

The double bypass ratio of engine is selected according to condition of minimum specific fuel consumption  $C_{R min}$ . This choice determines sizes, external resistance of the power plant and mass characteristics of the engine.

For drones with subsonic speed of flight (700–800 km/h) optimal values of double bypass ratio are located in range  $m_{II} = 4–8$ . Higher parameters of working process correspond to higher values of double bypass ratio.

Economic efficiency of gas turbine engine with turbo-fan additional unit is estimated by internal (energy) efficiency coefficient. This efficiency coefficient is characterized by efficiency of heat energy conversion, allocated during the fuel combustion in cycle work (the change of kinetic energy of gas flow).

$$\eta_{dbp} = \frac{(c^2 V^2)(1 m m)}{2\eta H g_{fuel}}$$

The combination of universal gas generator and turbo-fan modules with different parameters permits to create different gas turbine engine for various aircraft with the smallest economic investments. This is especially important in creating of engines for various drones when the cost of design and creation of power plant has a large part in the summary cost of the aircraft life cycle. Table 1 presents the data on the efficiency of the turbojet engine, turbofan engine and gas turbine engine with turbo-fan additional unit with the same air mass flow rate through the gas generator contour. Turbofan engine is used as a gas generator in gas turbine engine with turbo-fan additional unit.

The data in table 1 show that gas turbine engine with turbofan additional unit has trust-economic characteristics more, than turbojet and turbofan engine. Methods for selection and validation of working process parameters of gas turbine engine with turbofan additional unit for drones have certain features in comparison with the calculation of full-sized engines. These features are determined by the higher level of losses in all units of small-size gas turbine engine with turbo-fan additional unit for drone.

Table 1

Parameters	Engine parameters		
	Turbojet engine	Turbofan engine	GTE with turbo-fan additional unit
Temperature $T_3$ , K	1600	1600	1600
Pressure ratio	13,5	29,5	29,5
Air mass flow-rate of first contour $G_{air I}$ , kg/sec	0,75	0,75	0,75
Air mass flow-rate $G_{air\Sigma}$ , kg/sec		1,725	5,39
Bypass ratio $m$	-	1,3	$m = 1,3; m_{II} = 2,6$
Thrust $R_{max}$ , kN ( $H = 0, M = 0$ )	0,586	0,9085	1,596
Specific fuel consumption $C_R$ , kg/(kN·hour)	0,096	0,051	0,034

#### РЕФЕРАТ

Юрій Терещенко, Катерина Дорошенко, Юрій Ю. Терещенко,  
Національний авіаційний університет

#### РОБОЧИЙ ПРОЦЕС БАЙПАС ГАЗО-ТУРБІННОГО ДВИГУНА З ДОДАТКОВОЇ ТУРБО-РЕАКТИВНОЮ ЧАСТИНОЮ

Новий підхід модульної будови турбо-гвинтового двигунів представлений. Додатковий модуль турбо-вентилятор встановлений після того, як модуль генератора універсального байпаса газу. Турбо-вентилятор додатковий блок має дві додаткові лопасті. Вниз частина додаткового блоку працює як турбіна, але верхня частина додаткового блоку працює як вентилятор. У статті основних параметрів ефективності і економічності подвійних двоконтурних двигунів розглядаються.

**Ключові слова:** газо-турбінний двигун, ефективність, турбіна.

## РЕФЕРАТ

*Юрий Терещенко, Екатерина Дорошенко, Юрий Ю. Терещенко,  
Национальный авиационный университет*

### **РАБОЧИЙ ПРОЦЕСС БАЙПАСС ГАЗОТУРБИННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ТУРБО-РЕАКТИВНОЙ ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЧАСТЬЮ**

Представлен новый подход к модульной конструкции турбовентиляторных двигателей. Дополнительный модуль турбовентилятора монтируется после универсального байпасного газогенераторного модуля. Дополнительный блок турбовентилятора имеет лопасти. Нижняя часть дополнительного блока работает как турбина, а верхняя часть дополнительного блока работает как вентилятор. В статье рассматриваются основные параметры эффективности и экономичности двигателей с двойным байпасом.

**Ключевые слова:** газо-турбинный двигатель, эффективность, турбина.

## ABSTRACT

*Yuriy Tereshchenko, Kateryna Doroshenko, Yuriy Y. Tereshchenko,  
National Aviation University*

### **WORKING PROCESS OF BYPASS GAS TURBINE ENGINES WITH TURBO-FAN ADDITIONAL UNIT**

A new approach of module construction of turbo fan engines is represented. The turbo-fan additional module is mounted after universal bypass gas generator module. The turbo-fan additional unit has two -stored blades. Down part of additional unit works as turbine, but top part of additional unit works as fan. In article main parameters of efficiency and economy of double bypass engines are considered.

**Key words:** bypass gas turbine engines, efficiency, turbine.

УДК 621.892.6:504(043.2)

### **IV-15. ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КИСЛОТНОСТЬ ТРАДИЦИОННЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ**

*Ирина Шкильнюк, Сергей Бойченко, Татьяна Кондратюк*

Эффективность и надежность топливной системы авиационной техники значительной степени определяется качеством авиационного топлива. Большое количество отказов и неисправностей элементов топливной системы, двигателей и самолетов обусловлены качеством и чистотой топлива.

в контексте авиационной химмотологии, с точки зрения химмотологической надежности, можно выделить специфические вопросы, характерные для эксплуатации авиационной техники. Одним из них является чистота топлива, т.е. наличие или отсутствие них механических примесей, воды, микроорганизмов и других загрязнений, которые не должны присутствовать в топливе при отгрузке из мест производства, но которые могут накапливаться в процессе транспортировки, хранения, перекачки и других операций.

Сегодня постоянно происходит повышение требований к качеству авиационных топлив. Еще в 2012 году Международная организация гражданской авиации (ИКАО) приняла директиву 9977/489 «Руководство по поставке авиационного топлива для гражданской авиации», в которой основное внимание акцентируется на обеспечении чистоты топлива, в том числе микробиологическом загрязнении. Чистота топлив зависит от наличия механических примесей, влаги и микробиологической фазы. Загрязненность микроорганизмами зависит, прежде всего, от технологического и технического уровня культуры использования топлив. Микробиологическая деструкция – это позитивное явления для решения проблем, связанных с защитой окружающей среды, и негативное явление для эксплуатации материалов и техники.

Сегодня известно 200 видов микроорганизмов, включая 30 родов, которые могут использовать углеводород в качестве источника питания. Они включают бактерии, грибы и дрожжи. Основные условия развития микроорганизмов – благоприятная температура (20– 35 °С), присутствие воды и примесей. В авиационном топливе появление и развитие микроорганизмов приводит к ухудшению физических, химических и эксплуатационных свойств топлив в связи с изменением их углеводородного состава, накопление микробной слизи и образования осадка. Засорение фильтров и трубопроводов микробной массой приводит к авиационным инцидентам и происшествиям.

Рост и развитие микроорганизмов не происходит при отсутствии воды в топливе. Однако в реальных условиях эксплуатации и хранения топлив присутствие воды даже в количестве 0,01–0,02 % или ее следов при соответствующей температуре достаточно, чтобы началось размножение микроорганизмов.

Последствия, вызываемые микробиологическим загрязнением топлив, можно классифицировать по категориям:

- проблемы, вызываемые физическим присутствием разрастающихся колоний микроорганизмов;

- проблемы, вызываемые микробиологическим метаболизмом;

- проблемы, вызываемые микробиологическими метаболитами;

- проблемы, связанные со свойством микроорганизмов вызывать коррозию.

Существует несколько методов определения микробиологического загрязнения авиационных топлив:

- микробиологические методы;

- центрифугирование;

- химические методы;

- мембранные методы;

- индикаторный анализ;

- визуальный метод.

Национальном авиационном университете в Испытательном центре «Авиатест» активно проводятся исследования биокомпонентов как альтернативных компонентов авиационных топлив из биологического сырья. Вещества подвергаются различным физико-химическим, эксплуатационным и микробиологическим испытаниям. Также были проведены исследования микробиологической стабильности традиционных и альтернативных авиационных топлив. Исследуемые образцы представлены топливом для воздушно-реактивных двигателей марки ТС-1 и модельной смесью авиационного бензина (на базе автомобильного бензина марки А-95), выбранным в качестве альтернативы этилированного авиационному бензину (табл. 1). Метилвый эфир жирных кислот подсолнечного масла был выбран в качестве модели биокомпонента для модификации состава топлива для воздушно-реактивных двигателей марки ТС-1. В качестве биокомпонента к бензину использовался биоэтанол. Биостабильность образцов исследовалась визуальным методом и химическим методом путем определения кислотности при помощи стандартного метода согласно ГОСТ 5985. Выбор этого показателя обоснован тем, что основными продуктами метаболизма микроорганизмов в топливе являются органические кислоты. Общая схема реакции выглядит следующим образом:

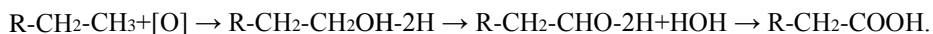




Таблица 2

Виды микроорганизмов, определенные в авиационных топливах,  
условия их развития и виды углеводов, которые они потребляют

Класс	Семейств во	Род	Представит ели	вид(и)	Вид углеводов, что потребляют	Условия развития
Бактерии	Mycobacteriaceae	Mycobacterium	Mycobacterium	Mycobacterium	Ассимилирует н-алканы (C <sub>10</sub> -C <sub>17</sub> ), ароматические углеводороды (бензол, толуол, ксилол, нафталин), активно усваивали н-алканы C <sub>16</sub> -C <sub>18</sub> C <sub>22</sub> -C <sub>28</sub> и C <sub>26</sub> -C <sub>31</sub> с образованием промежуточных соединений C <sub>11</sub> -C <sub>14</sub>	Способен расти в присутствии 5 % NaCl; при исходном pH 5,7 и 8,0; температуре от +10 до +40 °C; выдерживает осмотическое давление 31,4 атм, нагревание с 60 °C в течении 30 мин и при температуре 72 °C в течении 15 мин
					Использует в качестве источника энергии углеводороды авиационных топлив	Растет в температурном диапазоне от 2 °C до 32 °C, оптимальная 25 °C. Оптимальный pH для роста 6,0–8,0. Способен к росту в присутствии 3 % NaCl. В дополнительных факторах роста микроорганизм не нуждается.
Бактерии	Mycobacteriaceae	Mycobacterium	Mycobacterium	Mycobacterium	н-алканы C <sub>15</sub> -C <sub>23</sub> , а также ароматические углеводороды	Стойкие к голоданию, высокого содержания солей, воздействию ультрафиолета, широкого диапазона кислотности и низких температур
Бактерии	Pseudomonadaceae	Pseudomonas	Pseudomonas	Pseudomonas putida	Не имеет способность к денитрификации с образованием азота. Использует единственный источник углерода, глюкозу, глутамат, сукцинат. Использует как источник роста углеводороды бензоат, салицилат, нафталин, фенантрен, нефть	Не нуждается в факторах роста. Не растет при +41 °C. Оптимальный pH для роста 6,0–8,0. Способен к росту в присутствии 3 %.

Грибы	Saccharomycetes Eurotiomycetes	Eurotiomycetes	Eurotiomycetidae	Dothideomycetes	Грибы	Усваивает углерод из углеводов. Наблюдается тенденция к росту на углеводородах (C <sub>10</sub> -C <sub>17</sub> ), наибольшее значение на гексаденах (C <sub>16</sub> H <sub>34</sub> )	Длительное время остаются жизнеспособными, хотя и не размножаются. Но достаточно наличия только одной части воды на 10 000 частей топлива, чтобы развитие стало возможным. Жизнеспособность сохраняется при температуре 57 °С, споры остаются жизнеспособными при температуре 60 °С не более 3 суток и погибают при 70 °С. Активный рост при температуре 28 °С
						Monascaceae	Monascaceae
Грибы	Saccharomycetales Trichocomaceae	Eurotiomycetes	Trichocomaceae	Aspergillus	Aspergillus amstelodami	Используется в качестве источника энергии углеводороды авиационных топлив	Рост стимулируется светом, при высоком осмотическом давлении. Оптимальная температура для роста и формирования колоний от +33 до +35°С
						Candida Penicillium	Candida Penicillium guilliermondii
Грибы	Saccharomycetales Trichocomaceae	Eurotiomycetes	Trichocomaceae	Aspergillus	Aspergillus amstelodami	Используется в качестве источника энергии углеводороды авиационных топлив	Лучше всего развивается при температуре от + 33 до +35 °С
						Candida Penicillium	Candida Penicillium guilliermondii

Исследованные образцы авиационных топлив

№ образца	Наименование образца
	Топливо для воздушно-реактивных двигателей марки ТС-1
	BioJet 10 (ТС-1 + 10 % МЭЖК)
	BioJet 20 (ТС-1+20 % МЭЖК)
	BioJet 30 (ТС-1+30 % МЭЖК)
	Авиационный бензин (БСАБ – базовая смесь автомобильного бензина марки А-95)
	БСАБ+5 % биоэтанола
	БСАБ +10 % биоэтанола
	БСАБ +15 % биоэтанола
	МЭЖК

Примечание: МЭЖК – метиловый эфир жирных кислот подсолнечного масла

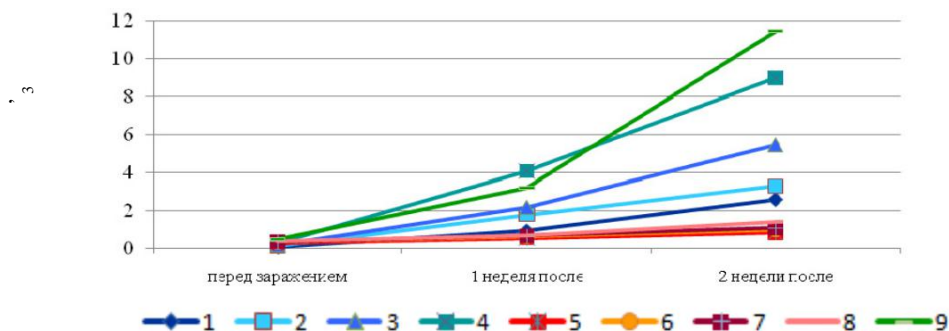


Рис. 1. Изменение кислотности исследуемых топлив (номера и кривые образцов топлив соответствуют данным таблицы 1)

Развитие микроорганизмов в топливе и накопление продуктов их метаболизма приводит, соответственно, к увеличению значения кислотности. Об этом наглядно свидетельствуют кривые на рис. 1. Все образцы выдерживались в одинаковых условиях при температуре 22–25 °С. Контроль изменения кислотности и визуальный осмотр проводились каждую неделю.

Полученные результаты визуальных наблюдений свидетельствуют о том, что образцы топлив №№ 2–4 и 9 помутнели уже в течении первой недели. В образцах 1–4, 6–9 помутнение констатировали после двух недель, более выраженное оно было в образцах чистого биокомпонента МЭЖК и его смесей с топливом ТС-1. Во всех образцах через две недели наблюдалось появление пузырьков воды и маслянистой пленки. Все использованные эксперименте образцы показали увеличение кислотности, более всего кислотность увеличилась у биокомпонента МЭЖК и топлива ТС-1 с 30 %-ным содержанием МЭЖК. Меньшее увеличение кислотности показали образцы бензина и его смеси с биоэтанолом.

Нами впервые было систематизировано информацию о микроорганизмах, которые выявлены в топливе, по условиям их развития и видам потребляемых углеводов – табл. 2.

Таким образом, результаты многочисленных исследований свидетельствуют о низкой микробиологической стабильности авиационных топлив. Результаты проведенных нами экспериментов (работ) подтверждают полученные ранее данные, представленные публикациях других авторов, и свидетельствующие о более высокой микробиологической стабильности бензинов. Полученные нами экспериментальные данные также указывают на повышенную способность биокомпонента – метилового эфира жирных кислот подсолнечного масла к микробиологической деструкции, которая вызывается теми же микроорганизмами, которые поражают и нефтяные топлива.

#### РЕФЕРАТ

*Ірина Шкільнюк<sup>1</sup>, Сергій Брїчєнко<sup>1</sup>, Тєтяна Кондратюк<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, <sup>2</sup>Національний університет ім. Т.Г. Шевченка,  
i\_shkilniuk@ukr.net, chemmotology@ukr.net, takbiofak@ukr.net*

#### ВПЛИВ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НА КИСЛОТНІСТЬ ТРАДИЦІЙНИХ І АЛЬТЕРНАТИВНИХ АВІАЦІЙНИХ ПАЛИВ

В авіаційному паливі поява та розвиток мікроорганізмів призводить до погіршення фізичних, хімічних та експлуатаційних властивостей. Основними продуктами метаболізму мікроорганізмів паливі є органічні кислоти. Дослідження кислотності палив дає можливість оцінити здатність палив до біопшкодження. Тут представлено результати порівняльних досліджень мікробіологічного забруднення моторних палив традиційного та альтернативного походження.

**Ключові слова:** альтернативні палива, мікроорганізм, біозабруднення, біодеструкція, кислотність.

#### РЕФЕРАТ

*Ірина Шкільнюк<sup>1</sup>, Сергей Брїчєнко<sup>1</sup>, Татьяна Кондратюк<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>Национальный авиационный университет, <sup>2</sup>Национальный университет им. Т.Г. Шевченко,  
i\_shkilniuk@ukr.net, chemmotology@ukr.net, takbiofak@ukr.net*

#### ВЛИЯНИЕ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА КИСЛОТНОСТЬ ТРАДИЦИОННЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ АВИАЦИОННЫХ ТОПЛИВ

авиационном топливе появление и развитие микроорганизмов приводит к ухудшению физических, химических и эксплуатационных свойств топлив. Основными продуктами метаболизма микроорганизмов в топливе являются органические кислоты. Исследование кислотности топлив дает возможность оценить способность к биоповреждению. В материалах представлены результаты сравнительных испытаний микробиологического загрязнения моторных топлив традиционного и альтернативного происхождения.

**Ключевые слова:** альтернативне топлива, мікроорганізм, біозагрязнение, біодеструкція, кислотность.

#### ABSTRACT

*Irina Shkilnyuk<sup>1</sup>, Sergey Boychenko<sup>1</sup>, Tatiana Kondratyuk<sup>2</sup>,  
<sup>1</sup>National Aviation University, <sup>2</sup>National University. T.G. Shevchenko, i\_shkilniuk@ukr.net,  
chemmotology@ukr.net, takbiofak@ukr.net*

#### THE INFLUENCE OF MICROBIOLOGICAL POLLUTION ON ACIDITY OF TRADITIONAL AND ALTERNATIVE AVIATION FUELS

The appearance and development of microorganisms leads to a deterioration in the physical, chemical and operational properties of aviation fuels. The study of the acidity of fuels makes it possible to assess the ability to bio damage. The results of comparative tests of motor traditional and alternative fuels are presented in the materials.

**Key words:** alternative fuels, microorganism, pollution, biodegradation, acidity.

УДК 662.7:504:629.73(043.2)

#### IV-16. PROMISING BIOFUELS FOR THE REDUCTION OF AIRCRAFTS HARMFUL EMISSIONS

*Sergey Boichenko, Anna Yakovlieva, Alexander Gryshchenko, Angelina Zinchuk*

One of the features of the modern world is the increased attention of the international community to the problems of rationality and efficient use of energy resources, the introduction of energy saving technologies and searching of renewable energy.

Today, renewable energy development in the world, took an accelerated character that is associated with the growing of global multifactorial crisis phenomenas. On the one hand, there is limitation of geological reserves of the main types of fuel resources – oil and gas, which leads to an inevitable rise in prices for them. The obvious growth of the negative environmental impacts is caused by the effects of human activity.

The main environmental damage associated with global climate change of the Earth – greenhouse effect, caused mainly from mining, processing and burning of fossil fuels – coal, oil and gas. The greenhouse effect is up to 75 % share of the anthropogenic environmental damage.

In terms of global pollution, air transport is responsible for direct and indirect emissions of several greenhouse gases: CO<sub>2</sub> (2 % of global emissions by IATA – International Air Transport Agency), tropospheric ozone, methane, etc. With the support of ICAO the strategic document of 38th Assembly of ICAO has presented strategic plans in the field of environmental protection regarding emissions of aircraft engines that affect on local air quality, on the impact of international aviation on climate change, including progress on the part of new aviation standards on emissions of CO<sub>2</sub>, plans of action of countries and assist countries, environmental alternative fuels for the aviation, market activities and global desired goals. Back in 1983, the ICAO established the structure of the technical committee on environmental protection in aviation (CAEP), in which the active target group (sub-committee) on alternative fuel (AFTF). It AFTF concerned with economic feasibility of aviation biofuels, determined mainly by two criteria:

- the need to improve fuel efficiency in aviation because of the well-known global problem of depletion of hydrocarbon fuels derived from petroleum;

- the need to reduce emissions of harmful substances in the exhaust gas of gas turbine engines, that is, an increase in environmental performance of aviation fuel. This criterion is now the dominant and determining the actions of scientists and practitioners.

Today the main energy sources are crude oil (~ 40 % of the world energy consumption), natural gas (~ 23 %), black and brown coal (~ 20 %). The minor share is taken by nuclear energy (~ 6 %), hydroenergy (~ 2,5 %), biofuels (~ 4 %) and other alternative energy sources. Biofuel holds a special place in the structure of renewable energy sources. Being one of the few alternative fuels in the transport sector, biofuels are seen as an important resource in the choice of energy sources and ensuring of energy security, development of agriculture and rural, as well as to mitigate climate change by reducing greenhouse gas emission.

Conditionally biomass as feedstock for biofuels production can be divided into three generations. Currently there are following generation of biofuels:

- edible oil and sacchariferous terrestrial plants;
- inedible cellulosic plants;
- inedible aquatic plants, ie algae.

#### *First – generation biofuels*

Biofuel of first generation made from sugar, starch, vegetable oil and animal fat using conventional technology. The main sources of raw materials are the seeds or grain. For example, from rapeseed extract vegetable oil, which can then be used as biodiesel. From wheat obtained starch, after fermentation – bioethanol. The main problem in the production of fuel from biomass is food security, because first-generation biofuels made from agricultural crops entering in the food chain of humans and animals (corn, soybeans, palm oil, rape, sugarcane, wheat, rye). Because the world population grows and requires more and more food, the use of these areas for the production of biofuels reduces the amount of available food and increases their prime cost.

#### *Second – generation biofuels*

Second-generation biofuels produced from non-food raw materials. Sources of raw materials are lignocellulosic compounds the remaining after, as suitable for use in the food industry part of vegetable raw materials are removed. For this purpose, also can be used fast-growing trees and grasses (poplar, willow, miscanthus, jatropha, etc.). They are also called energy forests or plantations. Tested about 20 different species of plants – arboreal, shrubs and herbaceous. The advantage of this biofuel consists in that the plant from which it is obtained, do not compete with food crops for the land. They can grow on the slopes, hills, ravines, as well as on the unproductive and degenerate lands, sometimes even with the prospect of recovery of these lands. For their cultivation is possible to use a minimal amount of water, fertilizers, pesticides and machinery.

*Miscanthus* (silvergrass, elephant grass, *Miscanthus giganteus*) – grass, which is grown for several years in Europe and North America. It is frost and drought-resistant. The plant grows up to 4 m or more, it is possible to collect the crop during 30 years, without replanting of fields. *Miscanthus* can grow on poor soils, it requires little fertilizer, and grows well in moist temperate climates throughout the US, Europe and Asia. At the same time *Miscanthus* does not deplete the land. Moreover, from *Miscanthus* it is possible to produce large amounts of biomass at a very small crop area, which distinguishes this plant from other cultures. Yields of *Miscanthus* are up to 10–12 tons per hectare which is roughly equivalent to 36 barrels of oil. Some *Miscanthus* hybrids with the yield up to 60 tons per hectare were already selected. Experts say that if on 10% of the European lands to plant *Miscanthus*, it will be possible additionally to develop to 9% of the electricity.

*Jatropha curcas* (*Jatropha*, *Jatropha curcas* L.) belongs to the spurge family. It is known as a long-term tree weed growing on poor dry soils, propagated by cuttings and easily spread via seeds. It is found all over the planet, but especially thrives in tropical and subtropical climates. The content of nutrients in the soil is not the main factor affecting the productivity of *Jatropha*. This shrub can grow in almost any soil, even on abandoned and unused lands. *Jatropha* plantations are available in India, China, Burma, Nicaragua, in many African countries, in Philippines and Brazil. *Jatropha* seeds are toxic to humans and animals, but they contain up to 40% of various oils. *Jatropha* has a high oil yield from the seeds in comparison with the major biodiesel crops – soy and rapeseed. From hectare soybean receive nearly 400 kg of oil for biodiesel from rapeseed – 1 tonne, of *Jatropha* – 3 t. European breeders are working on breeding of new highly oilseed, early ripening and frost-resistant hybrids of *Jatropha curcas*.

*Sorghum* (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) is the fifth most important cereal crop in the world in terms of production and area planted. Due to its drought resistance, it forms one of the most important staple foods for millions of people in the semi-arid tropics of Africa and Asia. *Sorghum* is principally utilized as human food and animal feed. In the main *sorghum* production regions in Africa and Asia, more than 70% of the *sorghum* is consumed as food, and is one of the principal sources of energy, protein, vitamins and minerals among the populations of these regions

*Camelina* (*Camelina sativa*) – oleifera annual grass. The genus of *Camelina* includes 10 species which growing in Europe and Asia in the areas of cool climate of the steppe and forest areas. It can grow on the fields, fallow lands, along roads. *Camelina* can be sown when the soil resting from wheat and other grains as part of a crop rotation. Output from *Camelina* oil from 1 hectare is 490 kg. The seeds contain 33–42% of oil, 25–30% of protein, and vitamin E.

*Camelina sativa* gives a real chance to develop agricultural areas with low-quality soil. *Camelina* is considered to be a sustainable plant as it doesn't require high-quality soil and introduction of fertilizers. It may be cultivated in unfavorable climatic conditions and moreover, may be used for recultivation of infertile and exhausted areas. Scientific research work devoted to technological methods of growing up *Camelina sativa* and increasing its seed productivity taking into consideration soil and climate conditions in Ukraine, paying special attention to determination of optimal thickness and regulation of the optimal terms of sowing it, has been done and standards of mineral fertilization have been chosen. In addition, growing up the seeds of *Camelina sativa* is ecologically safe because it is characterized as extremely conditions of growing up, it doesn't need any fertilizers, pesticide and fungicide.

Thus, the second generation biofuels will gradually replace the first generation biofuels, due to its greater environmental friendliness, performance, and in that it is produced from non-food materials. Russia, which has huge areas of land not suitable for agriculture, can easily use them for planting energy crops in order to obtain biomass for biofuels.

#### *Third – generation biofuels*

Unfortunately, the economic, social and ethical aspects hamper the development of the production of the first two generations of biofuels. The more acute these problems, the more interesting acquires the development of third-generation biofuels. The effective renewable biomass, which does not need arable land and fresh water are algae. These are simple organisms

adapted to growth even in polluted or salt water. The determining factors for the accumulation of algae biomass are: intensity of solar radiation, water temperature, availability of biogenic elements, concentration of carbon dioxide.

Algae convert solar energy and carbon dioxide in the low-cost and highly productive raw material for food, biofuels, animal feed and highly valuable biologically active substances.

Algae comprise a plurality of single-celled and multicellular species of organisms. They are composed of proteins, carbohydrates, lipids and nucleic acids. Some strains of algae are ideally suited for the production of biofuels due to the high oil content in them. Microalgae according to the potential energy yield in 8–25 times greater than the palm oil and in 40–120 times than rapeseed, which allows to classify them like typical representatives of vegetable oil crops. Exist certain types of these plants, containing up to 40 % of the fatty acids. Biofuels derived from algae, contains no sulfur, is non-toxic and well biodegradable. The advantage of obtaining biodiesel from algae is their high growth rate and therefore their high yield of biomass per 1 hectare. The accumulation of fat in the algae typically occurs under conditions of nutrient deficiency.

Particular interest is the cultivation of algae using secondary resources. CO<sub>2</sub> has been and remains the biggest waste from industry. Algae can use this gas industrial origin for their growth and biomass synthesis because their metabolic processes proceed more rapidly at higher carbon dioxide concentrations in the medium.

The technological process of production of biofuels from algae is practically wasteless. Dry waste from biomass after extraction of biooil preserve all vitamins and valuable substances, so they can be used as feed in aquaculture and livestock farms. Furthermore, it is possible to turn them into another form of energy – briquettes.

#### Potential of fourth – generation biofuels

Currently, concepts and technologies for fourth-generation biofuels, which will be more cost-effective and environmentally friendly (with a minimum cumulative of CO<sub>2</sub> emissions in the atmosphere) are being developed. Modeling of organisms using techniques of genetic engineering is the basis for the creation of such fuels. Today, the main difficulty in obtaining biofuel from grass, sawdust, potherbs of cultivated plants and the like consists in decomposition of a major component of plant cell – cellulose – into the simple components.

The environmental component and the economic performance of different methods of biofuel producing make them insufficiently profitable to completely replace the use of fossil fuels. The problem of obtaining the hydrocarbon biomass in such quantities or such cost price, so they could compete with oil, may be complicated even for the modified microorganisms. The main purpose is to create a genetic code from scratch, by controlling all parameters.

Today, the rapid process of European integration and adopting international environmental standards forcing enterprises of aviation industry stepping up its activities intended to reduction environmental impact.

It should be noted that the actual problem now is to develop effective measures to reduce the negative impact of civil aviation on nature and people. The growing need of international traffic requires more energy expenditure. Compounding this trend depletion of traditional energy resources, decline of oil production and the consequent reduction of liquid fuel, including and jet fuels is expected. The search and widening of new renewable resources, development of progressive technologies of fuels production and their rational use in transport, mainly in aviation, is one of the priority tasks nowadays. Taking into account all the mentioned above factors it is necessary to use renewable environmentally friendly and comparatively cheap feedstock. The advantages of renewable energy are: natural origin, rapidity of renewal, absence of extra CO<sub>2</sub> emissions, less negative impact on environment, easy biodegradation in nature.

## РЕФЕРАТ

*Сергей Бойченко, Анна Яковлева, Александр Грищенко, Ангелина Зинчук,  
Национальный авиационный университет, a.v.iakovlieva@ukr.net*

### **ПЕРСПЕКТИВНИ БІОПАЛИВА ДЛЯ ЗНИЖЕННЯ ШКІДЛИВИХ ВИКИДІВ ВІД ПОВІТРЯНИХ СУДЕН**

Робота присвячена аналізу перспектив розвитку та упровадження альтернативних моторних палив на основі різноманітних видів біомаси. Розглянуто проблеми сучасного транспорту, що пов'язані з виснаженням запасів традиційних джерел енергії для виробництва палив. Показано основні екологічні проблеми, пов'язані з використанням традиційних авіаційних палив, а також сучасні тенденції переходу на альтернативні авіаційні палива. Проведено комплексний аналіз існуючих та перспективних видів біомаси, що може використовуватися для виробництва біопалив. Показано основні переваги біопалив, отриманих із розглянутих видів біомаси.

**Ключові слова:** енергоресурси, авіаційні палива, емісія, біомаса, біопаливо, мікрородорості, олія сорго, рижієва олія, олія ятрофи.

## РЕФЕРАТ

*Сергей Бойченко, Анна Яковлева, Александр Грищенко, Ангелина Зинчук,  
Национальный авиационный университет, a.v.iakovlieva@ukr.net*

### **ПЕРСПЕКТИВНЫЕ БИОТОПЛИВА ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ОТ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ**

Робота посвящена анализу перспектив развития и внедрения альтернативных моторных топлив на основе различных видов биомассы. Рассмотрено проблемы современного транспорта, которые связаны истощением запасов традиционных источников энергии для производства топлив. Показаны основные экологические проблемы, связанные с использованием традиционных авиационных топлив, а также современные тенденции перехода на альтернативные авиационные топлива. Проведено комплексный анализ существующих и перспективных видов биомассы, которая может быть использована для производства биотоплив. Показано основные преимущества биотоплив, полученных и рассмотренных видов биомассы

**Ключевые слова:** энергоресурсы, авиационное топлива, эмиссия, биомасса, биотопливо, микрородоросли, масло сорго, рижиковое масло, масло ятрофы.

## ABSTRACT

*Sergey Boichenko, Anna Yakovlieva, Alexander Gryshchenko, Angelina Zinchuk,  
National Aviation University, a.v.iakovlieva@ukr.net*

### **PROMISING BIOFUELS FOR THE REDUCTION OF AIRCRAFTS HARMFUL EMISSIONS** The work is devoted to the overview of prospects of development and implementation of alternative motor

fuels from various types of biomass. The article outlines problems of modern transport that is connected to limitation of conventional energy resources used for fuels production. Main environmental problems connected with the use of conventional aviation fuels are determined. Modern trends for transition from conventional aviation fuels to alternative ones are presented. The article gives versatile analysis of well-developed types of biomass for biofuels production and also perspective types, which may be sufficiently used in the near future. The main properties of oil plants used for biofuels production are described, as well as advantages of biofuels use from considered types of biomass.

**Key words:** energy resources, aviation fuel, emissions, biomass, biofuel, microalgae, sorghum oil, camelina oil, jatropha oil.

УДК 621.453/457 : 621.45.038.3 (045)

### **IV-17. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ СОПЛА ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

*Паям Хамзе*

Ракетная отрасль на сегодняшний день является одной из самых передовых в мире. Технологии, которые используются в ней, нашли свое применение не только в космических разработках, но и в других отраслях.



Разработка ракетной техники довольно сложный процесс, как с технологической, так и с научной точки зрения. Он включает в себя очень широкий спектр научных достижений и на сегодня является актуальным.

Весь процесс создания ракетной техники можно разделить на несколько составляющих, одной из которой, является проектирование ракетных двигателей.

Проектирование двигателя является сложным процессом, который включает в себя расчет прочности конструкции, газодинамических, тепловых, охлаждающих, гидравлических процессов и т. д. По сути, ракетный двигатель это одна сложная система, которая состоит из нескольких подсистем, постоянно взаимодействующих и дополняющих друг друга. Каждая система разрабатывается в зависимости от конструкции двигателя и его эксплуатационных характеристик.

Ракетный двигатель, как и любой тепловой двигатель, в процессе его эксплуатации подвергается сильному температурному воздействию. Вопрос его охлаждения, с точки зрения эксплуатации, является критическим и весьма актуальным.

Интенсивность охлаждения конструкций двигателя зависит от его тяги. Используется несколько способов охлаждения камеры сгорания и реактивного сопла. Наружное охлаждение бывает однокомпонентным, двухкомпонентным или одновременно комбинированным. Внутреннее охлаждается с помощью пристенного или пленочного слоя. Кроме этих способов существует еще несколько, но все они относятся к вопросам теплозащиты двигателя, а не его охлаждения.

в статье рассматривается система охлаждения сопла жидкостного ракетного двигателя большой тяги с применением однокомпонентного наружного способа в комбинации с внутренним охлаждением созданием пленочного слоя.

Вопросам охлаждения ракетных двигателей посвящено много литературы. В основном они рассматриваются или в аспекте общей конструкции всех типов двигателей, или непосредственно для жидкостных ракетных двигателей. В работах описаны общие принципы охлаждения. В работах рассматривают этот вопрос с точки зрения охлаждения отдельных элементов двигателя. Это же касается вопросов охлаждения сопла жидкостного ракетного двигателя комбинированным способом.

Во всех источниках описаны общие подходы решения задачи охлаждения сопла. Причем рассматриваются они по отдельности, а не в комбинации между собой.

С точки зрения применения такого способа можно отметить исследования немецкого ученого Вернера фон Брауна. Он спроектировал двигатель F-1 в качестве первой ступени ракеты Сатурн 5, где впервые охлаждалось сопло ракетного двигателя с использованием газогенераторного газа. Данная ракета активно использовалась США в своей лунной программе, и все ее запуски были признаны успешными.

Основной особенностью двигателя F-1 была система охлаждения, которая использовала отработанный газогенераторный газ для охлаждения сопла. Охлаждающий газ позволял увеличить общую массу газа в сопле, что позволяло увеличить импульс двигателя.

Фон Браун применил комбинированный способ, в котором использовалось однокомпонентное наружное охлаждение, и внутреннее охлаждение пленочного слоя отработанным газогенераторным газом.

в данной работе описан похожий способ охлаждения, но с применением других подходов.

### **Комбинированный способ охлаждения**

в основном, при комбинированном способе охлаждения верхняя часть двигателя охлаждается с помощью жидкостей, а нижняя, в зависимости от конструкции, либо тоже жидкостью, либо газом (рис. 1.).

На рис. 1а и верхняя и нижняя часть охлаждается с помощью жидкостей, на рис. 1б верхняя часть охлаждается с помощью жидкостей, а нижняя, с помощью газа. В качестве

жидкостей используется горючее или окислитель, или их комбинации, в качестве газа – газогенераторный газ.

Именно второй способ показал свою эффективность в двигателе F-1, разработанным Фон Брауном. Для охлаждения в этой конструкции впервые предложено использовать теплообменник и сборный коллектор отработанного газа турбины.

Теплообменник использовался для охлаждения горячего газа, поступающего от турбины, который в охлажденном виде поступал в сборный коллектор отработанного газа турбины, а далее по окружности впрыскивался в сопло параллельно его стенок (рис. 2).

качестве охлаждающего компонента в теплообменнике использовался жидкий кислород. Но данный способ обеспечивал охлаждение только съемной части сопла. Остальная часть двигателя охлаждалась с помощью жидкого керосина. То есть Фон Браун применил в своей разработке два вида охлаждения, для верхней части двигателя использовалась жидкость, для нижней – охлажденный газ.

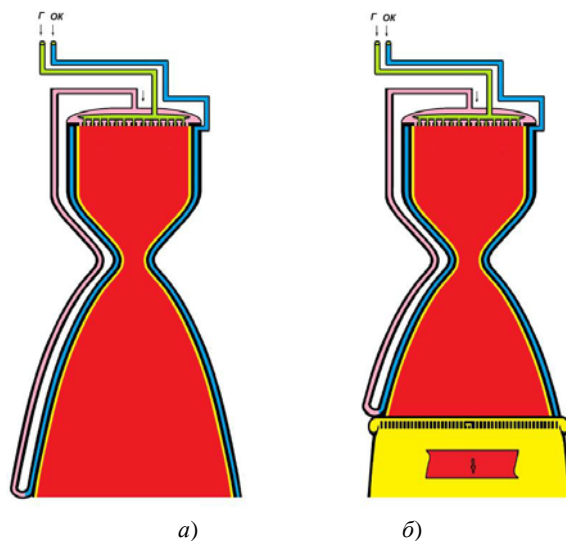


Рис. 1. Способы охлаждения двигателя

Помимо преимуществ этот способ имел основной недостаток. Он заключался в обязательном наличии холодных жидкостей, причем температура этих жидкостей имела строго регламентированный диапазон. В случае нарушения этого диапазона охлаждение двигателя не давало нужного эффекта.

#### **Способ охлаждения сопла с помощью газогенераторного газа**

Чтобы решить проблему предлагается способ охлаждения сопла с помощью газа проходящего через турбину турбонасосного агрегата. Так как энергия газа определяется многими физическими величинами, то меняя значения некоторых из них можно добиться необходимого понижения температуры газогенераторного газа без использования холодных жидкостей.

эксплуатируемых на сегодня жидкостных ракетных двигателях для охлаждения используется только основной газогенератор (рис. 2). Для регулирования тех составляющих энергии газа, которые обеспечат нам необходимые условия охлаждения, предлагается использование в ракетном двигателе дополнительного газогенератора (рис. 3).

Так как газ, проходящий через основную турбину двигателя, имеет низкое давление, он не может напрямую впрыскиваться в сопло из-за разности давлений между точкой

выхода газа из турбины и точкой входа газа в сопло. С другой стороны этот газ все еще имеет повышенную температуру и не может быть использован для охлаждения сопла.

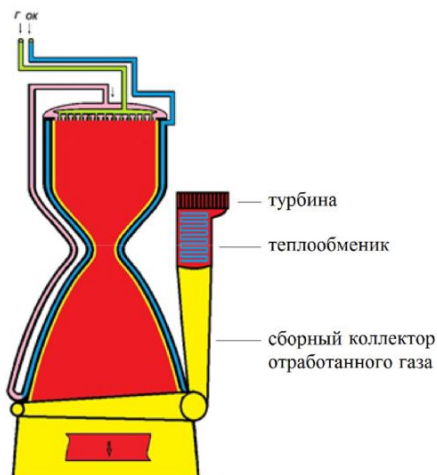


Рис. 2. Жидкостный ракетный двигатель F-1

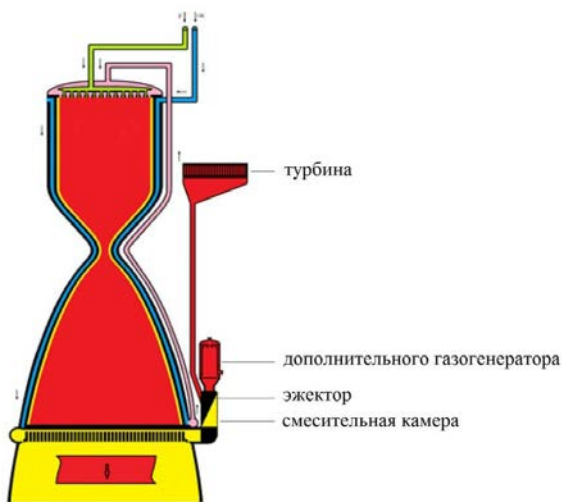


Рис. 3. Дополнительный газогенератор.

Именно для уменьшения температуры газа и увеличения его давления, необходим дополнительный газогенератор. Он обеспечит нам изменение составляющих энергии газа, которые позволят регулировать необходимую разность давления для его подачи в сопло двигателя, а также регулировать его температуру.

Изменение составляющих физических параметров газа будет происходить за счет смешивания отработанного газогенераторного газа, который прошел через турбину, и газа дополнительного газогенератора (рис. 4).

Как видно из рис. 4, для смешивания газов будет использоваться эжектор и смесительная камера.

Таким образом, данный способ, во-первых позволит решить задачу охлаждения сопла с использованием газогенераторного газа. Во вторых, позволит убрать из конструкции двигателя теплообменник. В третьих, разрешит использовать сборный коллектор

отработанного газа не в конусоподобном виде, а с постоянным сечением по всей окружности.

К тому же данный способ позволит увеличить импульсные характеристики двигателя.

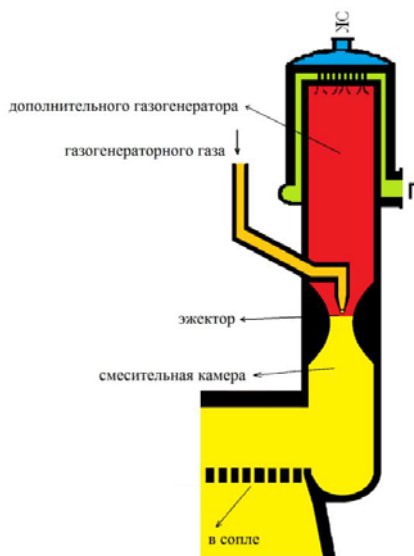


Рис. 4. Смешивание газов

#### РЕФЕРАТ

Паям Хамзе,

Національний авіаційний університет, [maximum\\_inc@ua.fm](mailto:maximum_inc@ua.fm)

#### ВИКОРИСТАННЯ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗУ ДЛЯ ОХОЛОДЖЕННЯ СОПЛА РІДИННИХ РАКЕТНИХ ДВИГУНІВ

Розглянуті основні підходи до вирішення завдань охолодження ракетних двигунів. Запропоновано спосіб охолодження сопла ракетного двигуна з використанням газу додаткового газогенератора.

**Ключові слова:** рідинний ракетний двигун, сопло, система охолодження, газогенераторний газ.

#### РЕФЕРАТ

Паям Хамзе,

Национальный авиационный университет, [maximum\\_inc@ua.fm](mailto:maximum_inc@ua.fm)

#### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОГЕНЕРАТОРНОГО ГАЗА ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ СОПЛА ЖИДКОСТНОГО РАКЕТНОГО ДВИГАТЕЛЯ

статье рассмотрены основные подходы к решению задач охлаждения ракетных двигателей. Предложен способ охлаждения сопла ракетного двигателя с использованием газа дополнительного газогенератора.

**Ключевые слова:** жидкостный ракетный двигатель, сопло, система охлаждения, газогенераторный газ.

#### ABSTRACT

Paiam Khamze,

National Aviation University, [maximum\\_inc@ua.fm](mailto:maximum_inc@ua.fm)

#### USING GASOGENIC GAS FOR NOZZLE COOLING OF LIQUID ROCKET ENGINE

The basic approach to solving problems of cooling rocket engines is considered in the article. The method of rocket engine nozzle cooling with the help of gas of additional gas generator is offered.

**Key words:** liquid rocket engine, nozzle, cooling system, gasogenic gas.

## РОЗДІЛ V

### ЕКОЛОГІСТИКА ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

УДК 504.062:662.613.12:574.68:629.33/36:311.175"313"(045)

#### **V-1. ЕКОЛОГІСТИКА ТА АВІАРЕЦИКЛІНГ – СУЧАСНІ ІНСТРУМЕНТИ ІНТЕГРАЦІЇ ПІДРОЗДІЛІВ АВІАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ, СПРЯМОВАНІ НА РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

*Оксана Іванченко , Сергій Бойченко*

Сьогодні важливою умовою для стійкого розвитку світової економіки є упровадження екологічного підходу до діяльності у різних сферах і галузях промисловості.

Логістика, без якої неможливо уявити виробництво і торгівлю, пов'язана з переміщенням транспортних потоків і переробкою вантажів, що апіорі є видом діяльності, що забруднюють навколишнє середовище.

Екологічно орієнтована (або зелена) логістика переслідує мету, з одного боку, мінімізувати шкідливий вплив на навколишнє середовище, а з іншого – скоротити або повністю виключити споживання невідновлюваних ресурсів.

Розширення концепції логістики на екологічні аспекти аж ніяк не є випадковістю або даниною моді. Насправді від логістики і, відповідно, логістів в справі захисту навколишнього середовища залежить дуже багато. Адже транспорт є другим після паливно-енергетичного комплексу емітентом парникових газів – на його частку сьогодні припадає близько 25% всіх викидів CO<sub>2</sub>. І якщо в інших індустріях вже помітна тенденція до зниження емісії шкідливих речовин, то на транспорті її обсяги зростають у зв'язку з глобалізацією торгівлі, зростанням вантажообігу та авіаперевезень.

Тому, на нашу думку, екологістику можна без сумніву назвати новим підходом науковим напрямом, що об'єднує комплекс галузей пов'язаних з вирішенням екологічних проблем сучасності.

Участь у вирішенні екологічних проблем передбачає, перш за все, скорочення споживання ресурсів – палива, електроенергії, матеріалів і т.д. А це автоматично призводить до скорочення витрат, що, по суті, і є однією з головних завдань логістів. Одним із багатьох індикаторів ефективності логістики, зокрема транспортної, що одночасно є і показниками екологістики – це впровадження процесів рециклінгу й утилізації транспорту.

Вагомим внеском авіаційної галузі в охорону навколишнього середовища може стати правильне поводження з відходами транспорту, зокрема авіаційними транспортними засобами, що по тим чи іншим причинам вийшли з експлуатації.

Питання правильного поводження з відходами транспортного комплексу має глобальне значення для збереження екологічної системи, тому необхідно знаходити все нові методи поповнення або заміни ресурсів, що споживаються.

Одними з таких методів у авіаційній сфері є впровадження процесів рециклінгу (авіарециклінгу) та утилізації відходів транспортного комплексу.

Важливість впровадження процесів утилізації і рециклінгу має як екологічні, так ресурсозберігаючі причини. Багато матеріалів в природі обмежені, а їх час і заповнення значно перевищує тривалість життя декількох поколінь людей. Накопичуючись, такі відходи забруднюють навколишнє середовище. Є серед них такі, термін розкладання, яких природних умовах вимірюється століттями. Уникнути їх накопичення можна, зокрема, застосовуючи їх переробку і повернення в якості вторинної сировини в промислових процесах. При цьому найчастіше досягається істотна економія природних ресурсів, енергії на їх переробку, а також трудовитрат.

Термін рециклінг відходів (англ. Recycling) означає повернення в оборот, повторне використання матеріалів і виробів. На нашу думку, найбільш рентабельну і екологічну форму поводження з відходами, можна виразити наступними етапами:

- редукція (скорочення обсягу відходів);
- повторне використання (рециклінг);
- переробка;
- утилізація;
- захоронення залишків.

Літальний апарат (ЛА) можна з повній мірі вважати одним з найкращих творінь людини. Створення ЛА вимагає витрачання величезних інтелектуальних і економічних ресурсів (франц. Ressource – засіб, запас) суспільства.

Усі етапи життєвого циклу сучасного ЛА мають значний вплив на різні сфери життя суспільства.

життєвому циклі ЛА (шлях, що проходить ЛА за час свого існування) можна виділити наступні основні етапи:

- проекування ЛА;
- будівництво та випробування дослідних екземплярів;
- розробка технічної документації на серійне виробництво;
- серійне виробництво і постачання ЛА організації-замовнику;
- експлуатація ЛА і модернізація його в процесі експлуатації;
- авіарециклінг і утилізація ЛА, що відпрацювали встановлений термін (тобто використання елементів конструкції й систем ЛА як вторинної сировини).

Кожна стадія життєвого циклу літака формує відповідну область, в якій ця стадія реалізується. Область зі своїми характерними принципами, законами, структурою організації – тобто, специфічними умовами, що визначають процес реалізації цілей завдань даної області, і, в кінцевому підсумку, повноцінність реалізації відповідної стадії життєвого циклу. Як буде проходити процес реалізації – визначає те, як сформована (наскільки повноцінно) і як функціонує відповідна організаційна структура кожної області. Етап експлуатації літака є визначальним етапом для всього його життєвого циклу. На цьому етапі відбувається найбільш повна, різнобічна і об'єктивна оцінка не тільки технічного рівня самого літака за рівнем його конструктивного виконання і за рівнем його виготовлення, але і оцінка всієї системи розробника і виробника літака, що забезпечує повноцінність реалізації життєвого циклу літака в цілому. Етапи авіарециклінгу і утилізації замикають процес реалізації життєвого циклу в єдине ціле, замикають всю систему, і, тим самим, забезпечують не тільки її «стійкість» (повноцінність), але і розвиток самої системи.

Проблема правильного поводження з авіаційними транспортними засобами (ТЗ), що вийшли з експлуатації виникла відносно недавно. Десятки тисяч лайнерів, бомбардувальників, транспортників і винищувачів без руху знаходяться в ангарах, на обладнаних стоянках і занедбаних аеродромах. Якісь із них є унікальними виробами епохи науково-технічного розвитку, інші – машинами простіше; проте кожен літак виконаний зі сталі, алюмінію і титану, начинений електронною радіоапаратурою, облицьований пластиком. Розміри цієї проблеми не обмежені якими б то не було регіональними межами. З нею зіткнулися всі розвинені країни.

Рішення про виведення літаків з експлуатації в багатьох державах не є однозначними. Так, в США більшість літаків, випущених після Другої світової війни, містяться в законсервованому стані, багато з них готові до експлуатації. Європейські урядові органи намагаються виробити таку систему взаємин з компаніями, що займаються утилізацією і рециклінгом, що б робила ці процеси економічно вигідними всім учасникам. Сьогодні Китай, передбачаючи швидку зміну нинішнього авіаційного парку, вкладає 2 млрд. доларів в будівництво заводу, здатного за рік переробляти 50 одиниць техніки. Вітчизняні фахівці й керівники галузі розходяться у виборі єдиного шляху використання літаків, що

відпрацювали свій ресурс. Сотні одиниць авіаційної техніки продовжують службу, незважаючи на крайній ступінь зношеності. Частина ЛА за минулі роки була модернізована: на них були замінені силові агрегати, оновлена електронна і програмна начинка. Переобладнання, в основному, торкнулося військових літаків. Пасажирський авіапарк, що не відповідає стандартам ЄЕС (Європейське Економічне Співтовариство), з 2002 року підлягає повній утилізації.

Літак складається з мільйонів компонентів, що після списання машини повинні підлягати подальшій переробці. Деякі матеріали утилізують за допомогою автоматизованих комплексів, деякі вимагають великої кількості ручної праці. Частина авіаційних відходів відправляється на звалища назавжди. Якесь частка відходів тимчасово складається в очікуванні виникнення відповідних технологій. Такими технологія повинні бути авіарециклінг і утилізація.

Опис технології утилізації починається в аеропорту стоянки або на базі зберігання авіаційної техніки. У першу чергу з систем літака видаляють:

- залишки палива, що не вдалося повністю злити з машини;
- технічні рідини, що використовувалися в різних системах агрегатів;
- вибухові пристрої катапульт;
- технологічні електронні прилади;
- пасажирське обладнання;
- пластикові обшивки, накладки і і.д.;

допоміжне технологічне обладнання – дроти, силові та передавальні пристрої приводів шасі, елеронів, закрилків, керма управління – сотень вузлів.

Франції, наприклад, велика частина подібних вузлів продається з метою їх повторного використання.

Подальша переробка індивідуальна для кожної групи матеріалів. Корпуси літаків надходять в цехи де в процесі переплавки отримують чорні (25 %) і кольорові метали (більше 70 %). Прилади, плати, радіоелементи надходять для переробки на інші підприємства.

Метою переробки є отримання міді, олова, срібла, золота і платини з деталей списаних комп'ютерів, навігаційного обладнання, засобів зв'язку. Залишки апаратури спочатку розбираються і розсортовуються вручну. На другому етапі в технологічних лініях здійснюється хімічна переробка матеріалів.

Проте, незважаючи на певний технологічний рівень утилізації авіаційних відходів, що існує у світі сьогодні, в найближчій перспективі для її здійснення потрібні інші технології: замість металу підвищується питома вага композитних матеріалів, в приладах не використовуються в такій кількості дорогоцінні метали. Композитні матеріали, що складаються з армуючої карбонової сітки і поліамідних (полістирольних) наповнювачів в процесі утилізації підлягають розчиненню.

На думку переробників відходів, утилізація літаків у відриві від процесу їх створення економічно необґрунтована. Вартість матеріалів, видобутих з літака, в порівнянні витратами, що необхідні для його розбирання: до покинутого на далекому аеродромі літаку необхідно доставити бригаду фахівців та обладнання; демонтаж оснащення лайнера не тільки трудомісткий, але і пов'язаний з дотриманням підвищених норм санітарної безпеки проведення робіт, збору, зберігання і вивезення багатьох (часто токсичних) матеріалів; подальше сортування, логістика та переробка – досить затратні заходи. Однак, це лише вершина айсберга. За оцінками провідних світових авіакорпорацій, до 2030 року буде потрібно оновити близько 35 тисяч лайнерів. На виготовлення кожної машини потрібно від 50 тонн металу, сотень кілограм полімерів. При цьому в галузі списується щорічно більше 500 літаків – ті ж тисячі тонн алюмінію, нікелю, сталі і полімерів. Перед авіабудівниками стоїть завдання: оптимізувати кругообіг матеріалів, перетворивши сферу виробництва використання повітряного флоту в замкнутий цикл.

Виходячи із ситуації, що склалася у всьому світі протягом останніх десятиріч, застосування процесів авіарециклінгу і утилізації є альтернативним джерелом для одержання необхідних авіаційних запчастин та компонентів ЛА.

Для придбання запасних авіаційних частин, підтримання їх складу, а також ціноутворення на них останнім часом простежуються два чинники. З одного боку, наявні запаси компонентів для ремонту відносно недавно побудованих літаків і авіаційних двигунів продовжують рідшати, з іншого – ті ж самі літаки і двигуни все частіше розбираються на запчастини. Обидва ці явища відкривають перед авіаперевізниками можливість скорочення витрат без шкоди для технічної готовності парків.

Згідно інформації американської корпорації AAR CORP. (Allen Aircraft Radio Corporation) на європейському, близькосхідному і африканському ринках, відбувається помітне скорочення запасів запчастин і компонентів для таких типів ПС, як Airbus A320, Boeing 737NG і 747-400. Одночасно з цим літаки все новіших типів стали розбирати на запчастини – з класичних моделей Boeing 737 перекинулася на Airbus A320 більш ранніх випусків, потім на Boeing 737-700, а зовсім недавно і на Airbus A321 і A318.

Ці два фактори збіднюють і без того невеликі пули (англ. pool – загальний котел – форма об'єднання компаній, що відрізняється тим, що прибуток усіх учасників пулу надходить до загального фонду (котел) і потім розподіляється між ними відповідно до заздалегідь встановленої пропорції) запчастин для нових типів ПС, що знаходяться в розпорядженні авіакомпаній, а ринкові ціни таких компонентів знижуються. На запчастини йдуть все більш нові моделі літаків, і галузеві фахівці задаються питанням, чи мають вони справу з тенденцією або тимчасовим явищем.

пулах авіакомпаній зараз на 20 % менше запчастин, ніж раніше, і скорочення припадає саме на компоненти, призначені для установки на більш нові типи повітряних суден. До пулів традиційно вдаються, щоб уникнути дорогого ремонту компонентів, двигунів і великих швидкоз'ємних блоків. Тепер ця практика застосовується для класичних моделей Airbus A320, на Boeing 737-700, Airbus A321 і навіть на більш пізніх Airbus A318. Розбирання окремих екземплярів таких ЛА збільшує пули запчастин, що перевізники потім моментально пускають в справу, щоб знизити прямі експлуатаційні витрати на останньому в експлуатації парку.

Важливим гравцем на вторинному ринку авіазапчастин є компанія International Aircraft Associates (IAA) – це один з найбільших дистриб'юторів компонентів для авіадвигунів. У разі потреби перевізники і ремонтні підприємства все частіше звертаються до вторинного ринку в пошуках запчастин для таких силових установок, як CFM56-7B, оскільки не хочуть утримувати власний пул подібних компонентів. Власні запаси деталей авіакомпанії або виставляють на продаж, або намагаються використовувати по максимуму: просто тримати запчастини у себе на складі стає не вигідно.

Американський низькотарифний авіаперевізник Southwest Airlines зараз використовує свій запас компонентів набагато ефективніше, ніж раніше. На початок листопада 2012 року ця авіакомпанія була найбільшим у світі експлуатантом літаків Boeing 737-700, з парком в 424 одиниці. Зараз перевізник ретельно відсортовує наявний пул запчастин і позбавляється приблизно від 10–15 % запасів. У перспективі запаси компонентів, що зберігаються в авіакомпанії, планується скоротити ще радикальніше.

Така оптимізація стала можливою завдяки тому, що великий парк Southwest цілком складається з літаків виробництва Boeing: 604 з 692 її авіалайнерів представляють сімейство Boeing 737. З огляду на однотипність парку, у авіакомпанії більше запчастин, ніж потрібно. Проте від надлишкових запасів деталей компанія поступово позбувається.

На відміну від Southwest з її великим однотипним парком і відповідним асортиментом деталей до нього, більшості авіаперевізникам доводиться користуватися більш традиційними пулами запчастин. Так, новозеландська авіакомпанія Air New Zealand недавно підписала низку угод з постачальником авіаційних компонентів.



минулому пули запчастин створювалися в рамках договорів між окремими авіакомпаніями, але зараз ситуація змінилася, оскільки авіакомпанії визнають, що на їх складах накопичилося занадто багато надлишкових компонентів.

За останні 5–7 років прагнення авіаперевізників застатися запчастинами пішло на спад, оскільки стало очевидним, що використання послуг сторонніх постачальників є ефективним і більш економічним рішенням.

Перспектива економічної вигоди від більш ефективного використання авіаційних компонентів призводить до скорочення бюджетів на придбання запчастин. Деталі, зняті розібраних примірників новіших типів ПС, стають дешевшими, вартість недавно розібраних на запчастини компонентів ПС, знизилась на 10–20 %.

Сьогодні авіакомпанії продовжують позбуватися від власних запасів авіакомпонентів і все активніше починають користуватися пулами.

Незважаючи на наявність великої статистики щодо виведення комерційних літаків з експлуатації, достовірних даних про те, скільки нових літаків при цьому розбираються на частини, немає. У середині 2000-х рр. щорічно у світі виводилося з експлуатації від 220 до 230 авіалайнерів. Зараз цей показник становить близько 500 бортів на рік.

Інтенсифікація робіт з дефрагментації ПС на компоненти пов'язана із наступом надходженням на ринок більш паливно-ефективних моделей – Boeing 737 MAX і Airbus A320 NEO, що користуються підвищеним інтересом серед авіакомпаній, які відчайдушно намагаються скоротити витрати на паливо. Як свідчить практика економічно вигідніше продавати літак на запчастини, чим цілий, так Airbus A319 був проданий колишнім експлуатантом на запчастини за 14 млн \$, у той час як за цілий літак пропонували не більше 12 млн. Основним фактором тут є окупність інвестицій. Якщо власник може отримати на 2 млн \$ більше, продавши ЛА по частинах, то рік випуску літака не грає ролі.

Авіабудівний концерн Boeing і корпорація Alcoa (американська металургійна компанія) сформували замкнуту програму з розширення авіарециклінгу брухту алюмінієвих сплавів, що використовують у виробництві літаків. Її втілення в життя спричинить за собою інтермодальні перевезення відходів з підприємств Boeing у Франції і сторонніх постачальників на завод Lafayette (США) для подальшої переробки.

Програма Boeing і Alcoa передбачає утилізацію сплавів, що застосовують виготовленні компонентів крил і фюзеляжу літаків Boeing. Дана програма максимізує вартість всього ланцюжка поставок при одночасному зниженні кількості відходів. Також, Alcoa Fastening Systems (підрозділ Alcoa, найбільший американський виробник кріплень для аерокосмічної та автомобільної промисловості) на початку 2013 р. було підписано угоду з китайським виробником комерційних літаків.

На сьогодні розглядаються три способи отримання вуглецевого волокна з композиційного крила літака. Найбільш ефективним показав себе метод піролізу – термічний процес, що протікає в аргонному середовищі, що видаляє смоли, не зачіпаючи при цьому вуглецеве волокно. Отримане таким чином волокно змішується з поліпропіленом поліамідом в пропорціях 15 % і 30 %, що надає матеріалу оптимальні механічні властивості. Такі матеріали можуть використовуватися в областях, що вимагають застосування композитів високої якості з хорошими технічними характеристиками, але за меншою ціною.

Звичайно, застосування процесів авіарециклінгу, утилізації й переробки авіаційної техніки вимагає висококваліфікованого персоналу, необхідного обладнання, затрат енергії, територій та спецтехніки, але без економічної підтримки і дотацій з боку держави реалізувати це підприємствам самостійно буде неможливо. Усім розвиненим країнам потрібно зрозуміти, що екологічна ситуація з кожним днем погіршується, природних запасів і ресурсів стає все менше, тому перехід і впровадження нових методів правильного ефективного поводження з відходами транспортної галузі має відбуватися в першу чергу на державному рівні.

На сьогодні промисловість розвинутих країн через використання вторинної сировини здатна відшкодувати 80 % комплектуючих виробів. Завдання полягає в тому, щоб довести ступінь вторинного використання матеріалів до 100 %. Таким чином ми отримуємо як екологічну так і економічну вигоду.

#### РЕФЕРАТ

*Оксана Іванченко<sup>1</sup>, Сергій Бойченко<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>Національний авіаційний університет, <sup>2</sup>Український науково-дослідний та навчальний центр хіммотології та сертифікації паливно-мастильних матеріалів і технічних рідин, akairon@bigmir.net, chemmotology@ukr.net*

#### **ЕКОЛОГІСТИКА ТА АВІАРЕЦИКЛІНГ – СУЧАСНІ ІНСТРУМЕНТИ ІНТЕГРАЦІЇ ПІДРОЗДІЛІВ АВІАЦІЙНОГО КОМПЛЕКСУ, СПРЯМОВАНИ НА РАЦІОНАЛЬНЕ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ**

Розглянуто взаємозв'язок екологістики, як нового наукового напрямку в екології та економіці, проблемами утилізації та рециклінгу відходів. Вивчено проблему поводження з відходами авіаційного транспортного комплексу в Україні та світі. Обґрунтовано необхідність утилізації авіаційних транспортних засобів, що вийшли з експлуатації. Розглянуто екологічні проблеми, пов'язані зі збором та утилізацією авіаційних транспортних засобів та їх компонентів. Запропоновано обґрунтовано актуальність та доцільність застосування процесів авіарециклінгу у сфері поводження відходами транспорту.

**Ключові слова:** екологістика, відходи, ресурсозбереження, утилізація, авіаційний транспортний засіб, авіарециклінг.

#### РЕФЕРАТ

*Оксана Іванченко<sup>1</sup>, Сергей Бойченко<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>Национальный авиационный университет, <sup>2</sup>Украинский научно-исследовательский и учебный центр химмотологии и сертификации горюче-смазочных материалов и технических жидкостей, akairon@bigmir.net, chemmotology@ukr.net*

#### **ЕКОЛОГІСТИКА І АВІАРЕЦИКЛІНГ – СОВРЕМЕННЫЕ ИНСТРУМЕНТЫ ИНТЕГРАЦИИ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ АВИАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА, НАПРАВЛЕННЫЕ НА РАЦИОНАЛЬНОЕ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ**

Рассмотрена взаимосвязь экологистики, как нового научного направления в экологии и экономике, проблемами утилизации и рециклинга отходов. Изучена проблема обращения с отходами авиационного транспортного комплекса в Украине и мире. Обоснована необходимость утилизации авиационных транспортных средств, вышедших из эксплуатации. Рассмотрены экологические проблемы, связанные со сбором и утилизацией авиационных транспортных средств и их компонентов. Предложено и обосновано актуальность, и целесообразность применения процессов авиарециклинга в сфере обращения с отходами транспорта.

**Ключевые слова:** экологистика, отходы, ресурсосбережение, утилизация, авиационный транспортное средство, авиарециклінг.

#### ABSTRACT

*Oksana Ivanchenko<sup>1</sup>, Sergii Boichenko<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>National aviation university, <sup>2</sup>Ukrainian scientific-research and education center of chemmotology and certification of fuels, lubricants and technical liquids, akairon@bigmir.net, chemmotology@ukr.net*

#### **ECOLOGISTICS AND AIR TRANSPORT RECYCLING – MODERN TOOLS FOR AIRCRAFT COMPLEX UNITS INTEGRATION AIMED AT ENVIRONMENTAL MANAGEMENT**

The relationship of ecologistics, as a new scientific branch in ecology and economy, with the problems of utilization and recycling of waste was discussed. The problem of air transport waste disposal in Ukraine and abroad was studied. The necessity of recycling air vehicles, which became out of service, was proved. The ecological problems, related to gathering and recycling of air vehicles and its components, were considered. The significance and feasibility of air transport recycling processes in sphere of transport waste disposal was proposed and substantiated.

**Key words:** ecologistics, waste, resource saving, recycling, air vehicle, air transport recycling.

## **V-2. ОСОБЛИВОСТІ МОНІТОРИНГУ ПОКАЗНИКІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ МІСЬКОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ**

*Василь Матейчик, Микола Цюман*

сучасних економічних умовах транспортне забезпечення господарської діяльності відіграє важливу роль. Найбільшу частку в транспортних процесах складає автомобільний транспорт. Оскільки переважним типом транспортних енергоустановок є енергоустановки на базі ДВЗ, найбільш значущими аспектами транспортних процесів є ефективність споживання моторних палив і рівень забруднення навколишнього середовища шкідливими речовинами, що містяться у відпрацьованих газах (ВГ) транспортних засобів (ТЗ). Тому, актуальною задачею є розробка і впровадження в експлуатацію ефективних заходів, що сприятимуть підвищенню екологічної безпеки через ефективне паливовикористання зменшення шкідливого навантаження на навколишнє середовище. Разом з тим, ефективність впровадження таких заходів неможливо оцінити без об'єктивного моніторингу окремих показників екологічної безпеки транспортних потоків (ТП).

Питання дослідження впливу на навколишнє середовище об'єктів дорожньої мережі, окремих ТЗ і ТП та способів підвищення їх екологічної безпеки, розробки методик дослідження і прогнозування екологічної безпеки окремих ТЗ та рівня забруднення придорожного середовища ТП, а також розробки систем екологічного моніторингу на транспорті досліджувались в роботах багатьох вчених.

На основі результатів цих досліджень в працях висвітлені особливості побудови математичної моделі системи «транспортний потік – дорога» та питання формування окремих елементів інтелектуальної системи моніторингу показників екологічної безпеки ТЗ. Разом з тим, питання застосування розроблених методів для оцінювання показників екологічної безпеки ТП потребують додаткових досліджень.

Метою статті є аналіз особливостей моніторингу показників екологічної безпеки транспортного потоку міської автомобільної дороги.

процесі здійснення моніторингу екологічної безпеки ТП основною проблемою забезпечення достовірності необхідних вхідних даних, оскільки показники екологічної безпеки залежать від великої кількості факторів. Зокрема, повинні враховуватись усі можливі конструктивні і експлуатаційні фактори, що визначають загальний еколого-економічний рівень окремих ТЗ потоку: технічний стан ТЗ, вид палива, дорожні та транспортні умови, що визначаються станом і типом дорожнього покриття, кутом нахилу дороги, щільністю, швидкістю і інтенсивністю ТП, тощо. Збір усіх цих параметрів для всіх ТЗ потоку на сучасному етапі розвитку інформаційних систем на транспорті достатньо важко реалізувати практично. Тому, передбачається на першому етапі здійснювати збір статистичної інформації про дорожні і погодні умови на досліджуваній ділянці дороги, структуру транспортного потоку та поточні параметри руху на цій ділянці дороги контрольного ТЗ з використанням бортової системи *OBD* та засобів передачі інформації. Ці дані використовуються для визначення поточної швидкості, щільності та інтенсивності ТП, уточнення вхідних параметрів для моделювання показників екологічної безпеки інших ТЗ потоку, на основі яких здійснюється оцінювання показників екологічної безпеки усього потоку в цілому.

На рис. 1 представлена організаційна схема процесу моніторингу показників екологічної безпеки ТП. З метою візуалізації результатів моніторингу можливе використання геоінформаційних систем (ГІС).

Приклади даних про поточні параметри руху контрольного ТЗ в міському ТП показники екологічної безпеки окремого ТЗ представлено на рис. 2, 3.

Аналіз отриманих параметрів руху ТЗ (рис. 2) дозволяє встановити три характерні часові фази руху: прогрів, рух у вільному потоці і рух в заторі. Фаза прогріву характеризується невисокими швидкостями руху  $V_a$ , підвищенням температури охолоджуючої рідини  $t_{ox}$  і нейтралізатора  $t_n$  до робочих значень, підвищеними значеннями питомих шляхових витрати палива  $g_{пал}$ , викидів оксиду вуглецю  $g_{CO}$ , вуглеводнів  $g_{сн}$ , оксидів азоту  $g_{NOx}$  (рис. 3).

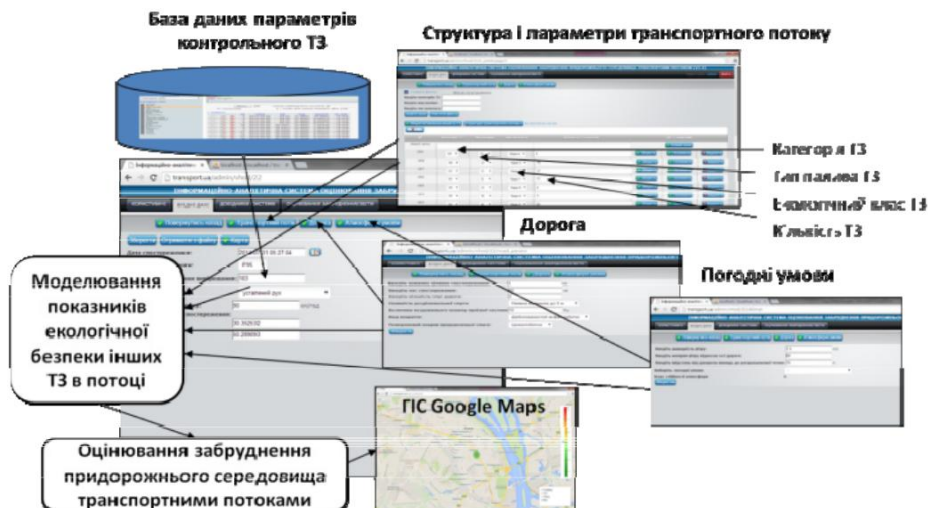


Рис. 1. Організаційна схема процесу моніторингу показників екологічної безпеки транспортного потоку

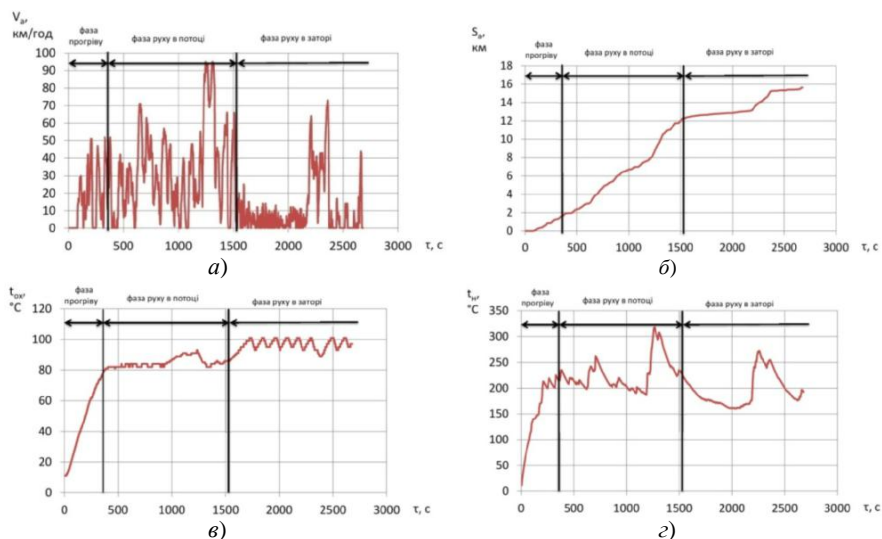


Рис. 2. Параметри руху ТЗ в транспортному потоці: а) швидкість; б) пройдений шлях; в) температура охолоджуючої рідини; г) температура нейтралізатора

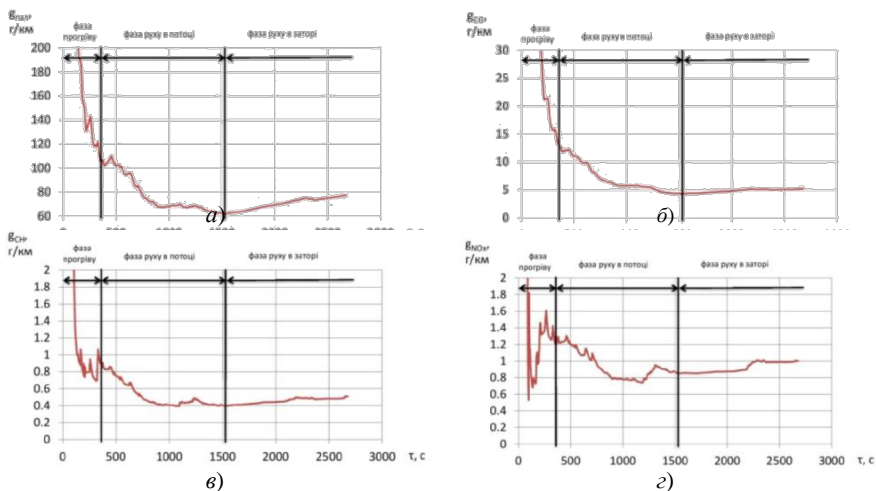


Рис. 3. Показники екологічної безпеки окремого ТЗ:  
 а) витрата палива; б) викиди CO; в) викиди  $C_mH_n$ ; г) викиди  $NO_x$

Фаза руху в потоці характеризується підвищенням швидкісного режиму (рис. 2 а), збільшенням пройденого шляху  $S_a$  (рис. 2б), нормальним тепловим режимом роботи системи охолодження (рис. 2в) і нейтралізатора (рис. 2 г). Це сприяє зниженню значень питомих шляхових витрати палива і викидів шкідливих речовин (рис. 3) до мінімальних рівнів.

фазі руху в заторі тепловий режим системи охолодження характеризується максимальними значеннями і періодичним вмиканням вентилятора охолодження радіатора (рис. 2 в). На відміну від цього, тепловий режим нейтралізатора характеризується зниженням температури (рис. 2 г), що пов'язано з низьким навантаженням двигуна. Значення поточних шляхових витрати палива і викидів шкідливих речовин в цій фазі зростають (рис. 3).

Таким чином, розроблена організаційна схема процесу моніторингу показників екологічної безпеки транспортного потоку автомобільної дороги дозволяє здійснювати за наявності достовірних вхідних даних аналіз впливу конструктивних і експлуатаційних факторів окремих ТЗ на рівень екологічної безпеки транспортного потоку. За отриманими даними про поточні параметри руху контрольного ТЗ в міському транспортному потоці встановлено часові межі основних фаз руху ТЗ в типових міських умовах і закономірності зміни показників екологічної безпеки ТЗ в них. Отримані параметри руху контрольного ТЗ є основою для оцінювання показників екологічної безпеки транспортного потоку в цілому.

## РЕФЕРАТ

Василь Матейчик, Микола Цюман,

Національний транспортний університет, [wmate@ukr.net](mailto:wmate@ukr.net)

### ОСОБЛИВОСТІ МОНІТОРИНГУ ПОКАЗНИКІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ МІСЬКОЇ АВТОМОБІЛЬНОЇ ДОРОГИ

Розроблено організаційну схему процесу моніторингу показників екологічної безпеки транспортного потоку автомобільної дороги, що дозволяє здійснювати за наявності достовірних вхідних даних аналіз впливу конструктивних і експлуатаційних факторів окремих транспортних засобів на рівень екологічної безпеки транспортного потоку. За отриманими даними про поточні параметри руху контрольного транспортного засобу в міському транспортному потоці встановлено часові межі основних фаз руху транспортного засобу в типових міських умовах і закономірності зміни показників його екологічної безпеки в них. Отримані параметри руху контрольного транспортного засобу є основою для оцінювання показників екологічної безпеки транспортного потоку в цілому.

**Ключові слова:** транспортний засіб, транспортний потік, екологічна безпека.

## РЕФЕРАТ

*Василий Матейчик, Николай Цюман,*

*Национальный транспортный университет, wmate@ukr.net*

### **ОСОБЕННОСТИ МОНИТОРИНГА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКА ГОРОДСКОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ**

Разработана организационная схема процесса мониторинга показателей экологической безопасности транспортного потока автомобильной дороги, позволяющая осуществлять при наличии достоверных исходных данных анализ влияния конструктивных и эксплуатационных факторов отдельных транспортных средств на уровень экологической безопасности транспортного потока. По полученным данным о текущих параметрах движения контрольного транспортного средства в городском транспортном потоке установлены временные границы основных фаз движения транспортного средства в типичных городских условиях и закономерности изменения показателей его экологической безопасности в них. Полученные параметры движения контрольного транспортного средства является основой для оценки показателей экологической безопасности транспортного потока в целом.

**Ключевые слова:** транспортное средство, транспортный поток, экологическая безопасность.

## ABSTRACT

*Vasyl Mateichyk, Nikolay Tsiuman,*

*National Transport University, wmate@ukr.net*

### **THE PECULIARITIES OF ENVIRONMENTAL SAFETY INDICATORS MONITORING FOR URBAN HIGHWAY TRAFFIC FLOW**

The organizational scheme of environmental safety indicators monitoring for highway traffic flow is developed in this paper. If the reliable input data is available, then it allows to analyze the impact of design and operational factors of individual vehicles for the environmental safety of traffic flow. The timeframes of main phases of the vehicle motion under typical urban conditions and regularities of change the vehicle environmental safety indicators under these conditions are found according to the data of the current parameters of master vehicle motion in urban traffic. The obtained parameters of master vehicle motion are the basis for evaluation the environmental safety indicators of total traffic flow.

**Key words:** vehicle, traffic flow, environmental safety.

УДК 621.43

### **V-3. ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДВИГУНА ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СПИРТОВМІСНОГО ПАЛИВА**

*Микола Цюман, Іван Шевчук*

До найбільш поширених джерел енергії на автомобільному транспорті, особливо на транспортних засобах категорій M1 і N1, відносяться двигуни з іскровим запалюванням, значну частину з яких все ще складають двигуни, що працюють на рідкому паливі. В останні роки достатньо гостро стоїть проблема пошуку альтернативних палив або сировини для їх виробництва, що має на меті поступове заміщення традиційних палив нафтового походження альтернативними. Законом України «Про альтернативні види палива» визначено стратегію стимулювання заміщення біологічними компонентами до 20 % традиційних палив до 2020 року. У випадку традиційного бензину – це використання його сумішей зі зневодненим етиловим спиртом (біоетанолом). Внаслідок цього, сьогодні певну частку палив для двигунів з іскровим запалюванням складають спиртовмісні палива з вмістом біоетанолу до 30 %.

Як відомо, до основних експлуатаційних показників транспортних засобів відносяться показники їх екологічної безпеки, що визначаються витратою палива та викидами шкідливих речовин. Питання оцінювання можливості використання спиртовмісних палив на

двигунах з іскровим запалюванням і поліпшення експлуатаційних показників транспортних засобів при використанні таких палив досліджувались у роботах багатьох вчених. У цих дослідженнях вивчались питання адаптації карбюраторних двигунів до використання сумішей бензину з вмістом біоетанолу до 20 %, паливна економічність і екологічні показники двигунів з іскровим запалюванням з системою впорскування і каталітичною нейтралізацією відпрацьованих газів при живленні спиртовмісним паливом до 20 % біоетанолу. Разом з тим, у зв'язку із появою на ринку спиртовмісних палив із вмістом біоетанолу до 30 % актуальним стає питання оцінювання екологічної безпеки двигуна з іскровим запалюванням при живленні таким паливом.

Метою дослідження є кількісне оцінювання на основі експериментальних досліджень показників екологічної безпеки двигуна з іскровим запалюванням, системою впорскування каталітичною нейтралізацією відпрацьованих газів при використанні спиртовмісного палива з вмістом біоетанолу більше 20 %.

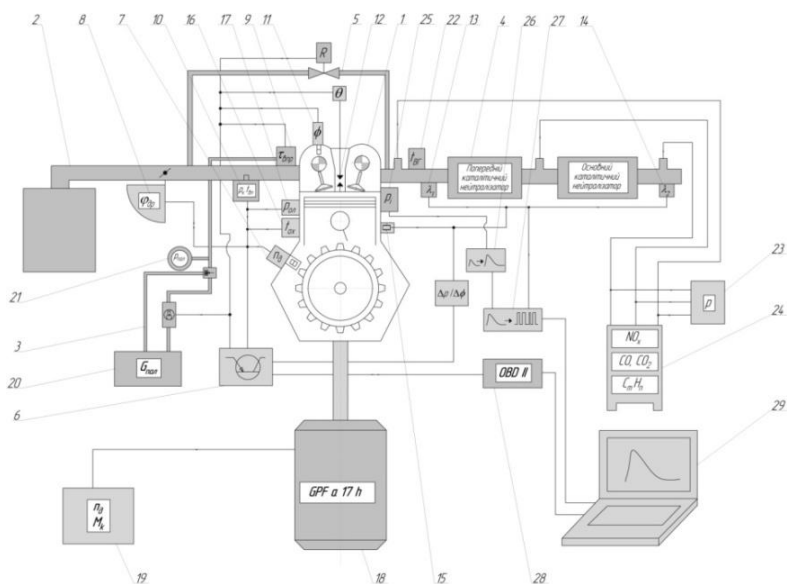


Рис. 1. Схема експериментальної установки:

Двигун VW BBY; 2. Система впуску; 3. Система подачі палива; 4. Система випуску і нейтралізації; Система рециркуляції; 6. Електронний блок керування; 7. Датчик частоти обертання; 8. Елемент управління дросельною заслінкою; 9. Електромагнітні форсунки; 10. Датчик тиску і температури впускному колекторі; 11. Датчик положення розподільчого вала; 12. Котушки запалювання;  $\lambda_1$ -датчик перед каталітичним нейтралізатором; 14.  $\lambda_2$ -датчик за каталітичним нейтралізатором; Датчик детонації; 16. Датчик температури охолоджуючої рідини; 17. Датчик аварійного тиску оливи; 18. Гальмівний стенд; 19. Пристрій для реєстрації значень крутного моменту та частоти обертання; 20. Пристрій для вимірювання витрати палива; 21. Прилад для контролю тиску палива; Пристрій для вимірювання температури відпрацьованих газів; 23. Прилад для вимірювання тиску відпрацьованих газів; 24. Прилади для вимірювання концентрацій  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $C_{stnH}$ ,  $C_{NOx}$ ; 25. Датчик тиску в циліндрі; 26. Підсилювач сигналу; 27. Аналого-цифровий перетворювач; 28. Пристрій для підключення до системи управління двигуном стандарту OBDII; 29. Ноутбук.

До показників екологічної безпеки двигуна відносять витрату палива і викиди шкідливих речовин, що, в свою чергу, суттєво залежать від витрати повітря двигуном, концентрацій шкідливих компонентів у продуктах згорання і ефективності їх нейтралізації. Тому, експериментальні дослідження показників екологічної безпеки двигуна з іскровим запалюванням направлені на визначення масових витрат палива і повітря та концентрацій

шкідливих речовин у відпрацьованих газах до і після їх обробки системою нейтралізації при роботі двигуна на бензині та спиртовмісному паливі із вмістом біоетанолу більше 20 % у різних швидкісних і навантажувальних режимах.

Об'єктом експериментальних досліджень був двигун з іскровим запалюванням VW BBY (4 Ч 7,65/7,56) потужністю 55 кВт, обладнаний системою нейтралізації шкідливих викидів з прискореним прогрівом, що містить два трикомпонентних каталітичних нейтралізатори. Схему експериментальної установки показано на рис. 1. Програма експериментальних досліджень включала визначення серії навантажувальних характеристик двигуна при частотах обертання колінчастого валу  $1800 \text{ хв}^{-1}$ ,  $2400 \text{ хв}^{-1}$  і  $3000 \text{ хв}^{-1}$  при роботі відповідно на бензині А-95 і спиртовмісному паливі А-95 (Е25) із вмістом біоетанолу 25 % за масою. Характеристики палива Е25 (нижча теплота згорання, елементарний склад та інш.), необхідні для кількісного оцінювання показників екологічної безпеки двигуна, отримано розрахунковим шляхом на основі даних про вміст бензину і біоетанолу в паливі і їх характеристик.

Результати дослідження екологічної безпеки двигуна при частоті обертання  $2400 \text{ хв}^{-1}$  (рис.2) показують, що при однаковій витраті повітря  $G_{\text{пов}}$  двигуном при роботі на обох паливах, витрата палива  $G_{\text{пал}}$  Е25 більша, що пов'язано з його меншою теплотою згорання. Система впорскування автоматично корегує кількість впорснутого палива для забезпечення стехіометричного складу паливоповітряної суміші.

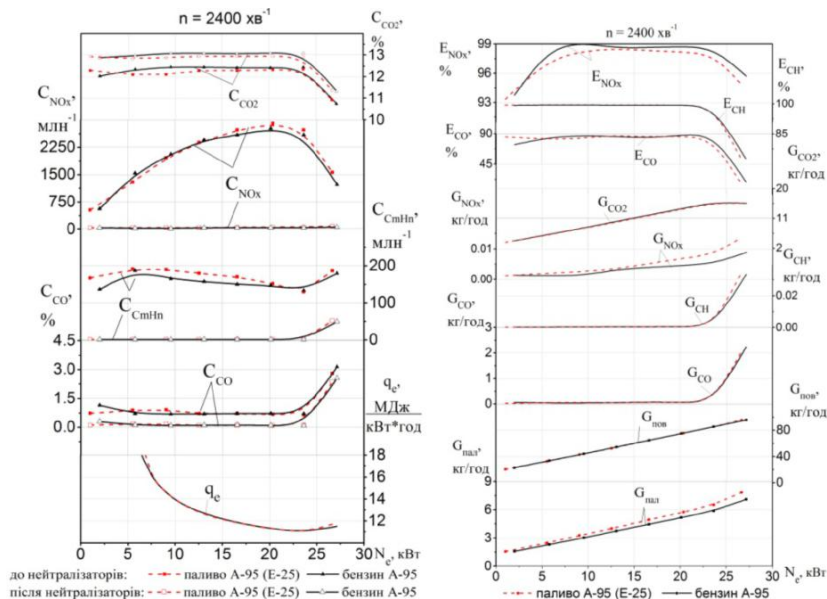


Рис. 2. Показники екологічної безпеки двигуна VW BBY

При цьому, ефективність використання палива  $q_e$  у тепловому еквіваленті практично однакова для обох палив. Концентрації у відпрацьованих газах до і після нейтралізаторів оксиду вуглецю  $C_{\text{CO}}$ , вуглеводнів  $C_{\text{CmHn}}$ , оксидів азоту  $C_{\text{NOx}}$  та вуглекислого газу  $C_{\text{CO}_2}$  дозволяють встановити ефективність нейтралізації окремих речовин  $E_{\text{CO}}$ ,  $E_{\text{CH}}$ ,  $E_{\text{NOx}}$  та масові викиди  $G_{\text{CO}}$ ,  $G_{\text{CO}_2}$ ,  $G_{\text{CH}}$ ,  $G_{\text{NOx}}$ . Викиди  $G_{\text{CO}}$ ,  $G_{\text{CO}_2}$  і  $G_{\text{CH}}$  практично однакові при роботі на обох паливах, а викиди  $G_{\text{NOx}}$  більші при роботі на паливі Е25, що пов'язано з дещо зниженою ефективністю нейтралізації  $E_{\text{NOx}}$  при роботі на спиртовмісному паливі. Для інших частот обертання отримано подібні результати.



Таким чином, за результатами оцінювання показників екологічної безпеки двигуна іскровим запалюванням з системою впорскування і нейтралізації відпрацьованих газів під час роботи на бензині та спиртовмісному паливі встановлено, що використання спиртовмісного палива з вмістом біоетанолу 25 % за масою призводить до збільшення абсолютної витрати палива та зростання викидів оксидів азоту. При цьому, ефективність використання спиртовмісного палива в тепловому еквіваленті практично не змінюється порівняно із бензином.

#### РЕФЕРАТ

*Микола Цюман, Іван Шевчук,*

*Національний транспортний університет, tsuman@ukr.net*

#### **ОЦІНЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДВИГУНА З ІСКРОВИМ ЗАПАЛЮВАННЯМ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СПИРТОВМІСНОГО ПАЛИВА**

Розглянуто питання оцінювання на основі експериментальних досліджень показників екологічної безпеки двигуна з іскровим запалюванням, системою впорскування і каталітичною нейтралізацією відпрацьованих газів при використанні спиртовмісного палива з вмістом біоетанолу більше 20 %. Приведено схему експериментальної установки та результати експериментальних і розрахункових досліджень. За результатами оцінювання встановлено, що використання спиртовмісного палива з вмістом біоетанолу 25 % за масою порівняно із використанням бензину призводить до збільшення абсолютної витрати палива та зростання викидів оксидів азоту. При цьому, ефективність використання спиртовмісного палива в тепловому еквіваленті практично не змінюється порівняно із бензином.

**Ключові слова:** спиртовмісне паливо, двигун з іскровим запалюванням, екологічна безпека..

#### РЕФЕРАТ

*Николай Цюман, Иван Шевчук,*

*Национальный транспортный университет, tsuman@ukr.net*

#### **ОЦЕНИВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИГАТЕЛЯ С ИСКРОВЫМ ЗАЖИГАНИЕМ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СПИРТСОДЕРЖАЩЕГО ТОПЛИВА**

Рассмотрены вопросы оценивания на основе экспериментальных исследований показателей экологической безопасности двигателя с искровым зажиганием, системой впрыска и каталитической нейтрализацией отработавших газов при использовании спиртосодержащего топлива с содержанием биоэтанола более 20 %. Приведены схема экспериментальной установки и результаты экспериментальных и расчетных исследований. По результатам оценивания установлено, что использование спиртосодержащего топлива с содержанием биоэтанола 25 % по массе по сравнению с использованием бензина приводит к увеличению абсолютного расхода топлива и росту выбросов оксидов азота. При этом, эффективность использования спиртосодержащего топлива в тепловом эквиваленте практически не меняется по сравнению с бензином.

**Ключевые слова:** спиртосодержащее топливо, двигатель с искровым зажиганием, экологическая безопасность.

#### ABSTRACT

*Mykola Tsiuman, Ivan Shevchuk,*

*National Transport University, tsuman@ukr.net*

#### **EVALUATION OF SPARK IGNITION ENGINE ENVIRONMENTAL SAFETY INDICATORS WITH USING THE FUEL CONTAINING ETHANOL**

The problems of evaluation the environmental safety indicators of spark ignition, fuel injection, exhaust gases catalytic conversion engine based on experimental researches with using the fuel containing ethanol more than 20 % are examined in this paper. The scheme of the experimental plant and the results of experimental and theoretical research are shown. According to the results of evaluation it is found, that the using of fuel containing 25 % ethanol by weight compared to the using of gasoline causes to increase the absolute fuel consumption and nitrogen oxides emissions. But, the efficiency of using the fuel containing ethanol on heat equivalent almost not changed compared with gasoline.

**Key words:** fuel containing ethanol, spark ignition engine, environmental safety.

#### **V-4. ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НЕФТЯНЫМИ ПОЛЛЮТАНТАМИ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

*Сергей Вдовенко*

Нефтеперерабатывающие предприятия, играя важнейшую роль в мировой экономике, являются одним из наиболее интенсивных источников загрязнения атмосферного воздуха, природных вод и почв, включая такие канцерогены как бенз(а)пирен, бензол, фенол и др. Высокое загрязнение сточных вод нефтепродуктами часто обуславливается не технологией переработки углеводородных систем, а несовершенством применяемого оборудования, отсутствием приборов КиП и А, недостаточной культурой эксплуатации оборудования. Учитывая, что заводские канализационные системы связаны с нефтеловушками очистных сооружений, многие производственники не видят большой проблемы в сбросе в канализацию чрезмерно загрязненных сточных вод. Однако практика и исследования канализационных систем НПЗ показывают, что это не так.

Подземные трубопроводные сети нефтеперерабатывающих предприятий имеют протяженность в несколько десятков километров и предназначены для транспортирования агрессивных сточных вод с нормативным сроком службы около 15 лет. При этом большинство канализационных сетей на нефтеперерабатывающих предприятиях Украины были построены более 50 лет назад и поэтому характеризуются запредельным моральным и физическим износом. На некоторых нефтеперерабатывающих предприятиях системы канализации работают в режиме совместного сброса промливневых сточных вод (I система канализации), сточных вод ЭЛОУ (II система), сернисто-щелочных вод (III система), продувочных вод водяных блоков и стоков хозяйственной канализации, что значительно усложняет их эффективную очистку от нефтепродуктов и механических примесей на очистных сооружениях предприятий.

Обычно в канализацию попадает сырая и обессоленная нефть (подтоварная вода из нефтяных резервуаров, дегидраторов ЭЛОУ, стоки от промывки цистерн и охлаждения насосов, перекачивающих нефть) и светлые нефтепродукты (подтоварная вода из резервуаров хранения бензина, ДТ, керосина, дренажи ректификационных колонн и рефлюксных емкостей, дренажи во время подготовки оборудования к ремонту). Плотность нефтепродуктов, сбрасываемых в канализацию, обычно колеблется в пределах 0,740–0,870 кг/дм<sup>3</sup>, а плотность ловушечного продукта не бывает ниже 0,790 кг/дм<sup>3</sup> и колеблется в пределах 0,825–1,01 кг/дм<sup>3</sup>. Согласно данным анализов за 2016–2017 гг газовыделение углеводородов в сбросном коллекторе промышленных сточных вод НПЗ составляет 950–1200 мг/м<sup>3</sup>, а концентрация нефтепродуктов иногда достигает 86 г/дм<sup>3</sup>, что значительно выше нормативных значений. Ситуацию усугубляется тем, что часто температура сточных вод превышает нормативную в 40–45 °С, что способствует более интенсивному испарению углеводородов в атмосферу. Исследования показывают, что в системах канализации безвозвратно теряется 30–40 % от общего объема нефтепродуктов, сбрасываемых в канализацию. При этом следует отметить, что косвенные, инструментальные и статистические методы с достаточной точностью позволяют также определить величину утечек сточных вод через неплотности системы канализации, что составляет 15–20 %. Следовательно, непосредственно на уровень грунтовых вод под территорией предприятия с утечками из канализации может ежегодно поступать до 10–20 тыс. т нефтяных поллютантов при общем сбросе с систему канализации НПЗ 13,5 млн м<sup>3</sup>/год стоков и концентрации нефтепродуктов в стоках на уровне 5000–10000 мг/дм<sup>3</sup>.

целью предотвращения загрязнения грунтовых вод нефтяными поллютантами необходимо внедрение принципиально новой напорной системы канализации промышленных сточных вод НПЗ, позволяющей осуществлять контроль за герметичностью коммуникаций. В состав напорной системы промканализации должны входить:

самотечные участки сетей промстоков от технологических объектов до емкостей промстоков;

емкости промстоков с насосами во взрывобезопасном исполнении. В каждой емкости устанавливаются два насоса (1 рабочий и 1 резервный), которые включаются автоматически по уровню и перекачивают стоки на очистные сооружения;

самотечные участки сетей промстоков от резервуарных парков нефти и нефтепродуктов до локальных нефтеловушек;

локальные нефтеловушки с погружными насосами во взрывобезопасном исполнении;

напорные трубопроводы от емкостей промстоков и нефтеловушек до коллекторов на эстакаде, идущих на очистные сооружения.

Исследования, выполненные на разных НПЗ показали, что в подтоварной воде, дренируемой из резервуарных парков, иногда содержание нефтепродукта доходит до 80%, а из резервуара емкостью 5 тыс.м<sup>3</sup> за год в канализацию сбрасывается до 50 т нефтепродукта. Поэтому при модернизации систем канализации предусматривают сети подтоварных вод от резервуарных парков светлых нефтепродуктов в I систему, а от резервуарных парков нефти

мазута – во II систему. В условиях ручного слива подтоварной воды с резервуарных парков, устанавливают нефтеловушки оптимального объема с одним погружным насосом и с автоматическим включением насоса на проток. Нефтеловушки оснащают датчиком электропроводимости перекачиваемого продукта с автоматическим переключением направления откачки в канализационные сети или в разделочные резервуары ловушечного продукта.

При прокладке трубопроводов сточных вод I и II систем на очистные сооружения предусматривают ответвления от напорных коллекторов в существующие аварийные амбары, предназначенные для временного накопления стоков, образованных во время интенсивных атмосферных осадков или при тушении пожара на НПЗ.

Вывод. Системы канализации промышленных сточных вод на отечественных НПЗ выработали нормативный срок эксплуатации и являются мощными источниками загрязнения нефтяными поллютантами грунтовых вод и атмосферы. Внедрение напорной системы канализации промстоков на НПЗ позволит значительно уменьшить загрязнение грунтовых вод, что является необходимым условием для начала ликвидации линз нефтеотходов, накопившихся на уровне грунтовых вод под территорией НПЗ.

## РЕФЕРАТ

*Сергій Вдовенко,*

*ТОВ «Укргазпромбуд», [vdovenko1@gmail.com](mailto:vdovenko1@gmail.com)*

### **ПОПЕРЕДЖЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТОВИХ ВОД НАФТОВИМИ ПОЛЮТАНТАМИ МОДЕРНІЗАЦІЮ СИСТЕМИ КАНАЛІЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ НАФТОЗАБРУДНЕНИХ СТІЧНИХ ВОД НА НАФТОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ**

Обґрунтовано технічне оснащення принципово нової напірної системи каналізації промислових стічних вод, що дозволяє здійснювати контроль за герметичністю комунікацій. Результати досліджень можуть використовуватись профільними службами нафтопереробних підприємств, проектними інститутами, а також можуть бути корисними інженерам-екологам в царині захисту гідросфери від нафтового забруднення. Упровадження напірної системи каналізації промстоків є необхідною умовою для початку ліквідування лінз нафтопродуктів, що накопичилися на рівні грунтових вод під територіями нафтопереробних підприємств.

**Ключові слова:** нафтопереробне підприємство, нафтозабруднені ґрунтові води, система промислової каналізації.

## РЕФЕРАТ

*Сергей Вдовенко,*

*«Ukrzazpromstroy», vdovenko1@gmail.com*

### **ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД НЕФТЯНЫМИ ПОЛЛЮТАНТАМИ ПУТЕМ МОДЕРНИЗАЦИИ СИСТЕМЫ КАНАЛИЗАЦИИ ПРОМЫШЛЕННЫХ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ СТОЧНЫХ ВОД НА НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

Обосновано техническое оснащение принципиально новой напорной системы канализации промышленных сточных вод, позволяющей осуществлять контроль за герметичностью коммуникаций. Результаты исследований могут использоваться профильными службами нефтеперерабатывающих предприятий, проектными институтами, а также могут быть полезными инженерам-экологам в области защиты гидросферы от нефтяного загрязнения. Внедрение напорной системы канализации промстоков является необходимым условием для начала ликвидации линз нефтеотходов, накопившихся на уровне грунтовых вод под территориями нефтеперерабатывающих предприятий.

**Ключевые слова:** нефтеперерабатывающее предприятие, нефтезагрязненные грунтовые воды, система промышленной канализации..

## ABSTRACT

*Sergii Vdovenko,*

*«Ukrzazprombud» LTD, vdovenko1@gmail.com*

### **PREVENTION OF GROUNDWATER POLLUTION BY OIL POLLUTANTS BY MEANS OF THE INDUSTRIAL SEWERAGE SYSTEM UPGRADING AT THE REFINERIES**

The technical equipment of a fundamentally new pressurized industrial wastewater sewage system is substantiated, which makes possible of the communications tightness monitoring. The research results can be used by the refineries profile services, design institutes, and also can be useful for environmental engineers in the field of hydrosphere protection from oil pollution. The pressurized industrial wastewater sewage system implementation is a necessary condition for the beginning of waste oil lenses liquidation which accumulated at the groundwater level under the territories of refineries.

**Key words:** refineries, oily polluted groundwater, industrial sewerage system.

УДК 62-631.2:504.054:628.395(043.2)

### **V-5. ODDZIAŁYWANIE BENZYNY W KONTEKŚCIE MOTORYZACYJNEGO SKAŻENIA ŚRODOWISKA**

*Kaja MACIEJOWSKA, Krzysztof LEW, Maksymilian MĄDZIEL*

W artykule poruszono temat oddziaływania benzyny silnikowej w kontekście motoryzacyjnego skażenia środowiska. Przedstawiono przykłady minimalizowania negatywnych skutków tego wpływu, m.in. panujące tendencje w rozwoju silników o zapłonie iskrowym.

Benzyna jest substancją powszechnie stosowaną do zasilania pojazdów samochodowych wyposażonych w silnik o zapłonie iskrowym. Z powodu jej dużego znaczenia dla transportu branży motoryzacyjnej, stawiany jest jej szereg wymagań, które mają przyczynić się do poprawy procesu spalania, ekonomiki, a także wpływać korzystnie na ochronę środowiska.

**CHARAKTERYSTYKA BENZYNY SILNIKOWEJ** Benzyna silnikowa jest uszlachetnioną specjalnymi dodatkami mieszaniną ciekłych węglowodorów, o temperaturze wrzenia wynoszącej 30–215 °C. Głównym zastosowaniem benzyny jest zasilanie silników o zapłonie iskrowym. Jest ona doprowadzana do cylindrów silnika przez układ zasilania, gdzie w końcu suwu sprężania, za pomocą iskry od świecy zapłonowej, zostaje zapalona mieszanka jej par oraz powietrza. Skład benzyny powinien pozwolić na szybkie i dobre jej odparowanie, tak aby mieszanka paliwowo-powietrzna w komorze spalania była jednorodna i odbywało się spalanie bezdetonacyjne. Benzyna powinna mieć właściwą stabilność chemiczną. Podczas spalania mieszanki, benzyna nie może tworzyć osadów w silniku. W czasie transportu nie powinna powodować korozji metali.

Charakterystykę eksploatacyjną benzyny opisują parametry takie jak:

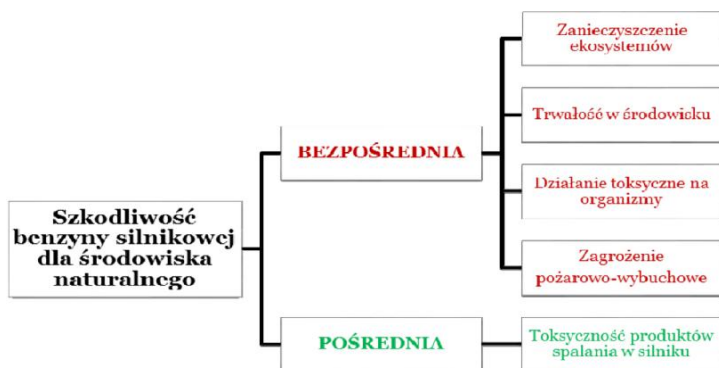
- liczba oktanowa,
- skład frakcyjny,
- prężność par benzyny,
- okres indukcyjny spalania,
- zawartość żywic, ołowiu, siarki, wody i ciał stałych,
- barwa,
- gęstość.

Aby sprostać wymaganiom dotyczącym zasilania silników o zapłonie iskrowym, benzyna musi mieć odpowiednie właściwości, takie jak:

- dobra lotność,
- dobre właściwości przeciwstukowe,
- parametry związane z ochroną środowiska,
- inne właściwości.

Wszystkie grupy właściwości są związane z oddziaływaniem benzyny na środowisko naturalne, natomiast odpowiednia lotność i odporność na spalanie stukowe mają wpływ na pracę silnika.

**WPLYW BENZYNY NA ŚRODOWISKO** Benzyny silnikowe mogą mieć niekorzystny wpływ na środowisko naturalne. Ich szkodliwość można rozpatrywać jako:  
oddziaływanie bezpośrednie, czyli związane z toksycznym wpływem na środowisko powietrza, wody i gleby poprzez przedostawanie się do nich samej benzyny oraz jej biodegradację lub bioakumulację w obrębie tych środowisk,  
oddziaływanie toksycznych pochodnych spalania benzyny w silnikach z zapłonem iskrowym na środowisko naturalne.



Rys. 1. Szkodliwość benzyny silnikowej dla środowiska naturalnego

Powietrze atmosferyczne może zostać zanieczyszczone przez benzyny silnikowe, z powodu ich dużej lotności oraz tego, że w temperaturze otoczenia część ich składników może parować. Istnieje możliwość wystąpienia tego zjawiska podczas przechowywania, transportowania, dystrybucji i użytkowania w pojazdach, jeśli nie zostanie zapewniona właściwa hermetyzacja tych procesów.

Pośrednie oddziaływanie benzyny na środowisko naturalne, jest związane z jej wpływem na rodzaj i ilość toksycznych składników spalin z silników o zapłonie iskrowym. Zależy to od procesu spalania mieszanki paliwowo-powietrznej. Podczas procesu spalania, następuje utlenienie węgla do dwutlenku węgla i wodoru do wody, ale powstają również inne związki. Dwutlenek węgla nie jest substancją toksyczną, ale wpływa negatywnie na powstawanie efektu cieplarnianego.

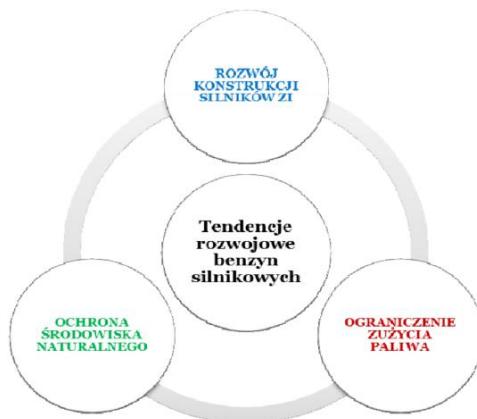
Przy większej zawartości węglowodorów aromatycznych, zwiększa się emisja HC i CO, natomiast maleje zawartość tlenów azotu. Cięższe węglowodory aromatyczne powodują wzrost ilości osadów w układzie zasilania oraz w komorze spalania. Przyczynia się to do wzrostu emisji HC i NO<sub>x</sub>. Podczas spalania węglowodorów aromatycznych w silniku, tworzy się rakotwórczy benzen. Aby zmniejszyć jego ilość, należy zmniejszyć zawartość węglowodorów aromatycznych w benzynie.

Kolejnym składnikiem, przyczyniającym się do wzrostu toksyczności spalin, a także emisji NO<sub>x</sub>, są węglowodory olefinowe. Są one niestabilne chemicznie, przez co tworzą żywice i osady w układzie dolotowym silnika. Węglowodory olefinowe, które przenikają z benzyny bezpośrednio do atmosfery, potęgują tworzenie się ozonu i smogu fotochemicznego, stwarzając tym większe zagrożenie.

W zależności od rodzaju paliwa, konstrukcji silnika i warunków jego pracy, skład spalin może być różny. Większość, bo prawie 98 % składników spalin, jest obojętna dla środowiska naturalnego, a tylko niewielka ich ilość to substancje toksyczne. Pomimo tego, toksyczne składniki spalin stanowią bardzo dużą masę, z powodu ilości ich globalnego zużycia, wynoszącego około 1 miliarda ton rocznie. Już niewielkie ograniczenie ich emisji z silników, może radykalnie zmniejszyć zanieczyszczenie. Szkodliwością toksycznych składników spalin jest:

- zanieczyszczenie atmosfery przez CO<sub>2</sub>, CO, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, aldehydy,
- skażenie powierzchniowych i przypowierzchniowych warstw gleby oraz wód powierzchniowych,
- zakłócanie równowagi ogólnej ekosystemów,
- drażniący wpływ na ludzkie narządy, takie jak oczy, drogi oddechowe, skóra,
- korozyjny wpływ atmosfery na obiekty przemysłowe, budowle,
- wzrost efektu cieplarnianego,
- rakotwórczy skutek dla ludzi.

**SPOSOBY MINIMALIZOWANIA ODDZIAŁYWANIA BENZYNY NA ŚRODOWISKO NATURALNE** Głównymi czynnikami, które mają wpływ na tendencje i kierunki rozwojowe, dotyczące benzyn silnikowych, są: ochrona środowiska naturalnego, chęć minimalizacji zużycia paliwa oraz rozwój konstrukcji silników o zapłonie iskrowym. Są one ze sobą ściśle powiązane, a nadrzędnym celem jest dbanie o środowisko i zdrowie człowieka, a także sprostanie coraz bardziej zastrzonym wymaganiom dotyczącym emisji.



Rys. 2. Tendencje rozwojowe benzyn silnikowych

Główne tendencje rozwojowe w zakresie silników o zapłonie iskrowym to:  
wzrost stopnia sprężania,  
zastosowanie bezpośredniego wtrysku paliwa (układy GDI),

nowe katalityczne układy oczyszczania spalin,  
wysocy precyzyjne układy sterowania pracą silnika,  
układy diagnostyki pokładowej OBD.

Oczyszczanie spalin można uzyskać poprzez umieszczenie w układzie wylotowym silnika termicznych lub katalitycznych reaktorów. Reaktory termiczne wymagają wyższej temperatury niż wynosi temperatura spalania. Z tego względu korzystniejsze jest zastosowanie reaktorów katalitycznych, popularnie zwanych katalizatorami. Katalizator jest substancją, która oddziałuje na zmianę szybkość reakcji chemicznej, jednocześnie pozostając w takiej samej postaci chemicznej. Aktualnie w silnikach ZI stosowane powszechnie są katalizatory trójfunkcyjne, które umożliwiają usuwanie ze spalin węglowodorów, tlenku węgla oraz tlenków azotu w jednym czasie. Platyna, rod, pallad, ruten i iryd pełnią funkcję katalizatora reakcji utleniania CO i HC oraz redukcji NO<sub>x</sub>.

Nowoczesne silniki potrzebują do zasilania paliwa o dokładnie określonych wymaganiach i parametrach jakościowych. Oprócz tego, współczesne benzyny silnikowe nie powinny mieć bezpośredniego lub pośredniego niekorzystnego oddziaływania na środowisko naturalne. W związku z powyższym, wymagania dotyczące tego rodzaju paliwa będą skupiały się na:

zmniejszeniu ciśnienia prężności par w celu zmniejszanie emisji węglowodorów do atmosfery,

zmniejszeniu zawartości siarki, aby ograniczyć powstawanie tlenków siarki i ich emisji, a także uzyskać skuteczne i nieawaryjne działanie katalizatorów, sond lambda oraz elementów układów OBD,

ograniczeniu składu cięższych węglowodorów w celu zmniejszenia ilości HC i NO<sub>x</sub> w gazach spalinowych,

ograniczeniu udziału węglowodorów aromatycznych (w tym benzenu), w celu zmniejszenia toksyczność benzyny i spalin,

ograniczeniu udziału węglowodorów olefinowych, w celu zmniejszenia ilość NO<sub>x</sub> w spalinach oraz skłonności do tworzenia żywic i osadów,

ograniczeniu udziału organicznych związków tlenowych, aby zapewnić mniejszą toksyczność spalin,

- dodaniu efektywnych dodatków detergencyjnych (myjących), w celu zadbania o czystość elementów układu dolotowego, zasilania i komory spalania.

Współczesne benzyny silnikowe muszą sprostać szeregowi wymagań, opisanych w licznych dyrektywach Unii Europejskiej dotyczących toksyczność i emisji. Można stwierdzić, że przyszłe benzyny silnikowe będą musiały posiadać odpowiednie parametry, takie jak:

wartość liczb oktanowych,

gęstość,

skłonność do utleniania i tworzenia osadów,

- ograniczona zawartość siarki, węglowodorów olefinowych, aromatycznych benzenu,

brak zawartości ołowiu, fosforu, krzemu, żelaza, manganu i innych metali,

ograniczona zawartość związków tlenowych,

mniejsza lotność.

Benzyna silnikowa bezołowiowa Super Plus 98 jest nowoczesnym rodzajem paliwa, stojącym na wysokim europejskim poziomie jakości. Liczba oktanowa badawcza wynosi 98, co wpływa na walory zarówno użytkowe, jak i ekologiczne. Benzyna ta wspomaga uzyskanie prawidłowych osiągnięć, równomierną pracę silnika oraz korzystną ekonomikę. Wzbogaca się ją pakietem dodatków uszlachetniających, które zapewniają między innymi utrzymanie czystości układu dolotowego silnika. Może zasilać silniki wyposażone w katalizatory. Ma bardzo małą zawartość siarki, a także nie posiada w składowaniu czteroetylku ołowiu i fosforu, dzięki czemu zapewnia skuteczność i trwałość katalizatora.

Aby zminimalizować przedostawanie się do benzyn wody i zanieczyszczeń oraz ułatwienia się jej najlżejszych składników, dąży się również do zapewnienia wysokiej sprawności, czystości i

szczelności wszelkich urządzeń magazynowo-dystrybucyjnych, podczas procesu przechowywania, transportowania i dystrybucji.

Бензина oddziałuje bezpośrednio na środowisko naturalne, gdy dochodzi do jej przedostania się do gruntu oraz wód. Wiąże się to z ryzykiem skażenia ekosystemów i szkodliwego wpływu na zdrowie człowieka. Rozwiązaniem może być odpowiednie przechowywanie oraz transportowanie benzyny. Pośrednie oddziaływanie benzyny na środowisko naturalne, jest związane z jej wpływem na rodzaj i ilość toksycznych składników spalin z silników o zapłonie iskrowym. Ze względu na wciąż rosnącą liczbę użytkowanych samochodów na świecie, nawet niewielkie ilości szkodliwych związków, przedostające się do atmosfery, negatywnie oddziałują na zdrowie człowieka. Aby temu zapobiec, dąży się do ograniczenia zużycia benzyny, a tym samym zminimalizowania jej oddziaływania na środowisko naturalne. Kierunki rozwoju technologicznego skupiają się wokół poszukiwania nowoczesnych rozwiązań konstrukcyjnych silników, takich jak bezpośrednie wtryski paliwa czy katalizatory, a także zmieniania właściwości benzyny w celu zmniejszenia ilości jej szkodliwych składników.

#### РЕФЕРАТ

*Кайя Мацейовська, Кишитоф Лев, Максиміліан Мадзель,  
Жеиувська Політехніка*

#### ВПЛИВ БЕНЗИНУ В КОНТЕКСТІ АВТОМОБІЛЬНОГО ЗАБРУДНЕННЯ НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Описано вплив автомобільного бензину в умовах забруднення навколишнього середовища двигунами. Представлено приклади для вирішення цієї проблеми у вигляді розвитку технології двигуна внутрішнього згорання з іскровим запалюванням.

**Ключові слова:** бензин, двигун, навколишнє середовище.

#### РЕФЕРАТ

*Кайя Мацейовская, Кишитоф Лев, Максимилиан Мадзель,  
Жеиувская Политехника*

#### ВЛИЯНИЕ БЕНЗИНА В КОНТЕКСТЕ АВТОМОБІЛЬНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Представлен предмет воздействия автомобильного бензина в условиях загрязнения окружающей среды двигателями. Представлены примеры решения этой проблемы в виде развития технологии двигателя внутреннего сгорания с искровым зажиганием.

**Ключевые слова:** бензин, двигатель, окружающая среда.

#### ABSTRACT

*Kaja MACIEJOWSKA, Krzysztof LEW, Maksymilian MĄDZIEL,  
Rzeszowska Polytechnic*

#### THE IMPACT OF GASOLINE IN THE CONTEXT OF MOTOR ENVIRONMENT POLLUTION

The article signals the subject of the impact of motor gasoline in the context of motor environment pollution. It presents examples for dealing with this problem, such as developing technology of an internal combustion engine with spark-ignition.

**Key words:** gasoline, engine, environment.

УДК 538.1:621.039:681.3:311.214

#### V-6. ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ УРБОЕКОСИСТЕМ

*Ігор Єремєєв, Аліна Дичко*

Споживання паливно-мастильних матеріалів в містах та техногенних ландшафтах призводить до сталого забруднення оточуючого середовища (ОС) діоксинами, важкими металами та іншими токсикантами. На сьогодні практично відсутні системи моніторингу, що б забезпечували сталий контроль за станом ОС у зоні впливу наземного та повітряного



транспорту, дозволяли б оцінювати заходи зі зменшення впливу цих небезпечних джерел на довкілля (у разі впровадження нових технологій, нових екологічно чистих видів палива та мастильних матеріалів), прогнозували можливі наслідки інтенсивної експлуатації об'єктів для урбоекосистеми, зокрема фауни та флори, і у першу чергу, для людини у зоні впливу джерел полутантів. Тому створення систем моніторингу, що б виконували означені вище завдання, є вкрай необхідним. Оскільки будь-яка урбоекосистема є об'єктом із розподіленими параметрами, вимірювальна мережа такої системи моніторингу повинна формуватися як матрична структура, де у кожному вузлі матриці має бути розташований детектор показника повітря у приземному шарі (наприклад, концентрації того чи іншого діоксиду), а також детектор показника якості ґрунтових вод, що протікають під тілом техногенного ландшафту (наприклад, концентрація токсиканта). При цьому першою функцією такої системи моніторингу буде інформація екологічних служб про реальний стан забруднення повітря у зоні впливу транспорту. Як правило, концентрація забруднювачів атмосфери може суттєво перевищувати гранично-допустимі концентрації (ГДК) і тому логічно інформувати саме про це перевищення, тобто інформувати про зони, в яких або досягнута ГДК, або фактична концентрація забруднювачів ОС складає декілька або кільканадцять ГДК. У такому разі на монітор системи контролю має виводитися не абсолютне значення забруднювача, а сигнал, кратний ГДК, у той час як у банк даних системи необхідно вводити абсолютні значення параметрів, які спостерігаються. При цьому на моніторі будуть висвітлюватися зони контролю кожного з детекторів із зазначенням відповідної відносної (щодо ГДК) концентрації забруднювача (рис.1).

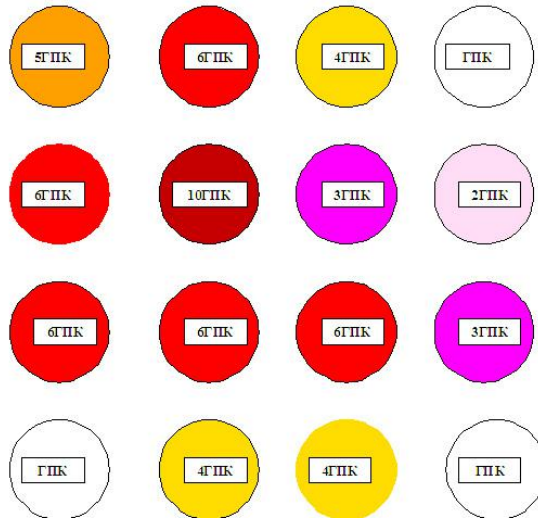


Рис.1. Вимірювальна матриця (розташування детекторів забруднення повітря):  
ГДК – гранично допустима концентрація;  $n$ ГДК – кратність ГДК

Для оцінки необхідної для надійного контролю довкілля кількості детекторів можливий підхід, який базується на аналізі відношення імовірності реєстрації аномалії  $P(n)$  і вартості системи контролю  $N(n)$ . Це відношення  $F(n)$  має максимум, що відповідає оптимальній кількості детекторів. Зазвичай вартість центру обробки даних  $N_{ц}$  мало залежить від кількості детекторів і її можна прийняти за константу. Точно так і вартість одного детектору  $N_{д}$  не залежить від кількості детекторів у системі. При цьому

$$N(n) = N_{ц} + n N_{д}$$

$$F(n) = P(n)/N(n) = N_u^{-1} P(n) (1 + N_d N_u^{-1} n)^{-1}$$

разі прирівнювання нулю похідної  $F(n)$  по  $n$  можна отримати вираз для оптимальної кількості детекторів по:

$$N_d N_u^{-1} = [(1-p) n_o^{-1}] [(1-p) n_o 1 n (1-p)]^{-1} - n_o,$$

де  $p = S_b/S_o$  – імовірність виявлення аномалії одним з детекторів, коли забруднення розповсюдилося на площі  $S_b$ , у той час, як область надійного контролю місцевості за допомогою ряду детекторів, яка визначається чутливістю детекторів, що використовуються, охоплює площу  $S_o$ , а  $P(n) = 1 - (1-p)^n$ .

Зазвичай задають значення  $P(n)$ , внаслідок чого орієнтовно визначають величину  $n$ , а вже потім знаходять відношення  $N_d/N_u$ , при якому  $n = n_o$ .

Якщо аномальна ситуація на техногенному ландшафті достатньо тривала і осереддя аномалії покриває усю область  $S_o$ , виникає завдання оцінки представницькості даних про забруднення області  $S_o$  за даними від  $n$  детекторів, що визначається у підсумку як відношення площі  $S$ , що охоплена засобами контролю, до площі  $S_o$ . Вираз для  $R$ , що заміщає  $P(n)$ , можна представити у вигляді

$$= 1 - \exp(-S_1 n S^{-1}_o),$$

де  $S_1$  – площа, що контролює один детектор.

Використовуючи значення  $R$  замість  $P(n)$ , отримаємо ще один вираз для визначення оптимальної кількості детекторів:

$$N_u/N_n = p^{-1} k [\exp(p k n_o) - 1] - n_o,$$

де  $p_k = S_k/S_o$  – відносний розмір області, на яку можна розповсюдити дані від одного детектору.

Відповідності з наведеними вище міркуваннями за припущення, що радіус контролю одного детектору, який дорівнює половині радіусу кореляції (тобто відстані, на якій нормована функція кореляції характеристик ситуації від двох суміжних детекторів зменшується в  $e$  разів), складає 3 км, а  $R = 0,7-0,8$ , для надійного контролю у радіусі 25 км необхідно близько 80 детекторів, тобто матриця порядку  $9 \times 9$ , а, враховуючи реальні розміри певних техногенних ландшафтів, – матриця  $5 \times 5$ , що є цілком прийнятним.

Забруднювачі ОС, як правило, попадають зрештою на поверхню і можуть, проходячи фільтрацію крізь шари ґрунту, потрапити у водоносні шари, забруднюючі ґрунтові води. Щоб контролювати стан ґрунтових вод необхідно у вузлах вимірювальної матриці розташувати свердловини, в яких встановлено детектори показників якості води. Оскільки генеральний напрямок ґрунтових вод під тілом урбоєкосистеми заздалегідь відомий, у вузлі матриці, який орієнтований на потоки ґрунтових вод, що надходять (рис. 2), встановлюється відповідний детектор якості води, – для виявлення «фонового» забруднення ґрунтових вод перед їхнім надходженням безпосередньо під тіло техногенного ландшафту. Одночасно встановлюються координати свердловин, які необхідно використати як індикатори забруднення ґрунтових вод внаслідок міграції в них фільтрату. Ці свердловини необхідно позиціонувати таким чином, щоб забруднені фільтратом ґрунтові води не могли їх оминати. Порівняння проб, узятих у цих свердловинах, із пробами «фонові» свердловини і дасть інформацію про наявність або відсутність вмісту фільтрату у ґрунтових водах, а також про фактичні значення забруднення та фактичний напрямок руху забруднених вод.

Підхід, що пропонується, дозволяє побудувати основи системи екологічного моніторингу урбоєкосистем із сталим контролем за станом довкілля, оцінювати заходи зі зменшення техногенного впливу та прогнозувати його наслідки.

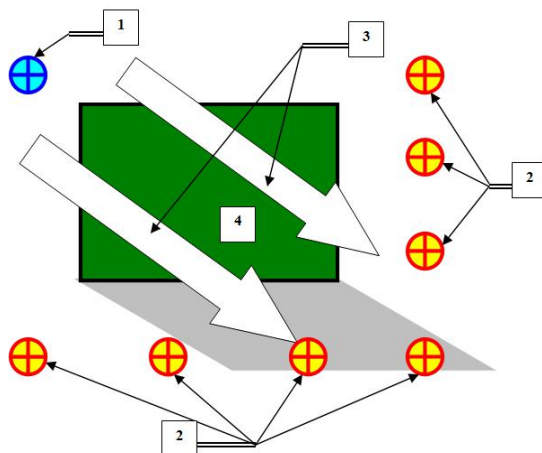


Рис. 2. Орієнтовне розташування «фонові» ФС (1) та індикаторних ІС (2) свердловин; (3) – генеральний напрямок руху ґрунтових вод; (4) – територія техногенного ландшафту.

#### РЕФЕРАТ

Ігор Єремєєв<sup>1</sup>, Аліна Дичко<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Академія муніципального управління, <sup>2</sup> Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», <sup>1</sup> amigo1933@yandex.ua, <sup>2</sup> aodi@ukr.net

#### ПРОБЛЕМИ ЕКОЛОГІЧНОГО МОНІТОРИНГУ УРБООКОСИСТЕМ

Для контролю за станом довкілля у зоні впливу наземного та повітряного транспорту, що споживає паливно-мастильні матеріали, необхідним є створення систем моніторингу, які б дозволяли оцінювати заходи зі зменшення впливу небезпечних забруднень на довкілля та прогнозували можливі наслідки інтенсивної експлуатації об'єктів для урбоєкосистеми, зокрема фауни та флори, і у першу чергу, для людини у зоні впливу джерел поллютантів. Розроблено вимірвальну матрицю розташування детекторів забруднення, де у кожному вузлі матриці розташовується детектор показника повітря у приземному шарі та детектор показника якості ґрунтових вод, що протікають під тілом техногенного ландшафту. Запропоновано використання підходу до екологічного моніторингу урбоєкосистем, що базується на аналізі відношення імовірності реєстрації аномалії і вартості системи контролю. Така методологія дозволяє побудувати основи системи екологічного моніторингу урбоєкосистем із сталим контролем за станом довкілля, оцінювати заходи зі зменшення техногенного впливу на оточуюче середовище та прогнозувати його наслідки.

**Ключові слова:** екологічний моніторинг, вимірвальна матриця, детектор забруднення.

#### РЕФЕРАТ

Ігорь Еремеев<sup>1</sup>, Алина Дичко<sup>2</sup>,

<sup>1</sup> Академия муниципального управления, <sup>2</sup> Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», <sup>1</sup> amigo1933@yandex.ua, <sup>2</sup> aodi@ukr.net

#### ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА УРБООКОСИСТЕМ

Для контроля за состоянием окружающей среды в зоне влияния наземного и воздушного транспорта, использующего горюче-смазочные материалы, необходимо создание систем мониторинга, позволяющих оценивать меры по уменьшению воздействия опасных загрязнений на окружающую среду и прогнозировать возможные последствия интенсивной эксплуатации объектов для урбоэкоосистемы, в частности фауны и флоры, и в первую очередь, для человека в зоне влияния источников загрязнений. Разработана измерительная матрица детекторов загрязнения, где в каждом узле матрицы располагается детектор показателя воздуха в приземном слое и детектор показателя качества ґрунтовых вод, протекающих под телом техногенного ландшафта. Предложено

использование подхода к экологическому мониторингу урбоэкосистем, основанного на анализе отношения вероятности регистрации аномалии к стоимости системы контроля. Такая методология позволяет установить основы системы экологического мониторинга урбоэкосистем с постоянным контролем за состоянием окружающей среды, оценивать меры по уменьшению техногенного воздействия на ландшафт и прогнозировать его последствия.

**Ключевые слова:** экологический мониторинг, измерительная матрица, детектор загрязнений.

#### ABSTRACT

Igor Yeremeyev<sup>1</sup>, Alina Dychko<sup>2</sup>,

<sup>1</sup>Academy of municipal administration, <sup>2</sup>National Technical University of Ukraine "Igor SikorskyKyiv Polytechnic Institute", <sup>1</sup>amigo1933@yandex.ua, <sup>2</sup>aodi@ukr.net

#### PROBLEMS OF ECOLOGICAL MONITORING OF URBOECOSYSTEMS

To control the environment in the area of influence of ground and air transport, which consumes fuel and oil materials, it's necessary to create a monitoring system that allows to evaluate measures to reduce influence of hazardous pollutants at the environment and forecast the consequences of intensive operation of an object for urboecosystem, particularly for fauna and flora, and above all, for a man in the area of influence of pollutants sources. It is developed the measuring matrix of pollution detector arrangement, where in each matrix node the detectors of surface air and groundwater, flowing under the body of man-made landscape, are placed. It is proposed the use of approach to environmental monitoring of urboecosystem, based on the analysis of the likelihood ratio of anomalies registration and control system cost. Such methodology allows to build the foundations of ecological monitoring of urban ecosystems with permanent control of the environment, to assess measures to reduce the anthropogenic impact on the landscape and predict its consequences.

**Key words:** environmental monitoring, measuring matrix, pollutants detector.

УДК 502.51(285):504.5:665.6(477)(045)

### V-7. НАФТОВЕ ЗАБРУДНЕННЯ КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА В УМОВАХ ВПЛИВУ МЕГАПОЛІСУ

*Тетяна Білик, Людмила Горбатюк, Анжела Гай, Анастасія Феєр*

Забруднення водойм нафтою і нафтопродуктами пригнічує флору і фауну водних екосистем, а при відповідних дозах призводить до загибелі організмів. Токсична дія на зоопланктон на ранніх стадіях розвитку виявлялася вже при сумарній концентрації у воді цих речовин 0,001 мг/дм<sup>3</sup>, а при 0,1 мг/дм<sup>3</sup> спостерігалася загибель дорослих особин. У той же час, ГДК нафтопродуктів ( у розчиненому і емульгованому стані) для рибогосподарських водних об'єктів встановлена на рівні 0,05 мг/дм<sup>3</sup>. Таким чином, визначення ступеню забруднення водойм, які зазнають значного антропогенного впливу внаслідок особливостей розташування, актуальне для оцінки небезпеки існування гідробіоценозів і збереження здатності водойми до самоочищення.

Основна частина верхньої ділянки Канівського водосховища довжиною 43 км розташована в межах м. Києва, прилеглої до міста інфраструктури та рекреаційної зони. Специфічні умови, що визначають її функціонування, важлива роль її еколого-токсикологічного стану та необхідність врахування потужного антропогенного пресу з боку мегаполісу – м. Києва, дозволяють виділити її й розглядати як окрему водну екосистему. Якщо традиційні гідробіологічні дослідження Канівського водосховища з охоплення всіх основних компонентів біоти постійно були в центрі уваги, то комплексні роботи в еколого-токсикологічному напрямку проводилися досить давно. Востаннє такий комплекс робіт виконувався фахівцями Інституту гідробіології НАНУ у 1992–1996 рр.. За цей час відбулися певні зміни складу, структурної організації й функціональної активності біоти, значно розширився перелік деяких токсикантів, що можуть потрапити у водойму і які не визначалися і не враховувалися в попередніх екологічних оцінках, суттєвих змін зазнала

структура основних джерел забруднення водосховища, значно посилюється антропогенний прес на водойму з боку мегаполісу – м. Києва. А отже, з'ясування характеру і особливостей токсичного забруднення водної екосистеми Канівського водосховища необхідні для визначення екологічного ризику для гідробіонтів на сучасному етапі і потребують подальшого дослідження.

метою оцінки еколого-токсикологічного стану Канівського водосховища в умовах впливу мегаполісу в 2016 р. було з'ясовано сучасні рівні основних забруднюючих речовин у воді київської ділянки Канівського водосховища. Продукти переробки нафти, поряд з пестицидами та важкими металами, є найбільш небезпечними токсикантами водного середовища. Визначення розчиненої у воді фракції нафтопродуктів проводилося влітку восени 2016 року. Масову концентрацію нафтопродуктів визначали флуориметричним методом на аналізаторі рідини "Флюорат-02-3М" (виробник НВФ "Люмекс", Росія, Санкт-Петербург).

Концентрація нафтопродуктів (рис. 1) у воді руслової ділянки Дніпра біля затоки Собаче гирло, розташованої на 1 км вище основної міської забудови, була близькою до ГДК рибогосподарської ( $0,05 \text{ мг/дм}^3$ ) як влітку –  $0,043 \text{ мг/дм}^3$ , так і восени –  $0,050 \text{ мг/дм}^3$ .

Вміст нафтопродуктів у воді Канівського водосховища на 0,5 км нижче скиду очищених стоків з Бортицької станції аерації в районі с. Вишеньки теж майже не перевищував ГДК рибогосподарську і знаходився в межах  $0,041\text{--}0,050 \text{ мг/дм}^3$ , що зумовлено, очевидно, значним скороченням обсягів товарного і пасажирського судноплавства як основного джерела забруднення водосховища нафтопродуктами. Найвищий вміст розчинених у воді нафтопродуктів було зафіксовано влітку в районі ТЕЦ-5 прилеглої промислової зони:  $0,063\text{--}0,025 \text{ мг/дм}^3$ , що перевищує ГДК рибогосподарську на 26%. Причиною цього є як надходження забруднюючих речовин при змиві їх з близько розташованих техногенних територій, так і зменшення розчиненого у воді вмісту кисню при високих температурах влітку. Як наслідок, окиснення органічних речовин зменшується, що призводить до евтрофікації водойми і пов'язаних з цим негативних явищ.

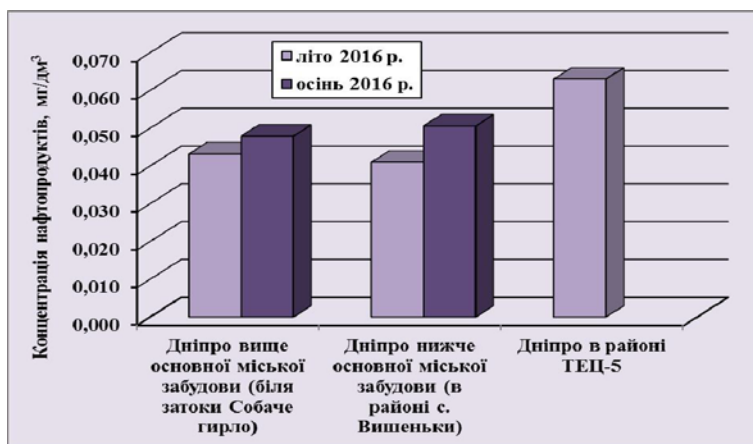


Рис.1. Концентрація розчинених у воді нафтопродуктів у воді київської ділянки Канівського водосховища у 2016 р.

Вміст нафтопродуктів у воді Канівського водосховища на 0,5 км нижче скиду очищених стоків з Бортицької станції аерації в районі с. Вишеньки теж майже не перевищував ГДК рибогосподарську і знаходився в межах  $0,041\text{--}0,050 \text{ мг/дм}^3$ , що зумовлено, очевидно, значним скороченням обсягів товарного і пасажирського судноплавства як основного джерела забруднення водосховища нафтопродуктами.

Найвищий вміст розчинених у воді нафтопродуктів було зафіксовано влітку в районі ТЕЦ-5 прилеглої промислової зони:  $0,063-0,025$  мг/дм<sup>3</sup>, що перевищує ГДК рибогосподарську на 26%. Причиною цього є як надходження забруднюючих речовин при змиві їх з близько розташованих техногенних територій, так і зменшення розчиненого у воді вмісту кисню при високих температурах влітку. Як наслідок, окиснення органічних речовин зменшується, що призводить до евтрофікації водойми і пов'язаних з цим негативних явищ.

За даними моніторингу екологічного стану водних об'єктів басейну Дніпра, виконаних фахівцями Центральної геофізичної обсерваторії МНС України в попередні роки (2004–2014 рр.), рівень забруднення Канівського водосховища нафтопродуктами був досить високий. Максимальні надходження їх зафіксовано в періоди весняних паводків та осіннього наповнення з водами р. Либідь –  $0,35-0,5$  мг/дм<sup>3</sup> (7–10 ГДК). Визначення хронічної токсичності вод Канівського водосховища з використанням як тест-об'єкт *Ceriodaphnia affinis* виявило токсичну дію на виживаність і плодючість вод в межах м. Києва та на 6 км нижче міста. Загалом, стан водної екосистеми верхньої частини Канівського водосховища за сукупністю гідробіологічних показників, наведених в цьому дослідженні, віднесено до 3 класу якості вод – помірно забруднені.

За отриманими нами даними, рівень забруднення води на нафтопродукти у верхній частині Канівського водосховища, в порівнянні з попередніми дослідженнями, зменшився. Однією з вагомих причин цього є скорочення судноплавства. Певну позитивну роль у зменшенні забруднення Канівського водосховища у цій його частині відіграє приплив вод р. Десна, що є більш чистими.

На сьогоднішній день головним чинником забруднення водосховища є стічні води м. Києва, що надходять зі скидами Бортницької станції аерації, підприємств комунального господарства, змивами з прибережних техногенних забруднених територій. Вплив поверхневого стоку з території мегаполісу у води Дніпра спостерігався за даними Державної екологічної інспекції в м. Києві від  $0,5$  км вище моста ім. Патона, де концентрація нафтопродуктів складала  $0,24$  мг/дм<sup>3</sup>. Нижче впадіння річки Либідь на  $0,5$  км вміст нафтопродуктів становив  $0,33$  мг/дм<sup>3</sup>. Нижче на  $0,5$  км від впадіння розсіюючого випуску Бортницької станції аерації цей показник складав  $0,42$  мг/дм<sup>3</sup>, що значно перевищувало встановлені нормативні рівні.

Таким чином, забруднення верхньої частини Канівського водосховища нафтопродуктами визначається впливом стічних вод м. Києва і має сезонний характер. Розміщення на прилеглих до водойми територіях автостоянок, АЗС та інших господарських об'єктів без локальних очисних споруд, а також миття автотранспорту у прибережних смугах, значно збільшує надходження нафтопродуктів з дощовими стоками та весняними паводками.

той же час, в результаті інтенсивного перебігу процесів самоочищення в Канівському водосховищі зберігається динамічна рівновага в надходженні і розкладанні органічних речовин, що дозволяє до певної міри нейтралізувати наслідки значного антропогенного впливу мегаполісу.

Життя заходів по зменшенню забруднення, спричиненого впливом м. Києва на екосистеми Дніпра і водосховищ особливо актуальне тому, що після Києва р. Дніпро є джерелом водопостачання для близько 30 млн жителів України.

#### РЕФЕРАТ

Тетяна Білик<sup>1</sup>, Людмила Горбатюк<sup>2</sup>, Анжела Гай<sup>1</sup>, Анастасія Феєр<sup>1</sup>,<sup>1</sup> Національний авіаційний університет, <sup>2</sup> Інститут гідробіології НАН України, *larus\_2010@ukr.net*, *ecotoxhydrobiol@gmail.com*, *guyaaa@i.ua* *Nastyafeyer@gmail.com* **НАФТОВЕ**

#### **ЗАБРУДНЕННЯ КАНІВСЬКОГО ВОДОСХОВИЩА В УМОВАХ ВПЛИВУ МЕГАПОЛІСУ**

Дано оцінку сучасному стану забруднення води київської ділянки Канівського водосховища продуктами переробки нафти. Виявлено, що їх концентрація в 2016 р. була близькою або незначно

перевищувала ГДК рибогосподарську, тобто дещо зменшилася в порівнянні з попередніми роками, що зумовлено значним скороченням судноплавства. У цілому ступінь забруднення верхньої частини Канівського водосховища визначається впливом стічних вод м. Києва і має сезонний характер.

**Ключові слова:** забруднення, вода, нафтопродукти.

#### РЕФЕРАТ

Татьяна Билык<sup>1</sup>, Людмила Горбатюк<sup>2</sup>, Анжела Гай<sup>1</sup>, Анастасия Феер<sup>1</sup>,<sup>1</sup> Національний авіаційний університет,<sup>2</sup> Інститут гідробіології НАН України, *larus\_2010@ukr.net, ecotoxhydrobiol@gmail.com, guyaaa@i.ua NastyaFeyer@gmail.com*

#### НЕФТЯНОЕ ЗАГРЯЗНЕНИЕ КАНЕВСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

#### В УСЛОВИЯХ ВЛИЯНИЯ МЕГОПОЛИСА

Дана оценка современного состояния загрязнения воды киевского участка Каневского водохранилища продуктами переработки нефти. Выявлено, что их концентрация в 2016 г. была близкой или незначительно превышала ПДК рыбохозяйственную, то есть несколько уменьшилась в сравнении с предыдущими годами, что обусловлено значительным сокращением судоходства. В целом степень загрязнения верхней части Каневского водохранилища определяется влиянием сточных вод г. Киева и носит сезонный характер.

**Ключевые слова:** загрязнения, вода, нефтепродукты.

#### ABSTRACT

*Bilyk Tetiana<sup>1</sup>, Ludmyla Gorbatuk<sup>2</sup>, Angela Gaj<sup>1</sup>, Anastasia Feer<sup>1</sup>,<sup>1</sup> National Aviation University,<sup>2</sup> Institute of Hydrobiology of the National Academy of Science of Ukraine, larus\_2010@ukr.net, ecotoxhydrobiol@gmail.com, guyaaa@i.ua NastyaFeyer@gmail.com*

#### PETROCHEMICAL POLLUTION OF THE KANEVSKY RESERVOIR

The estimation of the current state of water pollution in the Kiev section of the Kanevsky reservoir with oil refining products, is given. It was revealed that their concentration in 2016 was close to or slightly higher than the maximum permissible level for fishery, that is, it decreased somewhat in comparison with previous years, which is caused by a significant reduction in shipping. In general, the degree of pollution of the upper part of the Kanevsky reservoir is determined by the effect of sewage waters in Kiev and is seasonal in nature.

**Key words:** pollution, water, petrochemicals.

УДК 504.06+004.9:581.6+625.8

#### В-8. МОНІТОРИНГ СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ МЕТОДАМИ БІОІНДИКАЦІЇ

*Ганна Вайганг, Вікторія Хрутьба*

На сьогодні особливу небезпеку для людини становить антропогенне забруднення атмосфери міст внаслідок постійного збільшення обсягів шкідливих викидів автотранспорту та діяльності промислових підприємств. Для забезпечення екологічної безпеки урбанізованих територій зростає потреба в удосконаленні методів моніторингу довкілля та запровадження моделювання і прогнозування впливів на навколишнє середовище для розробки заходів зменшення антропогенного тиску на довкілля.

Результати досліджень впливу транспортних потоків на екосистеми міст, одержані О.І. Лежневою, Матейчиком В.П. та ін., показують, що зростання інтенсивності потоку, недосконала транспортна мережа та неякісне пальне призводить до перевищення концентрацій шкідливих викидів автотранспортних засобів до 5 разів в порівнянні з ГДК (за оксидом вуглецю). У роботах Гулевець Д.В., Козубенко Ю.Л., Тарасової В.В. доведено, що зростання кількості транспортних засобів та зменшення площ зелених насаджень в містах є показником зростання рівня смогу та підвищення захворюваності населення.

Високий рівень техногенного навантаження в сучасних містах передбачає розробку впровадження об'єктивних методів контролю забруднення для оцінки поточного стану

тенденцій розвитку екологічної ситуації в майбутньому, серед яких найбільш відомі системний підхід; натурні спостереження; експеримент; моделювання.

Для успішного здійснення контролю стану довкілля використовуються як класичні методи хімічного аналізу (гравіметричний і титриметричний), так і сучасні методи інструментального аналізу. В останні роки для спостереження за станом гідросфери або ґрунтового покриву все частіше застосовують дистанційні методи з використанням авіації, апаратури супутників і навколосезонних космічних станцій.

Незважаючи на значний прогрес розвитку інструментальних методів, визначення забруднюючих речовин в абіотичних компонентах довкілля (атмосферне повітря, вода, сніг, ґрунт), залишається дуже гострою проблемою.

Одним із найбільш зручних методів отримання об'єктивної інформації про стан забруднення міського середовища, який не вимагає суттєвих фінансових витрат і громіздкого інструментального забезпечення є біоіндикація та її різновиди – фіто-, зооіндикація. Реакція живого організму на зміни в екосистемі дозволяє оцінити антропогенний вплив на середовище проживання в показниках, що мають біологічну основу, які можна використати для моделювання і прогнозування впливу на людину.

Використання інформаційних системи з ГІС-додатками суттєво підвищує ефективність оцінки стану довкілля урбанізованих територій в умовах постійних змін забезпечує інформаційну підтримку прийняття рішень для оцінки якості атмосферного повітря міста і промислових зон. Створення системи, яка дозволить контролювати не тільки рівень викидів транспортних засобів, а й зміни стану рослин придорожного середовища є актуальним завданням сьогодення.

Метою дослідження є вибір інформаційної платформи системи моніторингу стану атмосферного повітря методами біоіндикації для забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень щодо зниження викидів шкідливих речовин.

Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання:

проаналізувати особливості використання рослин як біоіндикаторів стану забруднення повітря міських систем;

визначити інформаційну платформу для створення ефективного інструменту реалізації біомоніторингу урбанізованих територій.

Відомо, що рослини є індикаторами забруднення атмосферного повітря, оскільки більшою мірою підлягають ураженню забрудненим повітрям і сильніше реагують на ті концентрації більшості шкідливих домішок, які у людей і тварин не залишають явних ознак отруєння.

Дослідження, виконані на деревних рослинах, показали, що важкі метали (ВМ), Сульфур та інші елементи накопичуються в органах рослин і по їх складу можна оцінити екологічний стан середовища. Накопичення забруднюючих речовин найбільш активно спостерігається у зимовий період при відсутності рідких опадів.

Дія газових полютантів на рослини залежить від виду шкідливих речовин, концентрації забруднюючих речовин, тривалості впливу, відносної сприйнятливості видів рослин до дії газів і стадії фізіологічного розвитку, в якій знаходиться рослина в момент впливу шкідливих речовин. Перші порушення в анатомічній будові простежуються у будові хлоропластів. Далі відзначаються руйнування цитоплазми і стискання клітини.

Серед широкого спектру природних компонентів міського середовища в роботах Михайлова Т.А. та ін., Михайлова Л.С., Неверова О.А., Поворотня М.М., Приймак О.П., Уфімцева М.Д. та Терьохіна Н.В., Gunthardt-Goerg M.S. та Vollenweider P., Abdallah Y.N. та Mejnun G.E. основна увага приділяється листю деревних і чагарникових насаджень. За їх зовнішнім виглядом можна визначити рівень забруднення повітря, ґрунтів, виявити джерела забруднення, зони їх дії, ідентифікувати забруднюючі речовини. «Листовий аналіз» є одним з інформативних показників стану навколишнього середовища міст.



Відомо, що ВМ є одними з найбільш поширених і небезпечних забруднювачів міського середовища. Дослідниками Грабовським О.В., Зінченко Н. А. та ін., Кулагінін А.А., Топчій Н.М. визначається той факт, що листя активно поглинає викиди промислових підприємств і автотранспорту та здатні адекватно відображати забруднення середовища ВМ, ніж деревина, гілки тощо.

Для вивчення впливу найчастіше спостерігають за сезонними змінами п'яти видів деревних рослин: покритонасінних – тополі бальзамічного (*Populus balsamifera*), береза повисла (*Betula pendula*) і клена ясенелистного (*Acer negundo*), і голонасінних – ялинки сибірської (*Picea obovata*) і модрина сибірської (*Larix sibirica*).

Так, Кушнар'ова А.А., Вовченко А.В., Стрельцова Н.Б. визначали зміни морфометричних параметрів листя ясена ланцетного (*Fraxinus lanceolata*) на найбільш завантаженій автомагістралі м. Новочеркаськ та дійшли висновку, що викиди інтенсивного транспортного потоку призводять до значних змін. Викиди транспорту навіть в умовах екранування деревами та чагарниками парку, що міститься поруч з магістраллю, поширюються більш ніж на 500 м від дороги.

роботі О.П. Джиган проведено дослідження анатомічної будови листків *Tagetes patula* L. та *Salvia splendens* Ker.-Gawl. в примагістральних культурфітоценозах Дніпропетровського мегаполісу та встановлено, що зі збільшенням рівня забруднення довкілля викидами автотранспорту змінюється товщина листової пластинки, губчатого і стовпчатого мезофіла, покривних структур листа.

Отже, результати аналізу дозволяють визначити найбільш розповсюджені біомаркери стану довкілля. Моніторинг зміни їх стану під впливом транспортних систем міст, визначення зон зменшення зелених насаджень та можливість проведення аналізу використанням сучасних геоінформаційних систем (ГІС) дозволяє підвищити контроль за довкіллям, здійснювати своєчасне прогнозування результатів впливів шкідливих речовин для розробки програм по захисту територій.

наукової точки зору ГІС – це засіб моделювання і пізнання природних і соціально-економічних систем. ГІС застосовується для дослідження всіх тих природних, громадських і природно-суспільних об'єктів і явищ, які вивчають науки про Землю і суміжні з ними соціально-економічні науки, а також картографія, дистанційне зондування.

технологічному аспекті ГІС (ГІС-технологія) постає як засіб збору, зберігання, перетворення, відображення і поширення просторово-координованої географічної (геологічної, екологічної) інформації. І, нарешті, з виробничої точки зору ГІС є комплексом апаратних пристроїв і програмних продуктів (ГІС-оболонки), призначених для забезпечення управління та прийняття рішень, причому найважливіший елемент цього комплексу – автоматичні картографічні системи. Таким чином, ГІС може одночасно розглядатися як інструмент наукового дослідження, технологія і продукт ГІС-індустрії.

Користувацькі ГІС (ArcGIS, Mapinfo, QGIS, gvSIG) – велика і складна категорія, що тісно пов'язана з web-картографією. Призначені для користувача ГІС, грають роль клієнтів працюють з даними поставляються картографічними web-серверами, а так само в них здійснюється масова підготовка і аналіз даних перед публікацією їх в web.

Картографічні web-сервери (MapServer, GeoServer, OpenLayers і ін.) – це ціле сімейство продуктів вільного і пропріетарного характеру, що призначені для швидкої публікації даних користувачів для web-ресурсу. Дані інструменти дозволяють створювати інтерфейс певної складності, інтегрувати сервіс з базами даними, які підтримують класи просторових даних (PostgreSQL, SQL Server, MySQL, ArcSDE). Відмінною особливістю подібних систем від Google Maps є повний контроль над програмним забезпеченням самими даними, але є недолік щодо складності установки і налаштування, що часто вимагає знань мов програмування (javascript, php) або основ адміністрування.

Існуючий програмний комплекс оцінки рівня інгредієнтного та параметричного забруднення придорожного середовища транспортними потоками має базові інструменти

для її розширення з врахуванням впливу транспортних засобів на рослинність. Розробка системи моніторингу з базою даних біоіндикаторів дозволить визначати не тільки рівень концентрацій та зони розсіювання забруднюючих речовин, а й визначати екологічний стан зелених насаджень придорожніх територій. Це дозволить розробляти програми поліпшення стану довкілля урбанізованих територій та визначати більш стійкі рослини, що здатні забезпечувати екологічну безпеку придорожного середовища.

Таким чином, результати дослідження показали, що рослини є біоіндикаторами зміни стану довкілля, що швидко реагують на негативний вплив транспорту. Для аналізу впливу транспортних потоків на придорожнє середовище в умовах інтенсивного збільшення обсягів транспортних засобів та неякісних паливних характеристик запропоновано поєднати

єдиний інформаційний комплекс з використанням ГІС методи оцінки зміни концентрацій та біологічних показників рослинності на магістралях міст.

#### РЕФЕРАТ

Ганна Вайганг<sup>1</sup>, Вікторія Хрутьба<sup>2</sup>,

Національний транспортний університет, <sup>1</sup>malko.anna.comp@gmail.com, <sup>2</sup>Viktoriia.Khrutba@gmail.com

#### МОНІТОРИНГ СТАНУ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ МЕТОДАМИ БІОІНДИКАЦІЇ

Охарактеризовано методи оцінки рівня забруднення придорожного середовища транспортними потоками. На базі аналізу методів біоіндикації були визначені методи інтеграції в комп'ютерні комплекси з геоінформаційними системами для діагностики рівня екологічної безпеки рослинності в зонах інтенсивного навантаження транспортних міських систем.

**Ключові слова:** транспортний потік, біоіндикатори, моніторинг, забруднюючі речовини, геоінформаційні системи, урбанізовані території.

#### РЕФЕРАТ

Анна Вайганг<sup>1</sup>, Вікторія Хрутьба<sup>2</sup>,

Национальный транспортный университет, <sup>1</sup>malko.anna.comp@gmail.com

<sup>2</sup>Viktoriia.Khrutba@gmail.com

#### МОНІТОРИНГ СОСТОЯНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ МЕТОДАМИ БИОИНДИКАЦИИ

Охарактеризованы методы оценки уровня загрязнения придорожной среды транспортными потоками. На базе анализа методов биоиндикации были определены методы интеграции в компьютерные комплексы с геоинформационными системами для диагностики уровня экологической безопасности растительности в зонах интенсивной нагрузки транспортных городских систем.

**Ключевые слова:** транспортный поток, биоиндикаторы, мониторинг, загрязняющие вещества, геоинформационные системы, урбанизованные территории.

#### ABSTRACT

Ganna Weigang, Viktoriia Khrutba,

National Transport University, malko.anna.comp@gmail.com Viktoriia.Khrutba@gmail.com

#### MONITORING OF ENVIRONMENTAL SAFETY OF URBAN AREAS BY METHODS OF BIOINDICATION

The article describes the methods of assessment the level of roadside environment pollution by the traffic flow. On the base of the analysis bioindication methods, the methods of integration into computer complex with GIS for diagnostics of the level of environmental safety of vegetation in areas of intense carrying capacity of transport systems, were defined.

**Key words:** traffic flow, bio-indicators, monitoring, pollutants, geographic information systems, urban areas.

## **V-9. АНАЛІЗ СТУПЕНЯ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЗРОСТАННЯ ЯВИЩА КИСЛОТНИХ ДОЩІВ ТА ЇХ НАСЛІДКІВ**

*Лада Верягіна, Янінна Сорока*

Кислотні опади є досить серйозною проблемою і у разі неконтрольованого розвитку може викликати істотні екологічні проблеми, або навіть катастрофи, а також великі економічні та соціальні витрати.

Цією проблемою варто займатися екологічними службами кожного міста. Адже ще 200 років тому дощова вода мала рН близько 7, тобто була майже нейтральною. Що ж до нашого часу дощова вода є розчином сірчаної, азотної, хлоридної кислот, концентрація яких варіюється від мізерно малих значень до вражаючих. Тому вивчення даної проблеми є дуже важливим та актуальним в наш час. Необхідно знати не тільки причини виникнення кислотних дощів і наслідки їхніх негативних впливів, а й засоби подальшого запобігання розповсюдження явища кислотних опадів.

Метою даної роботи є з'ясування сутності поняття «кислотні опади» та основні аспекти досліджень цієї проблеми. Проаналізувати, які заходи здатні перешкодити негативному впливу, і які з них є найбільш ефективними.

Аналіз роботи показує, що кислотні опади можуть призводити до підвищення кислотності середовища, що в свою чергу може призводити до винищення популяцій риб, занепадання лісів, підкислення ґрунту, корозії покривних матеріалів будівель та світових пам'яток архітектури та культури.

Дисбаланс світового елементоорганічного кругообігу в природі може бути також причиною випадіння підкислених опадів. Елементи кругообігу можуть покидати певну ланку (атмосферу) не виключно вологим методом, а і «сухим», коли замість звичних вологих опадів випадають новоутворені дисперсні частки. Тому поняття "кислотний дощ" в свій склад включає не тільки звичну вологу (опади, дощ), а і має дисперсну (суху) фазу седиментацію.

Не варто виключати, що природа не виробляє сірки та азоту. Крім антропогенних джерел сірки та азоту також є і природні (наприклад різноманітні бактерії, лісові масиви та ін. виділяють достатню кількість органічних речовин)

Є три види джерел природної емісії сірки:

Процеси, що руйнують біосферу через анаеробні організми. Ці організми розкладають органічні речовини, які в свою чергу виділяють сірку, що міститься в них та утворюються сірковмісні газоподібні сполуки. Біологічним методом сірки виділяється 30–40 млн тонн за рік (1/3 загальної кількості викидів).

Вулканічна діяльність. Вулкани викидають в атмосферу (найчисельніше в тропосферу) сірку, сірководень, сульфати. Цим шляхом біосфера отримує 2 млн тонн сірковмісних сполук на рік.

Поверхня океанів. Коли відбувається випаровування води з поверхні океанів, то випаровуються сполуки сірки, що складає 50–200 млн тонн сірки в рік. Проте з випаруваних сульфатів сірчана кислота не може утворюватися, тому можна вважати, що вся кількість поширюється на урегулювання подальшого утворення хмар та атмосферних опадів.

Джерелами надходження сірки антропогенного походження, а саме у вигляді двоокису, у процес колообігу є: спалювання вугілля; металургійна промисловість; підприємства з виробництва сірчаної кислоти; переробка нафти; спалювання мазуту; транспорт. Надходження в атмосферу складає 60–70 тонн сірки на рік.

Проте до складу атмосфери також входять азотвмісні мікроречовини, з яких найпоширеніший оксид азоту. У атмосфері протікають процеси у результаті яких

утворюється азотна кислота. Якщо вона нейтралізується, то утвориться азотнокисла сіль, яка знаходиться в атмосфері у стані аерозолію.

Природний аміак здатен нейтралізувати дію кислотних дощів. Джерелом аміаку є ґрунт утворюється в процесі розпаду сечі тварин, внесених азотних добрив, виробництва та спалення вугілля, альдегіди і кетони 8 % (формальдегід, ацетон і ін.). природні викиди складають 43,8 млн тонн на рік.

Внаслідок пониження рН води (не доходячи до критичної границі виживання водної біоти) у воді зростає концентрація алюмінію, головним чином через те, що гідроксид алюмінію з природних порід взаємодіє з кислотою.

Разом із тим фосфати, які у свою чергу забезпечують ріст і розвиток фітопланктону та інших, компонується з алюмінієм і залишаються недоступними для всієї водної біоти.

Також з підвищенням рН у воді з'являються високотоксичні іони тяжких металів (кадмій, свинець тощо), що в свою чергу раніше були складовими нерозчинних у воді сполук і не загрожували життю організмам.

Недостатня кількість поживних речовин та інтоксикація води призводять до "стерилізації" водоймищ та до скорочення популяцій наземних тварин і птиці, які тісно пов'язані з водною біотою.

Підвищення рН ґрунту призводить до вимивання поживних для рослин та тварин речовин та активації алюмінію, який в звичному рН залишився б зв'язаним у породі та мінеральних частинках.

Основними методами зменшення шкідливого впливу є:

Зниження вмісту сірки в різних видах палива. Найдаліше було б отримувати в використанні малосірчисті (вміст сірки менше 1 %) нафтопродукти та вугілля. Проте їх залишок не великий (20 % світових запасів нафти), тому важливо видаляти сірку не тільки для покращення експлуатаційних властивостей палива, а і зменшення шкідливого впливу на довкілля.

Процес видалення сірки з мазуту є дуже складним і успішність видалення сірки не велика, в результаті може вивільнитися тільки від 1/3 до 2/3 сірки. Вугілля можна очистити тільки до 50%, але цей процес досить дорогий, тому, що використовується високий тиск та температури.

Вчені досліджують нові методи очищення вугілля, такі як багатостадійна флотажія, електростатичний поділ, масляна агломерація, що дозволяють видалити до 90 % усієї притної сірки і до 65 % загальної кількості сірки.

Хімічними методами очистки є: каталітична гідрогенізація, використання хімічних присадок (пиролін, дісульфуrol, бюхазин, корит і ін.).

Технологічні зміни. Досліджено, що при зменшенні температури горіння, зменшується виділення оксиду азоту.

Варто зауважити, що сірку зв'язує потік неспаленої речовини горіння, що направляється в зону, що у свою чергу знижує температуру горіння, а отже кількість оксиду азоту. Очищення кінцевих газів від сірки шляхом барботування їх через розчин вапняку дозволяє одержати сульфід чи сульфат кальцію.

Вапнування – додавання лужних речовин в озера і ґрунт, які швидко розчиняються, луг, що утворюється, нейтралізує кислоти. Однак, цей метод має цілий ряд недоліків: відбувається грубе порушення хімічної і біологічної рівноваги вод і гrotів не вдається усунути всі шкідливі наслідки окислення, не можна видалити важкі метали.

Заміна загиблих популяцій тварин і рослин новими, котрі краще переносять окислення.

Пам'ятники культури обробляють спеціальною захисною глазур'ю. За даними Академії наук України, більше 80% коштів, які виділяються на природоохоронні цілі в даний час, використовуються на ліквідацію вже наявних шкідливих впливів, у той час, як у першу чергу варто усувати причини, що їх породжують.

Головною причиною утворення таких опадів – це утворення дрібних крапель сірчаної та азотної кислот, внаслідок сполучення окисів сірки та азоту з атмосферною вологою. Ці кислоти переносяться вітрами у вигляді кислотного туману та потім випадають на землю кислотними дощами та кислотним снігом. Негативні наслідки проявляються на всій екосистемі.

Так як сірка та азот потрапляють в атмосферу через ТЕС та двигуни автомобілів, то способи боротьби із забрудненням атмосфери ґрунтуються на очищенні та утилізації газів та пилу від ТЕС, і регулюванні двигунів внутрішнього згорання та встановленні на них спеціальних каталізаторів.

Засоби по запобіганню негативного впливу кислотних опадів – це боротьба із забрудненістю атмосфери, яка має проводитися комплексними заходами об'єднанням країн. Потрібно діяти спільно. Але враховуючи всі видимі ситуації та проблеми, людство не зверне особливої уваги на проблему, доки вона не буде явно нищити природу біля їхніх домівок та будуть хворіти вони та їхні родичі.

Тож чи реально зменшити кількість кислотних опадів достеменно сказати не можливо, не буде ніякого прогресу у вирішенні цієї проблеми, до поки власники заводів не будуть слідувати за екологією та поки саме людство не перейде на екологічне паливо та матеріали, щоб зменшити кількість викидів з двигунів та зменшення обсягу продукції для якої потрібні паливно-мастильні матеріали.

#### РЕФЕРАТ

*Лада Верягіна, Янінна Сорока,*

*Національний авіаційний університет, vlskns@ukr.net, yaninna37@gmail.com*

#### **АНАЛІЗ СТУПЕНЯ ВПЛИВУ ТРАНСПОРТНОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ЗРОСТАННЯ ЯВИЩА КИСЛОТНИХ ДОЩІВ ТА ЇХ НАСЛІДКІВ**

Розглядається сутність поняття «кислотні опади» і основні аспекти дослідження цієї проблеми. Основною метою роботи є необхідність знання не тільки причин виникнення кислотних дощів, а також наслідки негативного впливу на навколишнє середовище і способи подальшого запобігання поширенню явищ кислотних опадів. Проаналізовано можливості зменшення негативного впливу кислотних опадів на забрудненість атмосфери.

**Ключові слова:** атмосфера, забрудненість, навколишнє середовище, кислотні опади.

#### РЕФЕРАТ

*Лада Верягіна, Янінна Сорока,*

*Национальный авиационный университет, vlskns@ukr.net, yaninna37@gmail.com*

#### **АНАЛИЗ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ ТРАНСПОРТА НА РОСТ ЯВЛЕНИЯ КИСЛОТНЫХ ДОЖДЕЙ И ИХ ПОСЛЕДСТВИЙ**

Рассматривается сущность понятия «кислотные осадки» и основные аспекты исследования этой проблемы. Основной целью работы есть необходимость знания не только причин возникновения кислотных дождей, а также последствия негативного влияния на окружающую среду и способы дальнейшего предотвращения распространения явлений кислотных осадков. Анализируются возможности уменьшения негативного влияния кислотных осадков на загрязненность атмосферы.

**Ключевые слова:** атмосфера, загрязненность, окружающая среда, кислотные осадки.

#### ABSTRACT

*Lada Veriagina, Yaninna Soroka,*

*National Aviation University, vlskns@ukr.net, yaninna37@gmail.com*

#### **ANALYSIS OF INFLUENCE DEGREE OF VEHICLE LOAD ON GROWING ACID RAIN PHENOMENON AND ITS EFFECTS**

In this paper the essence of the of “acid rain” concept and the main aspects of the study of the problem, are discussed. The main goal is the need not only to investigate the causes of acid rain, but to study the consequences of the negative impact on the environment and ways to further prevent the spread effects of acid rain, as well. Possibilities reduce the negative impact of acid rain pollution in the atmosphere, are analyzed.

**Key words:** atmosphere, contamination, environment, acid rains.

## V-10. МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРІЮ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

*Сергій Коломієць*

Виробничо-технічна база автотранспортних підприємств (АТП), призначена для зберігання рухомого складу і проведення технічного обслуговування і ремонту (ТО і Р) автомобілів, є однією з найважливіших структур у частині екологічної безпеки транспортно-дорожнього комплексу в цілому. Поряд з головною метою - забезпеченням заданого рівня роботоздатності і рівня екологічної безпеки парку транспортних засобів (ТЗ), перед автотранспортними підприємствами стоїть завдання забезпечення власної екологічної безпеки.

Для оцінки впливу автотранспортних підприємств на навколишнє середовище, як правило, розглядається не один, а ціла сукупність окремих критеріїв  $K_i$ , що утворюють векторні критерії  $K = K_1, K_2, \dots, K_n$ . Векторні критерії  $K$  зводяться до різних групових та інтегральних скалярних критеріїв.

Для оцінки рівня екологічної безпеки АТП, а також ТЗ, що обслуговуються ними необхідні найбільш інформативні критерії, які здатні порівняти велику кількість можливих схем організації процесу ТО і Р та варіантів парку ТЗ різного призначення з точки зору рівня забруднення середовища, утворення відходів і витрат експлуатаційних матеріалів. При цьому ці критерії повинні бути універсальними для порівняння як різних схем однотипних, так і різнотипних АТП з врахуванням умов експлуатації парку ТЗ, а також для оцінки відповідності їх сучасним вимогам екологічної безпеки.

цією метою об'єднаємо окремі критерії викидів забруднюючих речовин, утворення відходів та витрат експлуатаційних матеріалів в групові, які об'єднують одиночні показники окремих властивостей. В свою чергу групові критерії окремих властивостей об'єднаємо в інтегральний критерій, що призначений оцінити рівень екологічної безпеки автотранспортного підприємства.

Цей підхід прийнятний для вибору того чи іншого варіанту організації виробничого процесу підприємства чи складу парку ТЗ у визначених умовах, кожна з яких характеризується певною сукупністю значень показників.

В основі підходу лежать задачі визначення узагальненої функції АТП з навколишнім середовищем. Задачі визначення цієї функції, дослідження та оцінки її екстремумів розділяються на окремі частини, для яких визначаються часткові рішення, а потім отримані результати синтезуються.

Ускладнена можливість використання аналітичних методів для ідентифікації структури цінностей окремих показників. Ці цінності можуть розглядатися сумісно з впливом на середовище в неформалізованій процедурі, що не має тієї логічної та теоретичної основи, що притаманна методі аналізу рішень.

У першому наближенні рівень екологічної безпеки АТП при порівнянні з базовим об'єктом можна оцінити за сукупністю показників:  $\{I_1, I_2, \dots, I_n\}$ ,  $n \leq 50$ , та внаслідок попарного порівняння значень вимірювачів одиночних показників базового (Б) та об'єкту, що розглядається, (А) у вигляді:

$$\begin{array}{l} \overline{A} > \overline{B} & \text{(перевищує базовий)} \\ \overline{AB} < \overline{B} & \text{(відповідає базовому)} \\ \overline{AB} < \overline{B} & \text{(поступається базовому)} \end{array}$$

при  $\overline{A} \quad \overline{0}$ , де  $\overline{0}$  – вектор обмежень.

Припускається, що всі значення вимірювачів одиночних показників, що розглядаються, обмежені зверху і знизу

$$[i]_{i=0, \dots, i=1, n}.$$

Тут  $[i]$  – вектор значень вимірювачів одиночних показників, що наведені в нормативно-технічній документації.

Обмеження зверху пов'язано як з технічними можливостями, так і з економічною доцільністю. Обмеження знизу пов'язано з тим, що показники об'єкту, що розглядається, повинні задовольняти діючим стандартам та вимогам.

Однак при одночасному порівнянні значень вимірювачів більше 10–12 показників рівень екологічної безпеки АТП, як правило, складно охарактеризувати за наведеним вище виразом, як такий, що перевищує базовий або поступається базовому. Тому для описання переваг необхідно використовувати цільову функцію  $A_i$ , яка визначає порядок надання переваги та характеризує шуканий інтегральний критерій.

Ця функція надає у відповідності кожному значенню деяке дійсне число. Причому переважне за тільки тоді, коли, а рівноцінне тільки в тому випадку, коли.

Якщо функція адаптивна, то для  $i = 1, \dots, n$  ( $n \geq 3$ ) одиночних показників цільову функцію для одного типу показника можна представити у вигляді:

$$A_i = \sum_{i=1}^n w_i f_i(x_i),$$

де  $f_i$  – часткові функції взаємодії, що виражаються значеннями в безрозмірному вигляді;

$w_i$  – вагові коефіцієнти, що характеризують ціннісні відношення між вимірювачами та задовольняють умові:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1.$$

залежності від направленості вектора пріоритетів при використанні відповідної схеми організації виробничого процесу підприємства чи складу парку цільова функція –го АТП буде вважатися більш переважною, якщо:

$$A_j^n = \min_{i=1, \dots, j=J} A_{ij},$$

де  $j$  – варіант схеми організації виробничого процесу підприємства чи складу парку;  $n$  – номер вимірювача.

Задача ідентифікації функції  $A_j$  та кількісної оцінки її значень розділяються на окремі частини, для яких знаходяться часткові рішення, які потім синтезуються, індексуються та аналізуються.

Найбільш розповсюдженим є метод експертних оцінок, у відповідності з яким кожен експерт виконує упорядкування часткових цілей або вимірювачів у відповідності з встановленою головною ціллю. Перший за важливістю вимірювач одиночного показника отримує відповідний ранг  $r_1$  і так далі. Кожному вимірювачу в ранжированому ряді присвоюється кількісна оцінка  $a_i$  (бали, очки).

Отже, оцінювання рівня екологічної безпеки ґрунтуватиметься на таких методичних засадах:

Визначення кількості експертів, котрі будуть брати участь в оцінюванні коефіцієнтів, який втілюється у формулі:

$$N = \frac{3}{(b-1)0,5},$$

де  $N$  – мінімальна кількість експертів;  $b$  – похибка результатів експертизи ( $0 < b < 1$ ).

За допомогою методу експертних оцінок відбираються основні критерії для оцінки рівня екологічної безпеки АТП.

Вага коефіцієнтів розраховується формулою:

$$w_{ij} = \frac{x_{ij}}{\sum_{j=1}^n x_{ij}}, \quad i = \overline{1, m}, \quad j = \overline{1, n},$$

де  $x_{ij}$  – оцінка фактора  $i$ , отримана від  $j$ -експерта;  $n$  – кількість експертів;  $m$  – кількість коефіцієнтів, які підлягають оцінці.

Результати такої оцінки потрібно опрацювати не лише кількісно, а й якісно, оскільки вони можуть не збігатися. Тому визначати ступінь узгодженості думок експертів нами запропоновано за такими формулами:

$$W = \frac{12 S}{n(m-1)}, \quad S = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (x_{ij} - \frac{1}{n})^2,$$

де  $W$  – коефіцієнт конкордації (достатній при значенні 0,5).  $S$  – сума квадратів відхилення всіх оцінок рангів кожного коефіцієнта від середнього значення;  $n$  – кількість експертів;  $m$  – кількість коефіцієнтів, які підлягають оцінці.

Коефіцієнти, що, на думку експертів, є найважливішими подаються у вигляді матриці  $a_{ij}$ , де в рядках зафіксовано коефіцієнти  $a_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ , а значення стовпців відображають їх конкретне значення.

Знайти скориговані показники (порівнюючи наявні значення зі значеннями за найбільш успішний період діяльності АТП або еталонними значеннями для галузі), що знаходяться в межах від нуля до одиниці й розраховуються за формулою:

$$b_{ik} = \frac{a_{ik}}{\max a_{ik}}$$

Складові інтегрального показника  $E_k$  знаходимо як середньозважене значення, сукупний показник – як середнє арифметичне значення показників:



$$E_k = \sum_{i=1}^m w_i b_{ik},$$

де  $w_i$  – вага  $i$ -го показника;  $m$  – кількість показників.

Таким чином, була сформована методика формування інтегрального критерію екологічної безпеки автотранспортного підприємства, що ґрунтується на методі експертних оцінок групи критеріїв викидів шкідливих речовин, відходів та витрат експлуатаційних матеріалів.

## РЕФЕРАТ

*Сергій Коломієць,*

*Національний транспортний університет, sv-kola@bigmir.net*

### МЕТОДИКА ФОРМУВАННЯ ІНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРІЮ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА

Для оцінки рівня екологічної безпеки автотранспортних підприємств, а також транспортних засобів, що обслуговуються ними виокремлено найбільш інформативні критерії, що здатні порівняти велику кількість можливих схем організації процесу технічного обслуговування і ремонту та варіантів парку транспортних засобів різного призначення з точки зору рівня забруднення середовища, утворення відходів і витрат експлуатаційних матеріалів. При цьому має враховуватись універсальність критеріїв для порівняння як різних схем однотипних, так і різнотипних автотранспортних підприємств врахуванням умов експлуатації парку транспортних засобів, а також для оцінки відповідності їх сучасним вимогам екологічної безпеки. Під час дослідження була сформована методика формування інтегрального критерію екологічної безпеки автотранспортного підприємства, що ґрунтується на методі експертних оцінок групи критеріїв викидів шкідливих речовин, відходів та витрат експлуатаційних матеріалів.

**Ключові слова:** автотранспортне підприємство, екологічна безпека, критерій, експертна оцінка.

## РЕФЕРАТ

*Сергей Коломиец,*

*Национальный транспортный университет, sv-kola@bigmir.net*

### МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНОГО КРИТЕРИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Для оценки уровня экологической безопасности автотранспортных предприятий, а также транспортных средств, обслуживаемых ими выделены наиболее информативные критерии, которые способны сравнить большое количество возможных схем организации процесса технического обслуживания и ремонта, и вариантов парка транспортных средств различного назначения с точки зрения уровня загрязнения среды, образования отходов и расходов эксплуатационных материалов. При этом должна учитываться универсальность критериев для сравнения как разных схем однотипных, так и разнотипных автотранспортных предприятий с учетом условий эксплуатации парка транспортных средств, а также для оценки соответствия их современным требованиям экологической безопасности. В ходе исследования была сформирована методика формирования интегрального критерия экологической безопасности автотранспортного предприятия, основанная на методе экспертных оценок группы критериев выбросов вредных веществ, отходов и затрат эксплуатационных материалов.

**Ключевые слова:** автотранспортное предприятие, экологическая безопасность, критерий, экспертная оценка.

## ABSTRACT

*Sergii Kolomiets,*

*National Transport University, sv-kola@bigmir.net*

### METHODS OF FORMING INTEGRATED CRITERION OF MOTOR TRANSPORT ENTERPRISE ENVIRONMENTAL SAFETY

To assess the environmental safety of transport enterprises and vehicles that serviced by them, the most informative criteria that are able to compare a large number of possible schemes of process maintenance and repair options fleet of vehicles for various purposes in terms of pollution, waste operating costs and materials,

are singled out. At the same time, universal criteria to compare how similar different schemes, and different types of motor transport enterprises, should be taken into account, with the consideration conditions fleet of vehicles, and to assess their compliance with modern requirements of environmental safety. During the study, the method of forming an integrated environmental safety criterion motor transport enterprises, which is based on the method of expert assessment of criteria emissions, waste and operational costs of materials, was established.

**Key words:** motor transport facilities, environmental safety, criterion, expert assessment.

УДК 628.316:54:666.962.3

## **V-11. ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФОСФОРА ОБОЖЖЕННЫМ ДОЛОМИТОМ ИЗ ИЛОВЫХ ВОД ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*Егор Сапон, Владимир Марцуль, Андрей Василевский*

Основной причиной негативных последствий эвтрофикации водных объектов, избыточного роста водорослей и нарушения функционирования естественных экосистем, является сброс сточных вод недостаточно очищенных от биогенных элементов, главным образом фосфора. Содержание фосфора-фосфатов превышающее 0,030 мг Р/л характеризует состояние водных экосистем как неблагоприятное. По данным мониторинга поверхностных вод Республики Беларусь за 2010–2015 гг, как правило, среднегодовые концентрации фосфора для основных водных бассейнов превышали указанное выше значение. В 2014 г.

24 % отобранных проб воды в реке Неман регистрировались концентрации фосфат-иона, превышающие ПДКр.х. (0,066 мг Р/л).

Фосфор относится к исчерпаемым ресурсам и при сохранении существующих темпов добычи и использования его разведанных запасов хватит не более чем на 125 лет. Его безвозвратные потери в гидросферу связаны со сбросом сточных вод и выносом с сельских территорий. Ежегодная фосфорная нагрузка на мировой океан составляет 20 млн т./год.

Перечисленные выше проблемы являются хорошими стимулами для поиска новых источников удовлетворения потребности в фосфоре. Одним из них являются коммунальные сточные воды. Фосфор может быть извлечен из сточных вод, избыточного активного ила, золы от сжигания осадков сточных вод, возвратных потоков, образующихся на очистных сооружениях в результате обработки осадков сточных вод.

Возврат иловой воды из уплотнителей и иловых площадок, аэробной и анаэробной стабилизации и фугата обезвоживания осадков сточных вод (возвратных потоков) в приемную камеру очистных сооружений приводит к увеличению общей нагрузки по фосфору на сооружения биологической очистки. Концентрация фосфора в этих потоках может превышать 200 мг Р/дм<sup>3</sup>, что десятки раз больше, чем в поступающих на очистку сточных водах.

На сегодняшний день реализовано несколько технологий, позволяющих извлекать фосфор из возвратных потоков очистных сооружений в доступном для последующего сельскохозяйственного использования виде. В США, Канаде и Японии внедрены технологии, обеспечивающие извлечение фосфатов в виде гранул, состоящих из кристаллов магний-аммоний фосфата, фосфатов кальция и магния. В основе применяемых технологий лежит использование таких реагентов, как гидроксид кальция, гидроксид магния, смесь гидроксида натрия и хлорида магния.

Наряду с кристаллизацией для извлечения фосфора перспективным является использование доступных местных материалов, обладающих высоким потенциалом его удаления. В соответствии с принципами ресурсосбережения необходимым условием является возможность их последующего использования. Ранее нами показано, что для эффективного удаления фосфатов из возвратных потоков очистных сооружений может быть

использован обожженный при 600–750 °С доломит. Фазовый состав полученного материала характеризуется наличием карбонатов кальция и магния и оксида магния.

Целью работы было определить продолжительность процесса, обеспечивающую максимальное удаление фосфатов из возвратных потоков очистных сооружений с помощью обожженного доломита.

Объектами исследования были доломит обожженный, фугат, удаляемый при обезвоживании осадков сточных вод. В работе использовали доломит месторождения Руба (Республика Беларусь). Режим обжига – смесь измельченного доломита (99 мас. %) и гидрокарбоната натрия (1 мас. %) выдерживали в муфельной печи при температуре 500 °С в течение 30 мин, далее температуру повышали до 700 °С и выдерживали 15 мин.

Фугат отбирали на очистных сооружениях с нагрузкой более 100 000 эквивалентных жителей. Отбор проб проводили в период с марта по май и с сентября по ноябрь 2016 года. Концентрация фосфатов в нем находилась в диапазоне 100–150 мг P/дм<sup>3</sup>.

Исследование кинетики удаления фосфатов обожженным доломитом проводили по приведенной ниже методике. Материал дозировали в пробу фугата при постоянном перемешивании, дозировка обожженного доломита была принята по результатам ранее проводимых исследований и составляла 10 кг/м<sup>3</sup>. Интенсивность перемешивания выбирали исходя из необходимости поддержания материала во взвешенном состоянии. Контроль содержания фосфатов и pH осуществляли через равные интервалы времени, в течение 120 мин. Эксперименты проводили при температуре 20±0,5 °С.

целью уменьшения времени извлечения фосфатов в работе изучено влияния аэрации и обработки ультразвуком (УЗ) на интенсивность процесса. Для аэрации использовали воздуходувку АС-9603, расход воздуха – 300 дм<sup>3</sup>/дм<sup>3</sup>·ч. Обработку УЗ проводили в течение 5 мин. с использованием ультразвуковой установки ИЛ100-6/1 при мощности излучателя 315 Вт, после этого пробу перемешивали в течение 10 мин. в режиме, указанном выше, и повторно обрабатывали УЗ.

Содержание фосфатов в предварительно отфильтрованных пробах определяли фотоколориметрическим методом в соответствии с СТБ ISO 6878-2005. Азот аммонийный анализировали в соответствии с ПНД Ф 14.1:2:4.276-2013. Значение pH определяли потенциометрическим методом на pH-метре И-160.1 МП с комбинированным электродом ЭСКЛ-08М.1.

Как видно из рис. 1а, наиболее сильно интенсифицирует процесс извлечения фосфатов УЗ-обработка. Степень извлечения за первые 15 мин взаимодействия достигает 87 %, что на 25 % больше, чем в условиях механического перемешивания. Это объясняется увеличением удельной поверхности твердой фазы в результате диспергирования частиц доломита. Однако это увеличивает время седиментации доломита, необходимое для разделения суспензии. Аэрация также способствует ускорению процесса. Так, уже за первые 15 мин степень извлечения превысила 77 %, а после 30 мин аэрации достигла 95 % и сравнялась со степенью извлечения достигнутой при УЗ-обработке. Для всех исследуемых вариантов максимальная степень удаления фосфатов была достигнута за 2 ч и составляла 99,8 %.

Сравнивая рис. 1а и 1б можно констатировать, что имеется сильная корреляция между значением степени очистки от фосфатов и значением pH суспензии (коэффициент парной корреляции – 0,994). Стоит также отметить, что фосфаты наиболее полно удаляются области значений pH более 9,3. Таким образом, значение pH можно использовать для регулирования и наблюдения за полнотой протекания процесса.

Удаление фосфатов основано на протекании химических реакций с участием оксид магния, содержащегося в обожженном доломите. При взаимодействии с водой он образует гидроксид магния, вследствие чего происходит увеличение значения pH. Затем гидроксид магния образует с фосфатами малорастворимые соединения  $Mg_3(PO_4)_2 \cdot nH_2O$ ,  $MgNH_4PO_4 \cdot nH_2O$ .

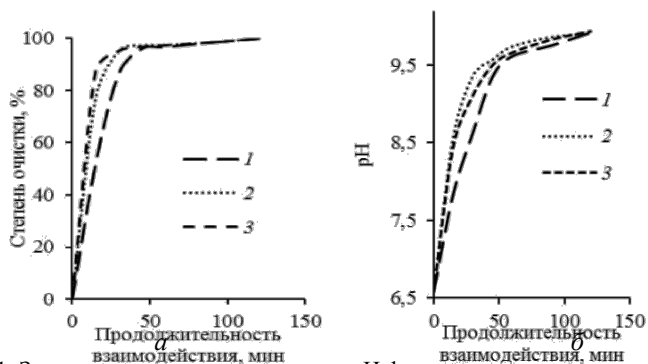


Рис. 1. Зависимости степени очистки и pH фугата от времени:

1 – механическое перемешивание; 2 – аэрация; 3 – УЗ обработка

Таким образом, в результате экспериментальных исследований подтверждена высокая эффективность использования обожженного доломита для извлечения фосфора из возвратных потоков очистных сооружений. Определена продолжительность процесса, обеспечивающая наибольшую степень извлечения фосфатов. Предложены варианты интенсификации процесса – УЗ-обработка и аэрация суспензии. Отработанный материал может найти применение в качестве почвоулучшающей добавки и компонентов минеральных и органико-минеральных удобрений.

#### РЕФЕРАТ

*Егор Сапон, Володимир Марцуль, Андрій Василевський, Білоруський державний технологічний університет, sapon@belstu.by* ДОСЛІДЖЕННЯ КІНЕТИКИ ВИЛУЧЕННЯ ФОСФОРУ

#### ОБПАЛЕНИМ

#### ДОЛОМИТОМ З МУЛОВИХ ВОД ОЧИСТНИХ СПОРУД

Проведено дослідження кінетики вилучення фосфору обпаленим доломітом з мулових вод очисних споруд. Показано, що оптимальний час контакту в разі механічного перемішування становить 45 хв. За допомогою аерації та УЗ-обробки тривалість взаємодії можна скоротити до 30 і 15 хв відповідно. Відпрацьований матеріал може знайти застосування в якості покращуючої ґрунтової добавки.

**Ключові слова:** доломіт обпалений, фосфати, мулові води.

#### РЕФЕРАТ

*Егор Сапон, Владимир Марцуль, Андрей Василевский, Белорусский государственный технологический университет, sapon@belstu.by* ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ФОСФОРА

#### ОБОЖЖЕННЫМ ДОЛОМИТОМ

#### ИЗ ИЛОВЫХ ВОД ОЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Проведено исследование кинетики извлечения фосфора обожженным доломитом из иловых вод очистных сооружений. Показано, что оптимальное время контакта в случае механического перемешивания составляет 45 мин. С помощью аэрации и УЗ-обработки продолжительность взаимодействия можно сократить до 30 и 15 мин соответственно. Отработанный материал может найти применение в качестве почвоулучшающей добавки.

**Ключевые слова:** доломит обожженный, фосфаты, иловые воды.

#### ABSTRACT

*Yehor Sapon, Vladimir Martsul, Andrey Vasilevskiy,*

*Belarusian State Technological University, sapon@belstu.by*

#### THE STUDY OF PHOSPHORUS RECOVERY KINETIC BY BURNT DOLOMITE FROM SLUDGE WATER OF WASTEWATER TREATMENT PLANT

The kinetics of extracting phosphorus from calcined dolomite sludge water treatment plants, was investigated. It is shown that the optimal contact duration in the case of mechanical mixing is 45 min. Due to

aeration and ultrasonic treatment, interaction duration can be reduced to 30 and 15 min respectively. The waste material may be applied as an improving soil additive.

**Key words:** burnt dolomite, phosphates, sludge water.

УДК 504.75:614.8:334.716

## **V-12. THE ECONOMIC EFFICIENCY OF THE MEASURES OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH**

*Atstāja Dzintra*

Occupational safety and health (OSH), also commonly referred to as occupational health and safety (OHS), occupational health, or workplace health and safety (WHS), is a multidisciplinary field concerned with the safety, health, and welfare of people at work. Work environment has a very significant role in the life of worker, because we spend approximately one third of our lives at work. Work environment is our workplace with all conditions and risk factors existing in and around it; which affects or could affect our safety and health at work. Contemporary scientific developments, introduction of technologies, and modernising of production cannot guarantee avoiding impact of various risk factors, accidents, occupational diseases: in work environment, an employee is exposed to dangerous situations, harmful influence of physical, ergonomic, chemical and biological factors.

Per data from the 2010 The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), workers employed in mining and oil and gas extraction industries had high prevalence rates of exposure to potentially harmful work organization characteristics and hazardous chemicals. Many of these workers worked long hours: 50 % worked more than 48 hours a week and 25 % worked more than 60 hours a week in 2010. Additionally, 42% worked non-standard shifts (not a regular day shift). These workers also had high prevalence of exposure to physical/chemical hazards. In 2010 39 % had frequent skin contact with chemicals. The basic purpose of labour protection is to determine legal basis for implementation of socio-economic, technical and organisational measures and, consequently, ensure introduction, coordination and control of law prescribed requirements. Internal supervision of work environment is sufficiently dissuasive, and its purpose is to discover risk factors existing in the work environment as early as possible and prevent or reduce impact of such factors on safety and health of employees.

In their work environment, employees are exposed to dangerous situations, harmful influence of physical, ergonomic, chemical and biological factors, and modern scientific developments do not guarantee avoiding impact of various risk factors, accidents, occupational diseases, therefore a precise and effective system of labour protection both at governmental and business levels provides employees with safe and health-friendly working conditions.

The following hypothesis has been suggested for the survey: preventive measures of labour safety provide for education of labour safety costs in the enterprise. To prove the hypothesis, the following objective has been set: to identify and analyse costs of labour protection, as well as opportunities to reduce these costs. To meet the objective and prove the hypothesis, the generally accepted research methods have been used: monographic and statistical methods of analysis and expert's interviews with the specialists.

One of the basic principles of the labour protection system, in addition to securing closer cooperation between an employer and employees, is orientation of the labour protection system not towards consequences of accidents and impact of risk factors, but towards causes.

Approximately 100 000 chemical substances, 50 physical factors, 200 biological factors, 20 ergonomic factors and an identical number of physical workload are harmful factors or workplace conditions and are connected to very many psychological and social issues, for example,

occupational diseases, accidents in the workplace, stress reactions, dissatisfaction with work, lack of welfare.

Entrepreneurs should consider that their employees' safety and health may be put at risk not only by risk factors present in the work environment (chemical, electrical, traumatic and other factors), but also by work methods, work organisation, professional training of employees, and interaction of all aforementioned factors. Moreover, although a work accident may occur due to various reasons, it affects the whole enterprise and, thus, also the company's profit.

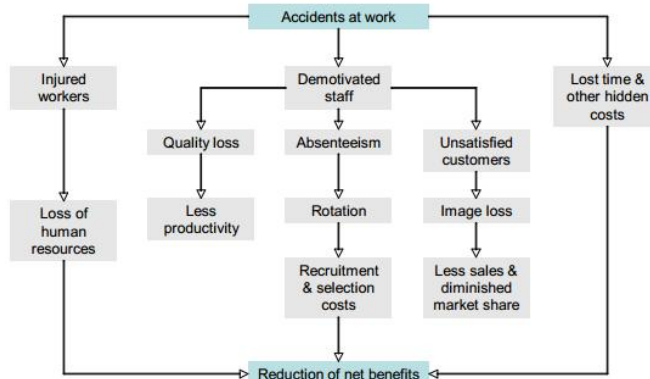


Fig. 1 From accidents at work via intangible outcomes to reduced benefits

Costs related to consequences of the accident can be irreversible and strongly affect both the company's profit and business viability (see Fig. 1). In recent years, the increased incentives of entrepreneurs to introduce and maintain labour protection systems are related to the entrepreneurs' awareness that competitiveness, quality and working conditions are closely related to each other. A well-organised work environment can give a positive impact on product or service quality, customer satisfaction and company's reputation, and contribute to faster achievement of business goals. Cost efficiency correlates with: Analysis of alternatives; Risk analysis; Cash flow of project life cycle; Evaluation of cost effectiveness.

The cost-benefit calculation can be expressed in simple mathematical terms by the following equation:

$$V = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{B_{ij} - C_{ij}}{(1+r)^i} \quad (1)$$

where  $B_{ij}$  and  $C_{ij}$  are the  $j$ th type of policy benefits and costs, respectively, in the  $i$ -th year after the policy is introduced and  $B$  and  $C$  are expressed in monetary units;  $r$  is the appropriate discount rate; and  $V$  is the (discounted) present value of the policy.

Economic loss or consequences –  $S$  – in total in company or organization made by accidents or occupational diseases can be calculated with a formula (Kałkıs V., 2008):

$$S = \sum_{i=1}^n \xi_{i-r} + \sum_{i=1}^n \zeta_{i-n} \quad (2)$$

where  $\xi_{i-r}$  – loss or expenses / compensation in the case of accident, injury or occupational diseases, EUR;  $\zeta_{i-n}$  – loss connected to decrease in production due to absence of the employee (price of lost production).

It can be concluded that the financial costs connected to the absence of the employee. Full economic evaluations, such as cost-effectiveness studies and cost-benefit analysis, are needed for optimal choices. The choice among the different types of full economic evaluation should be based on the objective of the intervention and the question addressed by the study (Fig. 2). Cost-effectiveness studies measure the outcome in “natural units” (i.e., health outcomes). This type of analysis is best suited for outcomes difficult to translate into monetary units, such as pain reduction. Cost-utility analyses are seldom used in workplace contexts.

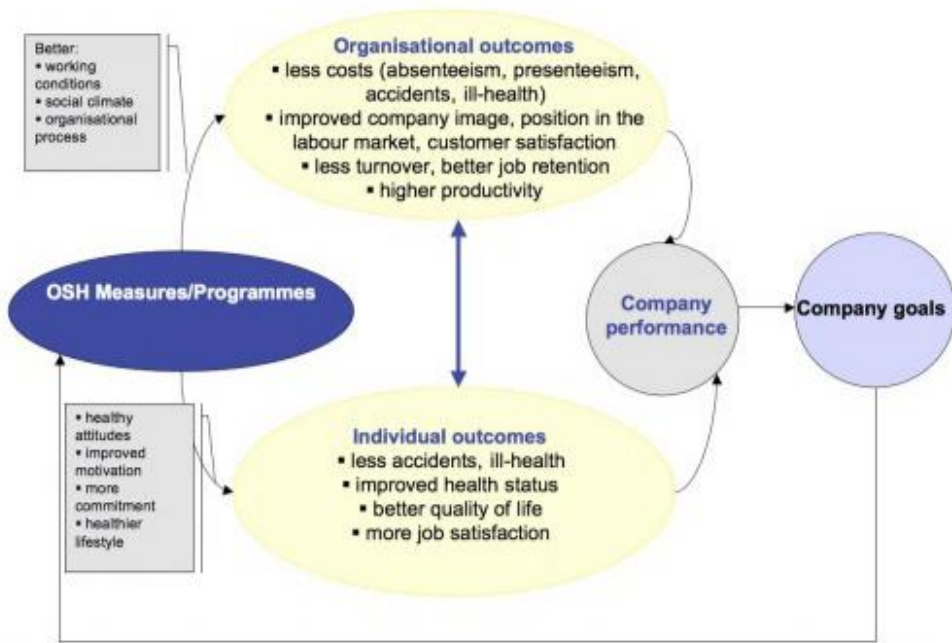


Fig. 2. Preventive measures of labour safety and health protection, and their influence on business goals

Costs that have effect on price of the product or service are related to such categories as costs for providing equipment and premises, personnel costs, costs for purchase of production materials, and others, but, in addition to that, one group of business costs is related to ensuring labour protection in the company.

When deciding upon organisation of labour protection, one should remember that labour protection measures must be included in planning of the company’s operation, because they are often related to expenses (for example, mandatory health checks, laboratory testing of work environment, provision of personal protective equipment) or time which an employee will have to use not for performing his/her direct duties, but for implementing labour protection measures (for example, training of personnel operating dangerous equipment). Structure of company’s labour protection costs in the process of internal supervision of work environment are the following: First aid training; Improvement of everyday conditions at work (for example, locker rooms, showers, rest areas); Training of labour protection specialists and trustees; Working clothes and personal protective equipment;

Improvement of work environment (for example, installation of ventilation); Employee instruction and special training (for example, in fire safety); Laboratory testing of work environment; Assessment of risk factors in work environment; Mandatory health checks for employees; Sport opportunities for employees; Vaccination of employees; Installation of safety

signs; Purchase of first aid sets; Purchase, maintenance of firefighting devices; Health insurance policies etc.

In addition, consequences of work accidents can also be attributed to costs, for example:

- Paid sick list;
- Material compensation to the injured employee;
- Suspension of manufacture and down-time;
- Elimination of possible consequences of the accident;
- Repair or replacement of the damaged equipment;
- Fines charged by state regulating and controlling authorities;
- Partial or total cessation of business operations;
- Court expenses, if any harm is caused to private persons, legal persons, or

environment.

In enterprises, costs of labour protection measures can be very high (especially, in large enterprises), and this is one of the main factors, which prevents maintenance of an effective system of labour protection. To reduce the company's total costs (and labour protection costs), attention must be paid to identification of factors, which cause extra costs and losses.

Many people do not realise how much accidents really cost. In fact, many expenses are not always obvious. Attention to accident prevention can and will improve a company's overall success. Safety helps the bottom line, and it is the right thing to do!. Where does the money come from to pay for the results of accidents? Some people believe that organisations have money set aside to pay for accident costs. However, employers know that the money must come from profits.

In 1920, researcher H. W. Heinrich developed the so-called "Iceberg Theory" under which he divided business costs, related to accidents at work place, in two categories: direct and indirect. In direct costs, he included wages for the non-working period or medical costs (for example, transportation of injured persons to hospital, medical remedies etc.). Indirect costs, according to him, are employee replacement costs, falling work productivity, fine costs, loss of company's reputation etc.. Heinrich focused on the fact that indirect costs are hidden costs, and during his research he calculated proportion of direct costs vs indirect costs: each Euro of direct costs will result in extra 4 Euros in indirect costs about which the company does not even know. In the tradition of Heinrich, several authors have reformed studies to determine the ratio between direct and indirect costs. Numerous ratios have been found and most of them have not corroborated Heinrich's findings of 1:4. The relationship between direct/insured and indirect/uninsured costs has been shown to vary considerably. Brody has found a ratio of 1:0.83 between insured and uninsured costs. Factors influencing this ratio seem to be the industry studied, the characteristics of the firm, the characteristics of the victim, the severity of injury consequence, the definitions of cost and the research methods used and the structure of the reviling system of workers' compensation of health insurance. Heinrich himself has already indicated that the ratio of 1:4 does not hold true for every industrial accident or every individual plant.

Paez et al. argue that the linear ratios, as introduced by Heinrich, cannot be maintained due to the low correlation between the incidence rate of accidents and the cumulative accident costs. Insured costs are determined by the cost of medical treatment and the extent of the employee's absence. Uninsured costs are determined by the impact that personnel absences have on the rest of the organisation. Instead the author proposes a logarithmic relationship between uninsured and insured costs.

Many enterprises lack skills to harmonise safety questions and aspects of occupational health with existing legislation; as a result, there are often situations when more attention is paid to short-term economic advantage, instead of long-term investment in introduction of preventive measures and maintenance of personnel resources to ensure healthy work environment.

In addition to direct functions – production or provision of services – a company is forced to work in the environment, which in various ways affects its operation and results (see Fig. 3 – a diagram made in Vensim PLE).



Labour inspection and monitoring are major elements of any institution and labour administration system for enduring the implementation of labour policies, providing feedback and allowing for a readjustment of these policies as necessary. In recent years, the importance of labour inspection in promoting decent work has been widely recognised. Yet in many countries, the changing world of work with its new employment patterns has been accompanied by reduced government interventions in the workplace. At the moment, entrepreneurs still fail to understand that business success is only possible if employees are in good health. It should be noted that accidents, incidents, employee’s illness in many companies affect not only one employee’s health, but the company as a whole. The documents contain notes on good practice which are not compulsory but which you may find helpful in considering what you need to do.

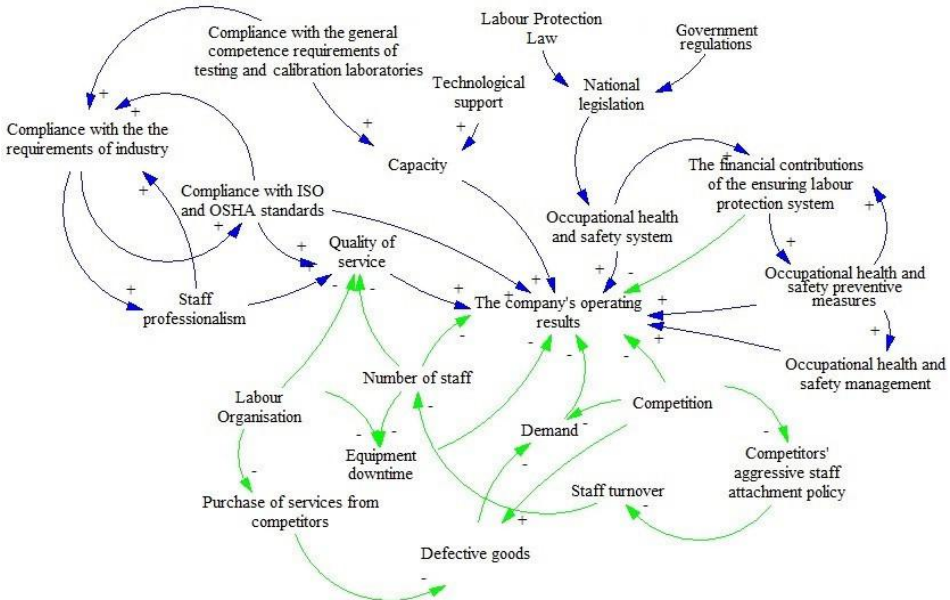


Fig. 3. Causal loop diagram “Business Influencing Factors and Operation Results”

Labour protection is sufficiently dissuasive, and its purpose is to discover risk factors existing in the work environment as early as possible and prevent or reduce impact of such factors. Because different countries take different approaches to ensuring occupational safety and health, areas of OSH need and focus also vary between countries and regions.

Employees’ safety and health may be put at risk not only by risk factors present in the work environment, but also work methods, work organisation, professional training of employees, and interaction of all aforementioned factors. Timely identification of risk factors, conducting mandatory health examinations, purchase of personal protective equipment and correct use of them helps to reduce the influence of harmful, hazardous and adverse health risk factors on the health of the employees.

Total accident costs can be compared to an iceberg. The part of the iceberg that can be seen above the surface is like the smaller, direct portion of the total accident costs. An examination of a serious accident can give you a better understanding of what makes up total accident costs.

Costs or losses that may occur to the company due to inappropriate working conditions can be divided into two large groups: potential losses due to various accidents and incidents, and potential losses due to incorrect work organisation, ineffective equipment,

insufficient training, workplace planning, and other reasons – they affect the employee and, consequently, productivity of the whole company.

In addition to annual costs of labour protection measures, which increase gradually year by year as the company grows, there are various other costs that are directly or indirectly related to incorrect work organisation.

#### РЕФЕРАТ

*Атстаджа Дзинтра,*

*БА Школа Бизнесу і Адміністрування [dzintra.atstaja@ba.lv](mailto:dzintra.atstaja@ba.lv)*

#### **ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАХОДІВ ПРОФЕСІЙНОЇ БЕЗПЕКИ І ЗДОРОВ'Я** Мета

статті – аналіз системи професійного стану здоров'я і безпеки на підприємстві, ідентифікуючи чинники, які впливають на кількість професійних оздоровчих і безпечних витрат, також справжніх пропозицій, щоб скоротити професійні оздоровчі і безпечні витрати і поліпшити систему професійного оздоров'я і безпеки.

Ключові результати дослідження: 1) Інформація була зібрана в результаті аналізу періодичної та наукової літератури, що була б корисна для практичного використання; 2) вказані сфери іризмики, що вимагають більшої уваги протягом робочого процесу, щоб відповідати вимогам трудового ринку; 3) висновки, можливо, є основою для подальшого дослідження та використання.

Ця стаття має справу тільки з ідеями, доречними для деяких проблем економічної ефективності заходів професійної безпеки, і здоров'я в промисловості і автор буде вдячний за будь-яку дискусію, критикупо темі статті.

**Ключові слова:** прями і непрямі витрати, робоче місце, заходи запобігання, економічна ефективність, професійна безпека і здоров'я.

#### РЕФЕРАТ

*Атстаджа Дзинтра,*

*БА Школа Бизнеса и Администрирования, [dzintra.atstaja@ba.lv](mailto:dzintra.atstaja@ba.lv)*

#### **ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕР ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ И ЗДОРОВЬЯ**

Цель статьи – анализ системы профессионального состояния здоровья и безопасности на предприятии, идентифицируя факторы, которые воздействуют на количество профессиональных оздоровительных и безопасных затрат, также и настоящих предложений, чтобы сократить профессиональные оздоровительные и безопасные затраты и улучшить систему профессионального здоровья и безопасности.

Ключевые результаты исследования: 1) Информация была собрана на в результате анализа периодической и научной литературы, которая была бы полезна для практического использования; указаны сферы и риски, которые требуют большего внимания в течение рабочего процесса, чтобы соответствовать требованиям трудового рынка; 3) Заключение, возможно, служат основой для дальнейшего исследования и использования.

Эта статья имеет дело только с идеями, уместными для некоторых проблем экономической эффективности мер профессиональной безопасности, и здоровья в промышленности и автор будет благодарен за любую дискуссию, критику по теме статьи.

**Ключевые слова:** прямые и косвенные расходы, рабочее место, меры предотвращения, экономическая эффективность, профессиональная безопасность и здоровье.

#### ABSTRACT

*Atstaja Dzintra,*

*BA School of Business and Administration, [dzintra.atstaja@ba.lv](mailto:dzintra.atstaja@ba.lv)*

#### **THE ECONOMIC EFFICIENCY OF THE MEASURES OF OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH**

The aim of this paper is to perform an analysis of the occupational health and safety system in the enterprise, identifying factors, which affect the amount of occupational health and safety costs, as well as present proposals to reduce occupational health and safety costs and improve the occupational health and safety system.

Key results of the research: 1) Information has been gathered on articles and scientific literature which would be useful for practical applications; 2) Areas and risks to which more attention should be paid during

the work process, to conform with labour market requirements have been specified; 3) Conclusions may serve as basis for further research and activities.

This article deals only with the ideas relevant to some problems of economic efficiency of the measures of occupational safety and health and results of industry and the author will be grateful for any discussion, criticism and contributions to the topic under discussion.

**Key words:** direct and indirect costs, workplace, prevention measures, economic efficiency, occupational safety and health.

УДК 504.064.2:519.711.2

## **V-13. ДИНАМІКА ЗМІН ВМІСТУ РЕЧОВИН І ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ У ВОДАХ Р. ІРПІНЬ**

*Світлана Маджед, Яна Кулинич*

Актуальність даної роботи пов'язана з необхідністю покращення екологічного стану середніх річок України, розвиток та функціонування яких характеризується кількісним та якісним виснаженням. Завдяки цим змінам такі водні об'єкти можуть потенційно представляти загрозу їх використання в рибогосподарських та рекреаційних цілей. Для цього необхідно прослідкувати динаміку змін знаходження речовин і елементів антропогенного походження у гідроекосистемах (ГЕ).

Для вирішення даної задачі нами було обрано ділянку р.Ірпінь (права притока р. Дніпро) в межах Київської області. Водозбірний басейн р. Ірпінь не являється джерела централізованого водопостачання, проте активно використовується для господарських та рекреаційних цілей. Техногенний вплив на р.Ірпінь безпосередньо призводить до погіршення стану води р.Дніпро, що має вже більш масштабний характер.

Метою даного дослідження було з'ясувати основні екологічні принципи оцінки шкідливих характеристик забруднюючих речовин.

На досліджуваній ділянці р.Ірпінь розміщено 3 державних гідроствори: с.Мостище, смт.Гостоміль, с.Козаровичі. Маючи гідрохімічні показники складу вод річки для розрахунків ми використовували метод комплексної оцінки якості природних вод.

Суть даного методу полягає у визначенні індексу забруднення води (ІЗВ), як єдиного державного нормативного критерія стосовно встановлення класу якості води. Даний стандарт передбачає визначення класу якості води за такими складовими водного середовища: показниками сольового складу, показниками трофо-сапробіологічного складу, показниками специфічних токсичних інгредієнтів. Оцінювання якісного стану вод за методом встановлення ІЗВ дає змогу здійснити класифікацію рівня забрудненості за загальними екологічними підходами (без врахування функціональних змін), виконати порівняння якості води різних водних об'єктів та виявити тенденції змін води у часі.

Використовуючи метод комплексної оцінки, при визначенні якості вод р.Ірпінь, ми отримали наступні результати:

в гідростворі с. Мостище переважаючий клас якості вод IV, вода забруднена, ІЗВ коливається в межах від 1,7 до 2,7, лише в 2006 та 2015 роках клас якості III, вода помірно забруднена;

в гідростворі смт. Гостоміль клас якості води IV, вода забруднена, ІЗВ в межах від 2,4 до 4,3;

в гідростворі с. Козаровичі клас якості IV, вода забруднена, ІЗВ становить від 2,5 до 3,3 протягом усіх десяти досліджуваних років.

Аналіз гідрохімічного складу води р.Ірпінь, свідчить, що наявність лімітуючих факторів впливу на якість води (нафтопродукти, феноли, іони важких металів) призводить до порушення процесів самоочищення, що позначається на рівні забрудненості води. Як

видно з даних, наведених вище, води характеризуються переважно IV класом якості – забрудненні.

Для опису зміни вмісту забруднюючої речовини (субстрату) у водному середовищі формально приймається відома модель їх біологічної деградації (трансформації) взята з ферментативної кінетики:

$$\frac{dS}{dt} = -\frac{V_m S}{K + S}, \quad (1)$$

де  $(dS/dt)$  – швидкість ферментативної реакції, дуже важлива величина, яка є мірою активності ферменту;  $S$  – концентрація субстрату (в його якості виступає ХСК, феноли, нафтопродукти, найпростіші азотні сполуки);  $V_m$  – максимальна швидкість процесу, що досягається при необмеженій кількості субстрату;  $K$  – константа “Міхаеліса-Ментен”.

працях Л. Міхаеліса та М. Ментена було закладено основи ферментативної кінетики, вони знайшли закономірності впливу різних факторів на швидкість біологічного каталізу.

Для прогнозу поведінки забруднення водного середовища була введена розрахункова формула шляхом розв’язання рівняння (1) при початковій умові  $t=0, S=S^0$ .  $S^0$  є концентрацією субстрату в початковій ділянці спостережень, це гідроствор в с.Мостище. Залежність між  $S$  і  $t$  виглядає таким чином:

$$t = \frac{1}{V_m} \left( S^0 - S + K_s \ln \frac{S^0}{S} \right), \quad (2)$$

формулі (2) містяться два невідомі коефіцієнти  $K_s, V_m$  для визначення яких необхідно, два достовірних значення концентрації субстрату  $S$  в різні моменти часу.

нашому випадку такими будуть  $S_1$  – концентрація субстрату в гідростворі смт. Гостоміль,  $S_2$  – концентрація субстрату в гідростворі с. Козаровичі, які виміряні у моменти  $t_1, t_2$ . Тоді коефіцієнти які необхідно знайти виражаємо наступними формулами:

$$K_s = \frac{t_2(S^0 - S_1) - t_1(S^0 - S_2)}{t_2 \ln S_1 - t_1 \ln S_2 - (t_2 - t_1) \ln S^0}, \quad (3)$$

$$V_m = \frac{1}{t_1} \left[ S^0 - S_1 + \frac{t_1 S_2 - t_2 S_1 - S^0(t_2 - t_1)}{t_2 \ln S_1 - t_1 \ln S_2 - (t_2 - t_1) \ln S^0} \ln \frac{S^0}{S_1} \right] \quad (4)$$

Відомі з численних спостережень значення концентрації  $S$  на один і той самий момент часу в трьох різних гідростворах р.Ірпінь доцільно інтерпретувати як результат деградації відповідного субстрату в реакторі на три відмінні моменту, а саме, 0,  $t_1$  і  $t_2$ . Знаючи швидкість течії річки і відстань між гідростворами ми вираховували час перебування субстрату у водному середовищі під час його руху від одного до наступного гідроствора (табл. 1).

Обчислення коефіцієнтів, які необхідно розрахувати проводилися за формулами (3), (4), що забезпечило проходження кожною кривою  $S(t)$  через три базові для неї експериментальні точки  $(S^0, 0), (S_1, t_1), (S_2, t_2)$ . Отримані таким чином дані зведені до табл. 1.

рівняння Мехаеліса-Ментена впливає що при високій  $S$  субстрату і низькій  $K_s$  швидкість реакції являється максимальною, а при низькій  $S$  субстрату швидкість реакції називається пропорційною концентрації субстрату в кожний даний момент часу.

Таблиця 1

Субстрат	Коефі- цієнт	Досліджувані роки				
		2006	2007	2008	2009	2010
ХСК	Ks	62,3483	-25,039	25,2780	7,23930	137,879
	Vm	-34,9503	2,996	-13,8826	-4,68997	-64,709
Нафтопро- дукти	Ks	-0,0184	-0,027	0,0049	-0,00971	-0,009
	Vm	-0,0007	0,000	0,0025	0,00016	-0,003
Азот нітритний	Ks	-0,1595	-0,267	-0,0506	-0,07341	-0,258
	Vm	0,0202	-0,013	-0,0004	-0,00053	0,036
Азот нітратн	Ks	1,2527	-1,367	3,2044	-1,52492	-2,876
	Vm	-1,0622	-0,017	-1,3931	0,11332	0,385
Азот амонійн	Ks	-0,0892	-1,525	-0,6738	-0,54706	-0,771
	Vm	-0,3073	0,074	0,0013	-0,00004	-0,013
Феноли	Ks	-0,0002	0,000	-0,0003	-0,00028	0,003
	Vm	0	0	-0,0001	0,00028	0,001
Субстрат	Коефі- цієнт	Досліджувані роки				
		2011	2012	2013	2014	2015
ХСК	Ks	65,99713	-16,5684	-173,689	-13,5356	19,07789
	Vm	-25,3454	0,563498	17,981	0,403467	-7,92375
Нафтопро- дукти	Ks	-0,00918	-0,04122	-0,03926	-0,03512	-0,02501
	Vm	-0,00312	-0,00034	-0,00033	-0,00029	-0,00027
Азот нітритний	Ks	-0,07294	-0,21507	-0,25119	-0,27103	-0,13683
	Vm	0,000584	0,0145	0,022401	0,022322	0,002444
Азот нітратн	Ks	-1,71916	-2,29226	-0,59094	-1,44026	-2,23614
	Vm	0,058916	0,272348	-0,26731	-0,04791	0,224164
Азот амонійн	Ks	0,632366	-1,05803	-1,23052	-0,5643	-0,68722
	Vm	-0,1148	0,005666	-0,0242	-0,00032	-0,00025
Феноли	Ks	0,000151	-0,00016	-0,00099	-0,00099	-0,00307
	Vm	0,000282	0,000118	0	0	-9,6E-05

Переважаючи в табл. 1 від'ємні значення коефіцієнта  $K$  свідчать про нетрадиційний для мікробіологічної трансформації (деструкції) забруднюючих сполук характер залежності швидкості процесу  $dS/dt$  від концентрації  $S$ . Внаслідок  $K < 0$  в інтервалі значень  $S$  від  $K$  до  $\infty$  як завжди  $dS/dt \rightarrow Vm$  при  $S \rightarrow 0$ . Однак, при будь-яких кінцевих значеннях  $S$  в даних випадка  $dS/dt > Vm$ , а при  $S \rightarrow K$  взагалі  $dS/dt \rightarrow \infty$ . Таким чином  $Vm$  тепер набуває значення мінімально можливої швидкості.

Здійснено екологічний моніторинг стану водних систем річки Ірпінь за 10-ти річний період (2006–2015). Отримані результати проаналізовано, систематизовано та сформовано банк даних для подальшого виконання дослідницьких робіт.

Вперше використані формули ферментативної кінетики, для опису самовідновних процесів водної системи річки Ірпінь.

Вивчено динаміку змін індивідуальних та сумарних показників які впливають на самовідновні процеси в екосистемах та є передумовами їх трансформації. Наприклад, середнє значення ІЗВ в с.Мостище було 2,4, а вже в кінцевій точці спостережень с.Козаровичі становило 2,9, тобто спостерігається негативна динаміка змін екологічного стану водної системи.

## РЕФЕРАТ

*Світлана Маджд, Яна Кулинич,*

*Національний авіаційний університет, madzhd@i.ua, yanakulynych45@gmail.com*

### **ДИНАМІКА ЗМІН ВМІСТУ РЕЧОВИН І ЕЛЕМЕНТІВ ТЕХНОГЕННОГО ПОХОДЖЕННЯ У ВОДАХ Р. ІРПІНЬ**

Метою даного дослідження було з'ясувати основні екологічні принципи оцінки шкідливих характеристик забруднюючих речовин. На досліджуваній ділянці р.Ірпінь розміщено 3 державних гідроствори: с.Мостище, смт.Гостоміль, с.Козаровичі. Маючи гідрохімічні показники складу вод річки для розрахунків ми використовували метод комплексної оцінки якості природних вод. Суть даного методу полягає у визначенні індексу забруднення води (ІЗВ), як єдиного державного нормативного критерія стосовно встановлення класу якості води. Вивчено динаміку змін індивідуальних та сумарних показників які впливають на самовідновні процеси в екосистемах та є передумовами їх трансформації.

**Ключові слова:** екологічний стан річки, гідроекосистема, моніторинг стану водних систем.

## РЕФЕРАТ

*Светлана Маджд, Яна Кулинич,*

*Национальный авиационный университет, madzhd@i.ua, yanakulynych45@gmail.com*

### **ДИНАМИКА ИЗМЕНЕНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ВЕЩЕСТВ И ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОГЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ В ВОДАХ Р.ИРПЕНЬ**

Целью данного исследование было выяснить основные экологические принципы оценки вредных характеристик загрязняющих веществ. На исследуемом участке р. Ирпень размещено 3 государственных гидроствора: с. Мостище, смт.Гостомель, с. Козаровичи. Имея гидрохимические показатели состава вод реки для расчетов мы использовали метод комплексной оценки качества природных вод. Суть данного метода заключается в определении индекса загрязнения воды (ИЗВ), как единого государственного нормативного критерия по установлению класса качества воды. Изучена динамика изменений индивидуальных и суммарных показателей влияющих на самообновляемые процессы в экосистемах и являющихся предпосылками их трансформации.

**Ключевые слова:** экологическое состояние реки, гидроэкосистемы, мониторинг состояния водных систем.

## ABSTRACT

*Svetlana Madzhd, Yana Kulynych,*

*National Aviation University, madzhd@i.ua, yanakulynych45@gmail.com*

### **FINDING DYNAMICS OF ANTROPOGENIC SUBSTANCES AND ELEMENTS IN THE WATER OF THE IRPIN RIVER**

The aim of this research was to find out the basic principles of environmental assessment of harmful pollutants characteristics. Three section lines are located on the r.Irpin: Mostyshche, Hostomil, Kozarovychi. We used the method of comprehensive quality assessment of natural water. The aim of this method is to determine the water pollution index, as a single normative criterion for estimation of the water quality class. For the first time the formula from enzyme kinetics to describe reconstructive-regenerative processes of water from Irpin river, was used.

**Key words:** ecological state of river, hydroecosystem, monitoring of water systems.

УДК 51-74:625.8:504.062

### **V-14. СИСТЕМНА МОДЕЛЬ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДХОДІВ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДОРОЖНЬО- БУДІВЕЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ**

*Леся Крюковська*

Дорожнє будівництво є галуззю, що забезпечує транспортну систему необхідною мережею автомобільних доріг. Рівень техніко-експлуатаційних властивостей нових автомагістралей повинен відповідати сучасним вимогам з точки зору їх якості, безпеки та

екологічних норм. Це вимагає застосування сучасних дорожньо-будівельних матеріалів, конструкцій дорожнього одягу (КДО) і будівельних технологій.

Одним із факторів впливу автомобільної дороги на навколишнє середовище є висока матеріалоємність галузі та використання великої кількості природних ресурсів для будівництва та ремонту доріг, що формує високий рівень екологічної небезпеки (ЕкБ). Підвищення рівня екологічної безпеки у дорожньому будівництві можливо через зниження впливів на довкілля під час проектування та будівництва автомобільних доріг, що знайшло відображення у наукових дослідженнях щодо можливості застосування промислових відходів (ПВ) як альтернативного дорожньо-будівельного матеріалу (АДБМ).

Ідеї системного аналізу успішно застосовували в дослідженнях об'єктів дорожнього будівництва такі вчені, як Гавриленко С.В., Проник Ю. Д., Бабенко О.П., Франчук І.І., Халай Т.О.. Ефективність системного підходу для управління проектами і програмами поведження відходами доведена в роботах В.О. Хрутьби. Автором система поведження з відходами представлена в системних об'єктах, виділено основні процеси системи, визначенні основні функціональні елементи, зворотні зв'язки як параметри управління процесами та зв'язки з середовищем.

Проте проблема використання АДБМ потребує окремого дослідження і розробки системних моделей та методів, що дозволять забезпечити найбільш ефективне використання промислових відходів як заміника традиційних дорожньо-будівельних кам'яних матеріалів.

Мета дослідження полягає в розробці системної моделі забезпечення екологічної безпеки процесу використання промислових відходів як дорожньо-будівельного матеріалу, що дозволить запропонувати КДО з заданими властивостями та зменшити негативний вплив ПВ на довкілля і здоров'я населення за рахунок зменшення кількості відходів і підвищити рівень ресурсозбереження природних матеріалів.

Методологічною основою оцінювання рівня ЕкБ під час використання в КДО промислових відходів є системний підхід, що широко використовується під час проведення досліджень на стадіях проектування та будівництва доріг.

Системний аналіз дозволяє досліджувати різноманітні складні системи або ситуації при нечітко поставлених цілях (критеріях). Об'єктом системного аналізу є процес забезпечення екологічної безпеки при інтеграції двох взаємозалежних систем – системи поведження з ПВ та системи проектування та будівництва доріг.

Процес забезпечення ЕкБ використання промислових відходів в дорожньому будівництві включає два послідовні процеси – процес поведження з промисловими відходами і процес проектування та будівництва автомобільних доріг. Управління обома процесами здійснює керуюча система  $U$ . На стан системи впливають некеровані параметри  $V$ , що включають технічний, технологічний, організаційний, фінансовий, законодавчий, науковий та інформаційний аспекти. За допомогою цієї моделі керуюча система визначає, яке управління подається на вхід керованої системи.

Системна модель управління ЕкБ при поведженні з промисловими відходами представляє собою згорнуту множину задач і процедур, що можуть здійснюватися при управлінні ЕкБ в цих процесах і визначається множиною:

$$M^{ППВ} (F^{ППВ}, S^{ППВ}, M^{ППВ}, C^{ППВ}, Q^{ППВ}, K^{ППВ}). \quad (1)$$

Основою моделі поведження з промисловими відходами (МППВ) є об'єкти управління – ПВ ( $Q^{ПВ}$ ) різних категорій ( $S^{ПВ}$ ), фази життєвого циклу об'єктів управління ( $C^{ПВ}$ ), рівні управління ( $M^{ПВ}$ ), впливи на довкілля ( $K^{ПВ}$ ) і процеси управління екологічною безпекою ( $F^{ПВ}$ ).

Системна модель управління ЕкБ при проектуванні та будівництві доріг представляє собою згорнуту множину задач і процедур, що можуть здійснюватися при управлінні ЕкБ в цих процесах і визначається множиною:

$$МПБД (F^{ПБД}, S^{ПБД}, M^{ПБД}, C^{ПБД}, Q^{ПБД}, K^{ПБД}). \quad (2)$$

Основою системної моделі МБРД є об'єкти управління – КДО з заданими властивостями ( $Q_{ПБД}$ ) для доріг різних категорій ( $S_{ПБД}$ ), фази життєвого циклу матеріалу ДО( $C_{ПБД}$ ), рівні управління ( $M_{ПБД}$ ), впливи на довкілля ( $K_{ПБД}$ ) і процеси управління екологічною безпекою ( $F_{ПБД}$ ).

Системна модель ЕкБ використання промислових відходів як заміника природного матеріалу в дорожньому будівництві приймає вигляд:

$$МЕБВД \text{ МППВ } МПБД. \quad (3)$$

Таблиця 1

Системна модель управління ЕкБ під час використання промислових відходів як дорожньо-будівельного матеріалу

Вхідні параметри	$X \quad x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ , де $x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in}$ – показники промислових відходів
Вихідні параметри	$Y \quad y_1, y_2, \dots, y_n$ , де $y_1, y_2, \dots, y_n$ – показники стану ЕкБ
Результат	КДО з АДБМ заданими властивостями
Управління	$МЕБВД \text{ МППВ } МПБД$
результатом	$МППВ (F^{ППВ}, S^{ППВ}, M^{ППВ}, C^{ППВ}, Q^{ППВ}, K^{ППВ})$
	$МПБД (F^{ПБД}, S^{ПБД}, M^{ПБД}, C^{ПБД}, Q^{ПБД}, K^{ПБД})$
Обмеження	$G \quad g_1, g_2, g_3$ , де $g_1$ – значення ГДК, $g_2$ – значення ГДР, $g_3$ – обмеження, визначені відповідальністю за порушення екологічного законодавства
Управляючі параметри	$U \quad u_1, u_2, u_3, u_4, u_5$ , де $u_1$ – нормативно-правове, $u_2$ – організаційне, $u_3$ – технологічне, $u_4$ – фінансово-економічне і $u_5$ – наукове і інформаційне забезпечення системи.
Некеровані параметри	$V \quad v_1, v_2, v_3, v_4$ , де $v_1$ – політичні впливи, $v_2$ – соціальні фактори, $v_3$ – фінансові ризики, викликані зовнішніми чинниками, $v_4$ – форс-мажорні ситуації.

Узагальнена системна модель управління ЕкБ при використанні промислових відходів як дорожньо-будівельного матеріалу приведена в табл. 1.

Вхідними параметрами є показники ЕкБ, пов'язані з впливом промислових відходів на довкілля. Вихідними параметрами є показники екологічної безпеки, пов'язані з КДО

АДБМ, що дозволяє економити природні ресурси при проектуванні та будівництві автомобільної дороги.

Реалізація моделі передбачає інтеграцію методів і методик забезпечення екологічної безпеки при поводженні з промисловими відходами з процесами, визначеними вимогами до альтернативних матеріалів при проектуванні та будівництві доріг. Особливістю запропонованого підходу є спільна множина, що характеризує фази життєвого циклу відходів як матеріалу дорожнього одягу та забезпечує перехід відповідно ланцюга – відходи, сировина, матеріал, продукт. Застосування моделі сприяє впровадженню сучасних технологій будівництва доріг з використанням промислових відходів, що сприяє поліпшенню стану НС за рахунок зменшення кількості цих відходів, площі зон їх зберігання та збереження природних матеріалів при проектуванні та будівництві доріг.



## РЕФЕРАТ

*Леся Крюковська,*

*Національний транспортний університет, krjukovska@yandex.ru*

### **СИСТЕМНА МОДЕЛЬ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ЗАСТОСУВАННЯ ВІДХОДІВ ЯК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДОРОЖНЬО-БУДІВЕЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ**

Дорожнє будівництво для підвищення рівня екологічної безпеки держави потребує пошуку сучасних дорожньо-будівельних матеріалів, конструкцій дорожнього одягу і будівельних технологій.

Використання промислових відходів як альтернативних дорожньо-будівельних матеріалів вирішить такі важливі проблеми екологічної безпеки як економія сировини, запобігання забрудненню водою, ґрунту і повітряного басейну,

Розроблена системна модель управління екологічною безпекою при використанні промислових відходів як дорожньо-будівельного матеріалу сприятиме впровадженню сучасних технологій будівництва доріг з використанням промислових відходів, що приведе до поліпшення стану навколишнього середовища за рахунок зменшення кількості цих відходів, площі зон їх зберігання та збереження природних матеріалів при проектуванні та будівництві доріг.

**Ключові слова:** екологічна безпека, відходи, дорожній одяг.

## РЕФЕРАТ

*Леся Крюковская,*

*Национальный транспортный университет, krjukovska@yandex.ru*

### **СИСТЕМНАЯ МОДЕЛЬ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ОТХОДОВ КАК АЛЬТЕРНАТИВНОГО ДОРОЖНО-СТРОИТЕЛЬНОГО МАТЕРИАЛА**

Дорожное строительство для повышения уровня экологической безопасности государства требует поиска современных дорожно-строительных материалов, конструкций дорожных одежд и строительных технологий.

Использование промышленных отходов в качестве альтернативных дорожно-строительных материалов решает такие важные проблемы экологической безопасности как экономия сырья, предотвращение загрязнения водоемов, почвы и воздушного бассейна,

Разработана системная модель управления экологической безопасностью при использовании промышленных отходов в качестве дорожно-строительного материала будет способствовать внедрению современных технологий строительства дорог с использованием промышленных отходов, что приведет к улучшению состояния окружающей среды за счет уменьшения количества этих отходов, площади зон их хранения и сохранения естественных материалов при проектировании и строительстве дорог.

**Ключевые слова:** экологическая безопасность, отходы, дорожная одежда.

## ABSTRACT

*Lesya Kryukovska,*

*National Transport University, krjukovska@yandex.ru*

### **SYSTEM MODEL OF THE ENVIRONMENTAL SAFETY OF THE USE OF WASTES AS ALTERNATIVE ROAD CONSTRUCTION MATERIAL**

Road construction, to improve the level of ecological safety of the state, requires a search for modern road construction materials, road clothes design, and construction technologies.

The use of industrial waste as alternative road construction materials, solves such important problems of environmental security, as saving of raw materials, prevention of water, soil and air pollution.

Developed system model of management of ecological safety when using industrial waste as road construction material, will contribute to the implementation of modern technologies of road construction from industrial wastes, leading to improvement of the environment condition by reducing the amount of these wastes, their storage and conservation of the natural materials in the design and construction of roads.

**Key words:** environmental safety, wastes, road clothes.

## V-15. WPŁYW RODZAJU PALIWA NA EMISJĘ ZANIECZYSZCZEŃ PRZEZ ŚRODKI TRANSPORTU DROGOWEGO

*Artur JAWORSKI, Maksymilian MĄDZIEL<sup>1</sup>*

Emisja zanieczyszczeń w spalinach środków transportu jest istotnym problemem, w szczególności na obszarach miejskich. Wiąże się to m.in. w okresie letnim ze zjawiskiem smogu fotochemicznego, natomiast w okresie zimowym emitowane zanieczyszczenia dodatkowo nasilają zjawisko smogu typu londyńskiego. Efektem tego jest pogorszenie stanu zdrowia mieszkańców obszarów, na których zanieczyszczenia powietrza osiągają wysokie stężenia. Na emisję zanieczyszczeń w spalinach z silników spalinowych środków transportu ma wpływ bardzo wiele czynników. Poza stanem technicznym pojazdu i układu oczyszczania spalin, do tych czynników należą: natężenie ruchu drogowego, charakterystyka drogi, klasa emisji spalin samochodów, warunki atmosferyczne, styl jazdy kierowców, a także rodzaj zastosowanego paliwa. Naukowcy prowadzą zarówno badania w warunkach drogowych, jak i w warunkach hamownianych celem uzyskania zależności pomiędzy emisją a zanieczyszczeniami i parametrami charakteryzującymi cykl jezdny, stan cieplny silnika, czy rodzaj stosowanego paliwa. Zasilanie paliwami gazowymi (gazem ziemnym, LPG, wodorem) jest korzystniejsze mając na uwadze zanieczyszczenie środowiska ze środków transportu.

Celem niniejszej pracy jest określenie wielkości emisji zanieczyszczeń w spalinach z środków transportu drogowego, przy założeniu ich zasilania czterema rodzajami paliwa: benzyną, olejem napędowym (ON), skroploną mieszaniną propanu-butanu (LPG) i sprężonym gazem ziemnym (CNG), dla wybranego ronda w Rzeszowie. Do uzyskania danych drogowych parametrów ruchu samochodów, przeprowadzono mikrosymulację przepływu ruchu drogowego w programie Vissim z użyciem założonych hipotetycznie wartości natężenia ruchu drogowego o wartościach: 800 poj./h (po 200 poj./h na każdym wlocie), 2000 poj./h (po 500 poj./h na każdym wlocie) i 4000 poj./h (po 1000 poj./h na każdym wlocie). Uzyskane rezultaty ruchu drogowego posłużyły do określenia emisji tlenków azotu NO<sub>x</sub>, cząstek stałych oraz cząstek stałych PM<sub>10</sub> emitowanych przez pojazdy samochodowe.

Do analizy emisji przyjęto rondo dwupasmowe znajdujące się na terenie Rzeszowa na przecięciu ulic Warszawskiej, Marszałkowskiej, Rycerskiej oraz Lubelskiej. Rondo to posiada cztery główne wloty, z których trzy są wlotami z dwoma pasami ruchu. Widok skrzyżowania przedstawiono na rys. 1. W analizie pominięto ruch pieszych. Dane geometrii skrzyżowania pobrane zostały na podstawie zdjęcia satelitarnego dostępnego w serwisie Google Maps. Zdjęcie zostało odpowiednio wyskalowane do pracy w programie do mikrosymulacji ruchu Vissim. Wartości natężenia ruchu drogowego z poszczególnych wlotów na rondo założono jednakowe.

Model emisji VERSIT+, który wykorzystywany jest w programie Enviver, jest to wieloczynnikowy regresyjny model, w którym zmienną jest cykl jezdny danego pojazdu (model emisji A). Wymaga to wcześniejszego uzyskania profili prędkości w programie Vissim, na podstawie których możliwe jest oszacowanie współczynników emisji (g/km) dla różnych klas pojazdów. Programy te i utworzone w nich modele dostarczają dokładnych danych emisji odpowiednich dla skali mikro. VERSIT+ zawiera serię 246 klas modeli emisji, których algorytmy są odpowiednio wyznaczone dla każdej z kategorii pojazdów oraz rodzaju toksycznych składników spalin. W przeciwieństwie do wskaźników emisji uzyskanych z Nowego Europejskiego Cyklu Jezdnego (NEDC) wykorzystywane w tym modelu profile prędkości są reprezentatywne dla rzeczywistych warunków drogowych. Wskaźniki emisji uzyskiwane są z wielokrotnej regresji liniowej w celu znalezienia empirycznych relacji pomiędzy stopniem emisji, profilem prędkości oraz zmiennymi dynamicznymi.



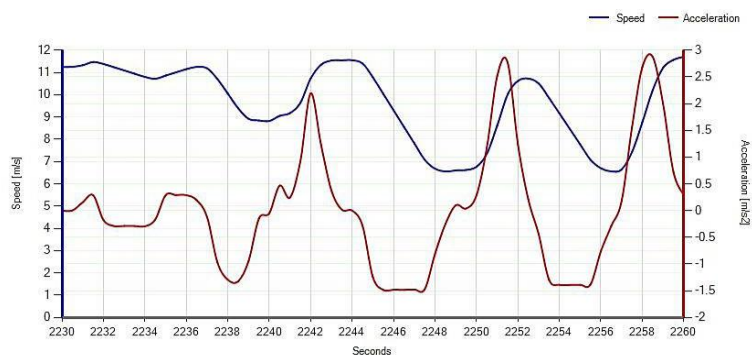
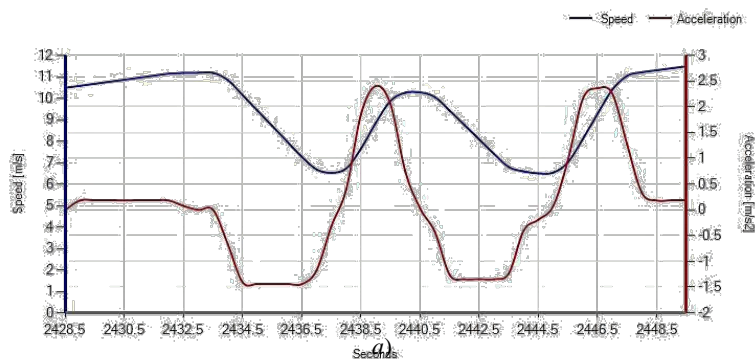
Rys. 1. Widok przyjętego do badań skrzyżowania

W badanym przypadku obliczono emisję NOx oraz PM10 w rozdzielczości przestrzennej 5x5m z wykorzystaniem programu Enviver. Emisję badano dla warunków miejskich, czyli model uwzględniał pewien odsetek pojazdów, które cechują się zwiększoną emisją zanieczyszczeń w spalinach w związku z zimnym startem silnika.

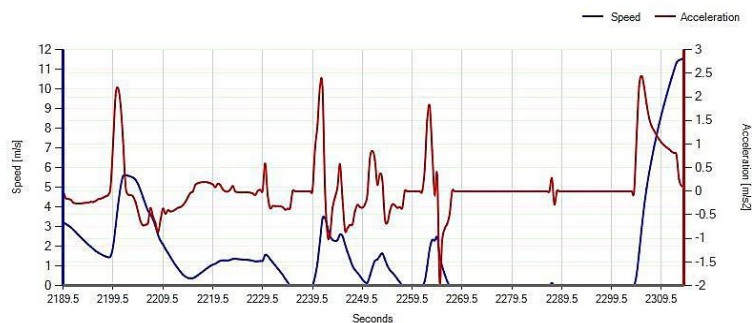
Czas trwania symulacji ruchu drogowego w programie Vissim ustawiony został na wartość 3600s. Przyjęto 2 klasy pojazdów: samochody osobowe (które stanowiły 80 % wszystkich pojazdów) oraz samochody ciężarowe i autobusy (w ilości 20 %). Średni wiek pojazdów dla samochodów osobowych ustawiony został na 8 lat. Dla klasy samochodów ciężarowych i autobusów przyjęto średni wiek pojazdów wynoszący 9 lat.

Dane niezbędne do wyznaczenia czasowych profili prędkości dla każdego z pojazdów, uzyskano przy użyciu programu VISSIM z czasową rozdzielczością 5s. Dane te służyły do obliczenia przez program ENVIVER średnich prędkości jazdy pojazdów dla siatki komórek o rozdzielczości 5x5m. W ten sposób uzyskano dane zmian prędkości i przyspieszeń, występujących podczas przejazdu pojazdów przez rondo, które przykładowo dla wybranych pojazdów w zależności od natężenia ruchu przedstawiono na rys. 2. Na rys. 3 zilustrowano wykresy dystrybucji prędkości i przyspieszeń dla analizowanych natężeń ruchu.

Na rys. 4-6 zilustrowano obliczone wartości emisji NOx dla założonych warunków natężenia ruchu oraz dla poszczególnych paliw, względem wybranego ronda i jego dróg dojazdowych w rozdzielczości przestrzennej 5x5m. Analogicznie, rys. 7-9 obrazują obliczone wartości emisji PM10 w rozdzielczości przestrzennej 5x5m. Wyższe wartości emisji NOx i PM10 zwiększają się wraz z natężeniem ruchu. Widoczne jest, na których odcinkach dróg dojazdowych do ronda powstają największe kolejkę i jak wpływają one na emisję analizowanych składników spalin samochodowych. W miejscach, gdzie emisja przyjmuje wyższe wartości, co na wykresach zaznaczono czerwonym i żółtym kolorem, pojazdy poruszają się z małą prędkością, chwilowo się zatrzymują i przyspieszają. Bezpośrednio wpływ na emisję ma liczba pojazdów jak również realizowany przez nie profil prędkości podczas przejazdu w obrębie skrzyżowania. Utrzymywanie przez samochody stałej prędkości przejazdu przez skrzyżowanie, bez potrzeby hamowania czy nagłego przyspieszania zmniejsza energochłonność ruchu i emisję zanieczyszczeń. Widoczny jest tutaj także wpływ rodzaju paliwa, którym zasilane są pojazdy. Największa emisja jest widoczna dla przypadku zasilania ON, natomiast najniższa dla zasilania gazem ziemnym sprężonym (CNG).



b)

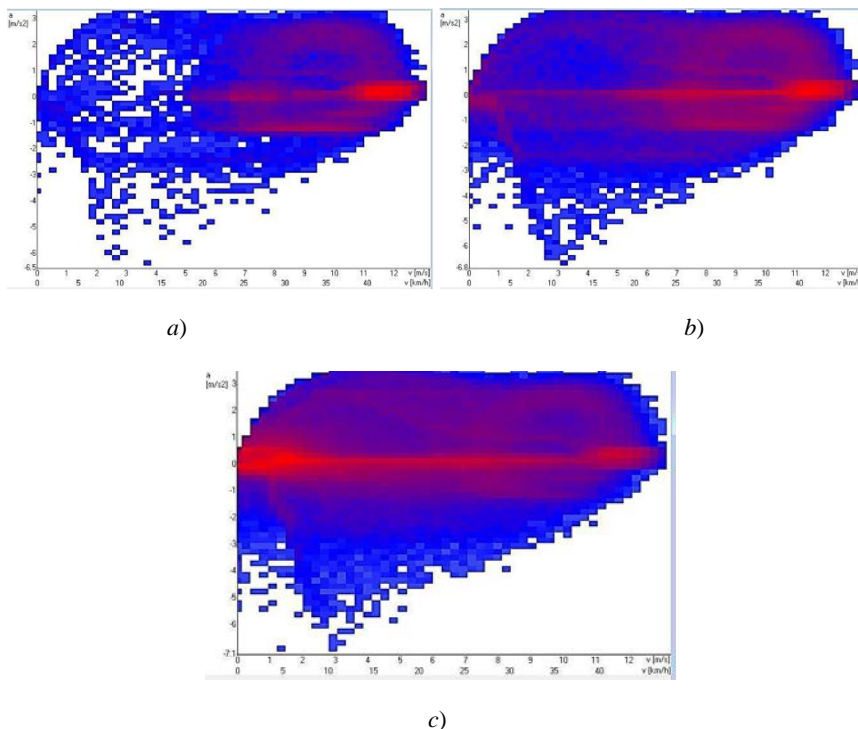


c)

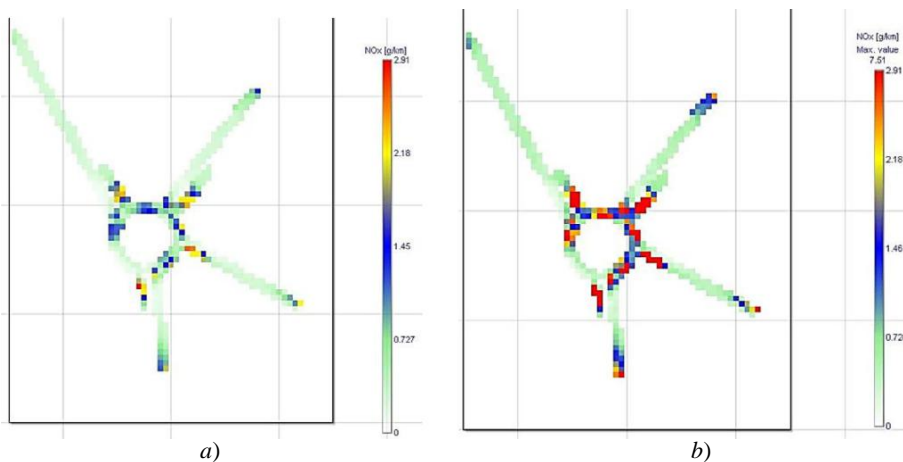
Rys. 2. Przykładowe wykresy dystrybucji prędkości i przyspieszeń w warunkach:  
 a) natężenia ruchu 800 poj./h b) natężenia ruchu 2000 poj./h, c) natężenia ruchu 4000 poj./h

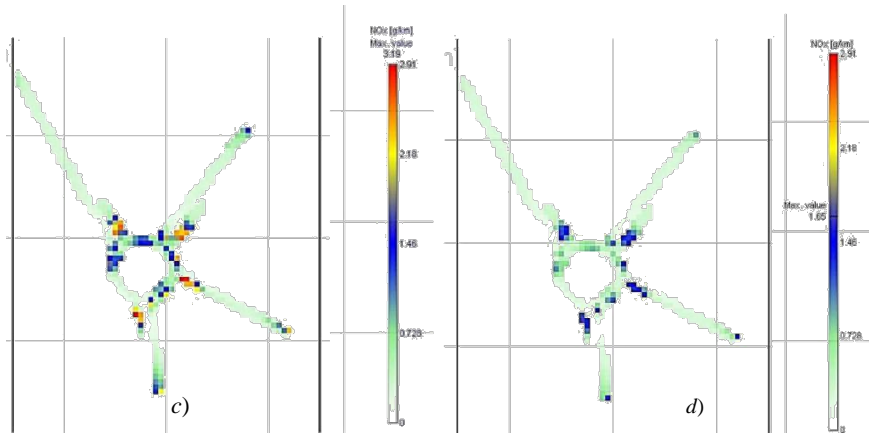
Na rys. 10 i 12 przedstawiono sumaryczną emisję NO<sub>x</sub> i PM<sub>10</sub> dla analizowanych przypadków. Rys. 11 i 13 przedstawiają porównanie średniej emisji NO<sub>x</sub> i PM<sub>10</sub> dla analizowanych paliw. Przyjmując jako wartości odniesienia emisję NO<sub>x</sub> i PM<sub>10</sub> dla zasilania benzyną, zasilanie ON oraz LPG wiąże się ze wzrostem emisji tych zanieczyszczeń w spalinach. W przypadku paliwa LPG wzrost emisji NO<sub>x</sub> w relacji do zasilania benzyną uzyskano na poziomie ok. 4 % dla natężenia ruchu 800 poj./h, ok. 5 % dla natężenia ruchu ok. 2000 poj./h oraz ok. 3 % dla natężenia ruchu 4000 poj./h. Przy zasilaniu ON emisja NO<sub>x</sub> wzrosła o ok. 62 % dla natężenia ruchu 4000 poj./h. i o ok. 98 % dla natężenia ruchu ok. 2000 poj./h. Podobnie, obliczona emisja PM<sub>10</sub> przy zasilaniu paliwem LPG była wyższa od emisji przy zasilaniu benzyną o ok. 5 % dla

natężen ruchu 800 poj./h i 2000 poj./h, natomiast dla natężenia ruchu 4000 poj./h emisja ta była wyższa o ok. 6,5 %. Zasilanie ON w największym stopniu wpływa na wzrost emisji cząstek stałych. Obliczone wartości emisji PM10 były wyższe od uzyskanych przy zasilaniu benzyną o ponad 100 % (o ok. 110 % dla natężenia ruchu 800 poj./h i o ok. 127 % dla natężenia 4000 poj./h). Najkorzystniejszym z analizowanych paliw pod względem emisji związków toksycznych jest gaz ziemny. Obliczone wartości emisji NOX oraz PM10 były niższe przy zasilaniu CNG w relacji do wartości uzyskanych przy zasilaniu benzyną odpowiednio o ok. 30 % w przypadku NOX oraz o ok. 60 % dla PM10.

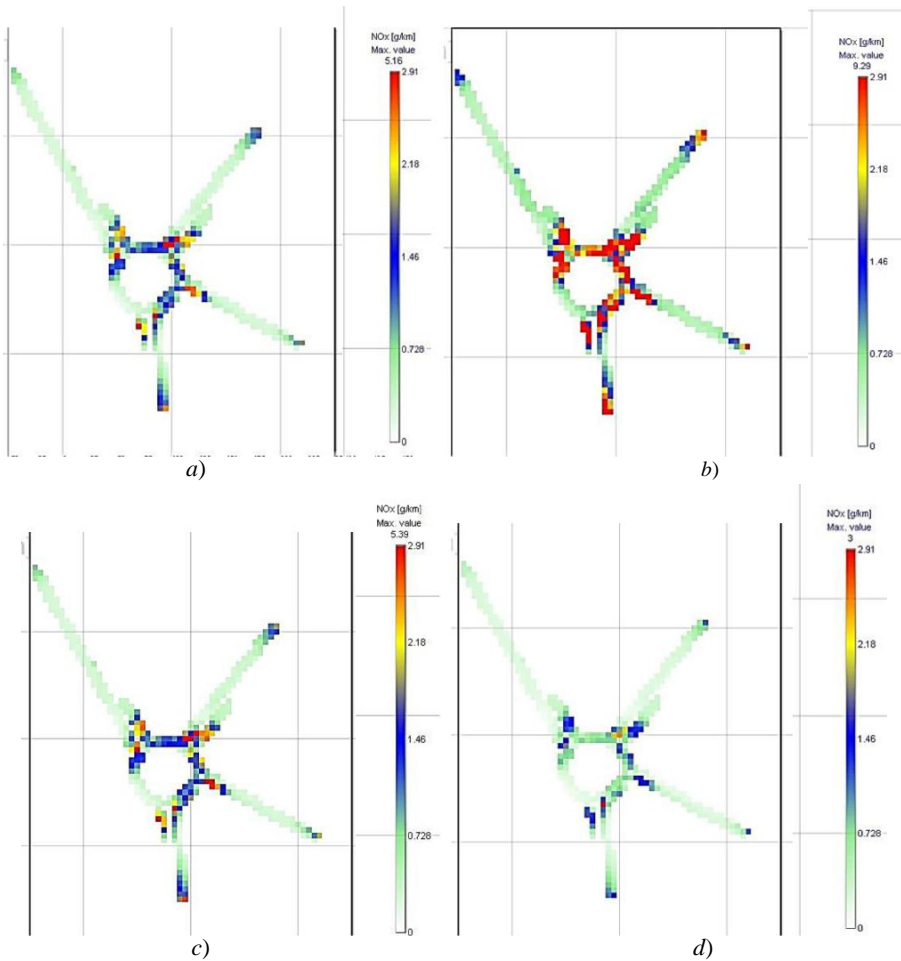


Rys. 3. Wykresy dystrybucji prędkości i przyspieszeń w warunkach:  
 a) natężenia ruchu 800 poj./h; b) natężenia ruchu 2000 poj./h, c) natężenia ruchu 4000 poj./h

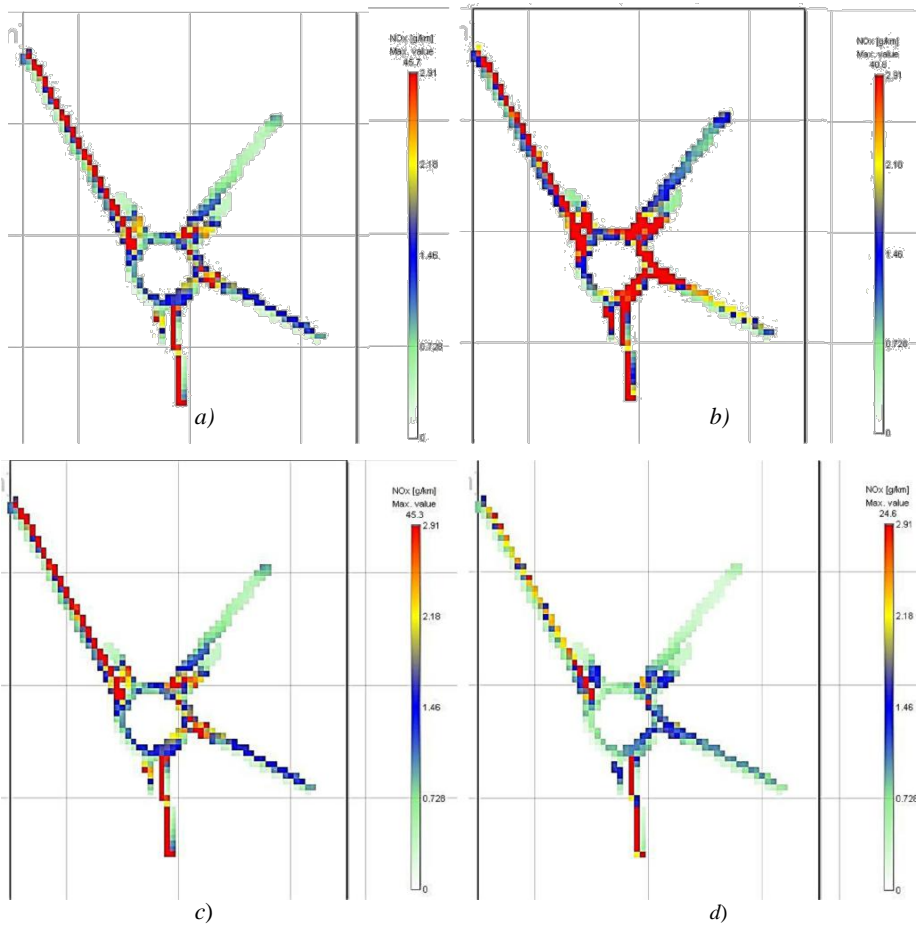




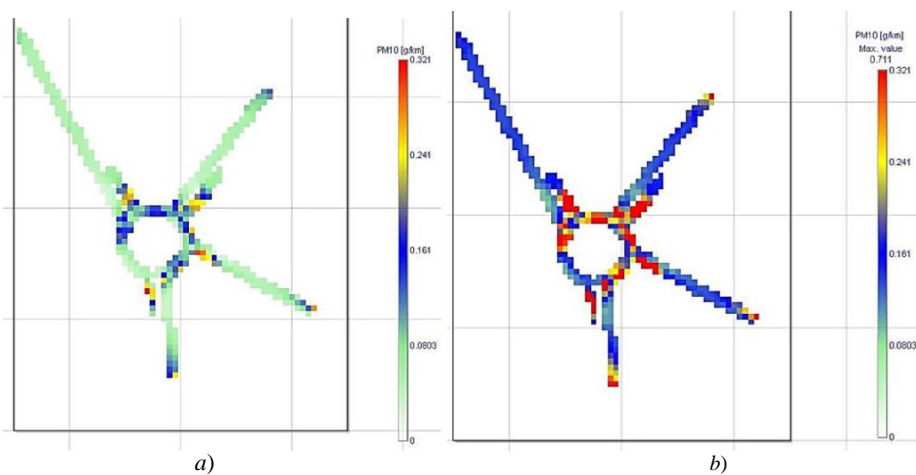
Rys. 4. Emisja NOx [g/km] dla warunków natężenia ruchu 800 poj./h względem wybranego ronda i jego dróg dojazdowych w rozdzielczości przestrzennej 5x5m, dla badanych paliw: a) benzyna, b) ON, c) LPG, d) CNG

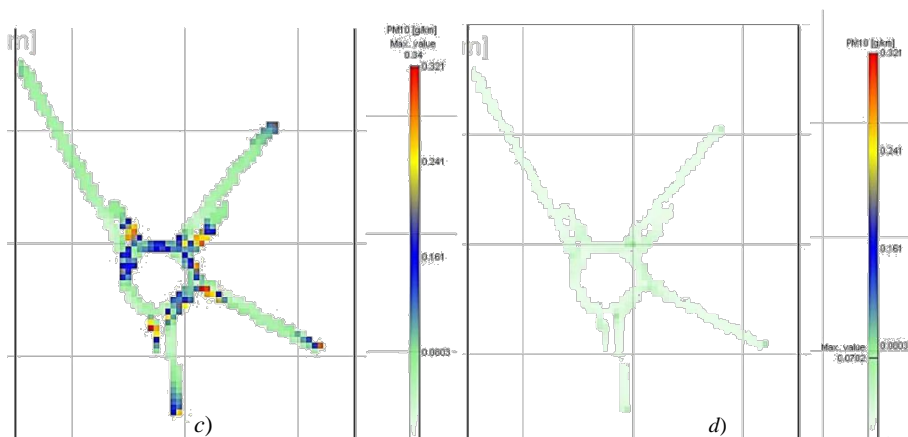


Rys. 5. Emisja NOx [g/km] dla warunków natężenia ruchu 2000 poj./h względem wybranego ronda i jego dróg dojazdowych w rozdzielczości przestrzennej 5x5m, dla badanych paliw: a) benzyna, b) ON, c) LPG, d) CNG

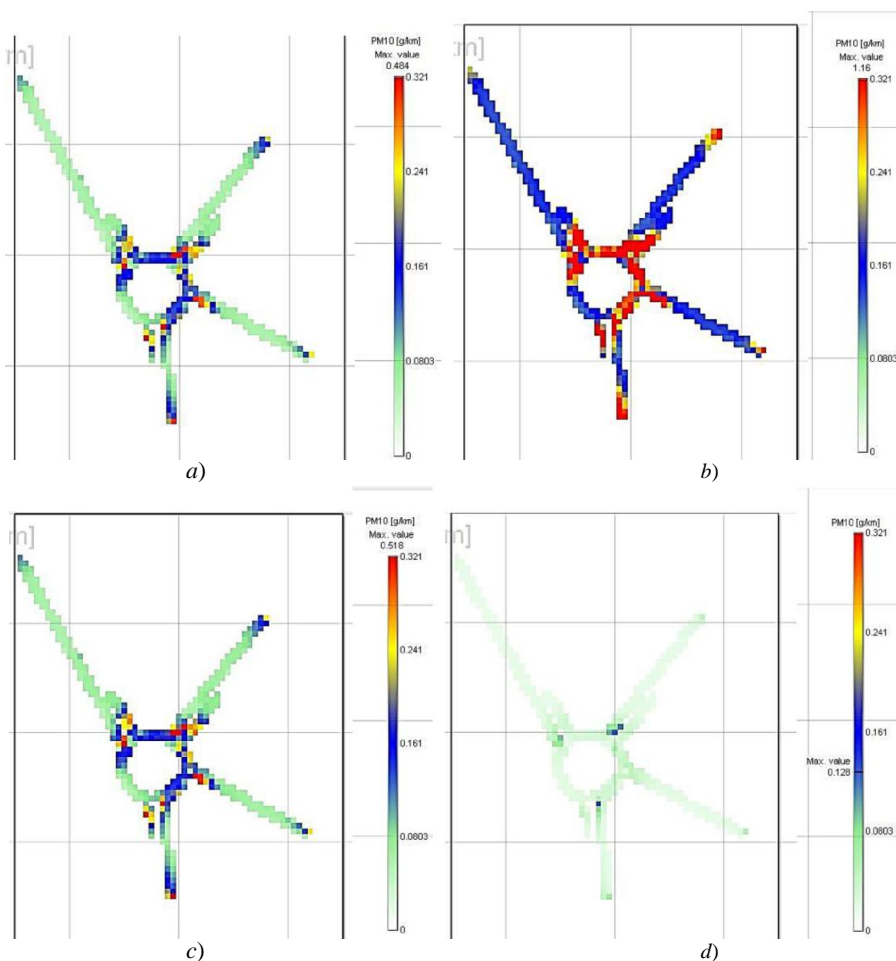


Rys. 6. Emisja NOx [g/km] dla warunków natężenia ruchu 4000 poj./h względem wybranego ronda i jego dróg dojazdowych w rozdzielczości przestrzennej 5x5m, dla badanych paliw: a) benzyna, b) ON, c) LPG, d) CNG



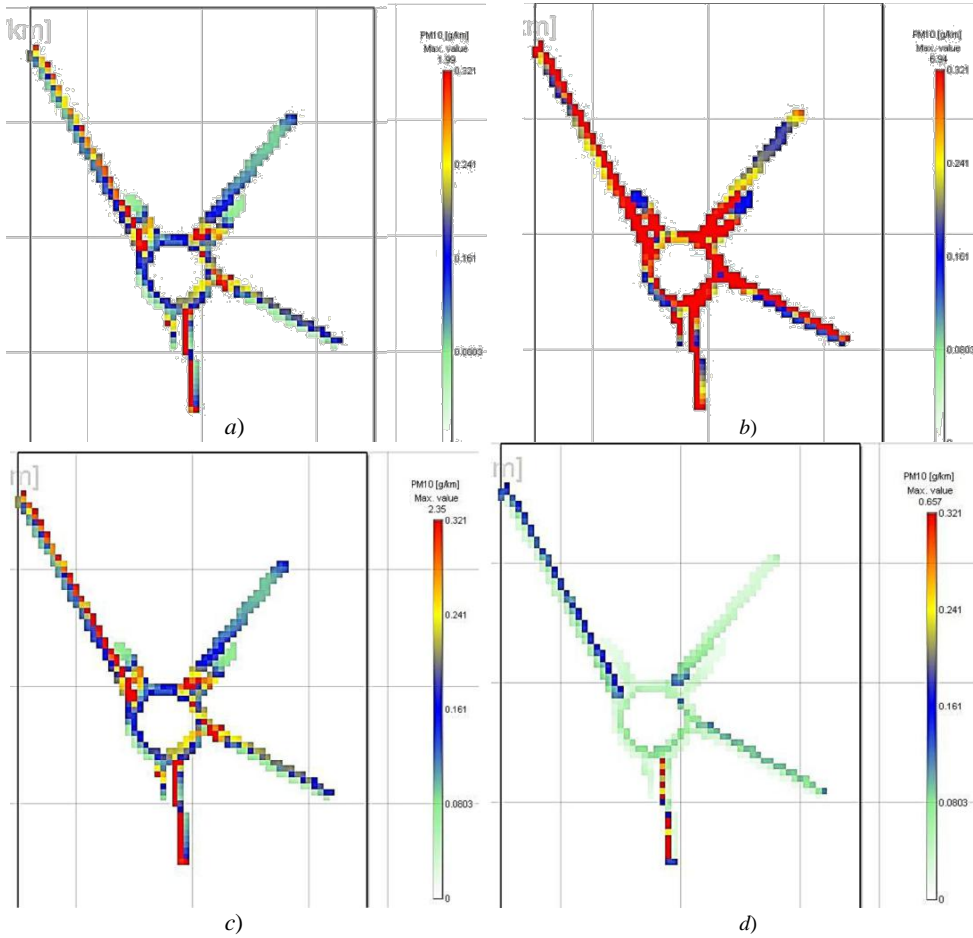


Rys. 7. Emisja PM10 [g/km] dla warunków natężenia ruchu 800 poj./h względem wybranego ronda i jego dróg dojazdowych w rozdzielczości przestrzennej 5x5m, dla badanych paliw: a) benzyna, b) ON, c) LPG, d) CNG

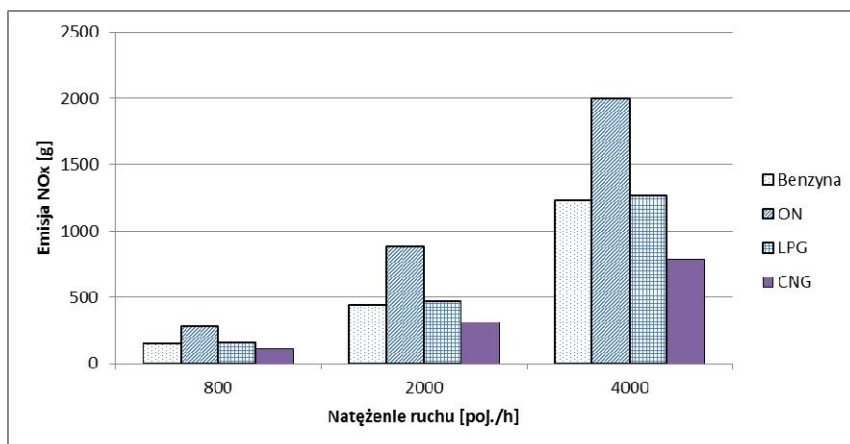


Rys. 8. Emisja PM10 [g/km] dla warunków natężenia ruchu 2000 poj./h względem wybranego ronda i jego dróg dojazdowych w rozdzielczości przestrzennej 5x5m, dla badanych paliw: a) benzyna, b) ON, c) LPG, d) CNG

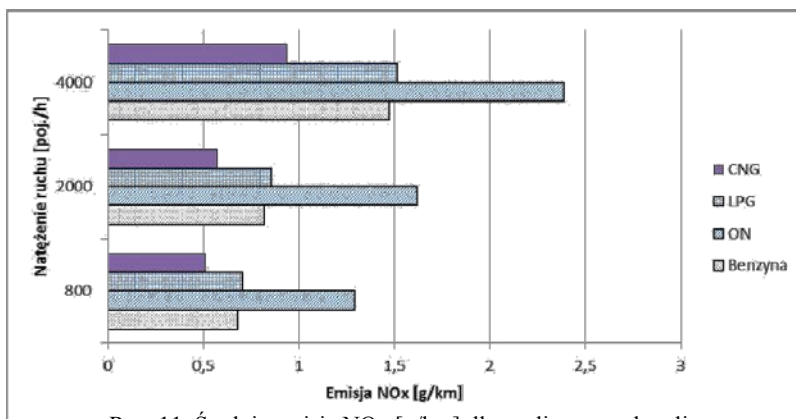




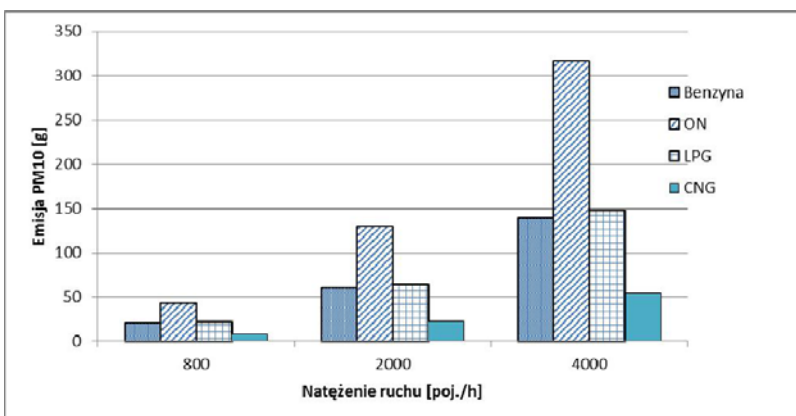
Rys. 9. Emisja PM10 [g/km] dla warunków natężenia ruchu 4000 poj./h względem wybranego ronda i jego dróg dojazdowych w rozdzielczości przestrzennej 5x5m, dla badanych paliw: a) benzyna b) ON, c) LPG, d) CNG



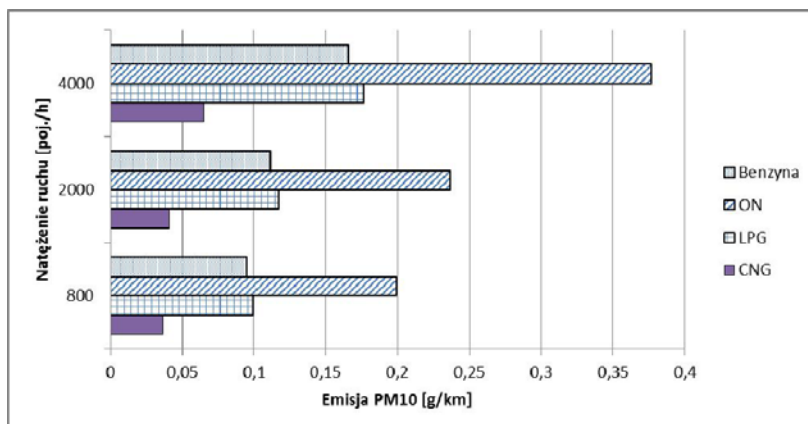
Rys.10. Porównanie sumarycznej emisji NOx [g] dla analizowanych paliw



Rys. 11. Średnia emisja NOx [g/km] dla analizowanych paliw



Rys. 12. Porównanie sumarycznej emisji PM10 [g] dla analizowanych paliw



Rys. 13. Średnia emisja PM10 [g/km] dla analizowanych paliw

Zgodnie z użytą metodologią badawczą, analizowanym obszarze potwierdza, że zmienia

całkowita emisja zanieczyszczeń spalin w się ona istotnie w zależności od rodzaju

zastosowanego paliwa. Zastosowanie w transporcie jako paliwa ON wiąże się ze zwiększoną emisją analizowanych składników spalin NO<sub>x</sub> i PM<sub>10</sub>. W relacji do emisji generowanej przez silniki spalinowe pojazdów przy ich zasilaniu benzyną, rezultaty obliczeń wykazały, że w odniesieniu do NO<sub>x</sub> emisja przy zasilaniu ON jest wyższa o ok. 62 % dla natężenia ruchu 4000 poj./h. i o ok. 98 % dla natężenia ruchu ok. 2000 poj./h. Obliczone wartości emisji PM<sub>10</sub> przy zasilaniu ON były wyższe od uzyskanych przy zasilaniu benzyną o ponad 100 %.

Najniższą emisją z analizowanych paliw charakteryzuje zasilanie gazem ziemnym. Obliczone wartości emisji NO<sub>x</sub> oraz PM<sub>10</sub> były niższe przy zasilaniu CNG w relacji do wartości uzyskanych przy zasilaniu benzyną o ok. 30 % w dla NO<sub>x</sub> oraz o ok. 60 % dla PM<sub>10</sub>.

Mając na uwadze wpływ natężenia ruchu samochodów na wielkość sumarycznej emisji uzyskano istotny jej wzrost przy zwiększeniu liczby samochodów przejeżdżających przez badane skrzyżowanie. W analizowanym przypadku zwiększenie natężenia ruchu z 800 poj./h do 2000 poj./h wiązało się z ok. 3-krotnym wzrostem sumarycznej emisji NO<sub>x</sub> natomiast wzrost do 4000 poj./h związany był z 8-krotnym wzrostem sumarycznej emisji NO<sub>x</sub>. Podobnie, dla w PM<sub>10</sub> sumaryczna emisja była 3-krotnie większa przy wzroście natężenia ruchu do 2000 poj./h, oraz 7-krotnie wyższa przy wzroście natężenia ruchu do 4000 poj./h.

#### РЕФЕРАТ

*Артур Яворський, Максиміліан Мадзей, Жешувська Політехніка,  
mmadziel@prz.edu.pl*

#### ВЛИВ ВИДУ ПАЛИВА НА ВИКИДИ ТОКСИЧНИХ СПОЛУК ІЗ ЗАСОБІВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

Представлена порівняльна оцінка забруднюючих речовин у відпрацьованих газах транспортних засобів, що працюють на різних видах палива, а саме: бензині, дизельному паливі, зрідженій суміші пропан-бутану або стисненому природному газі. Аналіз проводився в умовах двосмугової кільцевої розв'язки, розташованій в Жешуві, розглядаючи три випадки руху автомобілів, тобто: 800 автомобілів на годину, 2000 автомобілів на годину і 4000 автомобілів на годину. Результати окремих компонентів вихлопних газів (NO<sub>x</sub> і твердих частинок PM<sub>10</sub>), отримані з розрахунку моделі емісії Versita + Enviver для введення даних з програми Vissim. Результати показують, що дизельне паливо, яке використовується для транспортних засобів, пов'язане з більш високою емісією компонентів вихлопних газів, в порівнянні з іншими видами палива.

**Ключевые слова:** відпрацьовані гази, оксиди азоту, тверді частинки, бензин, дизельне паливо, модель емісії.

#### РЕФЕРАТ

*Артур Яворський, Максиміліан Мадзей,  
Жешувська Політехніка, mmadziel@prz.edu.pl*

#### ВЛИЯНИЕ ВИДА ТОПЛИВА НА ВЫБРОСЫ ТОКСИЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ОТ СРЕДСТВ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

Представлена сравнительная оценка состава загрязняющих веществ в выхлопных газах автомобилей при использовании различных видов топлива, а именно: бензина, дизельного топлива, сжиженной смеси пропан-бутана и сжатого природного газа. Анализ был выполнен для условий двухполосной кольцевой развязки, расположенной в Жешуве, в условиях трех случаев движения автомобилей, то есть: 800 автомобилей в час, 2000 автомобилей в час и 4000 автомобилей в час. Результаты выбранных компонентов выбросов выхлопных газов (NO<sub>x</sub> и твердых частиц PM<sub>10</sub>) получены из расчета модели выбросов Versita + Enviver для ввода данных из программы Vissim. Результаты показывают, как дизельное топливо, используемое для транспортных средств, связано с более высокой эмиссией компонентов выхлопных газов по сравнению с другими видами топлива.

**Ключові слова:** отработанные газы, оксиды азота, твердые частицы, бензин, дизельное топливо, модель эмиссии.

## ABSTRACT

Artur JAWORSKI, Maksymilian MĄDZIEL,  
Politechnika Rzeszowska, mmadziel@prz.edu.pl

### THE IMPACT OF KIND OF FUEL ON EMISSIONS OF TOXIC COMPOUNDS FROM ROAD VEHICLES

The article presents a comparative assessment of pollutants in the exhaust of vehicles powered by different fuels, i.e.: gasoline, diesel (ON), the liquefied mixture of propane-butane (LPG) or compressed natural gas (CNG). The analysis was performed for the two-lane roundabout located in Rzeszów, assuming three cases of traffic of cars, i.e.: 800 veh./h 2000 veh./h and 4000 veh./h. The results of selected components of exhaust emissions (NOx and particulate matter PM10) obtained from the calculation of the emission model Versita + Enviver for the data input from the program Vissim. The results show how diesel fuel used for vehicles is associated with a higher emission of exhaust gas components, as compared to other fuels.

**Key words:** exhaust gases, nitrogen oxides, particulate matter, gasoline, diesel fuel, emission model.

УДК 620.197.3:621.91.01:621.895:665.383

### IV-16. ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧІ РІДИНИ НА БАЗІ РОСЛИННИХ ОЛІЙ

Jaroslav Eliasz Jacek, Олександр Балицький, Марія Гаврилюк,  
Валерій Колесніков, Валентина Балицька

Розвиток технологій приводить до використання нових змащувально-охолоджуючих рідин (ЗОР), що покращують механічну обробку сталей. Серед сучасних вимог до виробництва, є переорієнтування технологічних процесів у відповідність з екологічними та протипожежними вимогами Європарламенту, МАГАТЕ, ISO. Одним з таких шляхів, є виготовлення на базі соняшникової (ріпакової) олій ЗОР та їх застосування при обробці свердлінням та точінням роторних сталей в умовах машинних залів ТЕС та АЕС під час планових ремонтів та аварійно-відновлювальних робіт. Світові та вітчизняні дослідники ЗОР використовують різноманітні олії: ріпакову, гірчичну, пальмову, кокосову та ін.

Мета даного дослідження: розроблення екологічно чистої ЗОР на основі рослинної сировини України, що не містить нафтопродуктів, для механічної обробки високоміцних сталей, що захищає від корозії обладнання та деталі в міжопераційний період, зменшує енерговитрати під час механічної обробки металів, покращує санітарно-гігієнічні умови праці персоналу.

Технологія отримання ЗОР в ідеалі не повинна передбачати розділення продуктів реакцій, утворення будь-яких відходів і промислових скидів. Речовинами модифікаторами є органічні аміни, бо вони є: ефективними поверхнево-активними речовинами; володіють високою реакційною здатністю; група NH<sub>2</sub> здатна вступати в реакцію з подвійними зв'язками.

Виходячи із вище сказаного використали моноетаноламін (МЕА) для синтезу комплексного інгібітора з властивостями емульгатора і виготовлення ЗОР на їх основі.

конічну колбу із зворотнім холодильником загрузили соняшкову (ріпакову) олію, нагрівали до 60 °С, додали МЕА. Співвідношення реагентів становило моль МЕА на моль олій. Для виключення можливості гідролізу олій й утворення солей аміну і жирних кислот використовували безводний МЕА. Перемішування здійснювали магнітною мішалкою. Перші помітні зміни в реакційній суміші з'явилися через 1,5 год (рис. 1).



Рис. 1. Ефект Тіндаля в процесі реакції МЕА з олією

Реакційна суміш в процесі реакції набуває прозорості. При підсвічуванні лазерним променем (ефект Тіндаля) картина міняється від інтенсивного розсіювання на початку реакції (рис. 1а) до формування через 3 години світлового конуса (рис. 1б), що звужується

через 5 год спостерігається лише залишкова опалесценція (рис. 1в). Показник рН середовища знижується із 12 до 7. Якісна проба на вторинний амін показала сине забарвлення. Продукт реакції перетворюється у в'язку рідину.

На основі отриманого інгібітора-емульгатора виготовили модельні ЗОР: співвідношення частин модифікованої і звичайної олії в складі органічної фази – 2:3 відповідно.

Як ЗОР використовують 1–10 %-ну водну емульсію. Природна і технічна вода є багатокомпонентною гетерогенною системою, що суттєво впливає на ефективність ЗОР, тому провели дослідження впливу вмісту аніонів та катіонів води на корозійні властивості ЗОР на базі соняшникової (ріпакової) олії.

Корозійна активність ЗОР за методикою оцінюванням в процентах площі корозійного пошкодження зразку. Суть методу заключається в тому, що стандартні зразки діаметром 56 мм, товщиною 3–5 мм виготовляються з чавуну АЧС-1, як найбільш чутливого до корозії металу. Зразки обробляються до шорсткості Ra 0,8–0,4, обезжирюються спиртово-бензольною сумішшю і поміщаються на керамічну решітку ексикатора. Для одного вимірювання використовується три пластинки. Пластинки покриваються фільтрувальним папером. Папір і пластинки змочуються свіжоприготовленою ЗОР. Кінці паперу опускаються на дно ексикатора із ЗОР. Ексикатор закривають і витримують при кімнатній температурі 24 год. У ексикаторі створюється 90–100 % вологість і ЗОР не висихає. Тонкий шар рідини на пластинці сприяє протіканню корозійних процесів.

Через визначені проміжки часу (3, 6, 24 год) виконують огляд фільтрувального паперу (появи плям корозії). Ступінь корозії зразка оцінюють по відбитках осередків корозійного ураження на фільтрувальному папері, площу яких підраховують з допомогою міліметрової лінійки.

Результати, отримані під час виконання досліджень корозійної активності ЗОР синтезованих на базі соняшникової (ріпакової) олії, приготовлених на модельних водах мають аналогічний характер та свідчать: 1. Присутність в воді іонів  $Ca^{2+}$  викликає деякий ріст корозійної активності 0,5 % концентрації емульсії ЗОР. За 25 мг/л іонів  $Ca^{2+}$  зростає корозійна активність 1 % концентрації ЗОР, але з подальшим ростом вмісту іонів  $Ca^{2+}$  вона зменшується. Присутність в воді іонів  $Ca^{2+}$  не впливає на корозійну активність 2, 3, і 5 % концентрацій ЗОР. 2. Присутність в воді іонів  $Mg^{2+}$  має вплив на корозійну агресивність емульсії, аналогічний за своїм характером впливу іонів  $Ca^{2+}$ . Значення їх іонізаційних потенціалів дуже близькі: 7,64 і 6,11 еВ відповідно. Магнієві і кальцієві мила жирних кислот в однаковій степені погано розчинні в воді і добре розчинні в оливах поверхнево-активними речовинами. 3. Присутність іонів  $K^{+}$  приводить до росту корозійної активності до 0,5% концентрації ЗОР. Для всіх інших концентрацій з ростом вмісту в воді іонів  $K^{+}$  видно зменшення корозійної агресивності. 4. Так, як при створенні модельних вод, що містять іони

Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> і K<sup>+</sup> використовувалися їх хлориди, стає можливим оцінити вплив іону Cl<sup>-</sup> на корозійну активність ЗОР. Для порівняння впливу іонів Cl<sup>-</sup> і SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> була приготовлена модельна вода з вмістом іону SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> де в якості катіону виступав Mg<sup>2+</sup>. Характер впливу аніонів Cl<sup>-</sup> і SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> аналогічний

Відсутність корозійного руйнування стружки, отриманої в процесі точіння, після контактування з ЗОР вказує на забезпечення міжопераційної консервації (рис.2), а також енергозберігаючий ефект, бо при переробці відходів, які мають «іржу», шляхом плавлення відбувається більший угар



Дослідження адсорбції ЗОР на поверхні зразка сталі здійснювали методом вимірювання крайового кута змочування, а відповідно і здатність її проникати в зону обробки. На відшліфовану пластинку сталі шприцом наносили краплю досліджуваної рідини, фотографували та обробляли за допомогою програми Adobe Illustrator (рис. 3).

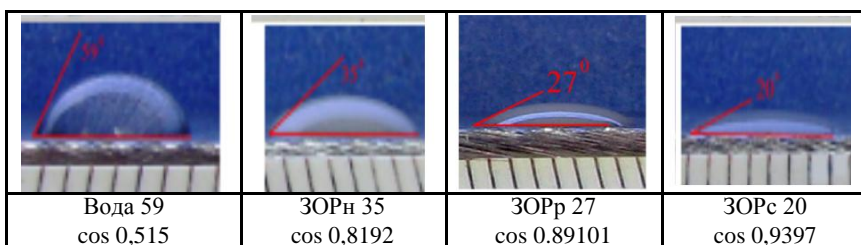


Рис. 3. Величина кутів змочування поверхні зразка сталі 38ХМ3ФА водою, ЗОРн, ЗОРр, ЗОРс.

Дослідили вплив ЗОР на оброблюваність зразків роторних сталей, що використовуються в енергетичній галузі (рис.4, 5).

Порівняли ЗОР, що синтезовані: ЗОРн на базі нафтової оливи та ЗОРс соняшникової (ЗОРр ріпакової) олії.

Стендові випробування розроблених ЗОР підтвердили можливість їх застосування при обробці свердлінням та точінням роторних сталей

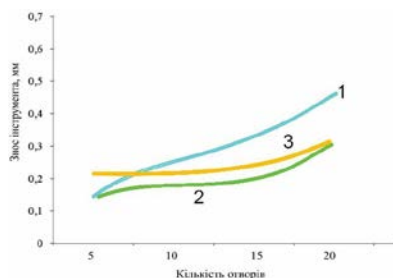


Рис. 4. Залежність величини зносу від тривалості свердління:  
 1 – ЗОРн; 2 – ЗОРс;  
 3 – ЗОРр

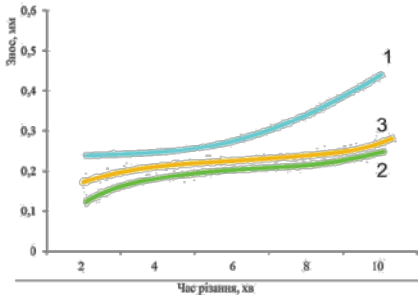


Рис. 5. Залежність величини зносу від тривалості точіння:  
1 – ЗОРн; 2 – ЗОРс;  
3 – ЗОРр

#### РЕФЕРАТ

Jaroslav Eliasz Jacek<sup>1</sup>, Олександр Балицький<sup>2</sup>, Марія Гаврилюк<sup>2</sup>, Валерій Колесніков<sup>2</sup>,  
Валентина Бадзька<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>West Pomeranian University of Technology in Szczecin, <sup>2</sup>Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка  
НАН України, <sup>3</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

#### ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧІ РІДИНИ НА БАЗІ РОСЛИННИХ ОЛІЙ

Розвиток техніки супроводжується появою нових змащувально-охолоджуючих рідин (ЗОР), що застосовують для механічної обробки сталей. Сучасні вимоги виробництва переорієнтовують технологічні процеси у відповідність з екологічними вимогами. Застосування ЗОР на базі рослинної олії вписується в ці вимоги. Синтезували комплексний інгібітор-емульгатор взаємодією аміну із тригліцидами рослинної олії та отримали модельні ЗОР. Дослідили вплив аніонів та катіонів води на корозійну активність отриманих рідин. Порівняли ЗОР, що синтезовані на базі нафтової оливи та соняшникової (ріпакової) олії при механічній обробці зразків роторної сталі. Проведені дослідження встановили, що використання рослинної олії як основи та модифікованих добавок, дозволяє замінити нафтові оливи під час виробництва ЗОР, що приведе до покращення умов праці персоналу та екології навколишнього середовища.

**Ключові слова:** змащувально-охолоджуючі рідини, рослинні олії, корозійна активність.

#### РЕФЕРАТ

Jaroslav Eliasz Jacek<sup>1</sup>, Олександр Балицький<sup>2</sup>, Марія Гаврилюк<sup>2</sup>,  
Валерій Колесніков<sup>3</sup>, Валентина Балицька<sup>3</sup>,

<sup>1</sup>West Pomeranian University of Technology in Szczecin, <sup>2</sup>Фізико-механічний інститут  
ім. Г.В.Карпенко НАН України, <sup>3</sup>Львівський державний університет безпеки життєдіяльності

#### ЕКОЛОГІЧЕСКИ ЧИСТІ ЗМАЩУВАЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧІ РІДИНИ НА БАЗІ РОСЛИННИХ ОЛІЙ

Развитие техники сопровождается появлением новых смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), применяемые для механической обработки сталей. Современные требования производства переориентируют технологические процессы в соответствии с экологическими требованиями. Применение СОЖ на основе растительного масла вписывается в эти требования. Синтезировали комплексный ингибитор-емульгатор взаимодействием амина с триглицеридами растительного масла получили модельные СОЖ. Исследовали влияние анионов и катионов воды на коррозионную активность полученных жидкостей. Сравнили СОЖ, которые синтезированы на базе нефтяного масла подсолнечного (рапсового) масла при механической обработке образцов роторной стали. Проведенные исследования установили, что использование растительного масла в качестве основы модифицированных добавок, позволяет заменить нефтяные масла при производстве СОЖ, что приведет к улучшению условий труда персонала и экологии окружающей среды.

**Ключевые слова:** смазочно-охлаждающие жидкости, растительные масла, коррозионная активність.

## ABSTRACT

Jaroslav Elias Jacek<sup>1</sup>, Alex Balitski<sup>2</sup>, Mariya Gavrilyuk<sup>2</sup>, Valerii Kolesnikov<sup>2</sup>, Valentina Balitska<sup>3</sup>,  
West Pomeranian University of Technology in Szczecin

<sup>2</sup>Physico-mechanical Institute. G. V. Karpenko NAS of Ukraine, <sup>3</sup>Lviv State University of Life Safety

### ENVIRONMENTALLY FRIENDLY COOLING LUBRICANTS BASED ON VEGETABLE OILS

The development of technology is accompanied by the emergence of new lubricating-cooling liquid (LCL), applied for steels processing. Modern requirements of production has been preorienting processes in the direction of correspondence to environmental requirements. The application of coolant based on vegetable oil fit into these requirements. The complex inhibitor-emulsifier has been synthesized by interaction of amine with triglycerides of vegetable oil, and model the LCL was obtained. The effect of anions and cations of water on the corrosion activity of the obtained liquids, has been investigated. We compared LCL, that are synthesized based on petroleum oil and sunflower (rapeseed) oil when machining the rotor steel specimens. It has been founded that using of vegetable oil as a basis and modified supplements to replace petroleum oil in the production of the LCL, will lead to the improvement of working conditions of personnel and the environment.

**Key words:** cooling lubricant fluids, vegetable oils, corrosive activity.

УДК 006.83; 662.75

### V-17. ВИМОГИ ДО ЯКОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ ПАЛИВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ

*Ірина Будзинська, Богдан Кочірко, Наталя Харченко, Ігор Сахацький,  
Олександр Нілов, Інна Голінка*

Основним завданням довготривалого зберігання нафтопродуктів є збереження їх показників якості та забезпечення придатності для використання після довготривалого зберігання. Тому важливим питанням є формулювання вимог до якості нафтопродуктів, зокрема автомобільних бензинів та дизельних палив, що закладаються на зберігання в системі Держрезерву України.

Автомобільні бензини, призначені для формування довгострокового запасу, повинні мати спеціальні характеристики, що забезпечують:

а) зменшення втрат від випаровування під час довготривалого зберігання

таких бензинах значення верхньої межі тиску насиченої пари має бути нижче, ніж у бензинах для поточного застосування, а за фракційним складом вони мають бути більш важкими;

б) сповільнення процесів окиснення та осмолення під час довготривалого зберігання

таких бензинах вміст ненасичених вуглеводнів має бути низьким, а вміст оксигенатних сполук (етилового, ізопропілового, ізобутилового, третбутилового спиртів, етерів тощо), які спричиняють швидке окиснення, взагалі повинен бути відсутнім. Крім того, бензини довготривалого зберігання повинні характеризуватися значно вищим значенням показника «Стабільність до окиснення (індукційний період)», ніж бензини для поточного застосування;

в) збереження показників якості

Сучасні технології виготовлення автомобільних бензинів передбачають введення до їх складу октанопідвищуючих, антикорозійних, антиокиснювальних, мийних присадок та пакетів присадок, термін збереження властивостей більшості з яких, як правило, не перевищує півроку. Наявні в бензинах присадки з часом схильні до розкладання та леткості, що призводить до погіршення показників якості бензинів та їх експлуатаційних характеристик, а також до можливого розшарування продукту. Тому бензини, призначені для довготривалого зберігання, не повинні містити у своєму складі присадок і добавок.

Забезпечення вказаних характеристик вимагає внесення змін до складу бензинів, значить змін до технології їх виготовлення.



Дизельне паливо, призначене для формування довготривалого запасу, також не повинно містити у своєму складі присадок (цетанопідвищуючих, депресорно-диспергуючих, протизносних, мийних), термін збереження властивостей більшості з яких не перевищує один рік. Таке паливо не повинне містити біодобавок (метилових та/або етилових естерів жирних кислот). Поряд з позитивним ефектом від їх введення в дизельне паливо для поточного застосування (покращення мастильних, антикорозійних та мийних властивостей

зменшення шкідливих викидів під час роботи двигуна), є і негативні наслідки для дизельного палива, призначеного для довготривалого зберігання: метилові та етилові естери жирних кислот швидко окиснюються, а також підлягають біоураженню.

Національні стандарти ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро. Технічні умови» та ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови», за якими сьогодні виробляють, постачають та вводять в обіг на ринок України автомобільні бензини та дизельне паливо, було розроблено та введено в дію з метою забезпечення впровадження та застосування «Технічного регламенту щодо вимог до автомобільних бензинів, дизельного, судових та котельних палив», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 01.08.2014 року № 927. Виконання встановлених у Технічному регламенті вимог до екологічної безпеки автомобільних палив передбачає введення до їх складу відповідних присадок (добавок) або пакетів присадок. Про це зазначено у пунктах 4.3 ДСТУ 7687:2015 та ДСТУ 7688:2015. Національний стандарт ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро. Технічні умови» дозволяє вітчизняним виробникам виробляти і вводити в обіг на ринок України бензини з вмістом кисню 3,7 % і максимальним вмістом біоетанолу 10 %,

також з вмістом інших кисневмісних сполук. Гарантійний термін зберігання бензинів згідно з ДСТУ 7687:2015 встановлено 6 місяців. Національний стандарт ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови» дозволяє виробляти і вводити в обіг на ринок України дизельне паливо з вмістом метилових/етилових естерів жирних кислот до 7 %. Гарантійний термін зберігання дизельного палива згідно з ДСТУ 7687:2015 – 1 рік.

Таким чином, у національних стандартах ДСТУ 7687:2015 та ДСТУ 7688:2015 не враховано вимоги до бензинів та дизельного палива щодо їх тривалого зберігання, а кожний цикл освіження матеріальних цінностей державного резерву призводить до значних витрат бюджетних коштів.

На автомобільні палива довготривалого зберігання розроблено низку технічних умов, що є власністю конкретних фірм-виробників продукції. Це значно ускладнює процес закупівлі бензинів та дизельного палива для закладання на довготривале зберігання в системі державного матеріального резерву. Нормативних документів національного рівня, в яких встановлені єдині технічні вимоги до бензинів та дизельного палива довготривалого зберігання, що відносяться до продукції загальнодержавного значення, на сьогодні немає.

ТОВ «НДІ «МАСМА», що виконує функції секретаріату технічного комітету ТК 38 «Стандартизація продуктів нафтопереробки і нафтохімії», разом з ДП «УкрНДІ «Ресурс» розробило проекти національних стандартів ДСТУ «Бензини автомобільні довготривалого зберігання. Технічні умови» та ДСТУ «Паливо дизельне довготривалого зберігання. Технічні умови».

Згідно зі сферою застосування ці стандарти поширюються на автомобільні палива довготривалого зберігання, що виробляють та/або постачають для зберігання на підприємствах державного матеріального резерву, а також для потреб оборони держави, ліквідації надзвичайних ситуацій та на експорт.

Проект ДСТУ «Бензини автомобільні довготривалого зберігання. Технічні умови» має такі відмінності технічних вимог від чинного ДСТУ 7687:2015 «Бензини автомобільні Євро. Технічні умови»:

Заборонено додавання до бензинів (біо)етанолу або інших кисневмісних добавок, також октанопідвищуючих, антикорозійних, мийних тощо присадок або пакетів присадок (крім антиокиснювальних).

Залежно від октанового числа за дослідним методом встановлено такі марки бензинів: А-92-ДЗ, А-80-ДЗ.

Бензини за фракційним складом більш важки, ніж бензини для поточного застосування згідно з ДСТУ 7687:2015.

Тиск насиченої пари не перевищує 66,7 кПа.

Стабільність до окиснення (індукційний період) становить не менше ніж 1200 хв.

Концентрація фактичних смол не перевищує 3,0 мг на 100 см<sup>3</sup> бензину.

Об'ємна частка олефінових вуглеводнів не перевищує 13 %.

Встановлена норма «Відсутність» для показників «Масова частка кисню» та «Масова частка органічних кисневмісних сполук».

Гарантійний термін зберігання бензинів – 3 роки від дати виготовлення.

Проект ДСТУ «Паливо дизельне довготривалого зберігання. Технічні умови» має такі відмінності технічних вимог від чинного ДСТУ 7688:2015 «Паливо дизельне Євро. Технічні умови»:

Дизельне паливо не повинне містити біокомпоненти – метилові/етилові естери жирних кислот, а також цетанопідвищуючі, протизносні, депресорно-диспергуючі, мийні та інші присадки або пакети присадок.

За вмістом сірки встановлено такі види дизельного палива: вид I – вміст сірки не більше ніж 10 мг/кг; вид II – вміст сірки від 500 мг/кг до 2000 мг/кг. Дизельне паливо виду застосовують тільки для потреб оборони держави та ліквідації надзвичайних ситуацій.

Цетанове число становить не менше ніж 45.

Гранична температура фільтрованості становить не вище ніж мінус 30 °С.

Встановлена норма «Відсутність» для показника «Об'ємна частка метилових/етилових естерів жирних кислот».

Відсутній показник «Змащувальна здатність» (дизельне паливо з низьким вмістом сірки (вид I) без вмісту присадок не буде витримувати норму для цього показника, а високий вміст сірки у дизельному паливі виду II гарантує задовільні мастильні властивості палива і без вмісту протизносних присадок).

Гарантійний термін зберігання дизельного палива – 5 років від дати виготовлення.

Наведені в розроблених проектах національних стандартів характеристики автомобільних палив забезпечать їх довготривале зберігання в системі державного матеріального резерву.

Після закінчення терміну зберігання автомобільні палива відпускаються з державного матеріального резерву у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України. У разі відпуску автомобільних палив з державного матеріального резерву суб'єкту господарювання, останній перед реалізацією через роздрібну мережу автозаправних станцій повинен забезпечити відповідність якості та позначення автомобільного бензину та дизельного палива вимогам Технічного регламенту та чинних нормативних документів додаванням до них додатків. Вид і кількість додатків визначається технічною документацією, що розробляється суб'єктом господарювання.

#### РЕФЕРАТ

*Ірина Будзинська<sup>1</sup>, Богдан Кочірко<sup>1</sup>, Наталя Харченко<sup>1</sup>,  
Ігор Сахацький<sup>1</sup>, Олександр Нілов<sup>2</sup>, Інна Голінка<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>ТОВ «Науково-дослідний інститут «МАСМА», <sup>2</sup>Український державний науково-дослідний інститут  
«Ресурс», tk38@ukr.net, info@ndiresurs.gov.ua*

#### **ВИМОГИ ДО ЯКОСТІ АВТОМОБІЛЬНИХ ПАЛИВ, ПРИЗНАЧЕНИХ ДЛЯ ДОВГОТРИВАЛОГО ЗБЕРІГАННЯ**

Вказано, що основним завданням довготривалого зберігання нафтопродуктів є збереження їх показників якості та забезпечення придатності для використання після довготривалого зберігання.

Наведені в розроблених проектах національних стандартів характеристики автомобільних паливзабезпечать їх довготривале зберігання в системі державного матеріального резерву.

**Ключові слова:** автомобільні бензини, зберігання, якість.

#### РЕФЕРАТ

*Ірина Будзинська<sup>1</sup>, Богдан Кочирко<sup>1</sup>, Наталія Харченко<sup>1</sup>,  
Ігорь Сахацький<sup>1</sup>, Александр Нилов<sup>2</sup>, Інна Голінка<sup>2</sup>,*

*<sup>1</sup>ООО «Научно-исследовательский институт «МАСМА»,<sup>2</sup> Украинский государственный научно-исследовательский институт «Ресурс», tk38@ukr.net, info@ndiresurs.gov.ua* **ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ АВТОМОБИЛЬНЫХ ТОПЛИВ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ДЛИТЕЛЬНОГО ХРАНЕНИЯ**

Указано, что основным заданием длительного хранения нефтепродуктов является сохранение их показателей качества и обеспечение пригодности для использования после долговременного хранения. Приведенные в разработанных проектах национальных стандартов характеристики автомобильных топлив обеспечат их длительное хранение в системе государственного материального резерва.

**Ключевые слова:** автомобильные бензины, хранения, качество.

#### ABSTRACT

*Iryna Budzyn'ska, Bogdan Kochirko, Natalia Kharchenko, Igor Sahatskij, Alexander Nilov, Inna Golinka  
<sup>2</sup>TOV «Research institute «MASMA», Ukrainian State Research Institute «Resurs», tk38@ukr.net,  
info@ndiresurs.gov.ua*

#### REQUIREMENT FOR QUALITY OF MOTOR-CAR FUELS, INTENDED FOR A LONG DURATION STORAGE

It is indicated that the basic task of of long duration storage of petrochemicals, is a maintainance of their quality indices and providing of fitness for operation after long-time storage. The motor -car fuels characteristics, described in the developed projects of national standards, will provide them with long-time storage duration in the system of government supply reserve.

**Key words:** motor-car gasolines, storage, quality.

УДК 665.7:504.06:628.477(045)

#### V-18. THE METHOD OF THERMAL DISPOSAL OF OIL SLUDGE

*Sergii Vdovenko, Olexandra Shepel*

Until recently the problem of disposal of oil sludge was solved by constructing special tailings pond, but this method is only a temporary measure. Meanwhile, oil sludge is significantly dangerous for the environment as it pollutes the air, soil and groundwater. As a result of soil contamination the vital functions of soil microorganisms are disturbed, drastically reducing their numbers. All these changes lead to lower yields of agricultural crops, natural vegetation, tree crops, and in most cases even to their destruction. That is why the problem of disposal of oil sludge is extremely relevant for the oil and refining industry.

During the processing of oil and oil products on refineries large quantities of oil sludge (5 – 7 kg per ton of processed oil) are produced. The main reason for the contaminated soil to appear is a breakthrough in a pipeline as a result of internal and external corrosion.

Existing industrial oil sludge processing methods involve the separation of organic part and using it as a component of fuel oil, while sludge thermolysis forms light and dark petroleum fractions, condensed water and solid residue used for the installation of road coatings. However, none of these methods involves complex processing of oil sludge to produce commercial products and certain petroleum fractions.

Choosing the right oil sludge utilization technology provides the enterprise with significant benefits, taking into account the following factors:

reduced company payments for waste disposal;

- reduced human impacts on the environment;
- reuse of substituted hydrocarbons on refineries for creating commercial products; - use of inert materials in construction.

There are various methods of disposal of oil sludge, which, depending on the task, help to neutralize virtually any type of sludge. Major industrial oil sludge disposal methods include:

Centrifugation, with the help of which one can conduct efficient separation of oil sludge into three components: water with small impurities of oil, oil with minor impurities of water and solids (cake) with oil content less than 5 % by weight. However, centrifuge has restrictions on the content of solid impurities in raw materials of up to 15 % by weight and it does not ensure complete removal of toxic oil from cake;

Biological decontamination using special strains of bacteria, but the degradation process is very slow (30–60 days), requires considerable space and stops almost completely at subzero temperatures;

Toxic chemical encapsulation of hydrocarbon waste with addition of quicklime. However, the oil products eventually penetrate through the membrane of a capsule and pollute the environment;

Method of erosion followed by extraction creates large amounts of wastewater and has low energy efficiency;

Thermal method of neutralization by direct incineration of waste is associated with significant air pollution and loss of valuable hydrocarbons;

The method of thermal desorption by heating waste in rotating drums. Heating of the drums is carried out by high-temperature organic heat conductor. The method is characterized by the high cost of equipment.

Statement of the research is the development of a continuous energy saving recycling scheme of oil sludge and oily soils by high-temperature treatment to produce cleaner residue and additional quantities of captured oil products.

The essence of the thermal process of removing hydrocarbons from the solid oil waste is that the material is subjected to indirect heating (through the wall), which provides reaching evaporation temperature of hydrocarbons and their transition into the gas phase. Along with evaporation, the processes of thermal decomposition of heavy hydrocarbon fractions (thermocracking) with forming coke and lighter hydrocarbon fractions occurs at temperature ranging from 340°C.

An illustration of the evaporation process and thermal degradation of hydrocarbons, that make up the sample of oil sludge, is portrayed on thermogram – fig. 1.

The thermogram shows that around the temperature 20–485 °C on the sample's Tg curve there is a weight loss that is accompanied by a clear endothermic effect on the DTA curve and corresponds to the release of volatile components of the sludge. The process is complicated by the polycondensation of the most volatile components of the sludge, evidenced by the appearance of exothermic effect on the DTA curve at temperatures over 270 °C.

Intensive weight loss of the pattern in the temperature 335–485 °C corresponds to leakage of thermal degradation of sludge components. This is evidenced by the appearance of a clear effect on endothermic sample's DTA curve. The process of destruction ends with consolidation of heavy residue, which is accompanied by abrupt heat generation. This is evidenced by the appearance of exothermic effect on the DTA curve at temperatures higher than 450 °C and simultaneous decrease in the rate of weight loss of the sample.

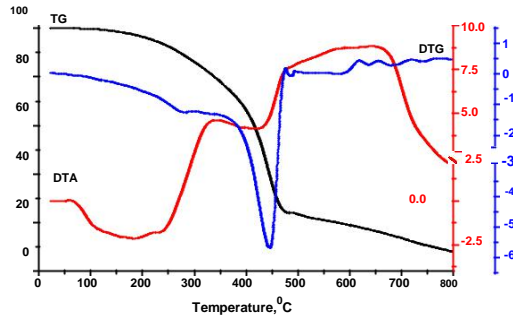


Fig. 1. An illustration of the evaporation process and thermal degradation of hydrocarbons, that make up the sample of oil sludge

At over 480 °C the rate of the sample's loss of weight decreases sharply. This indicates that the processes of consolidation outweigh the processes of degradation. There is a clear exothermic effect which corresponds to condensation process and coke formation in the DTA curve of the sample in this temperature range.

Therefore, the method of thermal disposal of oil sludge is conducted at temperature of 450–480 °C, which guarantees removal of hydrocarbons of any nature and chemical composition from the source material.

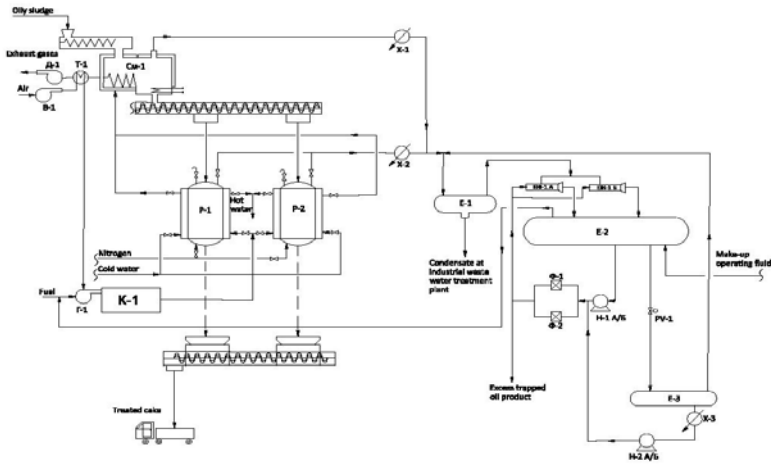


Fig. 2. Depicts the method of disposal of oil sludge being implemented in several stages

Fig. 2 depicts the method of disposal of oil sludge being implemented in several stages. Stage 1 – Preparation of oil sludge for thermal degradation.

The water content in the oil and hydrocarbon sludge varies widely, but the water is the main component that consumes heat during thermal disposal, as the evaporation process is very energy-intensive (heat of water vaporization is 539 kcal / kg). Therefore, it is highly undesirable for a stable operation of the system of thermal degradation to have large variations in water and hydrocarbons content in the first place, and necessitate the use of block of preparation of oil sludge.

Suggested system provides almost complete evaporation of water and volatile hydrocarbons on the first stage. Use of indirect heat output of oil sludge using flue gas and electric heaters, as well as dryers installed in casing, ensures thermal insulation of drying unit and eliminates the emission of large quantities of hot gases into the atmosphere. Together, these two factors allow to achieve high thermal efficiency at the stage of drying. Electricity consumption for warming heaters depends on the temperature of output oil sludge, amount of water and hydrocarbons in raw material and is automatically adjusted. The basic heating of raw materials is carried out with the help of flue gases, that leave the dryer with a temperature of 180–220 °C, while electric heating serves to bring the temperature of the oil sludge up to 270 °C before it reaches cameras for thermal degradation. Water vapor and hydrocarbons formed in the dryer Cш-1 pass via pipeline through refrigerator-condenser X-1, temperature in which is regulated so as a flux with temperature 50–60 °C can reach ejectors Еж-1А/Б, while water and heavy fractions of hydrocarbons are all condensed via theseparator E-1.

Stage 2 – thermal destruction of the hydrocarbon components of oil sludge.

On the second stage of the process they carry out recycling of oil sludge, which was pre-dried by indirect heating with the flue gases through the wall of cameras of thermal degradation P-1, P-2 up to 450–480 °C. At this temperature happens final evaporation and thermal cracking of hydrocarbons. Keck, which exits the thermal degradation cameras, is almost free from water-soluble hydrocarbons while the residual content of non-water soluble hydrocarbons, is not more than 0,5–1,5 %, which is completely safe for the environment. Before unloading keck is cooled to 50 °C with circulating water through water-cooling case's chambers of thermal degradation. Before each loading stage of drained oil sludge into the chambers anitrogen purge is performed.

Stage 3 – regeneration of hydrocarbon steam and process gases purification.

Steam and gases, decomposed after being in the thermal degradation cameras, are carried to refrigerator- condenser X-2 and separator E-1, where condensation of the heaviest hydrocarbons and water vapor occurs. Non-condensed mixture of steam and gas with a temperature of 50–60 °C is sucked via the gas jet ejector Еж-1А/Б (1 working and 1 reserve) which are installed on the separator E-2, which divides a working fluid (diesel) and compressed hydrocarbon gas. The fluid is delivered into jet with the help of centrifugal pumps H-1A / B (1 working and 1 reserve). The circulation system is periodically provided with fresh working fluid. Excess fluid, pre-cleaned of impurities on filters Ф-1,2, is retrieved from the system and used as additive to the raw materials for primary oil refining units. In order to reduce feeding of fresh working fluid and to provide cavitation free work of pumps supplying fluids to ejector H-1A/Б there is a degassing capacity of the working fluid E-3. For this purpose a part of the rich working fluid, that is removed along with the excess pressure from the separator E-2, is reduced with the help of control valve PV 1 and sent to the separator E-3 to separate gas and liquid. Separated gas is re-submitted to the separator E-1, while the degassed liquid is pumped with the pumps H-2A / Б (1 working and 1 reserve), after cooling to a temperature of 35–40 °C to provide cavitation free work of pumps H-2A/Б. Non-condensed gases of thermal cracking and vapor hydrocarbons are sent to the burner П-1 of combustion chamber K-1, while formed flue gases at a temperature 950 °C are used later for heating chambers of thermal degradation P-1, P 2. After thermal degradation chambers the warmth of flue gases at a temperature 550 °C are recuperated in an oil sludge dryer Cш-1 and the heat exchanger T-1 by heating the air that is pumped to the combustion chamber with a fan B-1, while the exhaust flue gases are dumped into the atmosphere at the temperature 150–200 °C with the help of smoke exhauster Д-1.

The approximate material balance of the developed current scheme for recycling of oil sludge is represented in Example 1.

The proposed method of disposal of oil sludge makes it possible to regenerate 98–99 % of hydrocarbons and to get environmentally friendly cake with minimal external energy consumption. When the original oil sludge contains 20–25 % hydrocarbons and up to 20 % water by weight,

recycling process takes place in autothermal mode, when the heat from the combustion of hydrocarbons is sufficient for the utilization of fresh oil sludge.

*Example 1*

№	Heading	Amount, % weight.
1	Oils sludge received:	100,0
	Including water	30
	hydrocarbons	20
	impurities	50
2	Received:	
	Neutralizedsludge (cake)	51,5
	capturedhydrocarbons	12
	Condensate (emulsion)	35
	Decompositiongas	1,5

The method of disposal of oil sludge can be used in the oil, oil refining and other industries with a formation and storage of large quantities of oily waste.

The technical result is the minimal use of external energy for the recycling of oil sludge, minimal impact on the environment, regeneration of 98–99 % hydrocarbons. When the original oil sludge contains 20–25 % hydrocarbons and up to 20 % water by weight, recycling process takes place in autothermal mode, when the heat from the combustion of hydrocarbons is sufficient for the utilization of fresh oil sludge.

#### **РЕФЕРАТ**

*Сергій Вдовенко, Олександра Шепель,*

*Національний авіаційний університет, shepelua@rambler.ru*

#### **СПОСІБ ТЕРМІЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ НАФТОВОГО ШЛАМУ**

Представлена розробка енергоощадної безперервної схеми утилізації нафтового шламу та нафтовмісних ґрунтів, методом високотемпературної обробки для отримання екологічно чистого залишку та додаткової кількості уловлених нафтопродуктів.

**Ключові слова:** термічна утилізація, нафтовий шлам, вуглеводні, схема, термограма.

#### **РЕФЕРАТ**

*Сергей Вдовенко, Александра Шепель,*

*Национальный авиационный университет, shepelua@rambler.ru*

#### **СПОСОБ ТЕРМИЧЕСКОЙ УТИЛИЗАЦИИ НЕФТЯНОГО ШЛАМА**

Представлена разработка энергосберегающей непрерывной схемы утилизации нефтяного шлама и нефтесодержащих грунтов методом высокотемпературной обработки для получения экологически чистого остатка и дополнительного количества уловленных нефтепродуктов.

**Ключевые слова:** термическая утилизация, нефтяной шлам, углеводороды, схема, термограмма.

#### **ABSTRACT**

*Sergii Vdovenko, Olexandra Shepel,*

*National Aviation University, shepelua@rambler.ru*

#### **THE METHOD OF THERMAL UTILIZATION OF THE OIL SLUDGE**

The article presents the development of the continuous energy saving chart of oil sludge and oily soils utilization by high-temperature treatment, to produce the residue and additional amounts of captured oil products.

**Key words:** thermal disposal, oil sludge, hydrocarbons, chart, thermogram.

## ВИСНОВКИ

Розвиваючи сучасну парадигму дослідницького університету та ролі хімотологічної науково-педагогічної школи становленні сучасного освітянського закладу представниками школи Національного авіаційного університету розвинуто традицію проведення міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми хімотології».

Саме наукові праці учасників конференції – хімотологів з різних країн стали фундаментом підготовки рукопису даної монографії.

Органічне поєднання науково-дослідного, навчального та виробничого процесів, що спостерігається у діяльності хімотологічної школи, а також установка на відтворення, самооновлення науково-педагогічних кадрів і підготовка кадрів вищої кваліфікації, мотивована орієнтація на виробництво знань про знання – можна віднести до диференційних ознак хімотологічної школи НАУ і дозволяє розглядати діяльність останньої як метамодель інтеграції науки, освіти і практики. Цей факт яскраво підтверджує дана наукова праця.

умовах інтеграції науки і вищої школи у контексті створення дослідницького університету, як одного з найважливіших напрямів чергового етапу розвитку вищої професійної освіти, унікальність феномена науково-педагогічної школи відтворюється

перспективі інформаційного супроводу навчального процесу. Інформаційний супровід, як компонент комплексного наукового супроводу навчального процесу, спрямований на створення організаційних і змістовних основ інформаційно-навчального простору, що відповідає сучасному рівню інформатизації суспільства.

Знання транспортного засобу та його грамотна експлуатація передбачає не тільки знання конструкції, кінематичних, динамічних, температурних характеристик, але й фізико-хімічних властивостей конструкційних експлуатаційних матеріалів, необхідних для аналізу та прогнозування фізико-хімічних процесів під час використання конкретного палива або мастильного матеріалу.

Як відомо, розглядати будь-яку наукову проблему неможливо без стрункої світоглядної системи. Світогляд, що вибирає конкретна цивілізація, визначає весь характер дій соціуму та його вплив на навколишнє природне середовище. Хімотологія, як і, наприклад, системотехніка або системна інженерія, володіє таким методологічним прийомом в науці і техніці, що охоплює проектування, створення, випробування та експлуатацію складних систем. Певною мірою це прикладне втілення теорії систем, в якому термін «система» використовується особливим чином, маючи на увазі образ мислення для пояснення когерентних зв'язків між елементами системи, синергізму та емерджентності. Тут «система» виражає не тільки сутність, але й ставлення до сутності об'єкта, підкреслює клас властивостей, що цікавлять точки зору, – звідси багатогранність описів і величезна кількість можливих способів декомпозиції системи і виділення підсистем.

Дана монографія як інтегрована наукова праця багатьох вчених є яскравим прикладом репрезентації зазначених аспектів і реально ілюструє сучасний консолідований доробок науковців і практиків, тенденції розвитку наукових шкіл різних університетів, різних країн

науки в цілому. Бо, як відомо, наука кордонів не має. Наукові досягнення – глобальні цивілізаційні надбання.

практичному аспекті використання даної праці, кожен автор повноцінно має посылатись у власному доробку як на розділ монографії. Наприклад, *Лісафін Володимир.*

*Упровадження методики розрахунків питомих викидів вуглеводнів з резервуарів / Володимир Лісафін // Проблеми хімотології. Теорія та практика раціонального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів: Монографія / за заг. ред. проф. С. В. Бойченка. – К.: Центр навчальної літератури, 2017. – Розд. III. – С. 203–207.*

Автори сподіваються, що така спільна праця має закріпитись традиційно та репрезентувати періодично доробки вчених-хімотологів задля їх оприлюднення та глобального використання.



## БІБЛІОГРАФІЯ:

- Бойченко С. В.* Рациональное использование углеводневых топлив / С. В. Бойченко. – К.: НАУ, 2001. – 216 с.
- Boichenko Sergii.* The problems efficiency of use of fuels in internal combustion engines / Sergii Boichenko, Lejda Kazimierz // Проблемы химмотологии. Теория та практика рационального використання традиційних і альтернативних паливно-мастильних матеріалів: монографія (за Матеріалами V Міжнародної науково-технічної конференції. – Київ. – НАУ, 6–10 жовтня, 2014 р.). – К.: НАУ, 2014. – С. 345–347.
- Серегин Е. П.* Современное состояние развития теории химмотологии / Е. П. Серегин // Вісник НАУ. – 2009. – № 1. – С. 89–94.
- Волгин С. Н.* Главная задача химмотологии / С. Н. Волгин, В. Л. Лашхи, Н. Н. Гришин // Вісник НАУ. – 2009. – № 1. – С. 104–107.
- Середа В. В.* Перспективы развития химмотологии. К 100-летию со дня рождения К. К. Папок / В. В. Середа, В. Л. Лашхи, Н. Н. Гришин // Мир нефтепродуктов. – 2008. – № 6. – С. 4–6.
- Евдокимов А. Ю.* Единство естественнонаучного и гуманитарного подходов в решении проблем экологии (на примере химмотологии смазочных материалов) / А. Ю. Евдокимов // Наука и технологии промышленности. – №4. – 2011. – С. 99–104.
- Современная парадигма и перспективы развития химмотологии / А. Ф. Аксенов, Е. П. Серегин, Л. С. Яновский, С. В. Бойченко // Химия и технология топлив и масел. – № 4 (578). – 2013. – С. 13–20.*
- Авиационная химмотология: топлива для авиационных двигателей. Теоретические и инженерные основы применения: учебник / Н. С. Кулик, А. Ф. Аксенов, Л. С. Яновский, С. В. Бойченко. – К.: НАУ, 2015. – 560 с.*
- Бойченко С. В.* Вступ до химмотологии палив та олив: Навчальний посібник у двох частинах / С. В. Бойченко, В. Г. Спіркін, І.Г. Фукс – Одеса: «Астропринт», 2009. – Ч. 1. – 236 с.
- Папок К.К.* Рациональное использование топлив и масел – важнейшее условие повышения долговечности двигателей / К.К. Папок // Химия и технология топлив и масел. – 1964. – № 6. – С. 1–5.
- Теоретические основы химмотологии / Под ред. А.А. Браткова. – М.: Химия, 1985. – 320 с.*
- Гришин Н.Н.* Энциклопедия химмотологии / Н.Н. Гришин, В.В. Середа. – М.: Издательство «Перо», 2016. – 960 с.
- Моисеев А.А.* Упрощенная математическая модель двигателя внутреннего сгорания / А.А. Моисеев Прикладная физика и математика. – 2016. – № 3. – С. 29–42.
- Моисеев А.А.* Критериальное моделирование в виртуализации квалификационных испытаний / А.А. Моисеев // Информационные технологии. – 2016. – Т. 22. – № 6. – С. 596–605.
- Моисеев А.А.* Критериальное моделирование в формировании квалификационных нормативов / А.А. Моисеев // Вестник национального исследовательского ядерного университета «МИФИ». – 2016. – Т. 5. – № 5. – С. 414–422.
- Балтенас Р.И.* Моторные масла / Р.И. Балтенас, А.С. Сафронов, А.И. Ушаков. – Москва-СПб.: Альфа-Лаб, 2000. – 272 с.
- Рудин М.Г.* Карманный справочник нефтепереработчика / М.Г. Рудин, В.Е. Сомов, А.С. Фомин. – Москва.: ЦНИИТЭнефтехим, 2004. – 336 с.
- Майерс Р.А.* Основные процессы нефтепереработки / Р.А. Майерс. – Санкт-Петербург.: Профессия, 2011 – 939 с.
- Полянський С.К.* Експлуатаційні матеріали для автомобілів і будівельно-дорожніх машин: підручник / С.К. Полянський, В.М. Коваленко. – К.: Либідь, 2005. – 504 с.
- Окоца А.І.* Паливно-мастильні та інші експлуатаційні матеріали: підручник / А. І. Окоца, Я. Ю. Білоконь. – К.: Український Центр духовної культури, 2004. – 448 с.
- Паливно-мастильні матеріали, технічні рідини та системи їх забезпечення, 2-ге видання, перероблене та доповнене / за ред. В. Я. Чабанного. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2008. – 500 с.*
- Лашхи В.Л.* Коллоидная химия смазочных масел [Текст] / В.Л. Лашхи, И.Г. Фукс, Г.И. Шор // Химия и технология топлив и масел. – 1991. – №7. – С. 16–20.
- Мицеллообразование, солюбилизация и микроэмульсии [Текст] / под ред. К.Л. Миттела. – М.: Мир, 1980. – 597 с.*
- Фукс Г.И.* Адсорбция и смазочная способность масел [Текст] / Г. И. Фукс // Трение и износ. – Академия наук СССР. – 1983. – Т.4. – №3. – С. 398–412.

Лысыков Е.Н. Надмолекулярные структуры жидких смазочных сред и их влияние на износ технических систем [Текст]: монография / Е.Н. Лысыков, В.Б. Косолапов, С.В. Воронин. – Харьков: ЭДЭНА, 2009. – 274 с.

Шехтер Ю.Н. Маслорастворимые поверхностно-активные вещества [Текст] / Ю.Н. Шехтер, С.Э. Крейн, Л.Н. Тетерина. – М.: Химия, 1978. – 304 с.

Яковлева А. В. Влияние качества авиационных топлив на безопасность полета и окружающую среду / А. В. Яковлева, С. В. Бойченко, О. А. Вовк // Наука та інновації (НАН України). – 2013. – № 4. – Т. 9. – № 4. – С. 25–30.

Лебедев Н. Н. Химия и технология основного органического и нефтехимического синтеза: учебник для вузов [Текст] / Н. Н. Лебедев. – М.: Химия, – 1988. – 592 с.

Shilov A. E. Activation and catalytic reactions of saturated hydrocarbons in the presence of metal complexes [Text] / A. E. Shilov, G. B. Shul'pin. – Dordrecht: «Kluwer Academic Publishers». – 2000. – 232 p.

Fokins A. A. Selective alkane transformations via radicals and radical cations: Insight into the activation step from experimental theory [Text] / A. A. Fokins, P. R. Schreiner // Chem. Rev. – 2002. – Vol. 102. – P. 1551–1593.

Арутюнов Н. С. Окислительная конверсия метана успехи химии [Текст] / Н. С. Арутюнов, Л. В. Крылов // Успехи химии. – 2005. – Т. 74. – № 12. – С. 1216–1274.

Zamilov M. F. Investigation of hydrodynamic cavitation as a means of natural crude oil and synthetic biofuel upgrading [Text] / M.F. Zamilov, S. Godin // Quantum Potential Corporation – 2012, – P. 1–21.

Физико-химические основы фото-автокаталитического процесса окисления метана в метанол [Текст] / А. Б. Целищев, О. И. Захарова, М. Г. Лория, И. И. Захаров // Вопр. химии и химтехнологии. – 2009. – № 4. – С. 43–55.

Анализ способов активации метана в «мягких» условиях [Текст] / А. Б. Целищев, И. И. Захаров, М. Г. Лория, А. А. Джагбуджи // Вопросы химии и химической технологи. – 2012. – № 2. – С. 39–44. [http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vchem\\_2012\\_2\\_9.pdf](http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Vchem_2012_2_9.pdf).

The new pathway for methanol synthesis: Generation of methyl radicals from alkanes [Text] / [I. I. Zakharov, A. A. Ijagbuji, A. V. Tselishev, et al.] // Journal of Environmental Chemical Engineering. – 2015. – № 3. – P. 405–412. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jece.2014.08.008>.

Целищев, А. Б. Анализ физико-химических методов получения гидроксильного радикала [Текст] / А. Б. Целищев, М. Г. Лория, И. И. Захаров // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – 2011. – № 65. – С. 111–124.

Ранд С. Дж. Анализ нефтепродуктов. Методы, их назначение и применение: пер. с англ. 8-го изд. [Текст] / С. Дж. Ранд и др.; под ред. Е. А. Новикова, Л. Г. Нехамкиной. – СПб.: ЦОП «Профессия», 2014. – 664 с., ил.

Данилов А. М. Применение присадок в топливах: справочник. – 3-е изд., доп. / А. М. Данилов. – СПб.: Химиздат, 2010. – 368 с.

Improving of performance properties of ethanol motor fuels through use of additives based on nanoscale carboxylic clusters / O. Haidai, V. Pilyavskiy, Y. Shelud'ko, Y. Polunkin // EUREKA: Physical Sciences and Engineering. – 2016. – № 6. – С. 3–10.

Гайдай О. О. Поліпшення експлуатаційних властивостей етанольних моторних палив мікродозами карбонових сфероїдальних нанокластерів / О. О. Гайдай, В. С. Пилявський, С. В. Полункін // Наукоємні технології. – 2016. – №1. – С. 3–8.

Казакова Л.П. Оптимальный химический состав базовых моторных масел / Л.П. Казакова // Проблема совершенствования технологии производства и улучшения качества нефтяных масел. Сборник трудов. – М.: Нефть и газ, 1996. – 198 с.

Кузнєцова О.Я. Дослідження старіння мінеральних гідравлічних олів. І. Фракційний склад / О.Я. Кузнєцова, Ж.М. Нетреба // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – №3/4(23). – С. 64–68.

Миронов В. А. Спектроскопия в органической химии. Сборник задач: учеб. пособие для вузов / В. А. Миронов, С. А. Янковский. – М.: Химия, 1985. – 232 с.

Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. Справочные материалы / Б.Н. Тарасевич. – М.: Химия, 2012. – 55 с.

BP Statistical Review of World Energy [Electronic resource]. – June 2016 – Access mode: <https://www.bp.com/content/dam/bp/pdf/energy-economics/statistical-review-2016/bp-statistical-review-of-world-energy-2016-full-report.pdf>. – Title from the screen.

- Handbook of Biofuels Production. Processes and Technologies*, 2nd Edition / Eds. R. Luque, C.S.K. Lin, K. Wilson et al. – Cambridge, Woodhead Publishing, 2016. – 748 p.
- Brunschwig C.* Use of bioethanol for biodiesel production / C. Brunschwig, W. Moussavou, J. Blin // *Prog. Energy Combust. Sci.* – 2012. – V. 38. – P. 283–301.
48. *Najafpour G. D.* *Biochemical Engineering and Biotechnology*, 2nd Edition / G.D. Najafpour. – Amsterdam: Elsevier, 2015. – 652 p.
- Демидов И.Н.* О перспективах получения биодизельного горючего в Украине / И. Н. Демидов, М. Ш. Садик // *Вісник НТУ «ХПІ»*. – 2012. – № 39. – С. 108–116.
- Сайдахмедов А.В.* Использование биокомпонентов для расширения ресурсов и улучшения качества дизельного топлива : автореф. дисс. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.17.07 «Химическая технология топлива и высокоэнергетических веществ» / Сайдахмедов Ахрорбек Игамбердиевич – Москва, 2012. – 24 с.
- Lang X.* Preparation and characterization of bio-diesels from various bio-oils / X. Lang, A.K. Dalai, N.N. Bakhshi // *Biores. Tech.* – 2001. – V. 80. – P. 53–62.
- Shwab A.W.* Preparation and properties of diesel fuels from vegetable oils / A.W. Schwab, M.O. Bagby, B. Freedman // *Fuel.* – 1987. – V. 66. – P. 1372–1378.
- El-Boulifi N.* Fatty acid alkyl esters and monounsaturated alcohols production from jojoba oil using short-chain alcohols for biorefinery concepts / [N. El-Boulifi, M. Sanhez, M. Martinez et al.]. // *Ind. Crops Prod.* – 2015. – V. 69. – P. 244–250.
- Issariyakul T.* Evaluating esters Derived from Mustard Oil (*Sinapis alba*) as Potential Diesel Additives / T. Issariyakul, A.K. Dalai, P. Desai // *J. Am. Oil Chem. Soc.* – 2011. – V. 88. – P. 391–402.
- Сучасні проблеми державної політики у сфері видобутку нетрадиційних вуглеводнів Україні:* зб. наук. пр. / [за ред. Г. Л. Рябцева і С. В. Сапегіна]. – К.: Псіхея, 2013. – 240 с.
56. *Братичак М. М.* Моторні палива з альтернативної сировини: навчальний посібник / М. М. Братичак, Л. В. Баб'як. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка». – 2017. – 143 с.
- Капустин В.М.* Нефтяные и альтернативные топлива с присадками и добавками / В.М. Капустин. – М.: Колос С, 2008. – 232 с.
- Емельянов В.Е.* Альтернативные моторные топлива. Производство, применение, перспективы / В.Е. Емельянов, И.Ф. Крылов // *Мир нефтепродуктов*. – 2005. – №5. – С. 46–48.
59. *Коднир Д.С.* Контактная гидродинамика смазки деталей машин / Д.С. Коднир.: М., «Машиностроение», 1976. – 304 с.
- Дмитриченко М.Ф.* Мастильна дія олив в умовах еластогідродинамічного мащення / М.Ф. Дмитриченко, О.А. Міланенко. – К.: «Інформ-автодор», 2009. – 183 с.
- Райко М.В.* Реологические характеристики зоны контакта и структура поверхностей трения / М.В. Райко, В.В. Запорожец и др. // *Трение и износ*. – 1983. – Т. IV. – № 6. – С. 1008–1015.
- Гаркунов Д.Н.* Триботехника: Учебник для студентов втузов. 2-е изд., перераб. и доп. / Д.Н. Гаркунов. – М.: Машиностроение, 1989. – 328 с.
- Крагельский И.В.* Основы расчетов на трение и износ / И.В. Крагельский, М.Н. Добычин, В.С. Комбалов. – М.: Машиностроение. – 1977. – 526 с.
- Стельмах О.У.* Фізико-технологічні засади управління динамічними процесами в змащувальних шарах для підвищення працездатності трибосистем: дис. докт. техн. наук : 05.02.04 / Стельмах Олександр Устимович – Хмельницький, 2015. – 440 с.
- Електромагнітна складова утворення феромагнітних забруднень* / О. Ф. Аксьонов, О. У. Стельмах, Р. Є. Костюнік, О. В. Кушев // *Проблеми тертя та зношування: науково-технічний збірник*. – К.: НАУ, 2006. – Вип. 46. – С. 91–102.
- Аксьонов О. Ф.* Підвищення функціональної якості підшипників кочення шляхом електромагнітного очищення / О. Ф. Аксьонов, Р. Є. Костюнік, О. В. Кушев // *Проблеми тертя та зношування: науково-технічний збірник*. – К.: НАУ, 2008. – Вип. 49. – Т. 1. – С. 9–13.
67. *Белянин П.Н.* Промышленная чистота машин / П.Н. Белянин, В.М. Данилов. – М.: Машиностроение, 1982. – 224 с.
68. *Виппер А.Б.* Зарубежные масла и присадки / А.Б. Виппер, А.В. Виленкин, Д.А. Гейснер. – М.: Химия, 1981. – 192 с.
69. *Большаков Г.Ф.* Восстановление и контроль качества нефтепродуктов / Г.Ф. Большаков. – Л.: «Недра», 1974. – 320 с.

*Апроксимаційні залежності процесу регенерації відпрацьованої моторної оливи / О.Г. Чайка, І.М. Петрушка, Ю.О. Малик, Ю.А. Чайка / Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2012. – № 726. – С. 265–269.*

*Евдокимов А.Ю.* Смазочные материалы и проблемы экологии / А.Ю. Евдокимов, И.Г. Фукс, Т.Н. Шабалина, Л.Н. Багдасаров. – М.: ГУП Издательство «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2000. – 424 с.

*Овчаренко Ф.Д.* Коллоидно-химические основы очистки нефтепродуктов / Ф.Д. Овчаренко. – В кн.: Физико-химическая механика и лиофильность дисперсных систем. – К.: Наук.думка, 1983. – Вып. 15. – С. 38–46.

*Lejda K.* Wodór w aplikacjach do środków napędu w transporcie drogowym / K. Lejda. – Rzeszów: Wyd. KORAW, 2013.

*Petroleum Resins for Bitumens Modification / [O. Grynshyn, M. Bratychak, V. Krynytskyi et al.] // Chemistry & Chemical Technology. – 2008. – Vol. 2. – № 2. – P. 47–53.*

*Bitumen Production via Tar Oxidation in the Presence of Petroleum Resin with Fluorine-Containing Groups / [M. Bratychak, T. Chervinsky, O. Astakhova et al.] // Chemistry & Chemical Technology. – 2010. – Vol.4. – № 4. – P. 325–328.*

*Functional Petroleum Resins Based on Pyrolysis By-Products and their Application for Bitumen Modification / [M. Bratychak, O. Grynshyn, O. Astakhova et al.] // Ecological Chemistry and Engineering. – 2010. – Vol. 17. – № 3. – P. 309–315.*

*Гринишин О.Б.* Окиснені бітуми та бітум-полімерні суміші на основі залишку Орховицької нафти / О.Б. Гринишин, Мухамед Шакир Аль-Амері, М.М. Братичак // Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. – 2011. – Вип. 42. – С. 154–158.

*Братичак М.М.* Новолачний фенолоформальдегідний олігомер, модифікований гліцидилметакрилатом / М.М. Братичак, Г.М. Страп, О.Т. Астахова // Доповіді НАН України. – 2013. – № 4. – С. 104–109.

*Modified Phenol-Formaldehyde Resins and their Application in Bitumen-Polymeric Mixtures / [G. Strap, O. Astakhova, O. Lazorko et al.] // Chemistry & Chemical Technology. – 2013. – Vol. 7. – № 3. – P. 279–287.*

*Братичак М.М.* Синтез та властивості функційних похідних епоксидних смол / М.М. Братичак, О.І. Яцишин, В.В. Кочубей // Український хімічний журнал. – 2012. – Т. 79. – № 11. – С. 20–28.

*Epoxy Resins Chemical Modification by Dibasic Acids / [B. Bashta, O. Astakhova, O. Shyshchak et al.] // Chemistry and Chemical Technology. – 2014. – Vol. 8. – № 3. – P. 309–316.*

*Zhu J.* Polymer Modification of Bitumen: Advances and Challenges / J. Zhu, B. Birgisson, N. Kringos // European Polymer Journal. – 2014. – Vol. 54. – P. 18–38.

*A review of the Fundamentals of Polymer-Modified Asphalts: Asphalt/Polymer Interactions and Principles of Compatibility / [G. Polacco, S. Filippi, F. Merusi et al.] // Advances in Colloid and Interface Science. – 2015. – V. 224. – P. 72–112.*

*Олігомери з гідроксильними групами на основі епоксидної смоли ЕД-20 / [М. М. Братичак, О. П. Івашків, О. Т. Астахова та ін.] // Український хімічний журнал. – 2015. – Т. 81. – № 3. – С. 59–63.*

*Золотарев В.А.* Бітуми модифіковані полімерами і асфальтобетони [Текст] / В.А. Золотарев // Дорожня техніка. – 2009. – № 1. – С. 16–23.

*Капустин В.М.* Производство нефтяных смазочных материалов / В.М. Капустин, Б.П. Тонконогов, И.Т. Фукс // Технология переработки нефти. Часть третья. – М.: Химия. – 2014. – 328 с.

*Белов П. С.* Применение и получение алкилнафталинов / П.С. Белов, Е.Н. Григорьева, Н.Н. Комарова. – М.: ЦНИИТЭнефтехим. – 1984. – 46 с.

*Данилов А.М.* Пластичные смазки на полимочевинах / А.М. Данилов // Нефтеперерабатывающая нефтехимическая промышленность. – 1995. – № 6. – 65 с.

*Федосеева Д.Д.* Исследование влияния состава полимерного загустителя на свойства полимочевинных смазок / Д.Д. Федосеева, А.Ю. Килякова, Б.П. Тонконогов // Технологии нефти и газа – 2016. – №3. – С. 19–25.

*Овчаров С.Н.* Оптимизация состава нефтегазоконденсатных смесей для первичной переработки [Текст] / С.Н. Овчаров, Г.П. Пикалов, С.Г. Пикалов // Химия и технология топлив и масел. – 2005. – № 1. – С. 37–39.

*Овчаров С.Н.* Рациональное использование потенциала сырья при совместной переработке газового конденсата и нефти [Текст] / С.Н. Овчаров, Г.П. Пикалов, С.Г. Пикалов // Международная научно-практическая конференции «Проблемы эксплуатации и капитального ремонта скважин на

месторождениях и ПХГ»: сборник тезисов докладов. – Ставрополь: ОАО «СевКавНИПИГаз», 2004. – С. 132–134.

Халикова Д. А. Метод факторного анализа в исследовании нефтяных дисперсных систем / Д. А. Халикова, И. Н. Дияров // Физико-химический анализ свойств многокомпонентных систем. – 2008. – №6. – С. 10–15.

Розовский А.Я. Теоретические основы процесса синтеза метанола / А.Я. Розовский, Г.И. Лин. – М.: Химия, 1990. – 272 с.

Рудаков Е.С. Реакции алканов с окислителями, металло-комплексами и радикалами в растворах / Е.С. Рудаков. – К.: Наукова думка, 1985. – 248 с.

Арутюнов В.С. Окислительная конверсия метана / В.С. Арутюнов, О.В. Крылов // Успехи химии. – 2005. – Т. 74. – № 12. – С.1216–1245.

Безпальчук О. В. Методично-організаційні засади забезпечення біологічної стабільності авіаційних палив / О. В. Безпальчук, І. О. Шкільнюк, С. В. Бойченко // Наукоємні технології. – 2012. – № 4 (15). – С. 55–61. DOI: 10.18372/2310-5461.16.5286.

Моторное топливо. Кавитационный способ повышения качества / [О.Б. Целищев, И.И. Захаров, М.Г. Лория и др.]. // Химическая промышленность Украины. – 2014. – № 2. – С. 39–42.

98. *Emulsion flooding for enhanced oil recovery: Filtration model and numerical simulation* / [I. I. Demikhova, N. V. Likhanova, J. R. Perez et al.] // *Journal of Petroleum Science and Engineering*. – 2016. – №143. – P. 235–244.

Dullien F. A. Porous Media Fluid Transport and Pore Structure / F. A. L. Dullien. – San Diego, California, 1992. – 574 p.

Heinemann Z. E. Fluid flow in Porous media / Z. E. Heinemann. – Leoben, 2005. – 204 p.

*Stochastic cost optimization of DNAPL remediation – Method description and sensitivity study* / [J. Parker, U. Kim, P. Kitanidis et al.]. // *Environ. Model. Softw.* – 2012. – №38. – P. 74–88.

Piscopo A. N. An iterative approach to multi-objective engineering design: Optimization of engineered injection and extraction for enhanced groundwater remediation / A. N. Piscopo, J. R. Kasprzyk, R. M. Neupauer // *Environ. Model. Softw.* – 2015. – № 69. – P. 253–261.

Зеленский О.И. Современные направления использования неспекающих добавок в производстве кокса / О.И. Зеленский // Углекислотный журнал. – 2013. – № 3. – С. 21–28.

Зеленский О.И. Корундовые микропорошки — неспекающиеся присадки в угольные шихты / О.И. Зеленский // Збірник наукових праць ВАТ «УкрНДІВогнетривів ім. А.С. Бережного». – 2012. – № 112. – С. 278–281.

Topilnytsky P. Corrosion Protection of Oil Production and Refinery Equipment [Текст] / P. Topilnytsky // *Chemistry and chemical technology*. – 2007. – Vol. 1. – № 1. – P. 45–54.

Топільницький П.І. Лабораторні та промислові дослідження вітчизняного деемульгатора ПМ [Текст] / П.І. Топільницький, В.Я. Максимик // Нафт. і газова пром-сть. – 1998. – № 3. – С. 47–49.

Дослідження фізико-хімічних властивостей нейоногенних деемульгаторів на основі етилену та пропілену [Текст] / [О.І. Лазорко, С.В. Бойченко, П.І. Топільницький та ін.] // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2013. – № 6/6. – С. 47–51.

Деемульгуюча здатність блок-кополімерів на основі оксидів етилену та пропілену [Текст] / [С.В. Бойченко, О.І. Лазорко, Ю.В. Голич та ін.]. // Східно-європейський журнал передових технологій. – 2014. – № 1/6. – С. 27–32.

*Physico-Chemical Properties and Efficiency of Demulsifiers based on Block Copolymers of Ethylene and Propylene Oxides* [Текст] / Petro Topilnytsky, Viktoria Romanchuk, Sergiy Boichenko, Yuri Golych // *Chemistry and chemical technology*. – 2007. – Vol. 1. – № 1. – P. 45–54.

Гун Р.Б. Нефтяные битумы / Р.Б. Гун. – М.: Химия, 1973. – 432 с.

Високоякісні бітуми для будівництва українських доріг: Монографія / [С.В. Бойченко, М.М. Брагичак, А.О. Белятинський та ін.]; за загальною ред. професора С.В. Бойченка. – К.: ТОВ «НВФ «Славутич-Дельфін», 2016. – 194с.

Методи одержання бітумів з залишків переробки важких нафт / Гринишин О.Б., Хлібишин Ю.Я., Нагурський А.О., Нагурський О.А. // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – №5/4 (25). – С. 45–48.

Дослідження модифікації дорожніх бітумів гумовою крихтою / Ю.Я. Хлібишин., І.Я. Почапська., О.Б. Гринишин., А.О. Нагурський // Вісник Національного університету «Львівська політехніка». – 2014. – №787 «Хімія, технологія речовин та їх застосування». – С. 144–148.

Безпальчук О. В. Дослідження механізму біодеструкції авіаційних палив / О. В. Безпальчук, С. В. Бойченко, І. О. Шкільнюк // Наукоємні технології. – 2013. – №1 (17). – С. 44–49.

**DOI: 10.18372/2310-5461.17.4748.**

*Основы трибологии (трение, износ, смазка): уч. для технических вузов / [А.В. Чичинадзе, Э.Д. Браун, Н.А. Буше и др.]; под общ. ред. А.В. Чичинадзе. – изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 2001. – 664 с.*

*Аэрозольный катализ. Возможности, проблемы, решения / М. А. Гликин, Д. А. Кутакова, Е. М. Принь, Е. В. Фурсов // Химическая промышленность. – 1998. – №3. – С. 149–156.*

*Исследование аэрозольного нанокатализа в виброожоженном слое / И.М. Гликина, В.С. Новицкий, Н.Ф. Тюпало, М.А. Гликин // Хімічна промисловість України. – 2003. – № 3 – С 24–29.*

*Гликин М. А. Аэрозольный катализ / М. А. Гликин // Теоретические основы химической технологии. – 1996. – Т. 30. – № 4. – С. 430–434.*

*Проскураков В. А. Очистка сточных вод в химической промышленности / В. А. Проскураков, Л. И. Шмидт. – Л.: Химия, 1977. – 464 с.*

*Лазорин С. Н. Обезвреживание отходов коксохимических заводов / С. Н. Лазорин, Г. И. Папков, В. И. Литвиненко. – М.: Металургиздат, 1977. – 238с.*

*Харламович Г. Д. Фенолы / Г. Д. Харламович, Ю. Чуркин. – М.: Химия, 1974. – 376 с.*

*Лурье Ю. Ю. Химический анализ производственных сточных вод. Ю. Ю. Лурье, А. И. Рыбникова. – М.: Химия, 1974. – 336 с.*

*Очистка сточных вод. Биологические и химические процессы / М. Хенце, П. Армоэс, Й. Ля-Кур-Янсен, Э. Арван; пер. с англ. Т.П. Мосоловой; под ред. С.В. Калюжного. – М.: Мир, 2004. – 480 с.*

*Зайченко С.В. Моделирование избирательного дробления по трению / С.В. Зайченко, А.Н. Соколовский // Научный вестник московского государственного горного университета. – 2013. – Вып. 8. – С. 88–90.*

*Зайченко С.В. Обогащение горной массы по прочности / С.В. Зайченко, А.С. Коцур // Научный вестник московского государственного горного университета. – 2013. – Вып. 9. – С. 53–56.*

*Смирнов В.О. Переробка і якість корисних копалин / В.О. Смирнов, В.С. Білецький. – Донецьк: Східний видавничий дім, 2005. – 324 с.*

128. *Зайченко С.В. Наукові основи формування геотехнічних властивостей приконтурного шару обробки тунелів роликівим ущільненням : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. : 05.15.09 «Геотехнічна і гірнична механіка» / Зайченко Стефан Володимирович – Київ, 2014. – 36 с.*

*Шевчук С.П. Аналитическое исследование процесса мехатронной вибрационной системы резания горной породы плоскими резами шнекового бура / С.П. Шевчук, С.В. Зайченко // Науковий вісник НГУ – 2016. – Вып. 3. – С. 29–34.*

*Антонов А.В. Разработка биокоса для замены каменноугольного кокса в доменном производстве / А.В. Антонов // Новости черной металлургии за рубежом. – 2010. – № 1. – С. 12–13.*

*Extensive review of the opportunities to use biomass-based fuels in iron and steelmaking processes / H. Suorajarvi, A. Kemppainen, J. Naapakangas, T. Fabritius // Journal of Cleaner Production. – V. 148. – 2017. – P. 709–734.*

*Пинчук С. И. Экологические проблемы и ресурсосбережение при производстве и потреблении каменноугольного кокса / С.И. Пинчук, А.Я. Лазаренко. – Днепропетровск: Системные технологии, 2003. – 107 с.*

*Шашкин П.И. Регенерация отработанных нефтяных масел / П.И. Шашкин, И.В. Брай. – М.: Химия, 1970. – 303 с.*

*Р. В. Садовничий, Н. Н. Рожкова Минеральные ассоциации высокоуглеродистых шунгитовых пород мажковской залежи (онежская структура) / Садовничий Р. В., Н.Н. Рожкова // Труды Карельского научного центра РАН. – 2014. – №1. – С. 148–157.*

*Lubricant additives chemistry and application. Second edition. / Edit by L. Rudnick. – New York: CRC Press.– 2010. – 777 p.*

*Johnson D.W. Phosphate esters, thiophosphate esters and metal thiophosphates as lubricant additives / D.W. Johnson, J.E. Hils // Lubricants. – 2013. – Vol.1. – P. 132–148.*

*Nosovsky M. Green tribology. Biomimetics, energy conservation and sustainability / M. Nosovsky, B. Bhushan // Heidelberg: Springer. – 2012. – 632 p.*

*Мастильні матеріали на основі рослинних олій для контактних поверхонь твердих тіл під час тертя та зношування (огляд) / [О.В.Кузишин, Г.О. Сіренко, О.Г. Сіренко та ін.]. // Фізика і хімія твердого тіла. – 2009. – Т.10. – № 4. – С. 905–918.*

*Тютюнников Б.Н.* Химия жиров / Б.Н. Тютюнников. – М.: Пищевая технология. – 1974. – 448 с.

*Bodachivskiy Yu.S.* Synthesis and structure of sulfur-containing antifricition additives for lubricants / Yu.S. Bodachivskiy, G.S. Pop // Катализ и нефтехимия. – 2014. – №23. – Р. 15–20.

*Поп Г.С.* Мастильні матеріали з рослинних олій / Г.С. Поп // Хімічна промисловість України. – 2006. – №5. – С. 22–29.

*Passman F. J.* Fuel and Fuel System Microbiology: Fundamentals, Diagnosis and Contamination Control: ASTM Manual / F.J. Passman. – 2003. – 47 p.

*Композиційні мастильні матеріали на основі тіоамідів та їх координаційних сполук.* Синтез. Дослідження. Використання / за заг. ред. А. П. Ранського. – Вінниця, ВНТУ, 2012. – 327 с.

*Производство* индустриальных масел для промышленного оборудования / [К. М. Бадыштова, П. Н. Узункоян, Э. Б. Иванкина и др.]. – М.: ЦНИИТЭнефтехим, 1990. – 101 с.

*Бондаренко К. В.* Біосинтетичні матеріали із технічних олій в контексті екобезпечних технологій одержання і використання / К. В. Бондаренко, С. В. Бойченко, В. І. Кириченко // Збірник наукових праць ВНАУ. – 2011. – № 7. – С. 44–50.

*Тхор І. І.* Реагентна переробка та раціональне використання екологічно небезпечних сірковмісних пестицидних препаратів: дис. канд. техн. наук: 21.06.01 / Тхор Ірина Іванівна – Вінниця, 2008. – 212 с.

*Петрук Р. В.* Комплексний метод переробки фосфоровмісних пестицидів до екологічно безпечних продуктів та рекультивациі забруднення ґрунтів: дис. канд. техн. наук: 21.06.01 / Петрук Роман Васильович – Вінниця, 2013. – 176 с.

*Гордієнко О. А.* Технології переробки хлорвмісних пестицидних препаратів з одержанням присадок до олів: дис. канд. техн. наук: 05.17.07 / Гордієнко Ольга Анатоліївна – Вінниця, 2013. – 201 с.

*Тітов Т. С.* Підвищення екологічної безпеки коксохімічних виробництв хімічним вилученням сірковуглецю із бензолної фракції: дис. канд. хім. наук: 21.06.01 / Тітов Тарас Сергійович – Вінниця, 2016. – 188 с.

*Economic efficiency and anthropogenic risks of regeneration of industrial oils* // [A. P. Ranskiy, O. A. Gordienko, T. S. Titov et al.] // Proceedings of the National Aviation University. – 2013. – Vol. 57. – № 4. – P. 128–134.

*Панасюк А. Д.* Исследование контактного взаимодействия керамики SiC-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> с никелем, алюминием и никель-алюминиевыми сплавами / А. Д. Панасюк, А. П. Уманский, А. Г. Довгаль // Адгезия расплавов и пайка материалов. – 2010 – № 43. – С. 55–63.

*Структура* и закономерности изнашивания покрытий из композиционных металлокерамических материалов системы (SiC–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)–(Ni–Al) / А. П. Уманский, А. Г. Довгаль, В. М. Кисель, Ю. И. Евдокименко // Сверхтвердые материалы, – 2012. – № 2. – С. 49–57.

*Довгаль А. Г.* Влияние времени размола на структуру и износостойкость керамических материалов системы SiC–Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в паре с керамическим контртелом / А. Г. Довгаль // Проблеми трибології. – 2012. – №1. – С. 20–26.

*Особенности* свойств наноструктурированных карбидокремниевых пленок и покрытий, полученных новым способом / [К. Н. Филонов, В. Н. Курлов, Н. В. Классен и др.] // Известия РАН. – Серия физическая. – 2009. – Т. 73. – № 10. – С. 1457–1459.

*Довгаль А.Г.* Модифікація методу нанесення детонаційних композиційних покриттів магнітним полем / А.Г. Довгаль, Л.Б. Приймак, І.Л. Трофімов // Східно-Європейський журнал передових технологій (Матеріалознавство). – 2016. – Вип. №6/5(84). – С. 25–29.

*Matveevskij R. M.* Ollosliohe Verbindungen von Elementen der 4 Hauptgruppe des Periodensystems als er Zusatze fur Ole / R. M. Matveevskij, I. A. Bujanovskij, V.V. Baginskij // Sohmierungstechnik. – 1985. – № 5. – P. 132–135.

*Лисафін В.П.* Оценка валовых выбросов углеводородов из резервуаров нефтеперекачивающих станций на основании статистических данных / В.П. Лисафін, Д.В. Лисафін // Труды У Междунар. учебно-науч. конф. «Трубопроводный транспорт». – Уфа. – 2009. – С. 87–88.

*Розробка* нормативів питомих викидів вуглеводнів з резервуарів в атмосферу / В.П. Лисафін, М.Д. Середюк, Д.В. Лисафін, В.В. Сухий // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2007. – №3(24). – С.113–115.

*Лісафін В.П.* Дослідження параметрів газоповітряних сумішей нафт в експериментальній установці / В.П. Лісафін, Д.В. Лісафін // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – №1(18). – С.67–69.

*Ищук Ю.Л.* Состав, структура и свойства пластичных смазок / Ю.Л. Ищук – К.: Наукова думка, 1996. – 513 с.

*Наноконтрополимеры* диоксидов кремния, титана, циркония и церия – загустители пластичных смазок [Л.И. Борисенко, Г.Г. Мнищенко, К.С. Кулик та ін.] // Химия, физика и технология поверхности. – 2010. – Т. 1. – №1. – С. 111-116.

*Композиции* на основе полидиэтилсилоксана и модифицированных кремнеземов: улучшение смазочных характеристик / [Л.И. Борисенко, С.А. Радзиевская, Д.А. Щербаков, и др.] // Поверхность. – 2015. – Вып.7 (22). – С. 137–146.

*Nanotechnologies in Lubricating Materials. Ideas and Prospects* / E. Kobylyansky, Yu. Ishchuk, M. Altshuler, O. Makedonsky // Eurogrease. – 2004. – № 4. – P. 5–13.

*Кобильянский Е.В.* Синтез і властивості надлужних сульфонатної, алкілсаліцилатної і фенолятної систем та комплексні мастила на їхній основі: дис. докт. хім. наук: 02.00.13 / Кобильянский Євгеній Васильович – К., 2011. – 322 с.

*Louisfert J.* Differentiation of Calcium Carbonates by Infrared Absorption Spectra / J. Louisfert, T. Pobeguín. // Comptes Rendus Chimie. – 1952. – Vol. 253. – P. 287–289.

*Kobylyansky E.V.* Resisting Oxidation / E.V. Kobylyansky, L.V. Zhelyezny, Yu.L. Ishchuk // Lubes'n'Greases. – 2005. – Vol. 11. – № 9. – P. 14–18.

*Кобильянский Е.В.* Антиокислительная стабильность комплексных сверхщелочных фенолятных смазок / Е.В. Кобильянский, Ю.Л. Ищук, Л.В. Железный // Мир нефтепродуктов. – 2007. – № 4. – С. 26–

*Эммануэль Н.М.* Цепные реакции окисления углеводородов в жидкой фазе. Н.М. Эммануэль, Е.Т. Денисов, З.К. Майзус. – М.: Наука, 1965. – 375 с.

*Resisting Corrosion* / [O.O. Papeykin, E.V. Kobylyansky, L.V. Zhelyezny et al.] // Lubes'n'Greases. – 2006. – Vol. 12. – № 11. – P. 44–50.

*Кобильянский Е.В.* Защитные свойства комплексных сверхщелочных фенолятных смазок / Е.В. Кобильянский, Ю.Л. Ищук // Материалы, технологии, инструменты. – 2007. – Т. 12. – С. 31–35.

*Ishchuk Yu.L.* Dinacorrotest – A Quantitative Rapid Method to Evaluate Protective Properties of Greases Under Dynamic Conditions / Yu.L. Ishchuk, A.R. Kravchenko // NLGI Spokesman. – 1992. – Vol. 56. – № 9. – P. 12.358–16.362.

*Разработка* технологии и оценка эффективности производства антитурбулентной присадки суспензионного типа / К.Б. Коновалов, Г.В. Несын, Н.М. Полякова, В.С. Станкевич // Вестник науки Сибири. – 2011. – № 1(1). – С. 104–112.

*Порайко И.Н.* Снижение давления в промысловом нефтепроводе с помощью полиакриламида / И.Н. Порайко, А.И. Арутюнов // Нефтепромысловое дело. – 1978. – № 6. – С. 46–48.

*Белоусов Ю.П.* Противотурбулентные присадки для углеводородных жидкостей / Ю.П. Белоусов. – Новосибирск: Наука, 1986. – 145 с.

*Хуссейн М.Н.А.* Применение противотурбулентных присадок для улучшения гидравлических характеристик нефтепроводов / М.Н.А. Хуссейн, А.А. Коршак // XII Междунар. научн.-техн. конф. «Строительство. Коммунальное хозяйство. Насосы. Трубопроводы-2008»: материалы конференции. – Уфа: УГНТУ, 2008. – Т. II. – С. 71–72.

*Кацюевич Е.В.* Противотурбулентные полимерные добавки в трубопроводном транспорте нефтепродуктов / Е.В. Кацюевич, Ю.П. Белоусов, Н.М. Гостев // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. – 1988. – № 6. – С. 9–12.

*Лабораторные* исследования и промышленные испытания полимерной добавки для снижения энергетических затрат на магистральном нефтепроводе / В.Н. Манжай, А.В. Илюшников, М.М. Гареев, Г.В. Несын // Инженерно-физический журнал. – 1993. – Т. 65. – № 5. – С. 515–517.

*Ерошкина И.И.* Повышение пропускной способности магистральных нефтепродуктопроводов на основе применения противотурбулентных присадок : дисс. канд. техн. наук : 25.00.19 / Ерошкина Ирина Игоревна. – М., 2003. – 146 с.

*О коэффициенте* гидравлического сопротивления магистральных нефтепродуктопроводов при перекачке дизельного топлива, обработанного противотурбулентной присадкой / [А.Д. Прохоров, С.Н. Челинцев, А.В. Черников и др.] // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 1999. – № 12. – С. 4–6.



*Опыт* применения противотурбулентной присадки на нефтепродуктопроводах ОАО «АК «Транснефтепродукт» / [С.П. Макаров, С.М. Фокин и др.]. // Транспорт и хранение нефтепродуктов. – 2000. – № 4. – С. 14–17.

Walsh M. Theory of drag reduction in dilute high polymer flows / M. Walsh // Trans. Soc. Rheol. – 1978. – V. 27. – P. 134–137.

Хуссейн М.Н.А. Улучшение параметров работы нефтепроводов путем применения противотурбулентных присадок : дисс. канд. техн. наук : 25.00.19 / Мохаммад Насер Хуссейн Аббас. – Уфа, 2009. – 121 с.

Мілоцький В.В. Спосіб підвищення октанового числа газоконденсатних і нафтових прямогонних бензин / В.В. Мілоцький, С.Н. Ганжа // Вісник Східноукраїнського Національного університету ім. В. Даля. – №14 (203). – 2016. – С. 85–88.

Азаренкова А. О. Перспективи та недоліки використання біоетанольної добавки до палив моторних сумішевих / Аксьонов О. Ф., Бойченко С. В., Азаренкова А. О. // Вісник Національного транспортного університету. – 2014. – Вип. 30. – С. 3–8.

Біохімічний метод отримання етилового спирту / С. М. Гарасимчук, А. О. Азаренкова, М. С. Бойченко, М. Н. Барановський // Наукоємні технології. – 2014. – Т. 21. – №1. – С. 18–21.

Кардашев Г.А. Физические методы интенсификации процессов химической технологии / Г.А. Кардашев. – М.: Химия, 1990. – 208 с.

187. Федоткин И.М. Кавитация, кавитационная техника и технология, их использование в промышленности. Ч. II. / И.М. Федоткин, И.С. Гулый. – К.: ОКО, 2000. – 898 с.

188. Ивченко В.М. Кавитационная технология / В.М. Ивченко, В.А. Кулагин, А.Ф. Немчин. – Красноярск: Изд-во Красно яр. Ун-та, 1990. – 200с.

Немчин А.Ф. Новые технологические эффекты тепломассопереноса при использовании кавитации / А.Ф. Немчин // Пром. теплотехника. – 1997. – Т. 19. – № 6. – С. 39–47.

Витенько Т.Н. Механизм активизирующего действия гидродинамической кавитации на воду / Т.Н. Витенько, Я.М. Гумницкий // Химия и технология воды. – 2007. – Т. 29. – № 5. – С. 422–432.

Кнэпп Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хэммит. – М.: Мир, 1974. – 668 с.

Балабышко А.М. Гидромеханическое диспергирование / А.М. Балабышко, А.И. Зимин, В.П. Ружицкий. – М.: Наука, 1998. – 330 с.

Витенько, Т.Н. Массообмен при растворении твердых тел с использованием гидродинамических кавитационных устройств / Т.Н. Витенько, Я.М. Гумницкий // Теор. основы хим. технологии. – 2006. – Т. 40. – № 6. – С. 639–644.

Шамб У. Перекись водорода / У. Шамб, Ч. Сеттерфилд, Р. Вентворс. – М.: Изд. Иностранной литературы, 1958. – 580 с.

Худолій М.М. Оцінка невизначеності вимірювання динамічної в'язкості олив ротаційним віскозиметром / М.М. Худолій, А.М. Чуб // Вісник Національного транспортного університету. Ч. 1: Серія «Технічні науки»: науково-технічний збірник в 2 ч. – К.: Вид-во НТУ, 2016. – Вип. 32. – С. 518–

*The comparative characteristic of ecological risks in the use of traditional and alternative fuels* / [A. Iakovlieva, S. Boichenko, O. Vovk et al.]. // Monography “Systems and means of motor transport”. Selected problems. Series: Transport. – Rzeszow, 2016. – №7. – P.121–128.

Iakovlieva A.V. Overview of innovative technologies for aviation fuels production A.V. Iakovlieva, S.V. Boichenko, O. O. Vovk // Journal of Chemistry and chemical technology. – 2013. – Vol. 7. – № 3. – P. 305–

198. *Авиационный турбореактивный двигатель РУ-19А-300. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию* // ЗАО «АНТЦ «Технолог». – 2001. – 234 с.

199. *Physical-chemical properties of jet fuels blends with components derived from rapeseed oil* / [A. Iakovlieva, O. Vovk, S. Boichenko et al.]. // Journal of Chemistry & Chemical Technology. – 2016. – Vol. 10. – №. 4. – P. 485–492. DOI:10.23939/chcht10.04.485.

*Сравнительные характеристики физико-химических свойств топлив для воздушно-реактивных двигателей разных стран-производителей* / А.В. Яковлева, С.В. Бойченко, И.А. Шкильнюк, О.Г. Ключник // Энерготехнологии и ресурсосбережение. – 2013. – № 4. – С. 15–22.

Шейпак А.А. Гидравлика и гидропневмопривод. Основы механики жидкости и газа / А.А. Шейпак. – М.: МГИУ, 2003. – 192 с.

Фукс И. Г. Основы химмотологии. Химмотология в нефтегазовом деле. / И. Г. Фукс, В. Г. Спиркин, Т. Н. Шабалина. – Москва: Нефть и газ, 2004. – 280 с.

- Хаттон Р.Е.* Жидкости для гидравлических систем / Р.Е. Хаттон; Пер. с англ.; Под ред. В.В. Вайнштока. – М.: Химия, 1965. – 364 с.
204. *Опыт* внедрения пожаровзрывобезопасной гидравлической жидкости / [В. А. Юдин, В. Н. Крысин, Е. Ф. Лейчик и др.]. // *Авиационная промышленность*. – 1982. – №2. – С. 24–27.
- ICAO Doc 9184. Airport Planning Manual. Land Use and Environment Control. – Third Edition. – Part 2. – 2002. – 124 p.
- Руководство* по контролю источников загрязнения атмосферы ОНД-90. – Введен 1991-01-01. – Санкт-Петербург, 1992. – 135 с.
- BAA Corporate Responsibility Report 2008. – BAA Limited, 2007. – 38 p.
- Aircraft emission measurements by remote sensing methodologies at airports* / K. Schäfer, C. Jahn, P. Sturm, B. Lechner // *Atmospheric Environment Journal*. – 2003. – Vol. 37. – P. 5261–5271.
- Herndon S.* NO and NO<sub>2</sub> emission ratios measured from in-use commercial aircraft during taxi and takeoff / S. Herndon, J. Jayne // *Environ. Sci. Technol.* – 2004. – P. 6078–6084.
- Lidar Observations of Aircraft Exhaust Plumes* / A. Graham, D. Raper, M. Bennett, S. Christie // *Journal of Atmospheric and Oceanic technology*, MMU. – 2010 – Vol. 27. – P.1638–1651.
- Абрамов Е. И.* Элементы гидропривода: справочник / Е. И. Абрамов, К. А. Колисниченко, В. Т. Маслов. – Киев: Техника, 1977. – 320 с.
211. *Дорф Р. К.* Современные системы управления / Р. К. Дорф, Р. Х. Бишоп. – М.: 2004. – 832 с.
- Разносчиков В.В.* Системный анализ использования топлива в авиационных силовых установках / В.В. Разносчиков // *Полет*. – 2008. – С. 28–33.
213. *Припадчев А.Д.* Расчет массы и размеров летательных аппаратов: учебное пособие / А. Д. Припадчев. – Оренбург: ОГУ, 2013. – 166 с.
- Авиационное материаловедение* / П. Т. Коломыцев, Ю. М. Майзель, К. П. Ромадин, Н. И. Сысков. – М., 1971. – 445 с.
- Аэродинамические характеристики летательных аппаратов* / [Г.А. Акимов, В.А. Бородавкин, В.А. Заимко и др.]; под ред. А.С. Шалыгина. – СПб.: Балт. Техн. Ун-т, 2003. – 120 с.
216. *Свешников В.К.* Фильтрация рабочих жидкостей в современных гидроприводах / В.К. Свешников // *Гидравлика и пневматика*. – 2004. – № 11–12. – С. 15–17.
- Яковлев В.С.* Хранения нефтепродуктов. Проблема защиты окружающей среды / В.С. Яковлев. – М.: Химия, 1987. – 150 с.
- Бойченко С. В.* Разработка методов оценки потерь топлив от испарения в условиях максимально приближенных к реальным / С. В. Бойченко. // *Разработка способов снижения потерь топлив (авиационных) в процессах хранения, транспортирования и применения*. – 1995. – №8. – С. 7–8.
- Обеспечение сохранения количества и качества нефтепродуктов при хранении* / С. В. Бойченко, А.А. Литвинов, О.В. Бойченко, С.М. Еременко // *Вісн. Нац. авіац. ун-ту*. – 2000. – № 1–2. – С. 196–199.
- Опыт применения для хранения нефти и нефтепродуктов металлических резервуаров, защищенных пенопластом* / А. Б. Губенко, Д. П. Артемов, П. П. Новокрещенов, В. Ф. Скударь // *Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья*. – 1987. – № 4. – С. 36.
- Никонов К.В.* Конструкция технологического оборудования складов горюче-смазочных материалов / К.В. Никонов. – К.: КМУГА, 1996. – 392 с.
- Матвеева О.Л.* Фізико-хімічні зміни в реактивних паливах при дії температурного градієнту / О.Л. Матвеева // *Автоматика, автоматизация, электротехнические комплексы и системы*. – 2004. – № 1. – С. 94–98.
- Василенко В.Г.* Влияние эксплуатационных факторов на топливную систему самолетов / В.Г. Василенко, Ж.С. Черненко. – М.: Машиностроение, 1986. – 180 с.
- Козаченко А.И.* Исследование вязкостно-температурных характеристик топлив с повышенной ТНК и работоспособности элементов топливной системы воздушных судов на таких топливах при моделировании низкотемпературных и гидродинамических условий эксплуатации / А.И. Козаченко, П.Ф. Максютинский // *Вісник КМУЦА*. – 1998. – № 1. – С. 325–338.
- Вержбицкий О.* Экологистика: экономика + экология / О. Вержбицкий // *Дистрибуция и логистика: всеукраинский информационно-аналитический журнал*. – 2012. – № 10. – С. 8–11.
- Бойченко С.* Європейський досвід і перспективи системи утилізації та рециклінгу транспортних засобів / С. Бойченко, К. Лейда // *Вісник Національного транспортного університету*. – 2015. – № 2 (32). – С. 15–21.

Бойченко С. В. Світовий досвід і перспективи розвитку утилізації та рециклінгу транспортних засобів / Бойченко С. В., Лейда К. // Monography № 6 "Systems and means of motor transport". Selected problems. Series: Transport. – Rzeszow (Poland), 2015. – P. 247–252.

Бойченко С.В. Екологістика, утилізація та рециклінг транспортних засобів: тенденції та перспективи розвитку / С.В. Бойченко, К. Лейда, О.В. Іванченко // Наукоємні технології. – № 2 (30). – 2016. – С. 221–227. DOI: 10.18372/2310-5461.30.10568.

Іванченко О.В. Екологістика, утилізація та рециклінг транспортних засобів – особливості в авіації / О.В. Іванченко, С.В. Бойченко, К. Лейда // Monografia № 7. Seria: Transport. Systemy i środki transportu samochodowego: wibrane zagadnienia. – Rzeszów (Poland), 2016. – P. 45–52.

Гутаревич Ю. Ф. Снижение вредных выбросов автомобиля в эксплуатационных условиях: монографія / Ю. Ф. Гутаревич. – К., 1991. – 179 с.

Луканин В.Н. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта / В.Н. Луканин, Ю.В. Трофименко // ВИНТИ. Итоги науки и техники. Сер. Автомобильный и городской транспорт. – М., 1996. – 339 с.

Звонов В.А. Экологическая безопасность автомобиля в полном жизненном цикле / В.А. Звонов, А.В. Козлов, В.Ф.Кутенев. – М., 2001. – 248 с.

Канило П.М. Автотранспорт. Топливо-экологические проблемы и перспективы: монографія / П.М. Канило. – Харків, 2013. – 272 с.

Матейчик В.П. Методи оцінювання та способи підвищення екологічної безпеки дорожніх транспортних засобів: монографія / В.П. Матейчик. – К., 2006. – 216 с.

Матейчик В.П. Формування структури інтелектуальної системи моніторингу показників екологічної безпеки транспортних засобів на окремих етапах життєвого циклу / В.П. Матейчик, М.П. Цюман // Вісник Національного транспортного університету. – 2015. – Вип. 2 (32). – С. 193–200.

Вплив кута випередження запалювання на показники двигуна за роботи на сумішевих паливах з різним вмістом спиртових сполук / Ю.Ф. Гутаревич, А.О. Корпач, А.Г. Говорун, О.М. Захарченко // Автошляховик України. – 2006. – №1. – С. 19–21.

Попов Д.В. Результати експериментальних досліджень роботи на сумішевих паливах двигуна С30NE з каталітичним нейтралізатором / Д.В. Попов // Вісник вінницького політехнічного інституту: науковий журнал. – 2007. – № 4. – С. 147–148.

Дослідження доцільності використання сумішевих палив у двигунах з різними системами живлення / В.П. Кульбака, О.С. Добровольський, О.В. Сирота, М.П. Цюман // Проблеми транспорту. Збірник наукових праць. – 2010. – Вип. 7. – С. 128–133.

Щербатюк В.Б. Покращення екологічних показників двигунів підігрівом свіжого заряду при використанні бензину з добавкою біоетанолу : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук, спец. : 05.05.03 «Теплові двигуни» / Щербатюк Віталій Броніславович – К., 2013. 20 с.

Стельмах А.У. Экспериментальное исследование динамики течений граничных слоёв смазки в контакте скольжения / А.У. Стельмах // Вопросы химии и химической технологии. – 2010. – № 5. – С. 147–155.

Potential of jet biofuels production and application in Ukraine and Poland / [A. Iakovlieva, S. Boichenko, O. Vovk et al.]. // International Journal of Sustainable Aviation. – 2015. – Vol. 1. – № 4. – P. 314–323.

DOI:10.1504/IJSA.2015.074728.

Поп Г. С. Полегшені інвертні мікродисперсії для мінімізації випаровування вуглеводневих рідин / Г. С. Поп, О. А. Спаська., Л. Ю. Бодачівська // Каталіз і нафтохімія. – 2011. – № 12. – С. 84–89.

Spaska O. A. Ultralight surface-active systems for preventing liquid hydrocarbons evaporation / O. A. Spaska // Chemistry and chemical technology. – 2016. – № 1. – P. 63–66.

Vdovenko S. Composition And Properties Of The Refinery Oily Sludge / S. Vdovenko, S. Boichenko, V. Kochubey // Chemistry&ChemicalTechnology. – 2015.– Vol. 9. – № 2.– P. 257–260.

Study of oxidative desulphurization process of coal with different metamorphism degrees / V. Gunka, Y. Prysiazhnyi, K. Shevchuk, A. Pattek-Janczyk // Journal of Fuel Chemistry and Technology. – 2012. – Vol. – № 2. – P. 129–137

Production of Indene-coumarone Resins as Bitumen Modifiers / [Serhiy Pyshyev, Yuriy Grytsenko, Halyna Bilushchak et al.]. // Petroleum and Coal. – 2015. – Vol. 57. – Issue 4. – P. 303–314.

Одержання інден-кумаронових смол для модифікації нафтових дорожніх бітумів / С.В. Пиш'єв, Ю.Б. Грищенко, І.С. Никулишин, З.Я. Гнатів // УглеХимический журнал. – 2014. – № 5. – С. 41–48.

Топільницький П. І. Переробка нафтових і природних газів / П.І. Топільницький. – Львів: Державний університет «Львівська політехніка», 1998. – 169 с.

- Тематичний словник авіаційної термінології (англійська, українська, російська мови) / за ред. О. М. Акмалдінової, С. В. Бойченка та інш. – К.: НАУ, 2013. – 692 с.*
- П. Топільницький. Технологія первинної переробки нафти і газу / П. Топільницький, О. Гринишин, О. Мачинський. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2014. – 468 с.*
- Мачинський О. Я. Гідрокрекінг: монографія / О. Я. Мачинський, П. І. Топільницький – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2011. – 348 с.*
- Горючие, смазочные материалы: Энциклопедический толковый словарь-справочник / под ред. В.М. Школьников. – М.: ООО Изд. центр “Техинформ”, 2007. – 736 с.*
- Гуменецкий В. Процеси та обладнання нафтопереробних заводів / В. Гуменецкий. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту «Львів. політехніка», 2003. – 440 с.*
- Болотник, Е. В. Основы технологии получения биобутанола использованием отселектированного штамма clostridiumacetobutylicum БИМ В-709 Д: автореф. дис. ... канд. биолог. наук: 03.01.06 / Е. В. Болотник; Нац. акад. наук Беларуси. – Минск, 2015. – 25 с.*
- Кухаренко, Г. М. Моделирование характеристик топливных струй и параметров камеры сгорания дизеля / Г. М. Кухаренко, Д. Г. Гершань // Вестник БНТУ. – 2011. – № 4. – С. 35–39.*
- Кухаренко, Г. М. Снижение выбросов вредных веществ дизельных двигателей / Г. М. Кухаренко, А.Н. Петрученко, В.И. Березун. – М.: Новое знание, 2014. – 220 с.*
- Sergii Boichenko. Phenomenological concept of chemmotology / Sergii Boichenko // Proceedings of National Aviation University. – 2017. – № 1. – P. 113–119. DOI: 10.18372/2306-1472.70.11431.*
- Yakovleva A.V. Antiwear Properties of Plant—Mineral-Based Fuels for Airbreathing Jet Engine /Yakovleva A.V., Boichenko S.V., Lejda K., Vovk O.A., Kuszewski Kh. // Chemistry and Technology of Fuels and Oils, 2017. Vol. 53. Iss. 1. P. 1–9. DOI: 10.1007/s10553-017-0774-x.*
- Iakovlieva A. Vacuum Distillation of Rapeseed Oil Esters for Production of Jet Fuel Bio-Additives / Iakovlieva A., Boichenko S., Lejda K., Vovk O., Shkilniuk I. // Procedia Engineering, 2017. – Vol. 187. – P. 363–370. DOI: doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.387.*
- Бойченко С. В. Перспективи заміни етилової рідини аліфатичними спиртами в складі авіаційних бензинів: вплив на екологічну чистоту / С.В. Бойченко, М.А. Посипайко, О.Г. Личманенко // Наукоємні технології. – 2016. – № 1(29). – С. 107–115. DOI: 10.18372/2310-5461.29.10103.*
- Маджд С. М. Роль вищих водних рослин деструкції забруднювачів в біоінженерних гідрофітних спорудах / С.М. Маджд, А.О. Панченко, А.М. Бондар // Наукоємні технології. – 2017. – № 1(33). – С. 89–94. DOI: 10.18372/2310-5461.33.11564.*
- Oleksandr Zaporozhets. PM Emissions produced by aircraft under the operations at the airport // Oleksandr Zaporozhets, Kateryna Synylo // Proceedings of National Aviation University. – 2016. – № 4. – P. 77–88. DOI: 10.18372/2306-1472.69.11059.*
- Бурлака В.Г. Стратегія розвитку нафтового сектору України / В.Г.Бурлака; Національна академія управління. – Київ, 2012. – 356 с.*
- Бурлака В.Г. Управління інноваційним розвитком нафтового сектору України / В.Г.Бурлака; Національна академія управління. – Київ, 2015. – 322 с.*
- Кустовська А.Д. Альтернативні палива: підручник / А.Д. Кустовська, С.В.Іванова, Є.О.Бережний. – К.: НАУ, 2014. – 624 с.*
- Бабатунде О. Перспективи розвитку процесів нафтопереробки на нафтовидобувних підприємствах у Нігерії / Бабатунде О., Черняк Л.М., Бойченко С.В. // Наукоємні технології. – 2016. – № 3 (31). – 2016. DOI: 10.18372/2310-5461.31.10799.*
- Черняк Л.М. Оцінка неонкологічного ризику для здоров'я населення від викидів вуглеводнів з резервуару типової АЗС / Л.М. Черняк, Антропченко А.К., Бойченко С.В., М.М. Радомська // Наукоємні технології. – 2015. – № 4. – 2015. С. 358-362. DOI: 10.18372/2310-5461.28.9683.*
- С.В. Бойченко. Черняк Л.М. Оцінка екологічного впливу нафтопереробного підприємства на навколишнє середовище / Л.М. Черняк, С.В. Бойченко, О.Г. Пузік, О. Бабатунде, В. В. Романчук, П. І. Топільницький, К. Лейда // Енергетика: економіка, технології, екологія. – 2016. – № 4. – С. 109–122. DOI: http://dx.doi.org/10.20535/1813-5420.4.2016.98453.*
- Dovgal A. Modified method of applying detonation-sprayed composite coatings by a magnetic field / A. Dovgal, L. Pryimak, I. Trofimov // Східно-Європейський журнал передових технологій (Матеріалознавство). – 2016. – вип. №6/5(84). – С. 33–38. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.85628.*

## ДОДАТКИ



Центральный офис:  
пр-т Академика Палладина 32, офис 434  
г. Киев, 03680  
Тел. | факс: +38-044-452-45-46  
+38-044-423-14-80  
[aviamasio@comail.com](mailto:aviamasio@comail.com)



**ВЫ ЛЕТАЕТЕ -  
МЫ ОБСЛУЖИВАЕМ**

Clariant

**CLARIANT**

Швейцарская химическая компания Clariant является общепризнанным мировым лидером в области производства авиационных противоприледнительных жидкостей...

NYCO



**NYCO**  
AERONAUTICS

Основанная в 1929 году на осподришей день компания NYCO (Франция) является всемирно признанным экспертом в сфере разработки и производства высококачественных материалов...

Skydrol



Skydrol - мировой лидер по производству гидравлических жидкостей для авиации и космических телескопов для промышленности. В настоящий момент компания вошла в ...

# ОТ СКВАЖИНЫ ДО КОЛЕС



innospec

## ЗМІСТ

<b>ОСНОВНІ СКОРОЧЕННЯ.....</b>	4
<b>ВСТУП.....</b>	6
<b>РОЗДІЛ I. ТЕОРЕТИЧНІ АСПЕКТИ ХІММОТОЛОГІЇ.....</b>	8
<b>I-1</b> <i>Олександр Аксьонов, Сергій Бойченко, Казимир Лейда.</i> Хімотологія як прикладна наука – інтегрований теоретико-методологічний інструмент сталого забезпечення раціонального використання паливно-мастильних матеріалів.....	8
<b>I-2</b> <i>Евгеній Серегин, Сергій Волгин.</i> Расширение влияния химмотологии на научно–технический прогресс.....	13
<b>I-3</b> <i>Николай Гришин, Александр Орешенков.</i> Состояние теоретической базы химмотологии.....	16
<b>I-4</b> <i>Edgar Sokolovskij, Jonas Matijošius.</i> Biodiesel (fame) impact on the work of diesel internal combustion engine.....	19
<b>I-5</b> <i>Андрій Григоров, Кирило Шевченко.</i> Особливості підбору базового компоненту під час виробництва моторних олив.....	22
<b>I-6</b> <i>Сергій Воронін, Артур Каграманян.</i> Фазовий стан оливорозчинних пар в базових оливах для технічних систем.....	26
<b>I-7</b> <i>Олексій Целищев, Марина Лорія.</i> Дослідження кавітаційної обробки моторних палив.....	29
<b>I-8</b> <i>Олена Шевченко, Валерія Каменсва.</i> Застосування метилових естерів жирних кислот з нехарчових жирів в сумішевих дизельних паливах.....	32
<b>I-9</b> <i>Ольга Гайдай, Ярослав Березницький, Наталія Хімач, Володимир Пилявський, Євген Полункін.</i> Вплив присадок на основі нанорозмірних сфероїдальних карбонових кластерів на експлуатаційні властивості етанольних бензинів.....	35
<b>I-10</b> <i>Богдан Корчак, Олег Гринишин, Тарас Червінський.</i> Зміна складу та властивостей мінеральних моторних олив після їх використання.....	39
<b>I-11</b> <i>Степан Зубенко, Михайло Охріменко, Сергій Коновалов, Любов Патриляк, Анжела Яковенко.</i> Вплив подовження вуглецевого ланцюга спиртової групи естерів на властивості біодизельного палива.....	45
<b>I-12</b> <i>Владислав Волошинець, Богдан Кочірко.</i> Особливості поведінки полімерів в нафтопродуктах.....	48
<b>I-13</b> <i>Алексей Вакалюк, Александр Стельмах, Карим Бадир, Федор Ходченко.</i> ЭГД-задача с учетом динамических процессов в граничных слоях трибосистем.....	49
<b>I-14</b> <i>Людмила Баб'як, Олена Шищак.</i> Економічна доцільність альтернативних джерел енергії для двигунів транспортних засобів.....	54
<b>I-15</b> <i>Михаил Свирид, Игорь Трофимов, Катерина Ткаченко, Елена Касьяненко.</i> Модель механизма трения ферромагнетика под действием магнитного поля.....	56
<b>I-16</b> <i>Александр Стельмах, Карим Бадир, Алексей Сидельников.</i> Влияние агрегатно-фазового состояния смазки на эффективность трибосистем.....	60
<b>I-17</b> <i>Олексій Кулініч, Володимир Варюхно, Олександр Сидоренко, Олег Білякович, Олександра Данилейко.</i> Визначення впливу мастильних матеріалів на однорідність експлуатаційних характеристик покриттів методом мультифрактального аналізу.....	64
<b>I-18</b> <i>Микола Дмитриченко, Олег Білякович, Володимир Варюхно, Анатолій Савчук.</i> Щодо визначення раціонального терміну використання та підбору трансмісійних олив.....	66
<b>I-19</b> <i>Александр Стельмах, Алексей Сидельников, Иван Матвеев.</i> Механизм образования масло-парогазовой суспензии смазочной среды в процессе эксплуатации двигателей.....	70
<b>I-20</b> <i>Олександр Аксенов, Олександр Стельмах, Володимир Бондарь, Олена Ковальчук.</i> Прилади тертя з оптичним каналом знімання інформації про механізм тертя ковзання.....	73
<b>I-21</b> <i>Алексей Куцев, Иван Матвеев, Елена Ковальчук, Виктор Коба.</i> Физика процесса бесконтактной магнитно-турбулентной очистки подшипников качения.....	77

I-22	<i>Валерій Шмаров, Александр Стельмах, Владимир Бондарь, Алексей Вакалюк.</i> Программно-аппаратный комплекс управления и контроля процесса трибологических испытаний.....	81
I-23	<i>Антоніна Кустовська, Валерій Єфименко, Наталія Атаманенко, Олександр Єфименко.</i> Регенерація та використання відпрацьованих олів.....	86
I-24	<i>Kazimierz Lejda, Sergii Voichenko.</i> Wodóg jako alternatywne paliwo do silników spalinowych.....	89
I-25	<i>Андрій Пушак.</i> Нові напрями діяльності компанії Innospec для вирішення питань буріння, видобутку та транспортування нафти та нафтопродуктів.....	96
I-26	<i>Юлія Велигорська.</i> Нові напрями роботи акредитованої випробувальної лабораторії «ЗАХІД-ІНОС».....	98
I-27	<i>Георгій Кухаренко, Дмитрій Гершань.</i> Обоснование рабочего процесса дизеля при применении бутанолсодержащих топлив.....	100
<b>РОЗДІЛ II. ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ТА ІНЖЕНЕРІЯ.....</b>		104
II-1	<i>Михайло Братичак.</i> Функційні похідні епоксидних смол – компоненти бітум-полімерних сумішей.....	104
II-2	<i>Остан Івашків, Олена Астахова, Ксенія Гринишин.</i> Бітум-полімерні суміші на основі бітуму марки БНД 60/90 та модифікованої (оліго)діолами епоксидної смоли ЕД-20.....	107
II-3	<i>Олена Шишак, Олена Астахова, Ольга Зубаль.</i> Модифіковані фенол-формальдегідні олігомери – компоненти бітум-полімерних сумішей.....	110
II-4	<i>Камиль Ахмедов, Анастасія Килякова, Борис Тонконогов.</i> Исследование возможности использования алкилнафталиновых масел в качестве дисперсионной среды полимочевинных смазок.....	113
II-5	<i>Олена Тертишина, Костянтин Замікула, Віталіна Мартиненко.</i> Формування нафтових сумішей з метою підвищення виходу цільових фракцій.....	116
II-6	<i>Олена Тертишина, Віталіна Мартиненко, Катерина Росенко.</i> Формування нафтових сумішей на основі елементів статистичного аналізу.....	120
II-7	<i>Олексій Целищев, Марина Лорія.</i> Прямий синтез метанолу у кавітаційному полі.....	123
II-8	<i>Ігор Данчук, Олена Шевченко.</i> Втор-бутанол – кисеньвміщуючий компонент високооктанових бензинів.....	127
II-9	<i>Lukasz Przybysz, Olga Shtyka.</i> Investigation of highly concentrated emulsions flow through porous media.....	129
II-10	<i>Олег Зеленский.</i> Вплив об'ємно-модифікуючих додатків на спіклівість вугільних шхт.....	133
II-11	<i>Юрій Голич, Бойченко Сергій, Петро Топільницький, Вікторія Романчук.</i> Вплив фізико-хімічних характеристик нафт на їх ступінь зневоднення.....	136
II-12	<i>Олаулава Бабатунде, Сергій Бойченко, Петро Топільницький, Вікторія Романчук.</i> Одержання дорожніх бітумів з гудронів нігерійських нафт.....	141
II-13	<i>Андрій Нагурський, Олег Гринишин, Юрій Хлібишин, Вікторія Кочубей.</i> Вивчення механізму модифікування бітумів гумовою крихтою.....	145
II-14	<i>Ольга Тітова, В'ячеслав Трачевський, Зоя Грушак, Наталія Столярова.</i> Характер впливу пластових умов на зміну РН силікатно-лужної композиції.....	150
II-15	<i>Ірина Шкільнюк, Ірина Онисків, Вікторія Гладішева.</i> Синтез та дослідження нових інгібіторів корозії.....	154
II-16	<i>Сергій Кудрявцев.</i> Перспективна технологія для процесів каталітичної переробки нафтової сировини – аерозольний нанокаталіз.....	155
II-17	<i>Oleksandr Shtyka.</i> The decomposition of supercritical ethanol in the presence of КОН.....	159
II-18	<i>Евгений Збыковский.</i> Усовершенствование технологии высокотемпературной переработки твердых топлив с целью обеспечения ее экологической безопасности.....	162
II-19	<i>Стефан Зайченко, Оксана Вовк, Анна Яковлева, Вікторія Гладішева.</i> Розроблення ресурсозберігаючої технології збагачення горючих копалин.....	165



<b>II-20</b>	<i>Андрій Коверя, Ліна Кеуш, Анатолій Старовойт.</i> Використання біомаси металургійному виробництві.....	170
<b>21</b>	<i>Олександр Давиденко, Володимир Ледовських.</i> Застосування карбонвмісних анодів для окиснення карбонових кислот у процесах регенерації відпрацьованих олів.....	173
<b>22</b>	<i>Давид Давітадзе, Григорій Поп, Юрій Білокопитов.</i> Фосфорсульфурвмісні добавки до мастильних матеріалів на основі кислот ріпакової олії.....	176
<b>II-23</b>	<i>Юрій Бодачівський, Григорій Поп, Лариса Бодачівська.</i> Сульфуровмісні естери жирних кислот олій – поліфункційні добавки до мастильних матеріалів.....	179
<b>II-24</b>	<i>Анатолій Раєвський, Ольга Гордієнко, Тарас Тітов.</i> Модифікування та комплексне використання вторинних промислових ресурсів як поліфункціональних добавок до вуглеводневих матеріалів.....	181
<b>II-25</b>	<i>Олена Спаська.</i> Вплив гідрофільно-ліпофільного балансу компонентів надлегких поверхнево-активних систем на їх ізолюючу здатність від випаровування вуглеводневих рідин.....	185
<b>II-26</b>	<i>Марія Швед, Юрій Присяжний, Юрій Гриценко, Сергій Пиш'єв.</i> Шляхи застосування смоли розкладу органічної маси бурого вугілля, що одержується в результаті його оксидаційного знесірчення.....	190
<b>РОЗДІЛ III. ВПЛИВ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПММ І ТР НА ХІММОТОЛОГІЧНУ НАДІЙНІСТЬ, ЕКСПЛУАТАЦІЙНУ ТЕХНОЛОГІЧНІСТЬ ТА ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТЕХНІКИ.....</b>		194
<b>III-1</b>	<i>Ігор Трофімов.</i> Метод випробувань протизносних властивостей палив, за схемою трибоконтакту «циліндр - площина».....	194
<b>III-2</b>	<i>Андрей Довгаль, Игорь Трофимов, Людмила Приймак.</i> Структура и триботехнические свойства детонационных композиционных карбидкремниевых покрытий.....	197
<b>III-3</b>	<i>Оксана Микосянчик.</i> Методика определения температурно-механической стойкости граничных смазочных слоев в триботехническом контакте.....	200
<b>III-4</b>	<i>Володимир Лісафін.</i> Упровадження методики розрахунків питомих викидів вуглеводнів з резервуарів.....	204
<b>III-5</b>	<i>Денис Щербаков, Микола Борисенко, Олена Гончарук, Ігор Войтко.</i> Реологічні властивості мастил на основі полідіетилсилоксану і титанвмісного кремнезему.....	208
<b>III-6</b>	<i>Євген Кобиланський.</i> Експлуатаційні характеристики надлужних мастил.....	211
<b>III-7</b>	<i>Dawid Latała, Maksymilian Mądział.</i> Projektowanie procesu technologicznego części klasy wał.....	215
<b>III-8</b>	<i>Раед Аль-Дандал.</i> Порівняльний аналіз ефективності протитурбулентних присадок різних типів в трубопровідному транспорті нафтопродуктів.....	220
<b>III-9</b>	<i>Лариса Черняк, Василь Ланецький, Маргарита Радомська, Олеся Кондакова.</i> Вплив кавітаційної обробки автомобільного бензину на його експлуатаційні властивості.....	223
<b>III-10</b>	<i>Олеся Кондакова, Василь Ланецький.</i> Зміна октанового числа бензину за додавання перекису водню.....	226
<b>III-11</b>	<i>Владимир Радзиевский, Руслан Костюник, Александр Стельмах, Федор Ходченко.</i> Оценка состояния неразборных шарикоподшипников на разработанных стендах СКП.....	229
<b>III-12</b>	<i>Евгений Смирнов, Сергей Коленов, Юрий Пильгун, Александр Стельмах, Владимир Бондар.</i> Использование лазерного сканирующего дифференциально-фазового микроскопа-профилометра в трибологии граничной смазки.....	233
<b>III-13</b>	<i>Леонід Железний, Григорій Поп, Олексій Панейкін, Олег Македонський, Ірина Венгер.</i> Уреатне мастило для широкого температурного діапазону застосування.....	237
<b>III-14</b>	<i>Микола Худолій, Анатолій Чуб.</i> Дослідження динамічної в'язкості моторних олів за низьких температур.....	240
<b>III-15</b>	<i>Hubert Kuszewski.</i> Smarność oleju napędowego – oznaczanie z wykorzystaniem metody HFRR.....	243

<b>III-16</b>	<b>Jacek Michalski.</b> Oddziaływanie produktów spalania paliw na trwałość gniazd zaworowych i zaworów silników – analiza literaturowa.....	247
<b>III-17</b>	<b>Jacek Michalski.</b> Skład chemiczny nalotów oraz oddziaływanie składników spalin z materiałem gniazd zaworowych i zaworami silnika zasilanego benzyną bezołowiową U-95 i etyliną E94 samochodu polonez 1500.....	256
<b>III-18</b>	<b>Mirosław Jakubowski.</b> Badania wpływu zasilania silnika o zs paliwem syntetycznym na wybrane parametry.....	262
<b>III-19</b>	<b>Paweł Wojewoda.</b> Alternatywne układy napędowe jako strategia redukcji zużycia paliwa i emisji związków toksycznych.....	269
<b>III-20</b>	<b>Anna Yakovlieva, Sergii Boichenko, Oksana Vovk, Kazimierz Lejda, Viktor KozlovI, Michael Okhrimenko.</b> Study of operation parameters of jet engine powered by conventional and alternative fuels.....	272
<b>III-21</b>	<b>Coban, Kahraman, Colpan, C. Ozgur, Karakoç, T. Hikmet.</b> Emission parameters of a small-scale turbojet for jet fuel and biodiesel.....	276
<b>III-22</b>	<b>Петро Топільницький, Сергій Бойченко, Орест Кунтий.</b> Трибологічна поведінка нанорозмірних металовмісних частинок у пластичних мастилах.....	280
<b>РОЗДІЛ IV. АВІАЦІЙНА ХІММОТОЛОГІЯ ТА ПРОБЛЕМИ</b>		
<b>АВІАПАЛИВОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ.....</b>		288
<b>IV-1</b>	<b>Сергій Бойченко, Анна Яковлева, Ірина Шкільнюк.</b> Гармонізація та упровадження новітніх технічних вимог до якості авіаційних палив.....	288
<b>IV-2</b>	<b>Леонід Яновский, Василий Ежов, Александр Молоканов, Ксения Шаранина.</b> Авиационные рабочие жидкости нового поколения.....	292
<b>IV-3</b>	<b>Катерина Синило.</b> Практичні рекомендації з моніторингу емісії авіаційних двигунів у межах аеропорту.....	295
<b>IV-4</b>	<b>Володимир Бутько, Ірина Любасюк.</b> Вплив параметрів робочої рідини на динамічні характеристики авіаційних регуляторів тиску.....	298
<b>IV-5</b>	<b>Маргарита Алексеева, Анна Севрюк, Владимир Разносчиков.</b> Формирование облика летательного аппарата с ракетно – прямоточным двигателем на твердом топливе.....	302
<b>IV-6</b>	<b>Игорь Аверьков, Илана Демская, Владимир Разносчиков.</b> Энергетические возможности составных углеводородных горючих для двигателей космических ракетных ступеней.....	305
<b>IV-7</b>	<b>Игорь Кравченко, Петр Колесник, Андрей Единович, Александр Стельмах.</b> Увеличение ресурса редукторов ГТД с использованием двухфазной маслотовоздушной смеси.....	309
<b>IV-8</b>	<b>Василій Федина, Сергій Бабкін, Валерій Ткаченко.</b> Нормування чистоти авіаційних паливно-мастильних матеріалів і технічних рідин.....	313
<b>IV-9</b>	<b>Валерій Єфіменко, Олександр Єфіменко.</b> Термоокиснювальна стабільність палив для повітряно-реактивних двигунів з використанням фулерену.....	317
<b>IV-10</b>	<b>Андрій Белятинський, Дмитро Васильєв, Арсен Ключан.</b> Підвищення ефективності моніторингу покриттів аеродромів використанням поляриметричного методу вимірювання.....	320
<b>IV-11</b>	<b>Сергій Зозуля.</b> Проблеми чистоти авіаційних ПММ та безпеки польотів.....	326
<b>IV-12</b>	<b>Олена Матвеева.</b> Проблеми надійності авіаційних паливних систем під час використання палив з підвищеною температурою початку кристалізації.....	330
<b>IV-13</b>	<b>Владимир Радзиевский, Александр Стельмах, Руслан Костюник.</b> Применение бесконтактной импульсной магнитно-турбулентной очистки шарикоподшипников в авиационном двигателестроении.....	333
<b>IV-14</b>	<b>Yuri Tereshchenko, Kateryna Doroshenko, Yuri Tereshchenko.</b> Working process of bypass gas turbine engines with turbo-fan additional unit.....	336
<b>IV-15</b>	<b>Ірина Шкільнюк, Сергей Бойченко, Татьяна Кондратюк.</b> Влияние микробиологического загрязнения на кислотность традиционных и альтернативных авиационных топлив.....	341
<b>IV-16</b>	<b>Sergey Boichenko, Anna Yakovlieva, Alexander Gryshchenko, Angelina Zinchuk.</b> Promising biofuels for the reduction of aircrafts harmful emissions.....	346

IV-17	<i>Паям Хамзе</i> . Использование газогенераторного газа для охлаждения сопла жидкостного ракетного двигателя.....	350
<b>РОЗДІЛ V. ЕКОЛОГІСТИКА ТА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.....</b>		<b>355</b>
V-1	<i>Оксана Іванченко, Сергій Бойченко</i> . Екологістика та авіарециклінг – сучасні інструменти інтеграції підрозділів авіаційного комплексу, спрямовані на раціональне природокористування.....	355
V-2	<i>Василь Матейчик, Микола Цюман</i> . Особливості моніторингу показників екологічної безпеки транспортного потоку міської автомобільної дороги.....	361
V-3	<i>Микола Цюман, Іван Шевчук</i> . Оцінювання показників екологічної безпеки двигуна з іскровим запалюванням при використанні спиртовмісного палива.....	364
V-4	<i>Сергей Вдовенко</i> . Предотвращение загрязнения грунтовых вод нефтяными поллютантами путем модернизации системы канализации промышленных нефтезагрязненных сточных вод на нефтеперерабатывающих предприятиях.....	368
V-5	<i>Kaja Maciejowska, Krzysztof Lew, Maksymilian Mądział</i> . Oddziaływanie benzyny w kontekście motoryzacyjnego skażenia środowiska.....	370
V-6	<i>Ігор Єремєєв, Аліна Дичко</i> . Проблеми екологічного моніторингу урбоєкосистем.....	374
V-7	<i>Тетяна Білик, Людмила Горбатюк, Анжела Гай, Анастасія Феєр</i> . Нафтове забруднення Канівського водосховища в умовах впливу мегаполісу.....	378
V-8	<i>Ганна Вайганг, Вікторія Хрутьба</i> . Моніторинг стану екологічної безпеки урбанізованих територій методами біоіндикації.....	381
V-9	<i>Лада Верягіна, Янінна Сорока</i> . Аналіз ступеня впливу транспортного навантаження на зростання явища кислотних дощів та їх наслідків.....	385
V-10	<i>Сергій Коломісць</i> . Методика формування інтегрального критерію екологічної безпеки автотранспортного підприємства.....	388
V-11	<i>Егор Сапон, Владимир Марцуй, Андрей Василевский</i> . Исследование кинетики извлечения фосфора обожженным доломитом из иловых вод очистных сооружений.....	392
V-12	<i>Atstāja Dzīntra</i> . The economic efficiency of the measures of occupational safety and health.....	395
V-13	<i>Світлана Маджед, Яна Кулинич</i> . Динаміка змін вмісту речовин і елементів техногенного походження у водах р. Ірпінь.....	401
V-14	<i>Леся Крюковська</i> . Системна модель екологічної безпеки застосування відходів як альтернативного дорожньо-будівельного матеріалу.....	404
V-15	<i>Artur Jaworski, Maksymilian Mądział</i> . Wpływ rodzaju paliwa na emisję zanieczyszczeń przez środki transportu drogowego.....	408
V-16	<i>Eliasz Jacek Jarosław, Олександр Балицький, Марія Гаврилюк, Валерій Колесніков, Валентина Балицька</i> . Екологічно чисті змашувально-охолоджуючі рідини на базі рослинних олій.....	418
V-17	<i>Ірина Будзинська, Богдан Кочірко, Наталя Харченко, Ігор Сахацький, Олександр Нілов, Інна Голінка</i> . Вимоги до якості автомобільних палив, призначених для довготривалого зберігання.....	422
V-18	<i>Sergii Vdovenko, Olexandra Shepel</i> . The method of thermal disposal of oil sludge.....	425
<b>ВИСНОВКИ.....</b>		<b>430</b>
<b>БІБЛЮГРАФІЯ.....</b>		<b>431</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>		<b>443</b>