

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

Монографія

*Матеріали V міжнародної
науково-технічної конференції*

6–10 жовтня, 2014 рік

Присвячується



ХІММОТОЛОГІЇ

м. Київ

УДК 665.7(02)

Л 541я43

П 781

Редакційна рада:

Олександр Аксьонов, Володимир Харченко,
Леонід Яновський, Kazimierz Lejda,
Сергій Бойченко, Олександр Запорожець

Редакційний колектив:

Ірина Шкільнюк, Ігор Трофімов,
Лариса Черняк, Анна Яковлева

П 781 Проблеми хімотології. Теорія та практика
раціонального використання традиційних
і альтернативних паливно-мастильних матеріалів.
– Монографія. Матеріали V Міжнародної науково-технічної
конференції. – НАУ, 6–10 жовтня, 2014 р. — 368 с.

За загальною редакцією професора *Бойченка С. В.*

*Затверджено на засіданнях Ради Українського науково-дослідного
та навчального центру хімотології і сертифікації паливно-мастильних
матеріалів і технічних рідин (протокол від 4.07.2014 р. № 2)
і кафедри екології ІЕБ НАУ (протокол від 02.07.2014 р. № 7)*

ISBN

© НАУ, 2014

ХИММОТОЛОГИИ – 50 ЛЕТ

Химмотология как самостоятельная отрасль знаний формально состоялась в 1964 г. после публикации Константином Карловичем Папок (1908–1977 гг.) в июньском номере журнала «Химия и технология топлив и масел» статьи «Рациональное использование топлив и масел – важнейшее условие повышения долговечности двигателей» [1], в которой он впервые предложил вместо словосочетания «применение горюче-смазочных материалов» использовать термин «химмотология» и, пояснив его этимологию, дал первое определение новой науки, сформулировал её основные задачи.

Сегодня химмотология – одна из относительно молодых прикладных наук, имеющих большое практическое значение. Она изучает эксплуатационные свойства (прокачиваемость, испаряемость, воспламеняемость, горючесть, склонность к образованию отложений, совместимость с конструкционными материалами, смазывающую и охлаждающую способность, защитные свойства, сохраняемость, безопасность и др.) топлив, масел, смазок, специальных (технических) жидкостей и консервационных материалов, иначе – горюче-смазочных материалов (ГСМ), и устанавливает общие закономерности между их качеством и надежностью (безотказностью, долговечностью, ремонтпригодностью, сохраняемостью) машин и механизмов, лежащие в основе теории и практики рационального применения ГСМ в технике. Иными словами, химмотология определяет достаточность качества ГСМ для обеспечения требуемого уровня технических характеристик машин и механизмов в различных условиях эксплуатации.

Для успешного решения столь сложных задач химмотологии уже к концу 1960-х годов была создана свойственная лишь ей одной методология, в основе которой лежит четырехэтапная система испытаний.

Первый этап (квалификационные испытания) включает определение принципиальной возможности использования опытных образцов ГСМ в технике с учётом общих конструктивных особенностей последней. Используют, в основном, стандартизованные и квалификационные методы, базирующиеся на имитационных моделях машин и механизмов. Стандартизованные методы, преимущественно входящие в нормативную документацию на продукт, позволяют оценить определенные физико-химические или субстанциональные свойства ГСМ, квалификационные – характер и интенсивность однородных явлений, протекающих в агрегатах и узлах трения в условиях, приближенных к эксплуатации техники, в том числе по изменению субстанциональных свойств ГСМ и (или) геометрических, энергетических, экологических и других индикаторных параметров имитационной модели. Эти методы, объединенные в различных сочетаниях в комплексы, позволяют с достаточной степенью полноты оценить эксплуатационные свойства различных видов ГСМ, что во многих случаях делает возможным прогнозирование надежности техники.

На втором этапе испытания ГСМ проводятся в заводских условиях, непосредственно в технике, для которой они предназначены, с целью

определения, главным образом, влияния ГСМ на долговечность и безотказность машин и механизмов по результатам оценки индикаторных параметров двигателя, агрегата, узла трения и т.п., что дает возможность конструктору принять решение о применении в технике опытного образца ГСМ, установить ресурс, а в ряде случаев – внести конструкционные изменения.

На третьем этапе, предусматривающем проведение испытаний изготовителем техники на полигоне по программам, согласованным с производителем ГСМ, определяют влияние ГСМ на безотказность и сохраняемость машин и механизмов в экстремальных условиях эксплуатации.

На четвертом этапе оценивают ремонтпригодность, экологические характеристики, экономичность машин и механизмов (сроки смены, пополнения, нормы расхода ГСМ), а также способность ГСМ сохранять качество в рамках существующих технологий поставок нефтепродуктов. Испытания проводятся, как правило, с использованием большого количества техники в эксплуатирующих организациях при нормальном режиме эксплуатации по программам, согласованным с производителями ГСМ и техники.

В целом, уникальная методология химмотологии – надежный инструмент теории и практики рационального применения ГСМ в технике. За 50-летний период развития химмотологии сформирован ряд научных школ по основным направлениям исследований:

Теоретическое обоснование и практическая реализация ускоренной системы испытаний горюче-смазочных материалов – это направление возглавлял Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д-р техн. наук, проф. К. К. Папок. Со своими ближайшими соратниками (Заслуженными деятелями науки и техники РСФСР, д-рами техн. наук, проф. Е. Г. Семенидо, Б. В. Лосиковым и С. Э. Крейном) он разработал унифицированный подход к оценке качества ГСМ и заложил методологические основы их квалитметрии на основе моделирования процессов, протекающих в узлах и агрегатах машин и механизмов при применении в них ГСМ. В дальнейшем работы сподвижников К. К. Папок, учеников, коллег-химмотологов других научных организаций – представителей научных школ, реализующих практически все направления исследований, способствовали созданию системы государственных приемочных испытаний, позволяющей определить возможность и эффективность использования нефтепродуктов в технике. В настоящее время активно продолжается совершенствование методологии и системы испытаний ГСМ, а также внедрение новых унифицированных методов квалификационных испытаний;

Научные основы создания топлив для транспортной техники и разработка практических рекомендаций по их рациональному применению – к представителям этого направления исследований относятся: Заслуженные деятели науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. А. А. Гуреев, Б. В. Лосиков, Заслуженные деятели науки РФ, д-ра техн. наук, проф. В. С. Азев, Е. П. Серёгин (лауреат Государственной премии УССР), д-ра техн. наук, проф. С. Н. Волгин, Н. М. Лихтерова, Ю. М. Пименов, И. В. Рожков, З. А. Саблина, Я. Б. Чертков, Е. С. Чуршуков, Г. С. Шимоаев, Б. А. Энглин, д-р техн. наук А. В. Орешенков, д-р философии техн. наук В.П. Зрелов; ученые ВНИИ НП – д-ра техн. наук, проф. В. С. Емельянов (лауреат премии Правительства РФ),

Э. Ф. Каминский, Т. Н. Митусова (лауреат Государственной премии СССР), д-р техн. наук А. М. Данилов; Заслуженные деятели науки РФ, д-ра техн. наук, проф. В. С. Яковлев (НИИПХ, лауреат премии Правительства РФ) и Л. С. Яновский (ЦИАМ им. П. И. Баранова), д-ра техн. наук, проф. С. Т. Башкатова (РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина), С. В. Бойченко (НАУ, Украина), С. П. Горбачев (Газпром ВНИИГАЗ); Е. И. Гулин и А. С. Сафонов (ВАТТ); А. В. Исаев (НИИ СУ); В.В. Малышев (ОАО «Туполев»); д-ра техн. наук В.И. Праздников (З ЦНИИ МО РФ), В.А. Сомов (Ленинградский институт водного транспорта); И. В. Чечкенов (НК «Роснефть») и др.;

Научные основы создания и применения компонентов ракетных топлив – представителями этого направления являются: Заслуженные деятели науки РФ, д-ра техн. наук, проф. А. А. Братков (лауреат Государственной премии СССР) и Е. П. Серёгин (лауреат Государственной премии УССР); д-ра техн. наук, проф. Я. Б. Чертков, Г. С. Шимонаев, д-ра техн. наук Н. М. Кафенгауз, А. А. Ильинский, А. М. Чирков; ученые РНЦ «Прикладная химия» – Герои Соцтруда СССР Заслуженный деятель науки РФ, академик РАН (АН СССР) В. С. Шпак (лауреат премии Правительства РФ) и д-р техн. наук, проф. Е. А. Всеволодский (лауреат Государственной премии СССР), академик РАН Г. Ф. Терещенко (лауреат премии Правительства РФ 1999–2001 гг.); член-корреспондент РАН (АН СССР) Б. В. Гидаспов (лауреат Ленинской премии и Государственной премии СССР); Заслуженные деятели науки и техники РСФСР, д-ра хим. наук, проф. А. Г. Базанов и А. В. Картавченко; д-ра техн. наук, проф. Г. Л. Антипенко, Б. М. Ласкин (лауреат Государственной премии СССР и премии Правительства РФ), С. Ф. Булушев (лауреат Государственной премии СССР), Н. Т. Ярошенко; д-р хим. наук, проф. Р. Г. Авербе; ученые ВНИИ НП – Герой Соцтруда СССР, Заслуженный деятель науки и техники СССР, д-р техн. наук, проф. Е. Д. Радченко (лауреат Государственной премии СССР), д-р техн. наук, проф. И. Б. Быстрова (лауреат Государственной премии СССР); академик АН СССР А. В. Фокин (ВАХЗ); академик АН Белорусской ССР Я. М. Паушкин (ИФОХ АН БССР); член-корреспондент АН СССР Г. Ф. Большаков (Тюменский институт нефти и газа); ученые ВА РВСН им. Петра Великого – Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д-р техн. наук, проф. Н. В. Петрухин (лауреат Государственной премии СССР), Заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. И. Т. Севрюков, д-р техн. наук, проф. В. М. Быстров; ученые ВАТТ – Заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. Б. А. Ногин; д-ра техн. наук, проф. А.С. Сафонов и М.Г. Штепан; Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д-р хим. наук, проф. А. Ф. Жигач (лауреат Государственной премии СССР 1949 и 1967 гг., лауреат Государственной премии РФ 1996 г., ГНИИХТЭОС); Заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. В. В. Усин (ИХФ им. Н. Н. Семёнова РАН); д-ра техн. наук, проф. А. Ф. Аксёнов (НАУ, Украина), В.М. Островская (ИОНХ им. Н.С. Курнакова РАН); Н. Г. Чернышев (4 НИИ); В. Г. Спиркин (РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина), д-р техн. наук В. М. Некипелов (МФТИ) и др..

Научные основы создания смазочных масел и разработка практических рекомендаций по их рациональному применению – Заслуженные деятели науки РСФСР, д-ра техн. наук, проф. К. К. Папок, С. Э. Крейн, Б. В. Лосиков,

Е. Г. Семенидо, д-ра техн. наук, проф. А. Б. Виппер, В. А. Золотов, В. Л. Лашхи, д-р техн. наук В. Л. Вальдман; ученые РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина – академик АН Армянской ССР д-р техн. наук, проф. В. И. Исагулянц, Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д-р техн. наук, проф. Н. И. Черножуков, Заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. И. Г. Фукс, д-ра техн. наук, проф. Т. Н. Шабалина, Г. И. Шор; ученые ВНИИ НП – д-ра техн. наук, проф. И. Ф. Благовидов, Л. Г. Жердеева, Н. Г. Пучков, д-ра техн. наук А. К. Климов, Ю. С. Заславский, О. Н. Цветков, В. М. Школьников; лауреат премии им. И. Д. Зелинского АН СССР, д-р хим. наук, проф. О. П. Паренего (ИНХС им. А.В. Топчиева), д-ра техн. наук, проф. С. Г. Арабян (НИАТ), М. А. Григорьев (НАМИ), Л. И. Двойрис (Калининградское пограничное военное училище МВД), А. Лукса (Политехнический университет г. Радома, Польша); А. С. Меджибовский (НПО «Квалитет»), Д. Минков (Софийский политехнический университет, Болгария); Э. М. Мохнаткин (ВНИИТРАНСМАШ), Г. И. Фукс (НИИЧАСПРОМ); д-р хим. наук В. Н. Бакунин (СЕМТУРЕ), д-ра техн. наук А. Ю. Евдокимов (МГЛУ), К. С. Рамайя (НАМИ), В. А. Тыщенко (СВ НИИИП), Б. М. Бунаков (НАМИ) и др..

Научные основы создания и применения пластичных смазок – представителями этого направления являются: Заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. Н. Н. Гришин (лауреат премии Правительства РФ), д-р техн. наук, проф. В. В. Синицин; ученые ВНИИ НП – д-ра техн. наук, проф. К. И. Климов, С. И. Крахмалев, В. А. Михеев, Е.М. Никаноров, д-р техн. наук А. М. Данилов; ученые НПО «МАСМА» – Заслуженный деятель науки и техники Украины, д-р техн. наук, проф. Ю. Л. Ищук (лауреат Государственной премии Украины), д-р хим. наук Е. В. Кобылянский; ученые РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина Заслуженный деятель науки РФ, д-р техн. наук, проф. И. Г. Фукс, д-р техн. наук, проф. В. В. Вайншток; Заслуженный деятель науки и техники РСФСР, д-р техн. наук, проф., лауреат премии им. С. В. Лебедева АН СССР Г. В. Виноградов (ИНХС им. А. В. Топчиева); д-ра техн. наук, проф. В. П. Павлов (ВА БТВ) и Г. И. Фукс (НИИЧАСПРОМ), лауреат Государственной премии СССР Д. С. Великовский; д-р техн. наук А. А. Джамалов (Душанбинский политехнический университет, Таджикистан) и др..

Научные основы создания и применения консервационных и рабоче-консервационных материалов – это направление представляют: Заслуженные деятели науки и техники РСФСР, д-ра техн. наук, проф. С. Э. Крейн, Б. В. Лосиков, Заслуженные деятели науки РФ, д-ра техн. наук, проф. В. С. Азев, А. А. Братков (лауреат Государственной премии СССР), Н. Н. Гришин (лауреат премии Правительства РФ), д-ра техн. наук, проф. В. А. Митягин, И. В. Рожков, Е. С. Чурушков; д-р техн. наук, проф. Ю. Н. Шехтер (ВНИИ НП) и др..

Научные основы создания и применения технических средств службы горючего – представителями этого направления являются: Заслуженные деятели науки РФ, д-ра техн. наук, проф. К. В. Рыбаков, В. Г. Коваленко, В. П. Коваленко, д-ра техн. наук, проф. В. Е. Бычков и В. В. Середа, д-р техн. наук В. Л. Азаренков; сотрудники ВАТТ Заслуженные деятели науки РФ, д-ра техн. наук, проф. А. И. Белкин, Б. А. Ногин, А. С. Поляков, д-р техн. наук, проф. Б. С. Квашнин; д-ра техн. наук, проф. В. Г. Артемьев (Ульяновская государственная сельскохо-

зайтвенная академия), В. В. Варнаков (Ульяновский государственный университет), А. Н. Литвиненко (УВВТУ им. Б. Хмельницкого), Ю. А. Микипорис (Ковровская гос. железнодорожная академия), А. Д. Прохоров (РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина), А. Н. Соловьев (НАУ, Украина), В. П. Сучков (МИПБ МЧС России), Р. Г. Тимиркеев (НИАТ), Д. В. Цагарели (НК «Роснефть»); д-ра техн. наук С. А. Инютин (МАТИ) и Г. А. Франк (ГОУ профучилище № 115) и др..

Фундаментальные исследования физико-химических процессов, протекающих в химмотологических системах – научное направление, сформированное несколько позже (в середине 1960-х годов). Его представителями являются ученые практически всех направлений исследований и научных школ, упомянутых выше. Инициатор проведения исследований физико-химических процессов в химмотологии на молекулярном уровне – д-р техн. наук, проф. Г. С. Шимонаев.

В итоге скоординированной деятельности научных школ, реализующих вышеперечисленные направления исследований, на базе трудов выдающихся российских и зарубежных ученых А. Н. Баха, Н. Н. Семёнова, К. С. Энглера, М. Боденштейна, С. Н. Хиншельвуда и др. (теория окисления органических веществ); М. В. Келдыша, А. С. Предводителева, В. Н. Кондратьева, Я.Б. Зельдовича, Н.М. Эммануэля, О.М. Тодеса, А. Уббеллоде, Б. Льюиса, Г. Дамклера и др. (теория горения); Н. П. Петрова, С. В. Чаплыгина, П. А. Ребиндера, Б. В. Дерягина, Е. А. Чудакова, М. М. Хрущева, Н. В. Крагельского и др. (теория трения и износа); Г. В. Акимова, Н. Т. Томашова, Я. М. Колотыркина, В. П. Батракова, И. Л. Розенфельда, Ф. Тодта и др. (теория коррозии металлов) фундаментальные теории окисления, горения, трения, износа, коррозии и другие были адаптированы к химмотологическим системам [2, 3]:

- предложена осциллярно-гомогенная теория образования короткоживущих активных многоатомных свободных радикалов в углеводородной среде. На её основе развит механизм зарождения цепей в углеводородах и сформулированы общие положения теории окисления сложных смесей жидких углеводородов, содержащих природные соединения (являющиеся эффективными ингибиторами окисления), что позволило разработать методики прогнозирования скорости образования отложений на нагретых поверхностях в углеводородной среде и старения ГСМ;

- показана непригодность «физической» модели горения для описания рабочих процессов двигателей внутреннего сгорания, установлены общие закономерности влияния химического, углеводородного и фракционного состава топлив на эффективность превращения их химической энергии в механическую в двигателях;

- развиты основные положения общей теории поверхностных явлений (с учетом изменений в любой из соприкасающихся фаз: твердое тело – газ, твердое тело – жидкость, жидкость – газ, жидкость – жидкость), протекающих в узлах трения и агрегатах при работе машин и механизмов, предложен механизм действия поверхностно-активных веществ в указанных системах;

- разработаны основные положения теории граничной смазки и граничного трения применительно к сопряженным деталям машин и механизмов, работающих в условиях относительно невысоких температур, удельных нагрузок и

сравнительно низких скоростей скольжения, предложено общее уравнение износа деталей машин, учитывающее адсорбционную способность и химическую активность смазочной среды, что позволило применить системный подход к управлению качеством смазочных масел как элемента конструкции техники в условиях ее эксплуатации, в том числе создать научные основы подбора присадок (пакетов присадок) различного функционального действия к смазочным маслам, методы прогнозирования надежности машин и механизмов;

- развиты основные положения теории физико-химической механики и устойчивости коагуляционных и конденсационно-коагуляционных псевдоколлоидных систем; разработаны общие закономерности протекания трибохимических реакций в смазочной среде, что обеспечило возможность прогнозирования работоспособности узлов трения различных машин и механизмов в широком диапазоне температур по реологическим и смазывающим характеристикам пластичных смазок;

- разработаны общие закономерности и механизм протекания электрохимической коррозии металлов в обводненной углеводородной среде, насыщенной поверхностно-активными веществами, представляющими собой как естественные ингибиторы коррозии, так и коррозионно-активную среду, что позволило разработать методологию прогнозирования защитной способности горюче-смазочных (в том числе консервационных и рабоче-консервационных) материалов в различных условиях хранения и эксплуатации техники;

- сформулированы теоретические основы создания технологий сохранения чистоты и качества ГСМ, широко используемые при выборе материалов и разработке новых конструкций технических средств и систем хранения, транспортирования, перекачки, очистки от загрязнений и заправки ГСМ.

В результате проведенных к настоящему времени учеными-химмотологами совместно с технологами, машиностроителями, эксплуатантами, экологами и представителями других научных специальностей исследований на базе разработанных теоретических положений, установленных закономерностей и механизмов протекания химмотологических процессов сформулированы основные научные принципы создания ГСМ и компонентов ракетного топлива с заданными эксплуатационными свойствами, разработаны технологии их производства, установлен ряд общих закономерностей влияния качества ГСМ на надежность техники, созданы обеспечивающие эксплуатацию всей отечественной 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 (технических жидкостей).

В настоящее время научные школы, реализующие основные направления исследований химмотологии, продолжают активно развиваться. Исследования проводят не только в специализированном ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», 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. Курс химмотологии включен в программы обучения

студентов на кафедрах ряда нефтяных и транспортных вузов России, Украины и Белоруси. Регулярно проводятся научно-технические конференции по химмотологии. В обществе «Знание» и Московском химическом обществе им. Д. И. Менделеева проводятся семинары по химмотологии. Материалы исследований публикуются в журналах «Химия и технология топлив и масел», «Нефтепереработка и нефтехимия», «Мир нефтепродуктов», «Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья», «Вестник машиностроения», «Коррозия металлов», «Заводская лаборатория» и др.

Изданы десятки книг по химмотологии, в том числе:

- справочники: Папок К. К., Рагозин Н. А. Словарь по топливам, маслам, смазкам, присадкам и специальным жидкостям (химмотологический словарь). – М.: Химия, 1975. – 392 с.; Химмотология. Словарь. Понятия, термины, определения. – М.: Знание, 2005. – 304 с.;

- монографии: Химмотология ракетных и реактивных топлив / А.А. Братков, Е.П. Серегин, А.Ф. Горенков и др. / Под ред. А.А. Браткова. – М.: Химия, 1987. – 304 с.; Данилов А. М. Введение в химмотологию. – М.: Техника, 2003. – 463 с.; Резников М. Е. Авиационные топлива и смазочные материалы (авиационная химмотология). – М.: Военное издательство Минобороны России, 2003. – 234 с.; Сафонов А. С., Ушаков А. И., Гришин В. В. Химмотология горюче-смазочных материалов. – Спб.: НПИКЦ, 2007. – 488 с.;

- учебные пособия: Гуреев А. А., Фукс И. Г., Лашхи В. Л. Химмотология. – М.: Химия, 1986. – 368 с.; Химмотология пластичных смазок / Под ред. И. Г. Фукса. – М.: ГАНГ им. И. М. Губкина, 1994. – 147 с.; Фукс И. Г., Спиркин В. Г., Шабалина Т. Н. Основы химмотологии. Химмотология в нефтегазовом деле. – М.: ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2004. – 280 с.; Основы авиационной химмотологии / Под ред. И. В. Шевченко, Л. С. Яновского. – М.: МАТИ, 2005. – 680 с.; Бойченко С. В., Спиркин В. Г. Введение в химмотологию. Ч. I. – Одесса: Астропринт, 2009. – 232 с.; Бойченко С. В., Любинин И. А., Спиркин В. Г. Введение в химмотологию. Ч. II. – Одесса: Астропринт, 2010. – 271 с.

Для согласования работ в области химмотологии действует нештатный Координационный научный совет по химмотологии, включающий представителей около 70 организаций, разрабатывающих и выпускающих ГСМ, конструирующих, производящих и эксплуатирующих технику.

Однако несмотря на вышеизложенное, 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, выражающих связи между звеньями химмотологической цепи, т.е. описывающих и способных предсказать поведение ГСМ в машинах и механизмах в разнообразных условиях эксплуатации. Подавляющее число прикладных задач химмотологии или их составных частей продолжают решать методом «прямого эксперимента», каждый раз проходя весь цикл испытаний в полном объеме.

В технической литературе в последнее время все чаще пытаются рассматривать ГСМ как элемент конструкции того объекта, где они применяются. Однако из-за указанного выше эта попытка в большинстве случаев носит

декларативный характер, поскольку любой элемент конструкции технического объекта подбирается по результатам расчета на надежность. ГСМ аналогичным расчетам не поддаются, так как их поведение при отсутствии какой-либо теории (в отличие от функционирования узлов и деталей машины) описывается, в основном, на качественном, а не на количественном уровне.

Анализ динамики развития химмотологии показывает, что в её прошлом был сделан акцент на активном накоплении экспериментального материала, в настоящее время происходит его рациональное использование, а будущее, которое должно быть посвящено созданию и развитию теоретической базы, характеризуется некоторой неопределенностью.

Для развития химмотологии и повышения её значимости необходимо попытаться кардинальным образом изменить сложившееся положение, спроецировав науку не только на решение конкретных практических задач, но и на динамичное, устойчивое развитие собственной теоретической базы. При этом уже сегодня явно недостаточным является использование теоретических положений, заимствованных из других сопредельных наук, и их адаптация к химмотологическим системам. Необходимо формирование теоретических положений, характерных только для химмотологии и отличающих её от других прикладных наук. Целесообразна разработка количественных зависимостей и критериев, характеризующих состояние ГСМ и позволяющих рассматривать их в качестве элемента конструкции технического объекта, поддающегося расчету аналогично любой механической детали.

Для дальнейшего упрочения позиций химмотологии следует кардинальным образом сменить ориентиры и направления ее развития, поскольку в противном случае химмотология мало чем будет отличаться от инженерного дела.

Практика показала, что экономика страны получает значительную выгоду в том случае, когда вопросы химмотологии решаются на должном научно-техническом и организационном уровне. Оптимизация качества ГСМ, конструктивное усовершенствование техники, рациональное применение ГСМ при её эксплуатации обеспечивает увеличение работоспособности машин и механизмов на 20–50%, уменьшение расхода топлива на 15–20%, снижение расхода смазочных материалов в 2–4 раза, сокращение ассортимента применяемых топлив, смазочных и консервационных материалов и специальных (технических) жидкостей в 2–3 раза и т.д. Развитие общей теории химмотологии обеспечит возможность прогнозирования надежности машин и механизмов в любых условиях эксплуатации, в том числе на стадии их конструирования.

Литература:

1. Папок К. К. Рациональное использование топлив и масел – важнейшее условие повышения долговечности двигателей // Химия и технология топлив и масел. – 1964. – № 6. – С. 1–5.
2. Теоретические основы химмотологии / Под ред. А. А. Браткова. – М.: Химия, 1982. – 320 с.
3. Гришин Н. Н. Химмотология – некоторые итоги и основные задачи // Мир нефтепродуктов. – 2012. – № 6. – С. 36–39.

К ЮБИЛЕЮ ХИММОТОЛОГИИ

В начале 60-х годов XX столетия технический прогресс в мире привёл к наличию в эксплуатации многообразной и сложной техники, различающейся принципами её работы, назначением, техническими характеристиками, используемыми конструкционными материалами и др. Для обеспечения её эффективного функционирования требовалось использование широкого набора различных веществ-энергоносителей, а также смазывающих, защитных и иных материалов. Только отечественный ассортимент этих материалов составлял более 300 наименований. Для их производства применялись последние достижения химической и нефтехимической промышленности на основе открытых химической наукой законов превращения веществ с получением целевых продуктов с нужными свойствами. В качестве сырья для производства КЖРТ и ГСМ в этот период в наибольшей степени использовали нефть. Одновременно с этим сырьём, а иногда и целевым продуктом служили и другие вещества: уголь, газ, растительность, животные жиры и др. Эксплуатация огромного парка техники требовала расхода соответствующего количества энергоресурсов. Только в нашей стране в этот период для указанных целей расходовали до 400 млн тонн нефти в год, а к этому надо добавить ещё и газ, и уголь и др. виды энергетического сырья. В связи с этим, вопросы рационального, экономного расходования этих ресурсов приобрели огромное экономическое, экологическое и политическое значение.

Необходимо было научное обоснование системы взаимодействия в такой сложной и многообразной технической области, которая включала в себя разработку конструкции и производства различных видов техники и обеспечения её эффективной работы с наименьшими затратами. Однако работы в этой области не носили системного характера, во многом классификация и ассортимент горюче-смазочных материалов складывались стихийно, системного подхода к решению неизбежно возникающих в этой области проблем не прослеживалось. В связи с этим возникла объективная необходимость выделить науку о рациональном применении топлив, смазочных материалов и специальных жидкостей в технике в самостоятельную область знаний, привести её в системный вид, консолидировать специалистов, работающих в этой области, и обеспечить целенаправленное развитие теоретических и экспериментальных исследований, практических работ в этой области.

Накапливание экспериментальных данных в области химмотологии и их теоретическое обобщение к этому времени проводилось многими исследователями и практиками, как в нашей стране, так и за рубежом. Среди отечественных учёных в первую очередь следует отметить такие имена как Папок К. К., Семенидо Е. Г., Крейн С. Э., Лосиков Б. В., Пучков Н. Г., Энглин Б. А., Кулиев А. М., Эминов Е. А., Благовидов И. Ф., Рамайя К. С., Виноградов Г. В., Климов К. И., которые опубликовали в конце 50^х начале 60^х годов монографии, справочники и др. обобщённые материалы. Значительное количество научных материалов в этот период опубликовано и зарубежными учёными. По указанным

публикациям названия работ по исследованию эксплуатационных свойств горюче-смазочных материалов, их зависимости от состава и особенностей применения именовались как нефтяное товароведение, применение нефтепродуктов и др.

В сложившихся к началу 1960-х годов условиях первооткрывателем химмотологии, т.е. первым лицом, предложившим выделить эту науку в самостоятельную область знаний, явился Константин Карлович Папок. До этого времени выпускник Московского нефтяного института им. И.М. Губкина имел опыт работы в качестве начальника лаборатории ГСМ в НИИ ГВФ, организовывал институт по применению ГСМ в Вооружённых силах СССР, был его первым начальником, изучал практический зарубежный опыт и научные достижения по производству и применению горюче-смазочных материалов в США, Румынии, Германии, Англии, участвовал в VI Мировом нефтяном конгрессе (ФРГ), имел много единоличных и в соавторстве научных публикаций, в том числе Словарь по топливу и маслам, монографии «Моторные, реактивные и ракетные топлива», «Моторные и реактивные масла и жидкости», был авторитетным организатором науки и исследователем. Накопленные практический опыт и научные знания позволили К. К. Папок обоснованно сформулировать название новой прикладной науки, предмет её исследования и место среди других наук, решаемые наукой проблемы и практические задачи.

Накапливание экспериментальных и теоретических знаний по рациональному применению горюче-смазочных материалов в технике проводилось многими учёными и практиками разных поколений. И многих из них, исходя из научных достижений по отдельным направлениям, также можно считать в числе основателей химмотологии. Заслуга К. К. Папок состоит в том, что первым предложив выделить химмотологию в самостоятельную область знаний он консолидировал работу специалистов, работающих в сфере производства и применения горюче-смазочных материалов в различных видах техники и тем самым создал условия для дальнейшей систематизации и интенсификации работ в этом направлении.

Название науки, её предмет и область исследования в своё время активно обсуждались специалистами, и предложения по корректировке отдельных положений рождаются до сих пор. В конечном итоге К. К. Папок был поддержан научной общественностью. Однако и с позиций настоящего времени можно утверждать, что основные постулаты, выдвинутые К. К. Папок, оказались правильными и своевременными, и это подтверждено дальнейшим развитием работ в области химмотологии в нашей стране и за рубежом.

За 50 лет, прошедших после провозглашения химмотологии в качестве самостоятельной прикладной науки, произошло становление ряда системообразующих науку элементов (событий). Предложено расширенное, по сравнению с первоначальным, понятие химмотологии, как технической науки о свойствах, качестве и рациональном применении топлива, смазочных материалов и специальных жидкостей в технике, изучающей физико-химические, эксплуатационные свойства и состав ГСМ, физико-химические процессы, протекающие в них при работе двигателей, энергетических установок, агрегатов и узлов машин и механизмов, а также в условиях хранения, перекачки и транспортирования; устанавливающей зависимости между составом, качеством

ГСМ и показателями надёжности, эффективности и др. характеристиками работы техники.

Сформулированы также такие понятия как химмотологические: модель, надёжность, процесс, система, явление и др. Дано определение эксплуатационного свойства как объективной особенности ГСМ материалов, которая проявляется в процессе производства, испытания, трансформирования и использования их в технике при химмотологическом процессе – совокупности взаимосвязанных и упорядоченных по времени физико-химических процессов превращения ГСМ, протекающих под воздействием внутренних и внешних факторов химмотологической системы и приводящих к изменению её параметров.

Введено понятие химмотологической системы, как модели логической взаимосвязи между конструкцией двигателей машин и механизмов, качеством и уровнем эксплуатационных свойств применяемых в них ГСМ и условиями эксплуатации техники. Показано, что химмотология, как наука, обязательно должна участвовать в научном обосновании разработок конструкции техники, создания рецептур ГСМ и технологий обращения с ГСМ на пути от места производства до узла применения и при эксплуатации техники.

Проведена классификация химмотологических процессов, протекающих при применении ГСМ в технике и соответствующие этим процессам их эксплуатационных свойств.

В химмотологии сформирована своя, характерная для этой науки методологическая база. В химмотологических исследованиях в принципе могут быть использованы все известные методы исследования состава вещества и его технического состояния. Но при этом специфическими являются методы оценки эксплуатационных свойств ГСМ с помощью модельных методов испытания, которые в лабораторных установках физически воспроизводят по отдельным параметрам условия пребывания работы ГСМ в технике и таким образом позволяют оценить одно или несколько эксплуатационных свойств испытуемого образца ГСМ. В том числе, например, прокачиваемость, испаряемость, воспламеняемость, склонность к отложениям, конструктивная совместимость, антифрикционные свойства и др. Такие методы получили название квалификационных.

Квалификационные методы, собранные в комплексы, позволяют оценить всю гамму эксплуатационных свойств испытуемого образца ГСМ и в результате получить в лабораторных условиях за короткий срок достоверную информацию о его качестве и возможности использования в технике и тем самым, в ряде случаев, исключить необходимость испытания техники в стендовых или эксплуатационных условиях на полный ресурс. На принципе использования модельных квалификационных методов в СССР была сформирована государственная система испытаний ГСМ, которая с некоторыми изменениями используется и в настоящее время.

Наряду с формированием понятийного аппарата и методологии теоретическая база химмотологии развивалась по другим направлениям. Проводились научные обобщения большого накопленного материала экспериментальных исследований на эмпирическом и теоретическом уровнях. При этом выявлялись количественные закономерности типа состав-свойство и их изменение во времени или

с изменением условий применения ГСМ. Наряду с указанными закономерностями, имеющими частный характер, велись обобщения и поиски характерных для химмотологии общих закономерностей.

Сформулирован общий закон химмотологии: «Эксплуатационные свойства ГСМ определяются (обулавливаются) химическим составом составляющих их веществ, структурой и энергетическим состоянием молекул этих веществ. Интенсивность проявления этих свойств зависит от конструктивных особенностей двигателей (механизмов) и внешних условий, воздействующих на них».

Прошедшие последние 50 лет развития индустриального общества сопровождалось дальнейшим ускорением развития техники, которое влекло за собой усиление внимания к рациональному использованию мировых энергоресурсов, а также обеспечению наиболее высоких тактико-технических характеристик машин и механизмов за счёт обоснованного подбора и правильного применения топлив, смазочных и других расходных материалов в технике. За это время произошли существенные изменения в развитии всех элементов, составляющих химмотологическую триаду: «техника – горюче-смазочные материалы – эксплуатация». При этом значительную созидательную роль сыграла и химмотология.

Не смотря на то, что классические принципы работы массовых энергетических установок не изменялись, и по-прежнему их основу составляют поршневые, газотурбинные и ракетные двигатели, а также котельные установки, тем не менее, за эти годы происходило их постоянное совершенствование, направленное на улучшение тактико-технических характеристик (ресурс работы, надёжность, экономичность, экология и др.). При этом, как правило, происходило ужесточение требований к применяемым ГСМ.

Двигателестроение развивалось в целом по пути совершенствования конструкции энергетических установок, направленного на снижение удельного расхода топлива, предотвращение загрязнения окружающего пространства, повышение надёжности двигателей и ряд других показателей. При этом развитие поршневых двигателей сопровождалось увеличением степени сжатия топливно-воздушной смеси, внедрением турбонаддува, повышением быстроходности, использованием устройств для снижения содержания вредных веществ в отработавших газах. Всё приводило к повышению теплонапряжённости двигателей и сопровождалось повышением требований к октановому и цетановому числам, соответственно бензинов и дизельных топлив, а также термоокислительной стабильности моторных масел.

Развитие авиационных газотурбинных двигателей массового применения сопровождалось повышением их теплонапряжённости и соответственно повышением требований к термостабильности и содержанию сернистых соединений в реактивных топливах, а также к термоокислительной стабильности авиационных масел.

Совершенствование двигателей ракетно-космической техники также шло по пути улучшения их технических характеристик (тяги, надёжности, безопасности и др.). Для этого было целесообразно использовать компоненты жидких ракетных топлив, дающих наибольший удельный импульс, и безопасных в обращении. Для

развития ракетной техники с ВРД необходимы топлива с повышенным энергосодержанием. В условиях длительного пребывания в космосе топлива, смазочные и другие специальные материалы должны выдерживать радиационное воздействие.

Выделение химмотологии в самостоятельную прикладную науку дало значительный эффект и импульс к дальнейшему её развитию. Указанный эффект проявился в широком спектре различных направлений. Прежде всего это консолидация действий учёных и практиков, которые ранее разрозненно занимались вопросами создания и производства техники и ГСМ, повышения эффекта их применения в различных отраслях экономики. Таким образом формировалось организованное сообщество химмотологов – специалистов, объединённых одной парадигмой. Провозглашение новой науки потребовало системного подхода к её изложению, описанию и использованию. В результате развитие химмотологии происходило по пути формирования её теории, а также наращивания эмпирических знаний и практических достижений.

Становление химмотологии как самостоятельной науки сопровождалось признанием её научной общественностью. Это выражалось в частности публикацией описания понятия химмотологии в энциклопедиях и словарях, введением постоянного раздела «химмотология» в журнале «Химия и технология топлив и масел», регулярным проведением научно-технических конференций и семинаров по вопросам химмотологии в Москве, Ленинграде, Челябинске, Киеве, Днепропетровске, а также в других городах. В последнее время регулярно проводят с изданием трудов научно-технические конференции по проблемам химмотологии 25 ГосНИИ химмотологии МО РФ (Москва) и Национальный авиационный университет НАУ (Киев).

Участвуя в очередной конференции по химмотологии следует отметить, что вначале КиИГА, а теперь НАУ внесли огромный вклад в становление и развитие авиационной химмотологии. Начиная с 60-х годов в Киеве регулярно (через четыре года) проводились (с изданием трудов) научно-технические конференции «Эксплуатационные свойства авиационных топлив, смазочных материалов и специальных жидкостей (Вопросы авиационной химмотологии)», а затем с 2006 г. (через два года) конференции «Проблемы химмотологии». На этих конференциях заслушивались по более 100 докладов, представленных от различных организаций (НИИ, КБ, ВУЗов, заводов и др.), что давало возможность широкого общения специалистов и способствовало поиску оптимальных решений химмотологических задач. Мы должны выразить благодарность организатору V конференции «Проблемы химмотологии» С. В. Бойченко и его команде, а также отметить большой вклад конкретных ученых КиИГА (НАУ) в развитие химмотологии. В этом числе А. Ф. Аксёнов (основатель научно-педагогической химмотологической школы НАУ), В. П. Белянский, В. Т. Василенко, В. В. Гаража, А. А. Литвинов, Ю. Г. Некипелов, А. Г. Никитин, Г. А. Никитин, А. Н. Соловьёв, В. И. Терёхин, Ж. С. Черненко, С. В. Чирков и др., которые в разные годы создали несколько научных школ, в частности по методам оценки эксплуатационных свойств ГСМ, по технологиям обращения с ГСМ в эксплуатационных условиях и по другим направлениям, что обеспечивало развитие науки химмотология, а также надёжность эксплуатации авиатехники.

По вопросам химмотологии за прошедшие полвека накопилось большое количество публикаций в виде монографий, словарей, справочников, учебников, учебных пособий, обзоров статей в периодических изданиях и сборниках трудов научно-технических конференций и семинаров. В том числе опубликованы монография «Теоретической основы химмотологии» группы авторов под ред. А. А. Браткова, учебники «Химмотология», авторы А. А. Гуреев, И. Г. Фукс, В. Л. Лашхи и «Авиационная химмотология», автор М. Е. Резников, учебное пособие «Основы авиационной химмотологии», авторы Л. С. Яновский и др.

Изучение вопросов химмотологии включено в программы обучения многих технических ВУЗов. В РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина более 30 лет функционирует кафедра «Смазочные материалы и химмотология»; кроме того в последнее время этим университетом совместно с 25 ГосНИИ химмотологии МО РФ создана базовая кафедра «Химмотология горюче-смазочных материалов».

Вклад в выделение химмотологии в самостоятельную прикладную науку внесли многие учёные. В связи с этим с 1991 г. была организована регулярная публикация брошюр серии «Учёные – химмотологии», в которой представлены краткие очерки о жизни и творчестве отечественных учёных, внесших значительный вклад в химмотологию, а также анализ их научных публикаций. Серию открыли брошюры о К. К. Папок, Б. В. Лосикове и С. Э. Крейне. Всего к настоящему времени издано 29 брошюр об учёных – химмотологах, работавших в различных организациях. Публикацию брошюр этой серии предполагается продолжить.

Химмотология является межотраслевой прикладной наукой, и её развитие определялось вкладом учёных и практиков, работающих в различных отраслях промышленности и экономики. В нашей стране в каждой отрасли в 60-х гг. были свои прикладные научно-исследовательские и испытательные институты, которые в зависимости от принадлежности к производству техники, ГСМ и их использованию в эксплуатационных условиях, решали вопросы химмотологии. В том числе головные в своих отраслях институты ЦИАМ, ВНИИ Трансмаш, НАМИ, НАТИ, ЦНИИ МФ, ЦНИИ им. Крылова, ЦНИДИ, ВНИИ НП, ГИПХ и многие другие.

В тесном контакте с прикладными институтами решали вопросы химмотологии и конструкторские бюро, разрабатывающие технику, а также заводы, её производящие.

Активное участие в развитии химмотологии принимали и высшие учебные заведения, в том числе РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, МАДИ, МГУ им. Ломоносова, КиИГА (НАУ), МГТУГА и др.

Во многих из этих организаций сложились свои научные школы, которые формировались авторитетными учёными-лидерами, создавали свои традиции, проводили наиболее глубокие, как правило совместно с учёными Академии Наук, исследования и являлись локомотивами развития химмотологии.

В начальный период формирования химмотологии в нашей стране большую позитивную роль сыграли организационные мероприятия в масштабе государства.

Так, в 1968 г. вышло постановление Совета Министров СССР «Об усилении работ в области испытаний топлив, масел, смазок и специальных жидкостей», в котором предусматривалось упорядочение проведения, повышение

технического уровня и сокращение сроков испытаний новых ГСМ в стране, создание ГосНИИ по химмотологии (на базе НИИ-25 МО), расширение прав Межведомственной государственной комиссии по испытаниям топлив, масел, смазок и специальных жидкостей при Госстандарте СССР.

Это послужило дополнительным импульсом интенсификации работ в области химмотологии. Начала внедряться в государственном масштабе система допуска ГСМ к применению в технике на основе комплексов методов квалификационных испытаний, позволявших получить комплексную оценку эксплуатационных свойств ГСМ на модельных установках, отказаться в большинстве случаев от проведения длительных испытаний на полноразмерных изделиях техники и получать в короткие сроки большой экономический эффект.

В соответствии с новым постановлением Правительства (1970 г.) в ряде министерств и ведомств были созданы специальные химмотологические центры, которые проводили испытания ГСМ и совершенствовали систему оценки их эксплуатационных свойств с помощью комплексов квалификационных испытаний и других видов испытаний (стендовых, лётных, дорожных и др.).

В связи с проведёнными в стране коренными реформами изменилась система испытаний ГСМ и допуска из к применению в технике. Произошла децентрализация этой системы, реорганизованы химмотологические центры, изменилась роль прикладных институтов и предприятий, производящих технику и ГСМ. Однако при этом не потеряли своего значения комплексы методов квалификационной оценки. Они прошли проверку временем и в большинстве случаев позволяют оценивать эксплуатационные свойства ГСМ на уровне, достаточном для обоснованного принятия решения о допуске испытуемого образца ГСМ к применению в технике.

При рассмотрении перспектив развития химмотологии целесообразно вначале вновь обратиться к введённому К. К. Папок понятию химмотологии как науки, определённого им месту химмотологии в трёхзвенной системе: «техника-ГСМ-эксплуатация», сформулированном в последнее время приведённому выше общему закону химмотологии и другим элементам этой науки, научным материалам, представленным в серии «Учёные химмотологии», последним публикациям о состоянии развития теории химмотологии и практических достижений в области рационального применения ГСМ в технике.

Исходя из такого подхода следует выделить для более подробного рассмотрения следующие основные направления развития химмотологии: углубление развития теории, создание эффективных методов оценки эксплуатационных свойств ГСМ и системы их использования, совершенствование техники, ГСМ, технологий обращения с ГСМ и их применения в технике. Эти направления можно считать классическими, вытекающими из самого понятия химмотологии. Они были достаточно подробно рассмотрены в докладе автора на IV конференции «Проблемы химмотологии» в 2012 г.

В настоящем докладе изложены исторические вехи выделения химмотологии в самостоятельную науку и высказаны в основном обобщённые представления на развитие химмотологии по различным направлениям. Практика работы химмотологов безусловно внесет свои коррективы. В наше время бурного развития науки и техники следует ожидать появления и новых прорывных

технологий, которые окажут значительное влияние на рациональное использование энергоресурсов с учетом экологических требований и экономических факторов, а следовательно и на развитие нашей прикладной науки.

Бойченко С. В., Аксёнов А. Ф.,
Национальный авиационный университет, Украина

ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ РОЛЬ ХИММОТОЛОГИИ

Сегодня авторами [1] предложена уточненная формулировка определения химмотологии. Это – *«наука о технологических процессах, свойствах, качестве и методологии рационального использования топлив, масел, смазок и технических жидкостей при эксплуатации техники»*.

Непосредственная цель прикладных наук – применение результатов фундаментальных наук для решения не только познавательных, но и специфических практических проблем. Для современной науки становится всё более характерным переход от предметной к проблемной ориентации, когда новые отрасли знания возникают в связи с выдвиганием определенной бiльшой теоретической или практической проблемы. Так возникли стыковые науки, в том числе химмотология как прикладная наука на стыке химии, физики, машиноведения, теплотехники, экономики, но др. Всеми этими признаками обладает химмотология, сущность которой можно определить термином *«техническая философия»*, которая отображает сущность этой науки [2].

О роли химмотологии свидетельствует важность решаемых ею задач: обеспечение энергетической безопасности экономики страны, рациональное применение нефтяных и альтернативных топлив, смазочных материалов и технических жидкостей при эксплуатации современной и создании перспективной техники [3–15].

Химмотология как наука уже давно получила социальный заказ на создание методов и средств рационального использования нефтепродуктов. Изначально химмотология характеризуется системностью. Химмотология, как и системотехника ((от англ. Systems Engineering), – это направление науки и техники, охватывающее проектирование, создание, испытание и эксплуатацию сложных систем, и в определенной степени – прикладное воплощение теории систем. Системный подход в химмотологии в большей степени не столько способ решения задач, сколько способ их постановки. Как говорится, «верно поставленный вопрос – половина ответа». Это качественно более высокий, нежели просто предметный, способ познания.

Именно химмотология как самостоятельная наука способна системно решать сегодня комплекс эколого-энергетических задач. Сегодня наблюдается новый этап развития этой науки и её роли в общей системе знаний. Именно химмотология объединяет и воплощает усилия разработчиков и производителей техники, нефтепродуктов, нефтепереработчиков и эксплуатантов машин и механизмов. В этом подтверждение комплексности науки и её *консолидирующей роли* в научно-техническом прогрессе.

Химмотология комплексно решает такие важные практические вопросы, как конструирование и производство техники, эксплуатация техники, разработка и использование топлив, масел, смазок, технических жидкостей.

Определяющая роль химмотологии в научно-техническом прогрессе состоит в так называемой консолидирующей ее функции как прикладной науки, которая создает и развивает комплексные интеграционные коммуникации учёных и практиков машиностроительной, нефтеперерабатывающей и нефтехимической отраслей экономики вместе с эксплуатантами машин и механизмов для решения эволюционных проблем научно-технического прогресса.

Учитывая растущий интерес к использованию альтернативных топлив, достаточно реальную перспективу нефтяных источников энергии и повышения уровня требований к их экологичности, уровню качества и рационального использования этих энергоресурсов, значительно повышаются требования к профессиональной подготовке инженерно-технических работников. В этом проявление образовательной функции химмотологии.

Основные задачи химмотологии на современном этапе можно представить в таком порядке:

- оптимизация требований к качеству и составу топлив, смазочных материалов и технических жидкостей, их эксплуатационным свойствам с учетом запасов первичных источников энергии, достижений научно-технического прогресса в развитии техники, особенностей ее конструкции и условий эксплуатации, экологических и экономических требований;

- усовершенствование методов испытаний и контроля качества топлив, масел, смазок и технических жидкостей, нормативной, стандартизированной базы в сфере технического регулирования;

- разработка рекомендаций по унификации, взаимозаменяемости и определению условий рационального и экономного использования топлив, смазочных материалов и технических жидкостей;

- участие в модернизация двигателей и машин. При модернизации техники можно выделить два направления: а) создание и внедрение новых, наиболее экономичных типов двигателей; б) совершенствование эксплуатируемых двигателей всех типов, процессов смесеобразования и сгорания.

Известно, что в начале 70-х годов XX в. американским ученым Б. Коммонером были сформулированы основные законы экологии. Если говорить об общих закономерностях химмотологии, то, очевидно, учитывая специфику её как прикладной науки, в количественном выражении в виде фундаментальных законов их не следует ожидать. В тоже время на основании накопленных знаний можно выделить три основных закона химмотологии, предложенные профессором Серёгиным Е. П.: 1. Эксплуатационные свойства ГСМ и ТЖ обуславливаются химическим составом составляющих веществ, структурой и энергетическим состоянием их молекул; 2. Интенсивность проявления эксплуатационных свойств зависит от конструктивных особенностей двигателей (механизмов) и внешних условий, влияющих на них; 3. Надёжность, экономичность и экологичность техники определяется качеством ГСМ и ТЖ.

Химмотология создает необходимый «фундамент» для обеспечения как оптимальных условий применения ГСМ, современных требований к их качеству, так и рационального использования при эксплуатации техники.

Комплекс взаимосвязанных элементов системы «горюче-смазочные материалы + технические жидкости – техника – эксплуатация», между которыми протекают физико-химические процессы, составляют **химмотологическую систему**. Процессы взаимодействия звеньев химмотологической системы являются основным **объектом исследований** и **сущностью** химмотологии.

Основное теоретическое содержание химмотологии ГСМ составляют зависимости эксплуатационных свойств индивидуальных веществ или их смесей, используемых в качестве топлив, смазочных материалов и технических жидкостей, от их состава. При этом главную роль играет вещество, составляющее основную массу того или иного вида ГСМ. Так, основа смеси углеводородов определяет такие важнейшие свойства, как плотность для авиакеросинов, исходное октановое число для бензинов, поведение при низких температурах для дизельных топлив, вязкость для моторных масел и т.д. Однако в чистом виде основное вещество применяется в качестве ГСМ в особых случаях, например, это компоненты жидких ракетных топлив (O_2 , H_2 , H_2O_2 и другие). Но даже и в них, не говоря уже об углеводородных смесях, порой решающую роль играют примеси или специально добавленные вещества в виде присадок или составляющих основу компонентов. В гораздо большей степени влияние примесей и специальных добавок проявляется в смесях углеводородов. Так, сернистые соединения в углеводородных топливах определяют их коррозионные и экологические свойства, кислородные соединения углеводородов во многом определяет термостабильность реактивных топлив, октановое число бензинов, противозносные свойства реактивных и дизельных топлив.

Литература:

1. Аксёнов А. Ф., Серёгин Е. П., Яновский Л. С., Бойченко С. В. Современная парадигма и перспективы развития химмотологии // Химия и технология топлив и масел. – № 4 (578). – 2013. – С. 13–20.
2. Евдокимов А. Ю. Единство естественнонаучного и гуманитарного подходов в решении проблем экологии (на примере химмотологии смазочных материалов) // Наука и технологии в промышленности. – №4 Серeda В. В., Волгин С. Н. 40 лет – молодость и зрелость науки // Химия и технология топлив и масел. – 2004. – № 5. – С. 3–6.
3. Братков А. А. Химмотология и научно-технический прогресс // Химия и технология топлив и масел. – 2004. – № 5. – С. 7–10.
4. Гришин Н. Н., Лашхи В. Л., Егин А. И. О совершенствовании квалификационных испытаний топлив и смазочных материалов // Химия и технология топлив и масел. – 2004. – № 5. – С. 16–17.
5. Лашхи В. Л., Гришин Н. Н. Новое в теории химмотологии смазочных материалов // Химия и технология топлив и масел. – 2004. – № 5. – С. 41–45.
6. Основы авиационной химмотологии / Л. С. Яновский, В. П. Дмитренко, Н. Ф. Дубовкин и др. – М.: МАТИ, 2005. – 680 с.
7. Гришин Н. Н., Егин А. И., Лашхи В. Л. и др. Научно-технические основы химмотологии смазочных материалов. – М.: ООО «УниверПринт». ООО «ТУМА ГРУПП», 2006. – 43 с.

8. Фукс И. Г., Спиркин В. Г., Шабалина Т. Н. Основы химмотологии. Химмотология в нефтегазовом деле. – М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2004. – 280 с.

9. Данилов А. М. Введение в химмотологию. – М.: «Техника». ООО «ТУМА ГРУПП», 2003. – 464 с.

10. Серёгин Е. П. Современное состояние развития теории химмотологии // Вісник НАУ. – 2009. – № 1. – С. 89–94.

11. Волгин С. Н., Лашхи В. Л., Гришин Н. Н. Главная задача химмотологии // Вісник НАУ. – 2009. – № 1. – С. 104–107.

12. Середа В. В., Лашхи В. Л., Гришин Н. Н. Перспективы развития химмотологии. К 100-летию со дня рождения К. К. Папок // Мир нефтепродуктов. – 2008. – № 6. – С. 4–6.

13. Спиркин В.Г., Фукс И.Г., Шабалина Т.Н. Вклад ученых губкинцев в химмотологию топлив и смазочных материалов // Химия и технология топлив и масел. – № 6. – 2004. – С. 32–34.

14. Спиркин В.Г., Евдокимов А.Ю., Фукс И.Г. К.К. Папок – первый эколог в химмотологии // Химия и технология топлив и масел. – № 4. – 2004. – С. 2.

15. Евдокимов А. Ю., Фукс И. Г., Облащикова И. Р. Экологическая безопасность применения топлив и смазочных материалов на базе растительного сырья // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – № 3. – 2005. – С. 28–30.

Gómez I., Sanchez-Blanco M.,

Observatory of Sustainability in Aviation (OBSA), SENASA, Spain

DEVELOPMENT OF AVIATION BIOFUELS: LESSONS LEARNT FROM EU ITAKA PROJECT ABSTRACT

ITAKA is a “flagship” EU collaborative project on aviation biofuels which objective is to link supply and demand by establishing a relationship under guaranteed conditions between the feedstock growers, biofuels producers, distributors and the final user.

ITAKA is addressing challenges at European level in two main areas:

- Development of commercial scale production and study implications of large-scale use;
- Research on sustainability, economic competitiveness and technology readiness.

The main result expected within the improvement of conversion technology is a more safe, efficient and fluent production process for renewable aviation fuels. The modifications will also ensure the fulfilment of tight aviation fuel product quality requirements, especially in product density. Environmental, safety, health and quality aspects will be taken into careful consideration in every step of the production, transport and storage of the fuel.

The overall objective of ITAKA in the field of Research and Innovation is to develop a full value-chain in Europe to produce sustainable drop-in kerosene containing up to 50% of Hydroprocessed Esters and Fatty Acids (HEFA) at large scale enough to allow testing in existing logistic systems and in normal flight operations in the European Union.

ITAKA will assess its sustainability, economic competitiveness and technology readiness, in order to identify and address barriers to innovation.

The main technological objective in terms of conversion technology is to optimize existing refining processes for both camelina and waste vegetable oil. Through the

adaptation and novel integration of an existing plant and technology to build up the first-of-its-kind plant in the EU able to produce biojet fuel at a large enough scale to reduce production cost beyond the state of the art.

Beyond these technological and research objectives, ITAKA project is also willing to contribute to the achievement of a further EU objective: the need to coordinate efforts and complementarities among European Initiatives on sustainable aviation fuels. ITAKA has been built aiming to engage key stakeholders and to make a first significant step in the establishment of such a European network.

During the first 18 months of ITAKA, important lessons have been learnt, key market barriers and enablers identified, and best-practices designed in relation to the general aim of ITAKA and its particular objectives.

In order to carry out an optimal analysis of the value chain, an overview of the experience gained during the Project execution will help to identify the barriers, best practices and learnings achieved so far.

ITAKA explores two types of feedstock: camelina oil and Used Cooking Oil (UCO). Camelina is a fully mechanized, high hardiness crop with the capacity to produce in areas with low rainfall, allowing its cultivation in large scale areas as a rotational crop for cereal.

The 2012/2013 camelina campaign, although not reaching the targeted production objectives, has allowed drawing many conclusions and lessons learnt for the development of a sustainable camelina value chain in Spain and Europe. The main barriers encountered and lessons learnt regarding the production of camelina are explained below:

- **Climatic issues.** Unusual levels of rainfall during spring fostered the appearance of undesired weed in camelina plantations.

- **Technical issues.** No approved herbicides for weed control are allowed in Spain for camelina plantations.

The unusual level of weed in camelina plantations delayed the harvest and significantly increased the amount of impurities. The amount of these impurities doubled the levels registered in previous campaigns carried out in Spain, mainly due to weed proliferation.

- **Industrial issues.** Excess of impurities in camelina harvest hampered and increased the effort estimated for the cleaning process prior to the seed crushing.

- **Cultural issues.** Following an adequate fertilization protocol for background and dressing fertilization is critical in order to guarantee acceptable camelina productivities in arid dryland regions. However, farmers in arid dryland regions in Spain are not always used to perform background fertilization due to climatic variability, minimizing this way the investment/risk in case of drought. This habit becomes apparent when farmers cultivate a new crop, unknown to them.

Taking into account the barriers and learnings identified, several corrective actions and recommendations are proposed in order to foster the market of feedstock production:

- It becomes necessary to arrange registered herbicides for growing camelina in Spain and Europe at an industrial scale. This is a policy issue that should be addressed in the short term both at national and European levels in order to foster the production of sustainable feedstock.

- The establishment of an adequate fertilization protocol becomes a prerequisite for a successful yield of European camelina crops.
- The introduction of camelina production in new regions requires a careful selection of professional farmers that are willing to follow recommendations regarding minimum land quality and fertilization protocols.

Camelina oil production in the ITAKA Project has been performed using a commercial crushing facility that usually processes other vegetable oils, such as sunflower. Both camelina oil extraction efficiency and final oil content in the meal have been adequate and similar to other oilseed.

Sourcing of sustainable feedstock for biojet production to biofuel producers requires complying with several parameters such as quality, volume, sustainability certification and traceability. It remains challenging to meet all the above criteria for new feedstock plantations with novel agro-energy crops.

In addition, the requirements set and the sustainability criteria of current standards (RSB, ISCC, EU RED & EPA among others) are not fully harmonized and result too complex depending on the feedstock origin. This has been identified as an important barrier both for feedstock production and supply to the refining stage.

As previously stated, due to the feedstock's production variability, it becomes difficult to provide the required information regarding feedstock available volumes, quality and sustainability certification data with sufficient anticipation. This has also been identified as a major barrier that leads to difficulties in securing production slots and planning in advance.

Given the 2013 camelina oil production and the impossibility of supplying the required information on time, camelina-based biojet production has not been possible in 2013. Although a significant effort was made to locate and purchase alternative feedstock, no other feedstock fulfilling all sustainability and quality requirements was identified. This extent demonstrates the difficulties of providing enough "sustainable" feedstock for the European biojet market.

However, ITAKA partner SkyNRG has been able to provide 200 ton of a UCO-based biojet that has allowed performing the first ITAKA demonstration flights in May 2014.

According with the binding technical specification, ASTM D1655 the resulting biojet needs to be blended up to a 50% in volume with conventional fossil JetA1. Unblended, 100% pure biojet by definition does not meet ASTM spec and, therefore, is not allowed to enter into an airport fuel farm. As a result, a blending facility shall be constructed outside (although as near as possible) the airport's fuel farm, so the alternative and conventional fuels may be blended to the proportions established within the relevant technical specification.

While the blending cannot occur at the airport fuel farm itself, it is a desirable location. The main reason for choosing such a location for blending is that it does not disrupt in a significant way the already existing conventional jet fuel supply chain. Both of these aspects can present significant cost savings. In any case, this is a discussion that is currently happening in the regulatory and technical arenas and for which an optimal solution is yet to come.

After several discussions with the experts involved in the ITAKA Advisory Board, it has been confirmed that, regarding biojet fuel blending, to date ASTM spec does not

cover handling, and is silent on the required location for the blending operations. What is clear though, is that airports either are prohibited or have policies prohibiting off-spec fuel entering their tanks. Even without a clear policy, this is just a logical precaution to take. There is too much risk allowing pure biojet into the farm with the good intention of blending it later. Mistakes can happen and the blending may never take place.

All the knowledge and experience gathered as a result of the first Demonstration flights (that have been launched in May 2014 and will be running until the end of the year), as well as that resulting from the following demonstration activities (i.e.: biofuel distribution in existing airport infrastructures and camelina-based demo flights) will serve to identify any eventual further barriers and lessons to be learnt in the last stages of the value chain.

The analysis carried out above has considered each link of the value chain independently with the objective of collecting all relevant information arisen during the Project development in a structured way. The outcome of this procedure has led to the identification of those barriers, best practices and lessons learnt resulting from the practical implementation of the value chain.

The first results arising from the Project development show that there are still several barriers to be surpassed for the implementation of the biojet value chain. Such barriers include regulatory issues at European and global level that need to be tackled in the short term in order to stimulate the market. Other relevant learnings and best practices have been identified resulting from the experience gathered during the project's first 18 months.

Regarding feedstock production, a new agronomical protocol for camelina cultivation has already been implemented in the 2014 campaign. In addition, several contacts with the corresponding authorities (Spanish Ministry of Agriculture) have been initiated in order to foster herbicide approval for camelina plantations. Significant effort has also been carried out in order to meet sustainability criteria, including RSB and EPA, applicable in the USA. There is also a need for establishing a formal, widely adopted and optimized procedure for the biojet fuel blending operations in Europe.

This knowledge will be transformed into valuable market intelligence information through its application in a business-as-usual market perspective. This approach results a useful mechanism that will help to highlight the market needs of all individual submarkets and stakeholders involved in the value chain. The final outcome of the present analysis will be the drafting of a set of recommendations and market development insights for the smooth implementation of the European biojet value chain.

References:

1. D1.1: "New camelina variety with increased productivity – 1st" – Capuano, A., 2013.
2. D1.4: "New camelina variety with increased oil content with unsaturated fatty acids 1st"- Jurcoane, S., 2013
3. D1.7: "Social and environmental sustainability improvements. Results on camelina plantations viability 1st"- Capuano, A., 2013
4. D3.1: "Advice to technical certifying bodies"- Schapers, E., 2014
5. D6.3: "Exploitation Plan midterm" – Sánchez-Blanco, M., 2014
6. D6.6: "Advisory Group establishment"- Velarde, C., 2013
7. D7.1: "Compliance with the sustainability criteria of the crude camelina oil produced"- Alonso de Linaje, B., 2013

8. D7.2: “Quality & quantity specifications of the crude camelina oil produced”- Alonso de Linaje, B., 2013
9. www.astm.org/Standards/D1655.htm, last accessed May 2014.

María del Mar de la Rica, Velarde C.,
Observatory of Sustainability in Aviation (OBSA), SENASA, Spain

INCLUSION OF BIOFUELS AND SUSTAINABILITY CRITERIA ON THE EU REGULATION: EU FUEL QUALITY AND RENEWABLE ENERGY DIRECTIVES. APPLICATION ON AVIATION

Background to the Renewable Energy Directive. The history of European policy for sustainable transport biofuels goes way back before the approval of the Renewable Energy Directive (RED) in 2009. In 2003, Directive 2003/30/EC called the Biofuels Directive aimed to promote the use of biofuels or other renewable fuels for transport purposes. It was the first time that non-binding targets were introduced, requiring Member States to set an indicative target for 2005 of 2% of biofuels, and a longer term expected target for 2010 of 5,75 % of all petrol and diesel for transport placed on the market. However, no individual objectives for Member States were set. It did contain specific regulations on the Member States’ reporting obligations meaning that they were to submit annual biofuel progress reports to the Commission. In addition, the Member States should submit evaluation reports to the Commission every two years. However, the 2% of biofuels use objective by 2005 was not fulfilled.

As a consequence the Commission published in 2006, a detailed *EU Strategy for Biofuels*¹, which included measures to promote the production and use of biofuels. A binding target was first proposed in 2007 in the *Renewable Energy Road Map*² which was followed by the communication from the Commission of an *Energy Policy for Europe*³ dealing with energy and sustainability issues and underlining the need for a coordinated promotion of biofuels throughout the EU. The energy policy was the first step for the elaboration of the RED Directive and the Fuel Quality Directive (FQD) on a later stage.

EU Policy Framework: The policy for renewable fuels in Europe has been developed through the Renewable Energy Directive (2009/28/EC) that establishes a common framework for the promotion of energy from renewable sources and the EU Fuel Quality Directive (2009/30/EC).

The Renewable Energy Directive sets out, for each Member State, the share of energy to be achieved from renewable resources up to 2020. To fulfill this policy, it is expected that demand for biofuels will increase substantially in the coming years, resulting in more land being allocated and more people working for their production. In order to avoid the potential detrimental effects of EU biofuels policy on climate change, the EU Fuel Quality and Renewable Energy Directives set environmental sustainability criteria, including GHG emissions savings to be attained as well as criteria intended to

¹ COM (2006) 34 final, An EU Strategy for Biofuels, Communication from the Commission

² COM (2006) 848 final, Renewable Energy Road Map. Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future, Communication from the Commission.

³ COM (2007) 1 final, An Energy Policy for Europe, Communication from the Commission.

protect against the conversion of land with high biodiversity or carbon stock. Additionally, the regulation sets mandatory national targets of how much each Member State will have to contribute to a 10% target of use of renewable sources for the transport sector.

This 10% objective must be largely covered by biofuels and bioliquids and therefore the Directive sets certain sustainability criteria referring to the protection of land with high ecological value, greenhouse gas emission savings, and the socio-economic impact. Those Environmental Sustainability criteria will have to be met if a certain biofuel or bioliquid is to count for the Member State's mandatory targets, for any renewable energy obligation to be imposed or for any subsidy payment.

In addition to this, both Directives establish a requirement for the Commission to submit a report to the European Parliament and the Council from 2012 and every two years after that.

Sustainability Criteria: In order to be able to account towards the national targets, biofuels must comply with specific sustainability criteria. The list of the sustainability criteria from the Renewable Energy Directive is similar to the one in the Fuel Quality Directive, although enforcement and implementation is further developed in the first one.

One of the requirements makes it compulsory to achieve a minimum greenhouse gas emission saving from the use of biofuels of 35% for the short period. From 2017 on, it must be 50%, and from 2018 it must be 60% for new installations. In addition, land on which the crops are grown must not have had a high biodiversity value in January 2008 (e.g. designated areas for nature protection, virgin forest, species-rich grassland) nor crops should be grown on land with high carbon stock in January 2008 (e.g. wetlands, continuously forested areas).

There are no direct requirements for social and economic sustainability. However, the Commission shall report every two years on the impact on social sustainability in the Community and in third countries of increased demand for biofuel, and on the impact of EU biofuel policy on the availability of food at affordable prices, in particular for people living in developing countries, and wider development issues. Reports shall also address the respect of land use rights.

The sustainability criteria are applicable both to biofuels produced in the EU and imported biofuels. As a result, those imported biofuels that have not proven to meet the sustainability criteria will have to comply with the Renewable Energy Directive requirements to count towards the achievement of the EU or national renewable energy obligations. Biofuels produced from waste and residues, other than agricultural, aquaculture, fisheries and forestry residues, need only fulfill the requirements for GHG emission savings.

Greenhouse Gas Reduction Calculation. Greenhouse gas emissions reductions have to be proven in accordance with specific calculation requirements contained in both Directives. Member states must assure that the biofuels comply with these requirements and in order to do so, operators have to use a mass balance system which allows consignments of raw material or biofuel with differing sustainability characteristics to be mixed. Sustainability criteria compliance must also be proven by operators. In order to do so, operators have three alternatives:

- 1) By providing the national authority with data, in compliance with requirements that the Member State has laid down (Member States must provide a national system)
- 2) Using a voluntary scheme recognized by the Commission for this purpose.
- 3) In accordance with the terms of a bilateral or multilateral agreement concluded by the Union and which the Commission has recognized for the purpose (the Commission shall seek to make bilateral agreements for third countries that guarantee that sustainability criteria are similar to those under EU law)

For the calculation of the greenhouse gas impact of biofuels the RED gives default values of 22 biofuel production pathways that may be used. For other production pathways operators have to do their own calculations according to a given methodology described in the RED. Disaggregated default values may be used for some factors (e.g. for the transportation of biofuels). Total GHG emissions are the sum of emissions from cultivation, processing and transportation of biofuels.

Voluntary Schemes: Since 19 July 2011, the EC has recognized 14 voluntary schemes that apply directly in 27 EU Member States. To achieve this recognition, the Commission assesses each scheme that to evaluate if its rules cover the requirements. When using a voluntary scheme, operators must arrange an independent auditing process for the information to be provided to the national authority.

Current ILUC concerns. After the approval of the RED and the FQD, one of the concerns that were still being discussed was the lack of consideration of Land Use Change (ILUC) in the European regulation. ILUC refers to the displacement of food crops produced when feedstock used for biofuels is produced on existing cropland previously used for food crops. But when agricultural production is displaced, the price of the displaced products is likely to increase. A price increase then creates an incentive to expand cropland for agricultural production. This expansion of cropland for production of displaced agriculture products has been described as the indirect land-use change effect.

Whilst the previously Directives included sustainability criteria, the greenhouse gas emissions associated with changes in the carbon stock of land resulting from indirect changes in land use are not subject to the reporting requirements. In October 2012, the Commission proposed an amendment to the renewable energy and the fuel quality directives⁴. In this proposal, the Commission acknowledged that ILUC can affect the amount of greenhouse gases associated to biofuels but also identified a number of uncertainties and limitations associated with the available numerical models used to quantify indirect land-use change (Council, (2014)). For this reason, it was recommended that the issue should be addressed under a precautionary approach.

The proposal included the introduction of iLUC factors using generic values according to the type of crop (cereals and other starch rich crops, sugars or oil rich crops). The Commission's approach gave oil rich crops an ILUC factor 4–5 times higher than cereal and sugar based crops. The introduction of these factors would have implied

⁴ COM(2012) 595 final, Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources

a big impact on the implementation and use of certain feedstocks in Europe since they would have been greatly penalized.

However, due to the possible impact on the industry, the introduction of ILUC factors has been postponed to 2016 due to lack of agreement on the factors.

Application to Aviation Biofuels. The RED applies to biofuels used in aviation when sold in a Member State, although does not establish consumption targets. Thanks to that, biofuels used in aviation can account towards meeting the Directive targets, although has to be specified in the National regulation. Up to now, only the Netherlands has included bio kerosene to account for the obligation, which establish an incentive to its use as it allows trading them in the form of “bioticket”.

RED also qualifies Bio Jet Fuel for incentives by the Member States but only if they comply with the sustainability criteria. An example of this is that the use of aviation biofuels account with a zero emissions factor in the EU Emissions Trading Scheme, so its related emissions have not a cost for the airlines as fossil jet ones do.

Conclusions. While including the sustainability criteria in the RED and in the FQD has been a big step in the approach of the Commission to alternative fuels, there are still some issues in which it has to continue to work on in order to further understand not only direct but also indirect effects. ILUC should be considered but further understanding is required before it is included in the European Legislation in order to avoid undesired effects on the still developing biofuels industry.

References:

1. Council, M. P. (2014). Use of ILUC in EU regulation: fundamental challenges in science remain unresolved.
2. Pavlovskaia, E. (2014). Legal Analysis of the EU Policy for Sustainable Transport Biofuels. Environment and ecology research.
3. Swinbank, A. (2009). EU Support for Biofuels and Bioenergy, Environmental Sustainability Criteria, and Trade Policy. International Centre for Trade and Sustainable Development.
4. COM (2007) 1. An Energy Policy for Europe, Communication from the Commission.
5. COM (2006) 34 final. An EU Strategy for Biofuels, Communication from the Commission.
6. COM(2012) 595 final. Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council Amending Directive 98/70/EC relating to the quality of petrol and diesel fuels and amending Directive 2009/28/EC on the promotion of the use of energy from renewable sources.
7. COM (2006) 848 final. Renewable Energy Road Map. Renewable energies in the 21st century: building a more sustainable future, Communication from the Commission.

Данилов А. М.,
ОАО «ВНИИ НП», Российская Федерация

РОССИЙСКИЙ РЫНОК ПРИСАДОК К ТОПЛИВАМ

Топлива для двигателей внутреннего сгорания, отвечающие современным требованиям, могут вырабатываться только с использованием присадок. Практически полное обессеривание дизельных топлив приводит к потере смазочных и антистатических свойств, что компенсируется введением противоизносных и антистатических присадок. Требования к воспламеняемости

топлив (цетановое число не ниже 55 ед.) могут быть удовлетворены добавкой промоторов воспламенения. Наконец, требование соответствия низкотемпературных свойств топлив условиям окружающей среды выполняется либо выработкой зимних и арктических топлив (оптимальный вариант), либо использованием депрессорно-диспергирующих присадок (паллиативный вариант). Что касается автомобильных бензинов, то бензины с октановым числом не ниже 95 ед (исследовательский метод), не могут состоять только из компонентов нефтяного происхождения, а требуют добавок либо оксигенатов, либо антидетонационных присадок.

Рынок присадок к топливам в России существенно изменился в 1990-е годы, когда собственные разработчики не могли быстро удовлетворить потребности производителей топлив. Вследствие этого практически все позиции были заняты иностранными фирмами. Однако производство стратегических продуктов, каким являются топлива, не может долго зависеть от зарубежных поставок. Положительный эффект оказали и так называемые санкции США и ЕС в отношении России, благодаря которым работы в области присадок к топливам существенно ускорились. В настоящее время ситуация выглядит следующим образом.

Производство **противоизносных присадок** на основе жирных кислот талловых масел было освоено на двух заводах ОАО «НК Роснефть» (Ангарск и Новокуйбышевск), в результате чего компания полностью обеспечила себя собственными присадками этого типа. Имеется также резерв по мощности и сырью, позволяющий поставлять эти присадки на заводы других компаний, что в некоторой степени и делается. В 2013 году более трети потребности в присадках этого типа в России удовлетворялось отечественным производством. Относительный дефицит сырья (кислоты, выделяемые из талловых масел) устраняется принципиально новой разработкой, базирующейся на ином доступном и дешёвом сырье.

Антистатические присадки для дизельных топлив в поле зрения отечественных разработчиков попали сравнительно недавно. Работы в этом направлении базируются на опыте создания присадок для реактивных топлив. Задача заключается в создании присадки, полностью обеспеченной доступной и дешёвой сырьевой базой. Работу проводит ОАО «ВНИИ НП». Через 1–2 года можно рассчитывать на появление соответствующей разработки.

Потребность в **промоторах воспламенения** выражена не слишком остро, поскольку большинство дизельных топлив пока вырабатывается с цетановым числом от 45 ед. и имеет запас по цетановому числу до 51–53 ед. Тем не менее, некоторые производители топлив используют присадки этого типа. В России они изготавливаются двумя заводами (Дзержинск и Бийск), которые пока покрывают существующую потребность отрасли примерно на 50% и в ближайшее время вытеснят импорт из этого сегмента рынка.

Депрессорно-диспергирующие присадки представляют собой наиболее трудную задачу. Несмотря на то, что имеются эффективные отечественные технологии (ВНИИ НП), далеко не все предприятия могут их освоить. Во-первых, для производства необходимы особые условия: давление выше 10 МПа, наличие этилена высокого давления и т.д. Во-вторых, исходя из специфики действия таких

присадок, необходимо иметь их ассортимент – не менее 10 марок с разными физико-химическими характеристиками. Такая гибкость производства представляет большие трудности. В опытном масштабе производство депрессорных присадок освоено в Ангарске. Второй компонент депрессорно-диспергирующей присадки – диспергатор парафинов – в России вообще не производится. Однако в последние годы появились две перспективные разработки, которые вполне могут занять место на рынке присадок (ООО «Депран» и Группа «Квалитет»).

Любинин И. А.,
ГП УкрНИИНП «МАСМА», Украина

РОЛЬ СМАЗКИ В РЕШЕНИИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОБОРУДОВАНИЯ И ТЕХНИКИ

Трибологические характеристики смазок, предназначенных для использования в тяжело нагруженных узлах трения, являются основными. Поэтому, при разработке и оценке качества этих смазок необходимы трибологические и ресурсные испытания.

Так при разработке смазок для породоразрушающего инструмента необходимо было обеспечить высокие трибологические характеристики. Эти требования диктуются как сложной конструкцией шарошечного долота, так и условиями его эксплуатации. Долота работают на малых скоростях и в условиях экстремальных давлений. В процессе бурения долото вибрирует и подвержено частым колебаниям скоростей и давлений. На подшипники бурильных долот действуют экстремальные ударные нагрузки. Низкая скорость вращения подшипников не обеспечивает непрерывной смазочной пленки, вследствие чего подшипники работают в условиях сухого или граничного режима трения. Удельные контактные нагрузки в подшипниках составляют от 60 до 5000 МПа, т.е. изделие изначально работает в условиях повреждаемости. При эксплуатации шарошечных долот отмечены: абразивный и окислительный износ, усталостное выкрашивание и скалывание, ударно-абразивное разрушение, пластическое деформирование (смятие) и тепловой эффект. Поэтому, если долговечность подшипников общего машиностроения исчисляется сотнями и тысячами часов, то стойкость опор долот часами.

Если сравнить противозадирные характеристики смазок для породоразрушающего инструмента со смазками другого назначения, то они гораздо выше. Еще более эта разница проявляется в стендовых испытаниях (табл. 1).

Разработанные в УкрНИИНП «МАСМА» смазки серии Долотол обеспечили повышение долговечности шарошечных долот в условиях эксплуатации на промыслах.

Смазки для резьбовых соединений труб нефтяного сортамента работают в экстремальных условиях и для обеспечения антифрикционных и герметизирующих свойств содержат в своем составе до 70% масс. Твердых добавок (порошки цветных металлов и их соединений, графит и т.п.). Для резьбовых смазок также характерны высокие трибологические характеристики (табл. 2).

Для оценки эксплуатационных характеристик резьбовых смазок необходимо проводить испытания на натурных образцах резьбовых соединений. При этом эксплуатационный ресурс резьбовых соединений определяется в процессе свинчивания-развинчивания по изменению величины «посадки». Результаты таких испытаний для замковых резьбовых соединений бурильных труб приведены на рис.

Таблица 1
Стендовые испытания смазок для опор шарошечных долот

	Графитная (УСсА)	Униол-1	XG-249	Долотол-Н	Пластол
Четырехшариковая машина: - P_k , Н - P_c , Н - $P = 1500$ Н, $D_{и}$, мм сталь ШХ-15 сталь 55СМ5Ф5	670 2500 3,88 3,50	800 2500 1,94 2,00	940 нет 1,36 0,96	1260 нет 0,98 0,85	1330 нет 0,95 1,00
СМЦ-2, $P = 1800$ Н/мм линейного контакта, коэффициент проскальзывания 20%, 300 с, износ в $мм \cdot 10^{-2}$	12	10	6	6	6
Среднее время работы до заедания по методике УкрГ ИПРО-НИИНЕФТЬ, ч	0,82	3,06	2,25	4,29	6,80
Адгезионные свойства: - сброс на стенде «Адамс» по ASTM D1263, % - вымываемость по ASTM D1264-63, %	8,9 вытекла	0,9 0,5	2,4 0,5	0,5 0,25	0,7 0,25

Таблица 2
Трибологические характеристики резьбовых смазок

Наименование смазки	Четырехшариковая машина			
	P_k , Н	P_c , Н	$I_{3,}$ Н	$D_{и}$, мм, при $P = 980$ Н
Р-402	1225	9232	1304	2,15
Р-113	1225	4900	750	1,80
Р-416	1098	2764	519	1,90
Резьбол Б	1120	3550	670	1,85
Резьбол ОМ-2	1780	6170	815	1,35
Энкатол-С	1600	6300	800	1,45

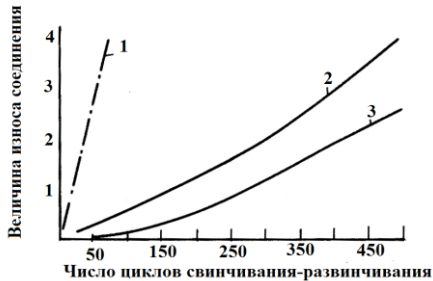


Рис. Влияние смазок на износостойкость замковых резьбовых соединений буровых труб: 1 – графитная; 2 – Р-416; 3 – Резьбол Б.

Результаты этих испытаний были использованы при разработке смазок серии Резьбол.

Для достижения высокого уровня трибологических свойств используется принципиально новая сырьевая основа – синтетические и растительные масла, комплексные и смешанные загустители, нанодобавки и присадки. Это позволяет создавать смазки, работающие в более широком температурном и нагрузочном диапазоне, а также обеспечивающие полный ресурс работы узла трения без замены или пополнения смазочного материала.

Топільницький П. І., Романчук В. В.,
 НУ «Львівська політехніка», Україна

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ НАФТОГАЗОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ УКРАЇНИ

Видобуток нафти та газу в Україні був започаткований понад 100 р. тому і досягнув свого максимуму в 1972–1975 рр., коли видобуток нафти склав 14,5 млн т/рік і газу 68,7 млрд м³/рік. Максимуму переробки нафти було досягнуто в 1985 р. – 59,9 млн тонн.

Після відкриття газонафтових родовищ в Західному Сибіру та в Узбекистані основна увага була приділена розробці цих родовищ. Україна була визнана неперспективною, видобуток нафти і газу став різко зменшуватись і в останні 4 р. становить близько 20 млрд м³ в рік.

Споживання газу досягло максимуму в 1990 р. і склало 118,8 млрд м³. Після розпаду Радянського Союзу об'єм переробки нафти почав різко зменшуватись, а об'єм споживання газу, не зважаючи на зупинку великої кількості підприємств, зменшувався дуже повільно, оскільки газ став невичерпним джерелом доходів при перепродажі в Європу. У 2013 р. в Україні було спожито 62 млрд м³ газу.

Загальна довжина газопроводів перевищує 35 тис. км, загальна потужність 82 компресорних станцій становить 5,4 тис. МВт. Продуктивність газотранспортної системи перевищує 230 млрд м³ на рік. Однак в 2013 р.

територією України до країн Західної Європи транспортовано лише 86,1 млрд м³ газу.

Нафтотранспортна система України включає 19 магістральних трубопроводів загальною довжиною 4,8 тис. км; з можливістю транспортувати 108 млн. т в рік. Основою НТС України є магістральні нафтопроводи: Придніпровський (на сході країни) і “Дружба” (на заході), в 2001 р. їх з’єднав нафтопровід “Південний-Броди”. У 2013 р українським нафтопроводом було транспортовано лише 14,5 млн т нафти з Росії.

Видобуток нафти і газового конденсату в Україні починаючи з 2005 р. постійно скорочується. У 2013 р. було видобуто 3,1 млн т нафти і газового конденсату. Для порівняння в 2005 р. видобуток складав 4,3 млн т., в 1991 р. – 5,3 млн т нафти і газового конденсату.

На сьогодні в Україні існують 6 нафтопереробних заводів, 6 газопереробних заводів, 6 підприємств з виробництва оливи, понад 10 міні НПЗ. Однак потреби України в паливах, оливах і мастилах в основному забезпечуються за рахунок імпорту. Оскільки в 2013 р. найбільший нафтопереробний завод України ПАТ «Укртатнафта» працював лише на 25% своєї залишкової потужності, а решта заводів простоювали, було перероблено тільки 3,1 млн т нафти і газового конденсату.

В останні роки в розвиток нафтопереробних заводів деяку кількість коштів вкладали акціонери. Так, на ПАТ «Укртатнафта» було освоєно процес гідроізомеризації дизельних палив, гідроочищення широкої оливної фракції – сировини каталітичного крекінгу, почато будівництво установки гідроочищення дизельної фракції на ПАТ «Нафтохімік Прикарпаття», реконструйовано блоки первинної перегонки нафти на ПАТ «НПК «Галичина».

Однак реконструкція заводів не встигала за змінами до нормативних вимог щодо випуску бензинів і дизельних палив, через що ряд заводів було зупинено.

Сподіваємось, що уряд України приділить більше уваги нафтопереробній галузі і вона відродиться.

Буцько В. С., Шарипова А. Р.

Национальный авиационный университет, Украина

ЭКСПЛУАТАЦИОННАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕГУЛЯТОРА ДАВЛЕНИЯ СИСТЕМ ПИТАНИЯ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ

Устойчивость клапана (рис. 1) может изменяться в процессе эксплуатации. Это связано с изменением в процессе эксплуатации свойств гидрожидкостей и трением в элементах клапана.

В процессе эксплуатации гидрожидкости растворяют в себе воздух, что снижает их эксплуатационные качества. В гидрожидкостях присутствует также нерастворенный газ в виде пузырьков (газовоздушная составляющая, фаза Г), что оказывает существенное влияние на модуль упругости в следствии того, что сжимаемость воздуха в тысячи раз больше сжимаемости гидрожидкости. Фаза Г выделяется в различных участках проточной части гидроавтоматики, одновременно частично растворяясь в жидкости и образуя совместно с

растворенным в ней воздухом так называемую фазу Р. В работающем гидроприводе всегда имеются фазы Г и Р с непрерывным переходом одна в другую. Газовоздушная составляющая уменьшает жесткость гидропривода, нарушает плавность движения приводимых узлов, определяет динамические свойства системы (вносит запаздывание в действие гидравлической системы и может в некоторых случаях привести к возникновению автоколебаний в системе).

Вследствие трения в процессе эксплуатации между плунжером и гильзой возникает радиальный кольцевой зазор, что приводит к колебанию и нарушению точности хода клапана. Трение плунжера возникает в основном в результате неравномерного распределения давления жидкости в радиальном кольцевом зазоре, ввиду чего возникает неуравновешенная радиальная сила, поджимающая плунжер к одной стороне гильзы. Последнее обусловлено в основном перекосами оси плунжера относительно оси гильзы или расточки в корпусе, а также неправильной геометрией (конусностью) плунжера или отверстия в гильзе.

Составляем дифференциальные уравнения клапана (рис. 1).

Составляем уравнение сил, приложенных к затвору:

$$\frac{m d^2 z}{dt^2} + k_z \frac{dz}{dt} + c_{\Sigma} z = pF; \text{ или } m\ddot{z} + k_z \dot{z} + c_{\Sigma} z = pF$$

Пусть $2n = k_z/m$; $\omega_0^2 = c/m$; $k_m = F/m$;

$$\ddot{z} + 2n\dot{z} + \omega_0^2 z = k_m p. \quad (1)$$

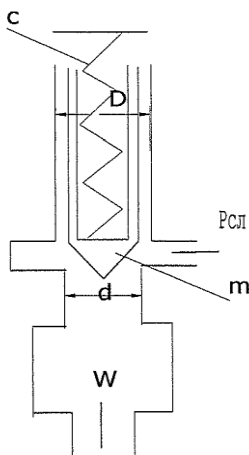


Рис. 1. Гидравлический регулятор давления прямого действия

Составляем уравнение разходов.

$$Q_{вх} = Q_c + Q_{ДР} + Q_{осв};$$

$$Q_{BX} = \frac{W}{E} \cdot \frac{dp}{dt} + \mu f \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} + F \frac{dz}{dt};$$

где W – объём рабочей камеры поршня; E – модуль упругости; F – площадь поршня клапана; ρ – плотность гидрожидкости; Δp – перепад давлений.

Заменим $\mu f \sqrt{\frac{2\Delta p}{\rho}} = k_Q z + k_p p$;

$$Q_{BX} = \frac{W}{E} \dot{p} + k_Q z + k_p p + F \dot{z};$$

Пусть $k_c = W/E$;

$$Q_{BX} = k_c \dot{p} + k_Q z + k_p p + F \dot{z}; \quad (2)$$

где

$$k_Q = \frac{\partial Q}{\partial z} = \frac{\mu p d \sin \alpha \sqrt{2\rho}}{\sqrt{\rho}} - \text{коэффициент усилия по расходу}$$

$$k_p = \frac{\partial Q}{\partial p} = \frac{\mu p d z \sin \alpha}{\sqrt{2p\rho}} - \text{коэффициент усилия по давлению}$$

k_c – коэффициент вязкого трения

Объединяем уравнения (1) и (2) в систему:

$$\ddot{z} + 2n\dot{z} + \omega_0^2 z = k_m p;$$

$$k_c \dot{p} + k_Q z + k_p p + F \dot{z} = Q_{BX};$$

Выполним преобразования Лапласа при нулевых начальных условиях

$$z(S^2 + 2nS + \omega_0^2) = k_m p;$$

$$k_c p S + k_Q z + k_p p + F z S = Q;$$

После преобразований получаем следующие уравнение:

$$a_3 S^3 + a_2 S^2 + a_1 S + a_0 = bQ;$$

где

$$a_3 = k_c z;$$

$$a_2 = z(k_p + k_c 2n);$$

$$a_1 = (k_p 2n + k_c \omega_0^2 + k_m F) z;$$

$$a_0 = z(k_p \omega_0^2 + k_Q k_m).$$

Рассмотрим $a_3 S^3 + a_2 S^2 + a_1 S + a_0 = bQ$. Характеристическое уравнение используем для определения устойчивости по критерию Раус-Гурвица:

$$a_2 a_1 > a_2 a_0, \text{ если } a_0 \dots a_2 > 0.$$

$$\begin{aligned} k_c z^2 (k_p \omega_0^2 + k_Q k_m) &= z^2 (k_p k_m) = z^2 (k_p + k_c \cdot 2n) (k_p \cdot 2n + k_c + k_c \omega_0^2 + k_m F) \\ k_c (k_p \omega_0^2 + k_Q k_m) &= k_c k_p \cdot 4n^2 + k_c^2 \omega_0^2 \cdot 2n^2 + k_m F \cdot 2n + k_c k_p \cdot 4n^2 + k_p k_m F \\ k_c k_p \cdot 4n^2 + k_c \omega_0^2 \cdot 2n + k_m F \cdot 2n + k_p^2 \cdot 2n + k_p k_m F &= k_c k_Q k_m \\ n^2 k_c k_p + 2n(k_c \omega_0^2 + k_m F + k_p^2) + k_m(k_p F - k_c k_Q) &= 0. \end{aligned}$$

Для построения графиков $n = f(k_c)$ и $n = f(F)$ используем уравнение:

$$a'n^2 + b'n + c' = 0;$$

где

$$a' = k_c \cdot k_p \cdot 4;$$

$$c' = (k_c \cdot \omega_0^2 + k_m F) \cdot k_p \cdot k_c \cdot (k_c \cdot \omega_0^2 + k_Q F);$$

$$b' = (k_p^2 + k_c(k_c \cdot \omega_0^2 + k_m F)) \cdot 2;$$

При определении z в рабочей точке p принимаем $Q' = Q/2$

$$p = \frac{Q'^2 \rho}{4\mu^2 \pi^2 d^2 z^2 \sin^2 \alpha};$$

$$z = \frac{Q \sqrt{\rho}}{\mu \pi d \sin \alpha \sqrt{2p}};$$

Используя уравнения для n определяем для различных k_c карты устойчивости, где исследуемыми параметрами есть n в зависимости от k_c .

Данные карты устойчивости построены при следующих значениях параметров клапана: $a = 45$; $p_0 = 52$ МПа; $d = 0,9$ см; $Q = 32$ л/мин; $p_{ст} = 7$ МПа; $k_B = 0,1$ Н·с/см; $D = 1,1$ см; $c = 62$ Н/м; $W = 620$ см²; $\mu = 0,66$; $\rho = 850$ кг/м³; $E = 133000$ кгс/см²; $m_1 = 0,03$ кг $m_2 = 0,08$ кг.

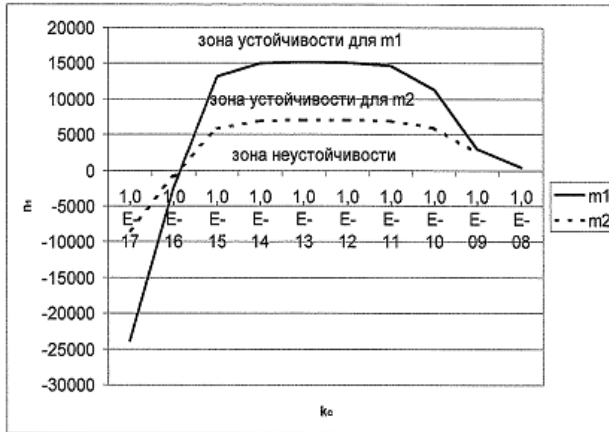


Рис. 2. График зависимости $n = f(k_c)$

При проектировании клапана необходимо учитывать, что коэффициент вязкого трения k_B может изменяться в процессе эксплуатации, в следствии чего клапан, который был устойчивым при заданном значении k_B может быть неустойчивым при эксплуатационных значениях k_B (что показывает изменение зоны устойчивости на рис. 1). Из этого следует что конструктору при

проєктируванні клапана необхідно забезпечити не тільки устійчивість клапана при заданном значенні k_E но и забезпечити запас устійчивости при всех експлуатаційних значеннях k_E .

Литература:

1. Дорф Р., Бишон Р. Современные системы управления. – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. – 831 с.
2. J. F. Blackburn., Reethof Gerhard, J. Lowen Shearek. Fluid Power Control. – The Technology Press of M.I.T.; John Wiley Sons, Inc New York, London, 1960. – 710 p.

Федина В. П., Зозуля С. В.,
Національний авіаційний університет, Україна

ОЦІНКА ВПЛИВУ РІВНЯ ЗАБРУДНЕННОСТІ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ХІММОТОЛОГІЧНУ НАДІЙНІСТЬ ТРИБОСИСТЕМ

Від якості мастильних матеріалів у значній мірі залежить надійність та довговічність машин і обладнання.

Важливою експлуатаційною характеристикою мастильних матеріалів і технічних рідин є рівень їх забруднення твердими нерозчинними змуленими частинками (механічними домішками). За статистикою, внаслідок підвищеної забрудненості робочих рідин стається вихід із ладу до 75% гідроагрегатів станків, частка відмов рульового управління автомобілів складає 65%, а для усіх галузей промисловості ресурс гідроагрегатів з цієї причини знижується в 3–5 разів.

За даними досліджень фірми Джeneral Електрик найбільш чутливими до забруднень елементами механізмів є золотникові розподільники з сервокеруванням. Аналіз наведених даних показує, що при зміні рівня забрудненості робочої рідини із 12-го 3-го класу чистоти згідно стандарту NAS 1638 (що відповідає підвищенню рівня чистоти із 16-го до 7-го класу по стандарту ДСТУ ГОСТ 17216:2004) сила зрушення клапана зменшується із 19,5 Н до 6,3 Н.

Для оцінки впливу стану мастильних матеріалів на надійність трибосистем використовувалась машина тертя СМЦ-1, доопрацьована у відповідності до завдань дослідження (рис. 1).

Як досліджувані зразки використовувались циліндричні ролики діаметром 50 мм із сталі 40Х твердістю HRC 50–52 і чистотою обробки поверхні $R_a = 0,3$ мкм.

Дослідження проводились в наступних умовах: сумарна швидкість кочення 1,8 м/с; контактна напруга 500 МПа; відносне проковзування 20–80%; об'ємна температура змащувального середовища 20–90°C.

Під час виконання експериментів вимірювались показники: навантаження на ролики; момент тертя; об'ємна температура середовища; швидкість обертання роликів; падіння електричної напруги на змащувальному шарі.

Як показник, що характеризує змащувальні властивості масел використовувався такий показник, як товщина змащувального шару в контакті.

Товщина змащувального шару в контакті – один із найбільш ефективних показників, які характеризують змащувальну здатність масел. Процес вимірювання товщини змащувального шару є досить складним, оскільки сама

вимірювана величина незначна за величиною; а в контакті існує биття. Тому метод вимірювання повинен бути чутливим, точним, стабільним і неінерційним. Таким вимогам відповідає метод вимірювання товщини по падінню електричної напруги в режимі нормального тліючого розряду [1].

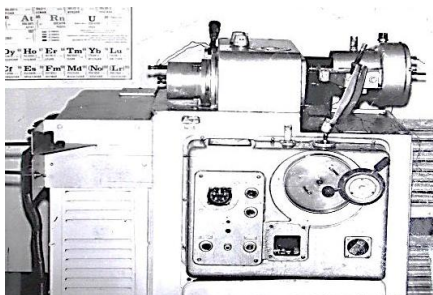


Рис. 1. Зовнішній вигляд модернізованого вузла тертя машини СМЦ-1

Даний метод вимірювання базується на наступних електричних властивостях змащеного контакту тертя:

- у тонкому змащувальному шарі існує стійкий нормальний тліючий розряд, який описується законом Пашена і Геля: падіння напруги на змащувальному шарі ΔU пропорційне товщині цього шару і не залежить від площі контакту;

- при нормальному тліючому розряді компоненти масла не являються основними носіями електричних зарядів, що в свою чергу обумовлює малу залежність результатів вимірювання від властивостей і стану мастильного матеріалу;

- процес вимірювання не впливає на змащувальні властивості досліджуваного середовища;

- електронний характер провідності забезпечує малу інерційність і високу стабільність вимірювань;

- величина падіння напруги не залежить від температури масла в широкому діапазоні її вимірювання.

Крім цього даний метод можна використовувати для вимірювання товщини змащувальних шарів як гідродинамічного і адсорбційного походження, так і вимірювання твердоподібних органічних плівок.

Дійсне значення падіння напруги визначалось за формулою:

$$\Delta U = 2\Delta U_1 - \Delta U_2,$$

де ΔU_1 – падіння напруги при силі струму I_1 ; ΔU_2 – падіння напруги при силі струму I_2 (причому $I_2 = 2I_1$).

Значення товщини змащувального шару визначається величиною ΔU за допомогою спеціальних тарувальних графіків.

Для оцінки впливу механічних домішок на надійність роботи трибосистем використовувалась спеціально розроблена установка [2].

У даній машині тертя використовується схема тертя, при якій між циліндричною поверхнею диска, що обертається, і плоскою поверхнею нерухомого зразка протікає досліджувана рідина. Система підводу рідини складається із ємності з пристроєм для перемішування і трубопроводу подачі з каліброваним наконечником.

Вузол навантаження забезпечує можливість проведення дослідів в діапазоні навантажень в контакті від 0 до 300 кг/мм².

Пара тертя складається із нерухомого плоского зразка і диска, що обертається. Проходження рідини через зону тертя забезпечується П – подібним обмежувачем напрямку руху рідини, основою якого є поверхня зразка. Із метою попадання забруднень в зону тертя передбачено пристрій для періодичного розкривання контакту із частотою 2 розкривання за хвилину.

У даному випадку методика оцінки величини зносу за глибиною доріжки тертя з використанням профілометра – профілографа.

На основі попередньо проведених експериментів вибрані наступні режими досліджень для зразків із бронзи БрАЖН10-4-4, що працює в парі із сталлю ШХ-15 в рідині для авіаційних гідравлічних систем АМГ-10: швидкість ковзання 0,3 м/с; осьове навантаження 12,5 кг; шлях тертя 1000 м.

Результати досліджень наведені на рис. 3.

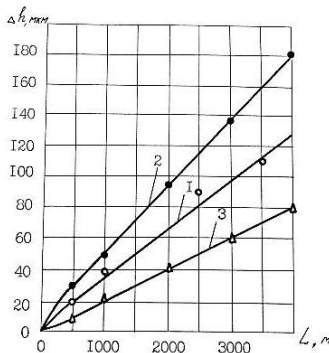


Рис. 3. Залежність лінійного зносу зразків із бронзи БрАЖН10-4-4 від шляху тертя:
 1 – рідина АМГ-10 в стані постачання; 2 – рідина АМГ-10 із гідравлічного стенда;
 3 – рідина АМГ-10 із гідравлічного стенда після очистки

Література:

1. Кадомский В.П., Райко М.В., Белоус В.С. Измерение толщины отдельных составляющих смазочного слоя //Теория трения, износа и смазки. Материалы ВНТК: –Ташкент, 1976. с. 93–99.
2. Исследование влияния загрязнений на противоизносные свойства реактивных топлив. Отчет о НИР 261-В 77. – Киев: КИИГА, 1977. – 70 с.

МОЖЛИВОСТІ ВІДНОВЛЕННЯ ЗМАЩУВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МІНЕРАЛЬНИХ МАСТИЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ І ТЕХНІЧНИХ РІДИН

Як показує практика, більшість відпрацьованих мастильних матеріалів (за назначеним ресурсом) володіють ще непоганими триботехнічними характеристиками. В умовах високої вартості і гострого дефіциту нафтопродуктів таким матеріалам може бути або продовжений термін застосування, або надана можливість застосування в механізмах із більш низькими вимогами до якості.

Основними критеріями невідповідності мастильних матеріалів вимогам стандартів є зміна молекулярної структури середовища, зменшення концентрації експлуатаційних присадок та підвищений вміст домішок (механічних речовин і води).

Дослідження показують, що в процесі експлуатації концентрація основних компонентів мінеральних мастильних матеріалів і технічних рідин залишається практично незмінною за винятком матеріалів, що працюють за дуже високих температур.

Таким чином, основною проблемою з точки зору продовження терміну придатності мастильних матеріалів є видалення надлишкових механічних домішок і відновлення концентрації присадок.

Забруднення в мастильні матеріали і технічні рідини попадають на всіх етапах виробництва та експлуатації. Частіше за все тверді нерозчинні забруднення попадають: із атмосфери (курява); у результаті корозії металів і руйнування неметалевих виробів засобів транспортування й зберігання; під час використання неякісно зачищених ємностей і трубопроводів; під час виготовлення та ремонту агрегатів; як продукти зносу елементів трибосистем.

У процесі експлуатації основну частину механічних забруднень складають продукти зношування деталей, продукти корозії металів продукти руйнування неметалевих елементів і вода. Забрудненість технічних рідин нормується ДСТУ ГОСТ 17216:2004 «Класи чистоти рідин».

У табл. 1 наведено гранулометричний склад забруднень рідини для авіаційних гідравлічних систем АМГ-10 в стані постачання і після експлуатації, а на рис. 1 представлені мікрофотографії проб цієї рідини.

Таблиця 1

Гранулометричний склад механічних забруднень рідини АМГ-10
у стані постачання та після використання

Кількість частинок забруднень в об'ємі 100 см ³ , шт..						Клас чистоти
5–10 мкм	10–25 мкм	25–50 мкм	50–75 мкм	75–100 мкм	>100 мкм	
5115	135	52	–	–	–	9
682270	619960	42480	860	550	290	17

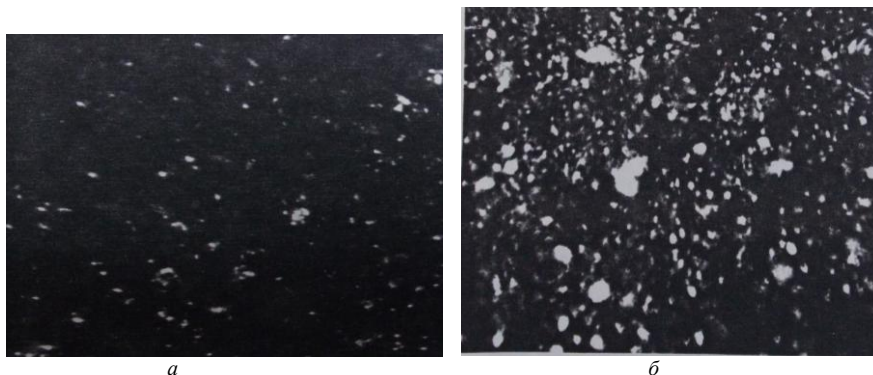


Рис. 1. Мікрофотографії проб рідини для авіаційних гідравлічних систем АМГ-10
a – у стані постачання; *б* – після експлуатації

Збільшення вмісту механічних домішок знижує змащувальну здатність мастильних матеріалів і збільшує абразивне зношування елементів трибосистем. У табл. 2 наведені дані про зношування елементів насоса гідросистеми у залежності від класу чистоти робочої рідини.

Таблиця 2
 Залежність зносу роздільних поверхонь осі насоса
 від класу чистоти робочої рідини

Клас чистоти	Знос (см ³ /с) при максимальній величині часток					
	10 мкм	15 мкм	20 мкм	25 мкм	30 мкм	35 мкм
10	$1,8 \cdot 10^{-15}$	$3,1 \cdot 10^{-14}$	$1,5 \cdot 10^{-13}$	$3,7 \cdot 10^{-13}$	$5,6 \cdot 10^{-13}$	$5,7 \cdot 10^{-13}$
12	$2,2 \cdot 10^{-15}$	$1,8 \cdot 10^{-13}$	$6,0 \cdot 10^{-13}$	$1,4 \cdot 10^{-12}$	$2,1 \cdot 10^{-12}$	$2,2 \cdot 10^{-12}$
14	$2,3 \cdot 10^{-14}$	$4,6 \cdot 10^{-13}$	$2,3 \cdot 10^{-12}$	$7,6 \cdot 10^{-12}$	$1,2 \cdot 10^{-11}$	$1,4 \cdot 10^{-11}$
17	$2,2 \cdot 10^{-13}$	$5,3 \cdot 10^{-12}$	$3,7 \cdot 10^{-11}$	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$2,2 \cdot 10^{-10}$	$2,4 \cdot 10^{-10}$

На даний момент існує багато способів видалення механічних домішок із робочих рідин. Усі вони умовно можуть бути поділені на три групи: фільтрація; очистка з використанням силових полів (гравітаційні, електричні, магнітні очисники); очистка з використанням різних фізико-хімічних властивостей забруднень і робочих рідин.

Основним методом забезпечення високих вимог до чистоти є фільтрація. Сучасні фільтри з металевими чи капілярно-пористими фільтроелементами за безпечують тонкість фільтрації до 5–10 мкм при прокачуванні рідини до 300 л/хв. Але такі методи очищення відпрацьованих мастильних матеріалів і технічних рідин є занадто дорогими. Тому в таких випадках застосовують комбіновані методи очищення. На першому етапі доцільно використовувати гравітаційні очисники (метод відстоювання). На наступному етапі очищення рідин здійснюється засобами грубого і тонкого очищення (наприклад, за схемою, що представлена на рис. 2).

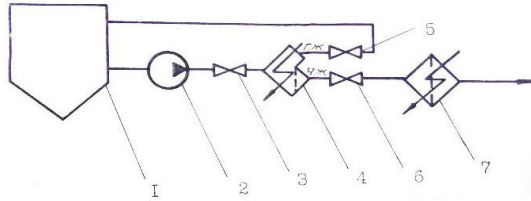


Рис. 2. Схема очищення відпрацьованої робочої рідини з використанням електросепаратора і електроочисника:
 1 – бак для рідини; 2 – насос; 3, 5, 6 – кран;
 4 – електросепаратор; 7 – електроочисник.

Замість електросепаратора у даній схемі можна використовувати фільтри грубої очистки, а замість електроочисника – фільтр тонкої очистки. Таким методом рівень забрудненості рідини можна довести до 5–7 класу, тобто до рівня чистоти в стані постачання.

Видалення механічних домішок, втім, не вирішує повністю завдання відновлення експлуатаційних характеристик робочої рідини. Якість мастильних матеріалів в значній мірі визначається наявністю в них різноманітних присадок, концентрація яких зменшується процесі експлуатації.

Асортимент присадок для підвищення змащувальної дії масел достатньо широкий. До складу багатьох присадок входять фторвуглецеві сполуки (карбонфториди), що модифікують поверхні тертя з метою підвищення антифрикційних і протизносних властивостей.

Дослідження впливу присадок на змащувальну здатність масляних середовищ проводились для нестационарних режимів тертя в умовах лінійного локального контакту при коченні з проковзуванням циліндричних зразків на модернізованій машині тертя СМЦ-1. Умови випробувань моделювали роботу зубчастих передач. У процесі експерименту реєструвались сумарна товщина гідродинамічної і граничної складової змащувального шару, товщина твердоподібних самогенеруючих органічних плівок, температура середовища в об'ємі. Як мастильне середовище використовувались авіаційні масла ВНИИНП-50-1-4у, ИПМ-10, МС-8п; індустриальні масла И-20А, ИГП-18; автомобільне масло М-10Г2К, в які добавлялась КФ-присадка в концентрації 0,125; 0,25; 0,5; 1% мас. Результати експериментів надані в табл. 3.

Аналіз результатів показав, що при заданих режимах тертя введення присадки в масла ВНИИНП-50-1-4у, ИПМ-10, МС-8п не приводить до значного покращення змащувальної дії. У той же час, присутність присадок в маслах И-20А, ИГП-18, М-10Г2К збільшує, наприклад, товщину твердоподібних самогенеруючих органічних плівок у три рази.

Таблица 3

Вплив концентрації КФ-присадок на основні показники змащувальної дії
мастильних матеріалів при нестационарних режимах тертя

Масло	% конц. КФ	Основні оціночні показники змащувальної дії								
		τ_1 хв.	τ_2 хв.	h_{\min} МКМ.	$h_{\text{уст.}}$ МКМ.	$h_{\text{кон.}}$ МКМ.	f_n	$f_{\text{уст.}}$	ΔT °С	И МКМ.
ВНИИ НП 50-1-4у	0	55	90	0,7	0,95	0,3	0,379	0,221	22	2,5
	0,1	45	90	0,65	0,85	0,12	0,384	0,216	20	2,8
	0,25	30	35	0,8	0,9	0,15	0,331	0,173	12	0,75
	0,5	30	50	0,85	0,95	0,475	0,312	0,182	14	0,47
	1	40	100	0,9	1	0,25	0,37	0,23	15	0,65
ПМ-10	0	20	70	1,2	1,25	0,41	0,408	0,259	16	0,69
	0,1	30	40	0,8	0,9	0,45	0,336	0,154	12	0,8
	0,25	50	60	0,7	0,9	0,56	0,379	0,206	11	0,75
	0,5	20	30	0,85	0,9	0,65	0,336	0,192	16	1,74
	1	30	85	0,8	0,85	0,45	0,336	0,187	13	1,1
МС-8п	0	5	20	1,05	1,4	0,71	0,36	0,226	21	1,28
	0,1	50	60	0,85	1,1	0,64	0,341	0,211	22	1,2
	0,25	20	30	0,9	1,15	0,64	0,331	0,197	20	0,75
	0,5	10	30	0,9	1,2	0,62	0,322	0,202	21	1
	1	10	30	0,75	1,2	0,51	0,317	0,197	18	0,9
И-20А	0	90	90	0,4	1	0,25	0,317	0,192	21	1,44
	0,1	20	85	0,9	1	0,07	0,317	0,187	16	0,34
	0,25	50	85	0,9	0,95	0,25	0,341	0,197	15	1
	0,5	45	55	0,25	0,55	0,08	0,355	0,202	17	0,4
	1	20	20	0,25	0,6	0,08	0,331	0,202	15	1,31
ИГП-18	0	10	110	0,8	1	0,1	0,317	0,197	17	0,65
	0,1	15	80	0,55	0,65	0,05	0,317	0,197	23	0,7
	0,25	-	5	0,65	0,65	0,45	0,322	0,197	21	0,85
	0,5	15	30	0,65	0,75	0,05	0,331	0,173	21	0,6
	1	-	10	0,65	0,6	0,05	0,307	0,197	22	0,75
М-10Г К	0	25	50	0,45	0,55	0,05	0,331	0,168	23	0,4
	0,1	20	50	0,65	0,95	0,28	0,336	0,154	18	0,42
	0,25	20	40	1	1,05	0,15	0,312	0,168	21	0,43
	0,5	20	85	0,9	1,1	0,125	0,35	0,187	22	0,56
	1	20	40	0,85	1,05	0,08	0,341	0,178	22	0,44

Стельмах А. В., Шмаров В. Н., Костюник Р. Е., Шевченко Р. А.,
Национальный авиационный университет, Украина

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС УПРАВЛЕНИЯ И КОНТРОЛЯ ПРОЦЕССА ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

Применение новейших технологий при разработке горюче-смазочных материалов (ГСМ) приводит к значительному уменьшению износа деталей трибосистем с увеличением контактных нагрузок и нуждается в выполнении

большого объема трибологических испытаний [1]. 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 в прикладных аспектах.

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.

В настоящее время при разработке и проектировании автоматизированных систем используют модули программируемых контроллеров ведущих производителей, таких как: Advantech, Action Instruments, Control Microsystems, National Instruments и других. Программируемые контроллеры имеют открытую архитектуру, широкую номенклатуру интеллектуальных 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.

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.

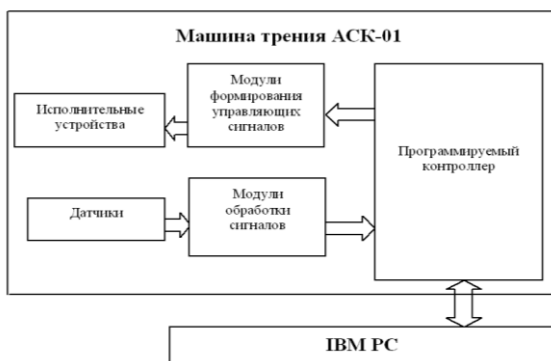


Рис. 1. Структурная схема программно-аппаратного комплекса

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.
2. 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 контробразца;
- параметры окружающей среды.

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 контробразца 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 триботехнических 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.

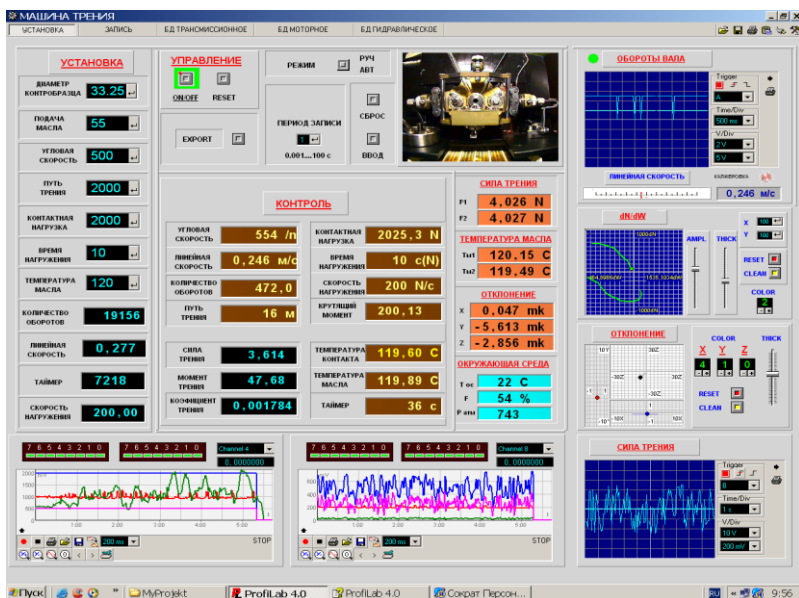


Рис. 2. Внешний вид графического интерфейса программы

триботехнических характеристик ГСМ и присадок к ним, что является предметом особого внимания предприятий, разработчиков, производителей и потребителей товарных смазочных материалов.

Шмаров В. Н., Стельмах А. В., Костюник Р. Е., Бондарь В. С.
Национальный авиационный университет, Украина

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ИСПЫТАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ КОМПРЕССИОННО-ВАКУУМНЫХ ПРОЦЕССОВ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

В классической трибологии для исследований и моделирования трения скольжения широко используется модель трибоконтакта радиального подшипника скольжения, в котором при трении скольжения вала в определенном направлении присутствуют три характерные области относительно минимального зазора в контакте. В области входа вала в зону контакта по направлению скольжения зазор между валом и подшипником является сужающимся (конфузорным). Вторая область расположена вблизи минимального зазора и максимальных контактных напряжений. Прохождение вала с граничными слоями смазки через эту область образует расширяющийся (диффузорный) зазор по направлению вращения вала.

Экспериментально установлено, что при перемещении поверхности вала в конфузорной области, кроме набегающего потока граничных слоев, возникают вторичные течения смазочной среды, обратные направлению вращения вала. В диффузорной, расширяющейся области, при определенных скоростях возникает маслопаровоздушная фаза смазки и вторичные течения из среды в контакт. Экспериментально установлены закономерности распределения давления в смазочном слое P_m : в конфузорной области повышение, а в диффузорной – понижение относительно давления окружающей среды (рис. 1).

Для количественной оценки распределения давления в граничных слоях в контактной и околоконтактной области разработаны лабораторные установки АСБ-01 и АСБ-02 с оптически-прозрачным линейным контактом и приемным устройством для измерения локального давления на рабочей поверхности трения (рис. 2). Путем механического ручного сканирования приемным устройством перпендикулярно контакту измерялись локальные давления в граничных слоях при трении скольжения в динамике, в различных смазочных средах, при различных осевых нагрузках, а также с определенным зазором между поверхностью модельного вала и поверхностью плоского неподвижного прозрачного модельного подшипника. На рис. 3. показано распределение измеренного локального давления P в граничных слоях масла в процессе трения скольжения при вариации скорости.

В ходе таких исследований при фиксированных значениях скорости и нагрузки только одного типа масла получен массив данных (около 1200 значений), которые вносились в рабочие журналы вручную. Предстоящие исследования требуют автоматизации экспериментов и специальной программы обработки данных на компьютере. Поэтому проблема автоматизации такого рода триботехнических экспериментальных исследований является актуальной,

и авторами было принято решение разработать, изготовить и отладить программно-аппаратные модули с соответствующей модернизацией электронно-механических блоков базового прибора АСБ-02 (рис. 4) собственными силами сотрудников лаборатории нанотриботехнологий НИЧ НАУ.

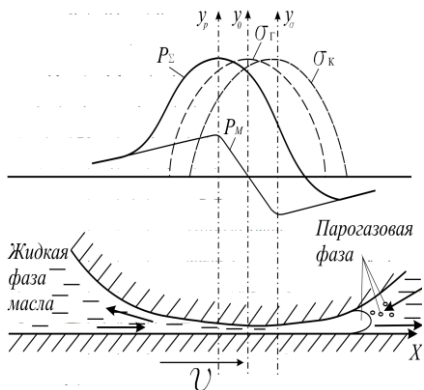


Рис. 1. Схема контактно-гидродинамических процессов в граничных слоях смазки

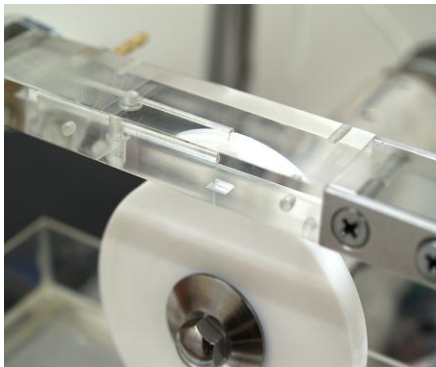


Рис. 2. Внешний вид линейного контакта с приемным устройством давления на рабочей поверхности оптически прозрачного модельного подшипника скольжения

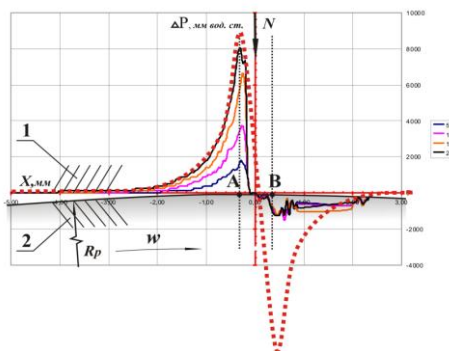


Рис. 3. Распределение давления P в граничных слоях масла в процессе трения скольжения при различных скоростях

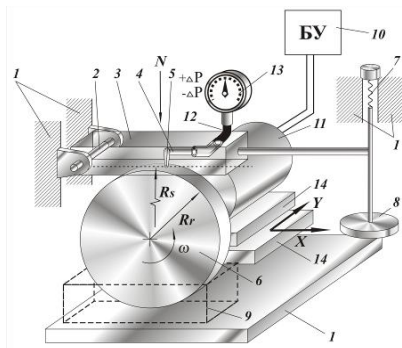


Рис. 4. Схема базовой модели лабораторного прибора трения АСБ-02

Использование унифицированных аппаратных и программных модулей систем в машине трения АСБ-02 с дополнительными программными модулями математической обработки экспериментальных данных и формирования алгоритма управления позволило за короткое время и с минимальными

финансовыми и материальными затратами спроектировать и создать относительно простую автоматизированную систему для исследования характеристик компрессионно-вакуумных процессов трения скольжения.

В состав автоматизированной системы (рис. 5) входит прибор АСБ-02, блок обработки входных и формирования выходных сигналов БУ, персональный компьютер ПК со специализированным программным обеспечением. Обмен данными между блоком и персональным компьютером осуществляется по последовательному интерфейсу.

Модернизация прибора АСБ-02 заключалась в установке дополнительных электронных датчиков давления ДД и разрежения ДР для измерения соответствующих параметров в зоне контакта модельного вала с поверхностью плоского неподвижного прозрачного подшипника, оптического датчика частоты оборотов вала ДЧВ и датчика определения потребления тока ДТ основного двигателя АД, доработке механизма позиционирования на базе шагового двигателя ШД. Разработанные схемы модуля измерения напряжения ДН и потребления тока ДТ позволяют получать исходные данные для расчета мощности потерь АД в процессе трения скольжения при фиксированной частоте вращения и различных нагрузках.

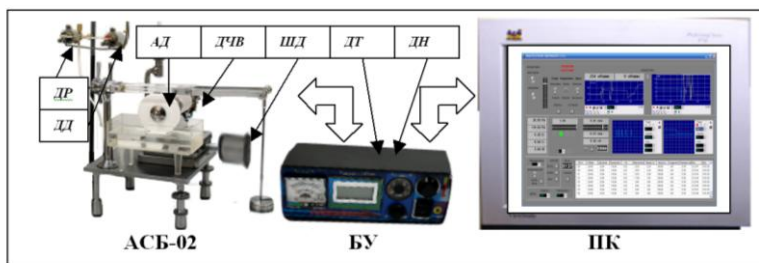


Рис. 5. Структура автоматизированной измерительно-испытательной системы: АСБ-02 – лабораторная установка для измерения компрессионно-вакуумных процессов; БУ – блок управления; ПК – персональный компьютер; АД – асинхронный двигатель; ШД – шаговый двигатель; ДР – датчик разрежения; ДД – датчик давления; ДЧВ – датчик частоты вращения; ДТ – датчик тока; ДН – схема измерения напряжения

Блок управления БУ выполняет следующие функции:

- обработку сигналов датчиков ДР, ДД, ДЧВ, ДТ, ДН;
- формирование и передачу массива данных в ПК;
- прием данных из ПК для формирования сигналов управления АД, и ШД.

Таблица 1

Результаты исследований

№ п/п	Об/мин	Давл.	Разреж.	Ток	Напря- жение	Мощ- ность	Нагру- зка	Коор- дината	Темпе- ратура	Time	Date
0	100	255	255	2,55	60	153	0	-1	0	20:02:41	19.03.2011
1	115,5	255	255	2,55	60	153	0	-0,91	0	20:02:59	19.03.2011
2	132,03	255	255	2,55	60	153	0	-0,65	0	20:03:13	19.03.2011
3	162	255	255	2,55	60	153	0	-0,45	0	20:03:23	19.03.2011
4	187,83	255	255	2,55	60	153	0	-0,23	0	20:03:31	19.03.2011
5	211,6	255	255	2,55	60	153	0	0,01	0	20:03:39	19.03.2011
6	132,03	255	255	2,55	60	153	0	-0,65	0	20:03:43	19.03.2011
7	162	255	255	2,55	60	153	0	-0,45	0	20:03:48	19.03.2011
8	187,83	255	255	2,55	60	153	0	-0,23	0	20:03:52	19.03.2011
9	211,6	255	255	2,55	60	153	0	0,01	0	20:03:59	19.03.2011
10	132,03	255	255	2,55	60	153	0	-0,65	0	20:03:63	19.03.2011
11	162	255	255	2,55	60	153	0	-0,45	0	20:04:28	19.03.2011
12	187,83	255	255	2,55	60	153	0	-0,23	0	20:04:32	19.03.2011
13	211,6	255	255	2,55	60	153	0	0,01	0	20:04:49	19.03.2011

Программное обеспечение выполняет функции формирования алгоритма управления исполнительными устройствами, отображение в цифровом или в графическом виде рабочих параметров и режимов лабораторной установки АСБ-02. Управление скоростью позиционно-сканирующего механизма при исследовании процесса трения скольжения автоматизировано. Предусмотрено ручную юстировку зоны контакта.

Частота вращения основного двигателя автоматически поддерживается на заданном значении независимо от нагрузки и скорости сканирования.



Рис. 6. Внешний вид графического интерфейса программного обеспечения

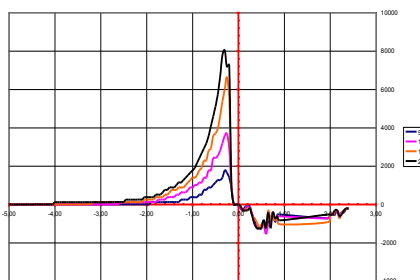


Рис. 7. Результаты экспорта и первичной обработки измеренных параметров

Формирование табл. 1 осуществляется в ручном или в автоматическом режиме с предварительной установкой периода записи. Предусмотрена

возможность экспорта данных в программу EXCEL с целью дальнейшей статистической обработки.

Графический интерфейс (рис. 6) программы дает возможность визуально наблюдать в реальном времени необходимые графические зависимости с сохранением изображений (рис. 7) в памяти ПК.

Графический интерфейс в совокупности с программными модулями математической обработки экспериментальных данных позволяет создать наглядную, удобную и относительно простую автоматизированную систему регистрации параметров и управления режимами трения скольжения.

Таким образом, использование базовых аппаратных и программных модулей систем 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 эффективную автоматизированную измерительно-испытательную систему определения компрессионно-вакуумных составляющих процессов трения скольжения.

Разработанная и внедренная система значительно повысила производительность экспериментальных исследований трибологических свойств смазочных материалов, исключая влияние человеческого фактора (субъективное принятие решений оператором).

Графический интерфейс программного обеспечения позволяет формировать алгоритмы управления, визуальное наблюдение в реальном времени необходимых графических зависимостей.

Управляющий позиционно-сканирующий механизм обеспечивает равномерность износа деталей при трении, что повышает достоверность результатов исследований.

Шмаров В. Н., Стельмах А. В., Кушев А. В., Коба В. П.,
Национальный авиационный университет, Украина

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЙ КОМПЛЕКС КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРИЕМО-СДАТОЧНЫМИ ИСПЫТАНИЯМИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

После изготовления или капитального ремонта двигатель внутреннего сгорания (ДВС) подвергается обкатке (приработке) и приемо-сдаточным стендовым испытаниям по индивидуальным программам. Обкатка, как завершающая технологическая операция производства двигателя, рассматривается как один из этапов его жизненного цикла, определяющего долговечность деталей и его надёжную работу.

В процессе испытаний определяют тягово-динамические, экономические, экологические и другие показатели двигателя, контролируют их соответствие стандартам и техническим условиям.

В настоящее время находящиеся в эксплуатации на отечественных авторемонтных предприятиях обкаточно-тормозные стенды имеют устаревшую

элементную базу, не позволяющую автоматизировать приемо-сдаточные испытания ДВС.

Основу современных систем автоматического управления и контроля составляют модули программируемых контроллеров ведущих фирм мира (Advantech, Action Instruments, Control Microsystems, National Instruments и др.) Такие контроллеры имеют открытую архитектуру, большую номенклатуру интеллектуальных модулей ввода-вывода, каналы связи с интерфейсами RS-232, RS-485, Ethernet, встроенные функции архивации и другие возможности.

Используя технологии современных SCADA-систем (системами автоматического проектирования), таких как LabView, Trace Mode 5, Genesis32, InTouch7.1, Citect, iFix, на базе программируемых контроллеров создают информационно-измерительные системы, системы диагностирования, идентификации, АСУ ТП промышленных предприятий и т.д.

Создание системы на основе указанных модулей экономически не целесообразно, так как требует значительных финансовых и материальных затрат.

Основная задача управления приемо-сдаточными испытаниями ДВС возлагается на использование аппаратно-программных измерительно-управляющих систем авторских разработок, в которых значительная часть процедур автоматизации выполняется программным путем. Такие системы позволяют оптимизировать процессы управления и являются основой построения интеллектуализированных систем.

Программно-аппаратный комплекс разработан на базе персонального компьютера (ПК). Аппаратная часть системы рассматривается как спецпроцессор по отношению к центральному процессору, соединенных одним из стандартных интерфейсов.

На первом этапе для решения локальной организации автоматизированной системы на основе микроконтролера ATmega 128 фирмы. Atmel был разработан базовый модуль первичного сбора, обработки и передачи информации, максимально приближенный к функциональным возможностям программируемых контроллеров ведущих производителей мира. Большинство периферийных схем, встроенных непосредственно на кристалле микроконтролера базового модуля, позволяют управлять и отслеживать процесс приемо-сдаточных испытаний ДВС при минимальном количестве дополнительных узлов.

В модуле реализован восьмиканальный 10-разрядный АЦП для обработки входных аналоговых сигналов, на таймерах/счетчиках реализована обработка частотных сигналов. Модуль разрешает обрабатывать/формировать до 32-х дискретных входных/выходных сигналов согласно алгоритмам, запрограммированным в микроконтроллере.

Программирование и отладку алгоритмов модуля осуществляют через технологический канал JTAG. Модуль разрешает организовать синхронный интерфейс SPI, интерфейс I2C, а также возможна передача данных и получения инструкций управления от внешних устройств по последовательному RS-232 каналу.

На основе разработанного модуля изготовлен блок индикации (рис. 1) параметров ДВС при стендовых испытаниях ДВС.

В состав блока (рис. 2) входят 3 модуля сбора информации (МИ1...МИ3), модуль питания (МП) и плата индикации (ПИ).

Блок обрабатывает аналоговые и частотные сигналы датчиков системы охлаждения, системы смазки, топливной системы, температуры выхлопных газов, электрические параметры электрогенератора, климатические параметры окружающей среды, механические параметры (частота вращения коленвала, крутящий момент).



Рис. 1. Внешний вид блока индикации параметров ДВС

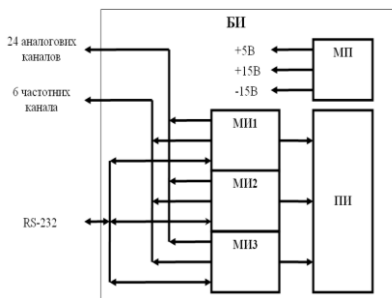


Рис. 2. Структурная схема блока индикации параметров ДВС

Математический аппарат микроконтроллеров производит вычисление расчетных параметров двигателя, таких как:

- перепад давления, температур между левым и правым блоками системы смазки;
- перепад температур между левым и правым блоками, входом и выходом системы охлаждения;
- перепад температур выхлопных газов между левым и правым блоками;
- неравномерность вращения коленчатого вала;
- удельный расход масла, топлива, расчет максимальной мощности.

Измерительные и расчетные показатели выводятся на панель индикации (ПИ).

Вычислительная среда блока организована по принципу параллельных вычислений. В модулях сосредоточено выполнение того или другого типа задач. Обмен информацией между модулями организован по интерфейсу I2C. Параметры, которые используются или получены при решении одних задач, могут быть переданы в другие модули в виде, не требующем повторной обработки данных.

Такая система информационных связей обеспечивает возможность функционально расширить перечень решаемых задач, аппаратно добавляя модули, дополняя информационную базу.

С использованием интерфейса RS-232 в разработанном блоке, возможна передача данных во внешние устройства.

Разработанное программное обеспечение персонального компьютера с блоком индикации параметров двигателя (рис. 3) позволяет создать аппаратно-программную измерительную систему контроля приемо-сдаточными испытаниями ДВС [6].

На рис. 4 изображен внешний вид графического интерфейса программного обеспечения.

Разработанные подпрограммы условно объединяются в следующие группы:

- подпрограммы обработки, регистрации и визуализации параметров двигателя;
- подпрограммы оформления технической документации проведенных испытаний.

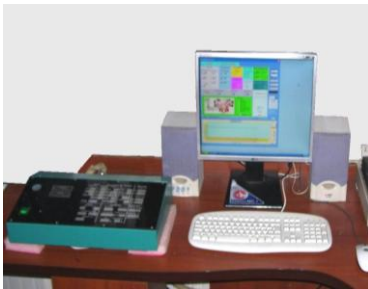


Рис. 3. Аппаратно-программная информационно-измерительная система



Рис. 4. Графический интерфейс ПО информационно-измерительной системы

Программный модуль запоминающего осциллографа-регистратора позволяет визуально наблюдать изменение параметров двигателя при различных режимах работы (диапазон запоминания параметров от 0,01 с до 16 ч непрерывной работы).

Группа подпрограмм оформления технической документации двигателя обеспечивает автоматическое оформление по избранному шаблону технологического паспорта двигателя, протоколов испытаний и др. К этой группе отнесены подпрограммы экспорта и импорта контролируемых параметров двигателя в программу Microsoft Office.

Модернизируя информационно-измерительную систему введением программно-аппаратных модулей, которые формируют управляющие сигналы, создан универсальный программно-аппаратный комплекс контроля и управления приемо-сдаточными испытаниями ДВС. Внешний вид графического интерфейса программного обеспечения и программных модулей приведен на рис. 5.

После ввода алгоритмов процесса и запуска приемо-сдаточных испытаний комплекс обеспечивает автоматический контроль и управление частотой оборотов коленвала ДВС и работой нагрузочного стенда. Согласно алгоритма приемо-сдаточных испытаний изменение режимов происходит через заданные интервалы времени. Автоматически созданный массив измеряемых и расчетных параметров ДВС формирует базу данных процесса испытаний.

На первом этапе разработан и изготовлен измерительно-информационный блок индикации параметров ДВС при испытаниях.

На втором этапе разработано программное обеспечение для персонального компьютера, который позволяет автоматизировать процесс оформления технической документации и протоколов, проводить регистрацию параметров для дальнейшего всестороннего анализа.

На третьем этапе, аппаратно и программно модифицировав измерительную систему модулями управления исполняющими устройствами, создана информационно управляющая система с возможностью автоматического управления процессом приемо-сдаточных испытаний ДВС.

Комплекс внедрен на испытательной станции ДВС Житомирского ремонтно-механического завода.

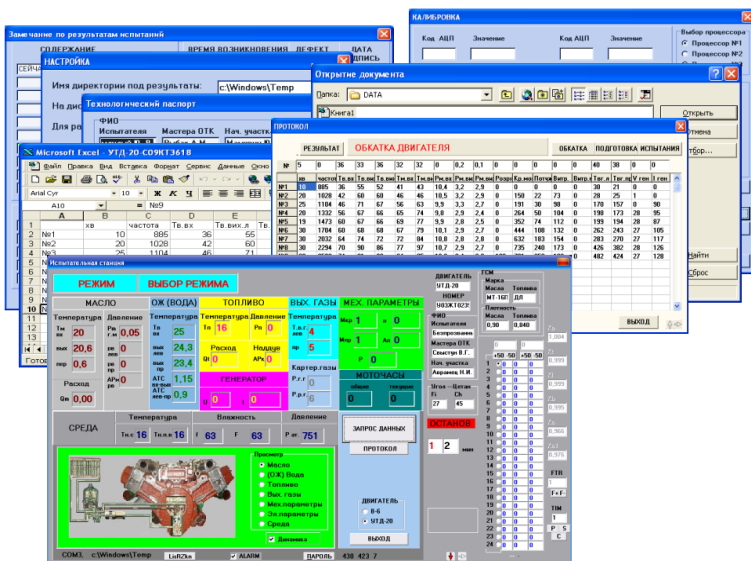


Рис. 5. Внешний вид графического интерфейса программного обеспечения и программных модулей универсального программно-аппаратного комплекса управления и контроля приемо-сдаточными испытаниями двигателя внутреннего сгорания

В процессе испытаний ДВС проведена регистрация параметров, характеризующих состояние, а также тенденции изменения параметров при различных режимах работы двигателя. Оформление протоколов испытаний, апробация подпрограмм экспорта и импорта результатов измерения параметров двигателя могут использоваться для дальнейшего анализа и оптимизации процесса приемо-сдаточных испытаний.

Универсальность комплекса заключается в возможности оптимизации проведения приемо-сдаточных испытаний, а также адаптации к испытаниям различных типов ДВС.

Аппаратные и программные модули комплекса могут быть использованы для создания автоматизированных систем регистрации и обработки большого количества параметров, характеризующих состояние объектов управления или исследования.

Кушев А. В., Аксёнов А. Ф., Стельмах Д. А.,
Национальный авиационный университет, Украина

Колесник П. А.,
ГП «Ивченко-Прогресс», Украина

ЭГД-ЗАДАЧА С УЧЕТОМ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГРАНИЧНЫХ СЛОЯХ ТРИБОСИСТЕМ

Современная эластогидродинамическая (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 трибоконтате радиального подшипника скольжения. В своей известной работе «Гидродинамическая теория смазки и ее применение к 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 в 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 $\bar{p}(\varphi, \bar{z})$:

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

при граничных условиях Свифта-Штибера (СШ), записанных в виде следующих ограничений функции $\bar{p}(\varphi, \bar{z})$:

$$\bar{p}(\varphi, \bar{z} = \pm a) = \bar{p}_a; \quad \bar{p}(\varphi, \bar{z}) = \bar{p}(\varphi + 2\pi, \bar{z}); \quad \bar{p}(\varphi, \bar{z}) \geq 0.$$

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

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

$$\begin{aligned} \bar{p}(\varphi, \bar{z} = \pm a) &= 0; \quad \bar{p}(\varphi, \bar{z}) = \bar{p}(\varphi + 2\pi, \bar{z}); \\ \bar{p}(\varphi_{раз}, \bar{z}) &= \frac{\partial \bar{p}}{\partial \varphi}(\varphi_{раз}, \bar{z}) = 0; \quad \bar{p}(\varphi_{вос}, \bar{z}) = 0, \end{aligned}$$

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

$$\frac{\partial}{\partial \varphi} \left[\frac{\bar{h}^3 \bar{\beta}}{12 \bar{\mu}_3} g(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial \varphi} \right] + \frac{\partial}{\partial \bar{z}} \left[\frac{\bar{h}^3 \bar{\beta}}{12 \bar{\mu}_3} g(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial \bar{z}} \right] = \frac{\bar{\omega}}{2} \frac{\partial}{\partial \varphi} (\bar{h} \theta) + \frac{\partial}{\partial \tau} (\bar{h} \theta).$$

Здесь учитывается область кавитации путем введения функции степени заполнения зазора $\theta(\varphi, \bar{z})$, что обеспечивает выполнение условий неразрывности с помощью функции переключения $g(\theta)$ и $\bar{\beta}$ – 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:

$$\bar{h}(\varphi, \tau, \bar{p}, T) = \bar{h}_{rig}(\varphi, \tau) + \bar{W}(\varphi, \bar{p}, \tau, T),$$

где $\bar{h}_{rig}(\varphi, \tau)$ – безразмерная толщина смазочного слоя в «абсолютно жестком» подшипнике; $\bar{W}(\varphi, \bar{p}, \tau, T)$ – 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 разделение граничных слоев и нуклеация газовой фазы.

Исходя из ЭГД-теории смазки, при малых нагрузках и достаточно высоких скоростях трение скольжение должно протекать безызносно, то есть без адгезии поверхностей. Это положение не согласуется с практикой и объясняется тем, что реальное разделение граничных слоев в диффузорной области контакта (ДО) приводит к возникновению условий квазисухого трение: 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-паро-воздушную масляную суспензию в объеме.

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

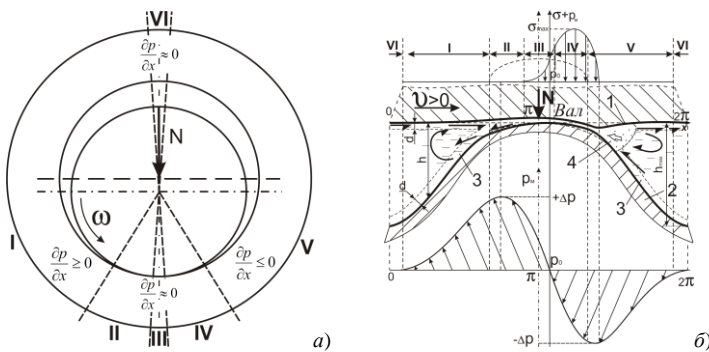


Рис. 1. Шесть характерных областей в радиальном подшипнике скольжения, где в радиальном направлении движения вала изменяются давление в граничных слоях p и величина зазора h (а), и физическая модель ДПГС подшипника скольжения, образованного поверхностью трения вала 1 (развернуто в плоскость), и подшипника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

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 газо-паровоздушной полостью разрежения, обуславливающего их физическую десорбцию.

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

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)
<i>Напряжения σ сжатых силой N идеальных поверхностей в линейном контакте шириной b на воздухе по Г.Герцу в статике, [МПа]</i>					
$\sigma \approx p_0$	$\sigma \approx p_0$	$\frac{(\sigma-p_0)^2}{\sigma_{\max}^2} + x^2/b^2 = 1$	$\sigma \approx p_0$	$\sigma \approx p_0$	$\sigma \approx p_0$
<i>Давление в граничных слоях p^m по оси действия нагрузки N в статике, Н</i>					
$p^m \approx p_0$	$p^m \approx p_0$	$p^m \approx \sigma + p_0$	$p^m \approx p_0$	$p^m \approx p_0$	$p^m \approx p_0$
<i>Объемное давление масла в граничных слоях p при трении идеально гладких поверхностей, [Па]</i>					
$p > p_0$	$p > p_0$	$p \approx p_0$	$p \approx p_0$	$p < p_0$	$p < p_0$
<i>Градиент давления в смазочных слоях dp/dx [Па/м]</i>					
$dp/dx > 0$	$dp/dx > 0$	$dp/dx \approx 0$	$dp/dx \approx 0$	$dp/dx < 0$	$dp/dx < 0$
<i>Ускорение граничных слоев вала dv/dt, [м/с²]</i>					
$dv/dt \approx 0$	$dv/dt < 0$	$dv/dt \approx 0$	$dv/dt \approx 0$	$dv/dt > 0$	$dv/dt \approx 0$
<i>Плотность смазочной среды ρ, [кг/м³]</i>					
$\rho \approx p_0$	$\rho > p_0$	$\rho \approx p_0$	$\rho > p_0$	$\rho \ll p_0$	$\rho < p_0$
<i>Температура T, °C</i>					
$dT/dx > 0$	$dT/dx \gg 0$	$dT/dx \approx 0$	$dT/dx \approx 0$	$dT/dx \ll 0$	$dT/dx < 0$

Таким образом, ЭГД задача с учетом динамических процессов, протекающие в граничных слоях сводится к определению доминирующих параметров трибосистемы, обуславливающих возникновение условий квазисухого трения и изнашивания поверхностей, а именно: степень разрежения, величина дополнительной нагрузки и плотность граничных слоев.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛАСТОГИДРОДИНАМИЧЕСКОЙ И КОМПРЕССИОННО-ВАКУУМНОЙ ГИПОТЕЗ ТРЕНИЯ

Во второй половине XX века проводились исследования по поиску научно-обоснованных методов, позволяющих повысить несущую способность подшипника, в котором реализовывался эффект «масляного клина», используемого в гидродинамической теории смазки (ГДТС), где трибосистемы и теоретически и практически безызносны. В ходе этих работ было выдвинуто положение, основанное на учете упругих деформаций реальных конструкционных материалов, рассчитываемых по формулам Герца, что теоретически позволяло несколько увеличить осевые нагрузки в подшипниках, так как площадь контакта при этом увеличивалась. Контактно-упруго- или эласто- гидродинамическая (ЭГД) теория трения А.И.Петрусевича, А.М.Эртеля, А.Н.Грубина и др., как и ГДТС предполагает работу ЭГД-трибосистемы при более высоких нагрузках теоретически безызносно. На основе совместного решения гидродинамической и упруго-деформационной задач взаимодействия среды и поверхностей трибоконтакта, с учетом протекающих в смазке реологических термодинамических процессов, получены зависимости для оценки силы трения и других параметров трибосистем. Однако на практике коэффициент трения реальных трибосистем на один два порядка больше расчетных, а его значение достигает 0,01–0,10, что характерно для следующего еще более нагруженного режима – трение в условиях граничной смазки. При этом рассчитанные по формулам ЭГДТС трибосистемы, хоть и с малой интенсивностью, но изнашивались, что поясняют пуско-остановочными циклами эксплуатации узлов, на которых, полагают, что трение протекает в условиях граничной смазки.

В соответствии с ЭГД-теорией возникающие гидродинамические давления, действуя на упругие трущиеся поверхности, вызывают их деформации. Величины деформаций определяются величинами и распределением давлений по поверхности, то есть эпюрой давления. Исходя из такого базового суждения, решались, и по сей день, решаются задачи, связанные с гидродинамикой движущейся жидкости, ограниченной двумя трущимися поверхностями. «При этом жидкость движется стесненно, толщина смазочного слоя весьма мала». То есть, проблему трибологии в рамках ЭГД решали, исходя из двух основных положений: жидкость в контакте трибосистемы находится под высоким давлением, а несущая способность смазочных материалов определяется толщиной смазочного слоя в контакте. Классическая графическая интерпретация гидродинамического эффекта в радиальном подшипнике скольжения с ЭГД-контактом представлена на рис. 1, где эпюра давлений внутри смазочного слоя отождествляется с распределением контактных напряжений, возникающих в поверхностях шипа и подшипника.

В этих работах трение рассматривается, как сопротивление движению адсорбированных на движущихся поверхностях вала слоев жидкой среды смазки,

которые неподвижны относительно движущейся поверхности вала. Их движению препятствуют другие близлежащие молекулярные слои среды, которые вовлекаются в движение, передают импульс другим и так далее. По мере удаления от поверхности движение слоев среды затухает, и на некотором удалении от перемещающейся поверхности среда будет находиться в объемном состоянии относительного покоя.

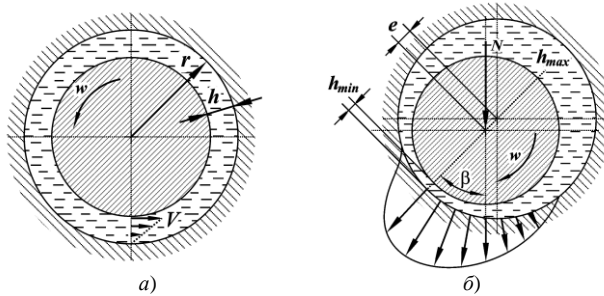


Рис. 1. Классическая схема возникновения давления в смазочном слое, которое отождествляется с контактными напряжениями в рамках ЭГД-теории смазки, где V – скорость в граничных слоях ньютоновской жидкости, h – толщина смазочного слоя, e – эксцентриситет, ω – угловая скорость

Главным критерием реализации гидродинамического и эластогидродинамического режимов трения является минимальная толщина смазочного слоя, которая, экспериментально в динамике определялась не прямыми измерениями, а косвенными. Так, ее оценку производят по электрической емкости системы поверхность – смазочная пленка-поверхность и интерференционно-оптическим методом по интерференции света. В статике, то есть при сжатии поверхностей без трения, точные измерения производили рентгеновским методом по ширине рентгеновского пучка, проходящего, через контактный зазор. При этом давления, развиваемые в смазочных слоях смазки, во время трения, в динамике не измерялись, они отождествлялись с контактными напряжениями, рассчитываемыми по Г. Герцу.

Серийные конструкционные материалы, например, стальные имеют модуль упругости 212000 МПа. При статическом сжатии осевой модуль упругости метиленовых цепей молекул углеводородных жидкостей, адсорбированных на поверхности твердой подложки, оказался равным модулю упругости алмаза. При трении, по данным 15 групп ученых смазочный слой не теряет несущую способность до максимальных герцевских напряжений 3000 МПа. Следовательно, в статических условиях сжатия конструкционные и смазочные материалы обладают гигантской упругостью и прочностью, а экстремальными условиями работы трибосистем из этих материалов считаются: при трении качении 500 МПа и 40 МПа – при скольжении. То есть, конструкционный материал способен выдерживать нагрузки при сжатии на 2–3 порядка выше конструкторских расчетных нагрузок, при которых эксплуатируются детали узлов трения,

смазочный слой обладает еще большей прочностью, а при трении слой разрушается и происходит изнашивание поверхностей. Следовательно, в контакте происходят такие физические процессы, которые приводят к разрушению не только смазочного слоя, но и адсорбированных мономолекулярных граничных слоев смазки.

Если бы удалось увеличить контактные удельные давления в узлах трения хотя бы на порядок, то габариты, например, трансмиссий уменьшились бы в три раза. Но непреодолимым препятствием на пути использования высокой теоретической несущей способности материалов в трибосистемах и уменьшения их энерго- и металлоемкости остаются проблемы трения и изнашивания.

Самая распространенная и теоретически обоснованная эластогидродинамическая теория смазки включает в себя ряд известных основных положений (табл. 1). Обращает на себя внимание тот факт, что путем измерения толщины смазочного слоя судят о давлении, возникающей в нем при трении. Как показали прямые измерения давления в граничных слоях ЭГД-контакта, в них возникает характерное конфузорное сжатие и диффузорное разрежение, что легло в основу компрессионно-вакуумной гипотезы трения, основные положения которой не согласуются с ЭГД-теорией.

Таблица 1

Сравнение основных положений эластогидродинамической
и компрессионно-вакуумной гипотез трения

№ п/п	Положения эластогидродинамической теории смазки	Положения компрессионно-вакуумной гипотезы трения
1	2	3
1	Ресурс областей ЭГД-контакта определяется предельно допустимой толщиной смазочного слоя, которая должна превышать сумму высот микронеровностей контактирующих поверхностей.	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 с масловоздушное состояние.
2	Считается, что смазочная пленка в контакте, образованная жидкой средой, является однофазной ньюто-новской жидкостью на протяжении всего контакта.	Смазочная пленка в ЭГД-контакте, а именно в его диффузорной области, не является однофазной ньютоновской средой, а представляет собой масловоздушную субстанцию (два граничных слоя трущихся поверхностей с паровоздушным вакуумированным пространством между ними).

3	Пленка смазки в ЭГД-контакте практически параллельна в его центральной части и сужается в районе выхода движущейся поверхности из него.	Пленка ЭГД-контакта, образованного криволинейными поверхностями при сжатии, не параллельна в его центральной части, а является адекватным отражением гуковской упругой деформации граничных слоёв.
4	Напряжения в поверхностях ЭГД-контакта, рассчитываемые по Г.Герцу, равны давлению в смазочном слое при трении.	Давление в смазочном слое в конфузорной области контакта увеличивается, а в диффузорной – уменьшаются относительно давления окружающей среды и не равны контактным напряжениям
5	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.	Так как давление в смазочном слое не тождественно поверхностным контактным напряжениям, определяемым по Г.Герцу, то «контактные напряжения», «давление в смазочном слое» и «давления на трущихся поверхностях» являются разными параметрами.
6	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.	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.

Экспериментально доказано, что при трении 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 (рис. 2). Это значит, что понятия «контактные напряжения», «давление в смазочном слое» и «давления на трущихся поверхностях» нуждаются в коррекции в соответствии с экспериментальными данными, положенными в основу компрессионно-вакуумной гипотезы трения и трибокавитационного механизма изнашивания.

Таким образом, в ЭГД-контакте одновременно возникает две области давлений около зоны с минимальной толщиной смазочного слоя: повышенного – в зоне сужающегося контакта до минимальной толщины смазки, и разрежения – в зоне расширяющегося зазора. Эти давления порождают соответствующие силы, действующие на вал в зоне минимальной толщины смазочного слоя, которые направлены в сторону скольжения и таким образом создается не только так называемая гидродинамическая подъемная сила, приподнимающая вал (рис.1) в конфузорном канале смазки, но и еще одна сила всасывающая вал разреженной средой в диффузорном канале радиального подшипника скольжения (рис. 3).

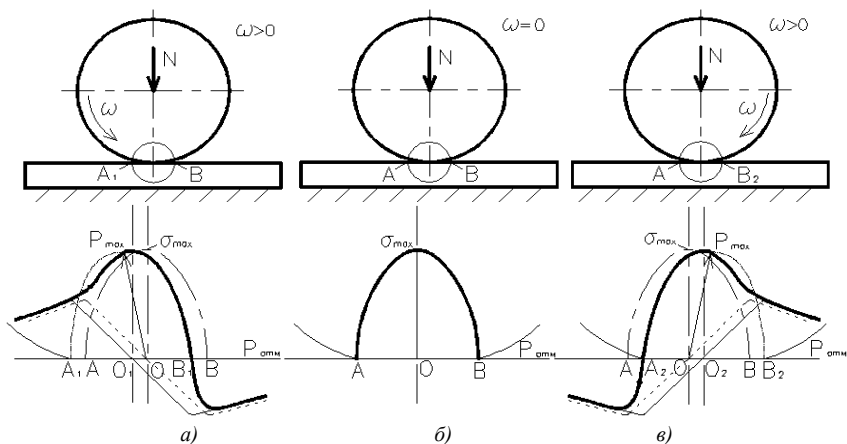


Рис. 2. Схемы скольжения вала по плоскому подшипнику: против часовой стрелки (а), в статике без трения (б) по часовой стрелке (в) с контактом АВ, под нагрузкой N , скоростью вращения вала ω и схемы распределения (внизу соответственно) «контактных» напряжений σ , а также их смещения; давления в смазочном слое p и давления, возникающего на поверхности вала, с учетом давлений в смазочном слое при атмосферном давлении $P_{\text{атм}}$

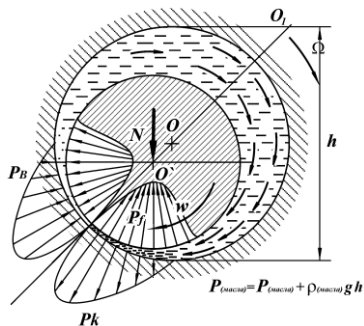


Рис. 3. Схема возникновения гидродинамического эффекта с позиций компрессионно-вакуумной гипотезы природы трения

Сравнение основных положений ЭГД-теории и компрессионно-вакуумной гипотезы трения указывает на существенные отличия представлений о физике процессов и явлений, протекающих в граничных слоях, что подтверждено экспериментально и свидетельствует о необходимости пересмотра ряда понятий и определений в трибологии.

ВЛИЯНИЕ ФАЗОВОГО СОСТОЯНИЯ СМАЗКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ТРИБОСИСТЕМ С ЭГД-КОНТАКТОМ

Комплекс исследований подтвердил важность и перспективность учёта упругости материалов, что привело к развитию эластогидродинамической теории (ЭГДТ) трения, когда высокие давления в масляном клине вызывают упругую деформацию контактирующих тел, в результате чего величина зазора между деталями возрастает (рис.1).

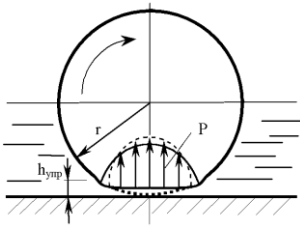


Рис. 1. Схема эластогидродинамического эффекта в подшипнике скольжения

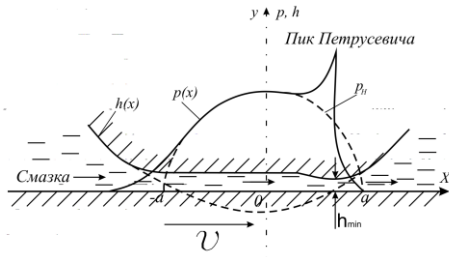


Рис. 2. Характерные признаки ЭГД-контакта

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.

ЭГД-теория построена на следующих основных положениях.

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

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

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

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

5. 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.

6. 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 и 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. Известно, что при исследовании 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 повышение эффективности смазки за счет снижения напряжений сдвига смазочных слоев и локализации вектора напряжения сдвига в них, где 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 (Н. Д. Коднир) 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 процессы трения в трибосистемах и практически мгновенно. Однако на практике многочисленные теоретические наработки в 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 есть безыносными, что предполагает теория ЭГДТС. С малой интенсивностью, но поверхности изнашиваются.

Обращает на себя внимание термозффект, 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 в 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 в граничных слоях 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.

В 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 насыщенных 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.

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

1. 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 её фазовому переходу из жидкого с масловоздушное состояние. Следовательно, о какой-либо, в том числе минимальной толщине субстанции неопределенного масло-паровоздушного агрегатного состояния говорить не приходится. Поэтому минимально допустимая толщина смазочного слоя не может служить однозначным критерием ресурса трибосистем с ЭГД-контактом.

2. Смазочная пленка в ЭГД-контакте, а именно в его диффузорной области, не является однофазной ньютоновской средой, а представляет собой масловоздушную два граничных слоя трущихся поверхностей с паровоздушным вакуумированным пространством между ними.

3. 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.

4. 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.

5. 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.

6. 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 её жидким однофазным состоянием, приводило к существенному (на 20–30%) уменьшению сил трения и на 5–7°C 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 мин⁻¹ при отсутствии трибоконтакта и самопроизвольного ее перехода в двухфазное маслопаровоздушное состояние через 10 минут трения после создания линейного трибоконтакта, что привело к образованию двухфазной маслопаровоздушной смеси в диффузорной области контакта, что, в свою очередь, привело к самопроизвольному увеличению скорости до 350 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%.

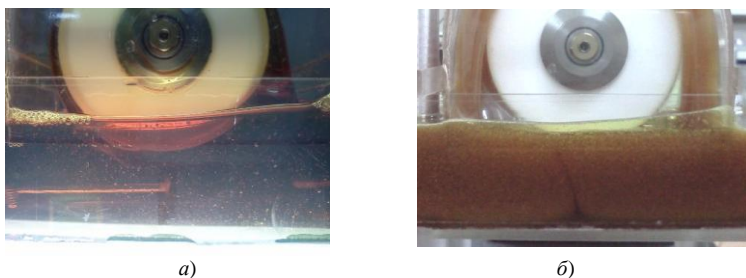


Рис. 3. Вид однородной однофазной прозрачной смазочной среды в однофазном (а) и двухфазном (б) состояниях: а – при отсутствии трибоконтакта и постоянной частоте вращения модельного вала 200 мин⁻¹; б – образование двухфазной непрозрачной маслопаровоздушной смеси при трибокавитации в линейном контакте после 10 мин трения и частоте вращения вала до 350 мин⁻¹, которая увеличилась за счет двухфазности смазочной среды

Таким образом, показано, что агрегатное состояние смазочных материалов в ходе их трибологических испытаний является одним из первостепенных факторов, определяющих силу трения и интенсивность изнашивания модельных трибосистем. Барботажи и кавитационные явления в контактах при определенных условиях (скорость скольжения, нагрузка) приводят к возникновению масловоздушной смеси, что необходимо учитывать при оценке качества смазочных материалов.

ПРИБОРЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ГРАНИЧНЫХ СЛОЯХ СМАЗКИ В ТРИБОКОНТАКТЕ

В трибосистемах с линейным контактом в условиях граничного трения скольжения было установлено повышение износостойкости с ростом мгновенных контактных напряжений, асимметрия изношенных дорожек скольжения, возникновение первичных узлов адгезионного взаимодействия в диффузорной области (ДО) и оседание продуктов изнашивания в районе, близком к конфузорной области (КО) контакта. Полученные закономерности не находят однозначного объяснения в рамках традиционных представлений, основанных на положениях адгезионно-деформационной и эластогидродинамической теорий трения. Для объяснения этих результатов была выдвинута гипотеза о возникновении в граничных слоях трибоконтакта двух разнополярных процессов за счет микротечений в смазочной среде, которые инициируют появление областей разрежения в ДО и сжатия – в КО. С целью проведения прямых экспериментальных измерений распределения локального давления и подтверждения выдвинутой гипотезы о динамических процессах в граничных слоях был разработан специальный аппаратно-методический комплекс.

Для визуального исследования и изучения динамических процессов, возникающих в граничных слоях трибоконтакта, было разработано и изготовлено несколько лабораторных приборов трения с оптически-прозрачным линейным контактом.

В приборе АСБ-01 контакт модельного плоского и прозрачного подшипника скольжения осуществлялся с валом сверху, а в приборах АСБ-02 и АСБ-02Т – снизу. При этом прозрачность модельных подшипников позволяет наблюдать за течениями смазочной среды через полированные грани образца, изготовленного из оргстекла, кристалла парателлурида (TiO_2), сапфира или кварца. В качестве модельного вала использовался фторопластовый или стальной (ШХ-15, HRC 59–63) ролик полированной ($R_a < 0,04\text{мкм}$) рабочей поверхностью образующей цилиндр. Диаметр модельных валов – 80 мм, а их длина – от 9 до 16 мм.

Во всех приборах предусмотрено измерение локального давления в граничных слоях в процессе трения (рис. 1, а). Для этого в модельном прозрачном подшипнике (параллелепипеде) на рабочей поверхности трения изготавливалось приемное устройство в виде отверстия или щели (диаметр отверстия – 0,2 мм, ширина щели 0,23–0,3 мм, а длина – 6 мм). Такое приемное устройство через внутренние каналы, изготовленные внутри образца, затем через штуцер и гибкий шланг соединялось с измерительными приборами (манометры, вакуумметры, электромеханические или тензометрические датчики давления). Во всех приборах обеспечено постоянство линейного контакта и равномерное распределения мгновенных контактных напряжений при перемещении рабочей поверхности модельного вала благодаря использованию системы самоустановки и контакта.

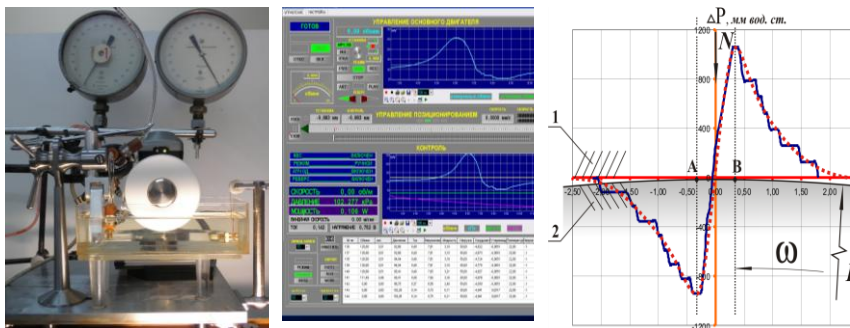


Рис. 1. Приборы АСБ-01, АСБ-02 (а), интерфейс программы (б) и распределение локального давления в контакте при трении в авиакеросине ТС-1 (в)

Это достигнуто тем, что ось качания модельного подшипника пересекает ось нагружения и ось вращения модельного вала в его центре масс. Кроме того, в этих приборах реализовано электромеханическое сканирование контактных областей приемными устройствами (отверстиями круглого или прямоугольного сечения в виде щелей), расположенными на контактной поверхности модельного подшипника. Сканирование производилось путем перемещения электропривода модельного вала с контролируемой скоростью шаговым двигателем. Разработанные и созданные специальные АЦП, ЦАП и программа управления параметрами трения обеспечивают их стабильность благодаря обратным связям с соответствующими датчиками. Интерфейс программы позволяет регистрировать локальное давление на срезе приёмного отверстия, координаты, скорость сканирования и другие параметры.

На всех приборах установлены дополнительные электронные датчики давления и разрежения для измерения локального давления в зоне контакта модельного вала с поверхностью плоского модельного подшипника, оптический датчик частоты оборотов вала и датчик определения потребления тока основного двигателя, механизм позиционирования на базе шагового двигателя.

Графический интерфейс в совокупности с программными модулями математической обработки экспериментальных данных позволили создать наглядную, удобную и относительно простую автоматизированную систему регистрации параметров и управления режимами трения скольжения (рис.1, б). В качестве основной модельной смазочной среды использовался авиационный керосин ТС-1 как прозрачная, маловязкая среда, исключаяющая при трении скольжения на малых скоростях (0,2–0,8 м/с) и малых нагрузках (1–10 Н) возникновение режима гидродинамического бесконтактного трения.

Также изучалось поведение смазочных слоев различных жидкостей: глицерин ХЧ, масла ВМ-6, ИПМ-10, МС-20, АМГ-10, дистиллированная вода, диалкилбензольное синтетическое масло и др.

Разработанные приборы и методики позволяют визуально и прямыми измерениями (рис.1, в) изучать динамические процессы в граничных слоях.

ДИРЕКТИВА ICAO DOC 9977. АВИАЦИОННАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ. ПРИЧИНЫ, ВОПРОСЫ, ПРОБЛЕМЫ

В феврале 2013 года вступила в силу Директива ICAO DOC 9977 «Manual on Civil Aviation Jet Fuel Supply» Doc 9977 AN/489 «Руководство по поставке авиационного топлива для гражданской авиации». Какое влияние окажет введение этой директивы на Авиационную промышленность?

На первый взгляд проблемы поставки авиатоплива – исключительно вопрос эксплуатации авиатехники имеющий отношение только к процессам обеспечения полетов. Однако, по нашему мнению, такое представление о Директиве ICAO DOC 9977 носит поверхностный и узковедомственный характер. Мы считаем, что введение этого документа прямо коснется не только эксплуатационных предприятий и поставщиков ГСМ, но и конструкторских бюро и авиапромышленности в целом. Детальный анализ этого документа показывает, что далеко не так. Действительно, прежде всего, обсуждение этого документа сегодня находится в сфере процессов связанных с поставкой авиатоплива. Так, после обращения ICAO в 2012 г. к авиационным властям России, рекомендовав к применению разработанное «Руководство по поставке авиационного топлива для гражданской авиации». Минтранс РФ разработал проект изменений в Воздушном кодексе, а также предложения по отмене части Федеральных авиационных правил, предусматривающих процедуры сертификации аэропортовых услуг, в том числе услуг авиатопливообеспечения, и процедуры по обеспечению и контролю качества авиатоплива.

Можно констатировать, что в следствие введение силу директивы ICAO DOC 9977 в ближайшее время будет иметь место два события:

1. С одной стороны введение в действие очередного документа ICAO приведет к увеличению безопасности полетов воздушных судов.
2. С другой – на рынке авиационной промышленности появится новый эффективный инструмент конкурентной борьбы за рынки авиаперевозок и рынки сбыта летательных аппаратов.

Для того чтобы понять, как директива ICAO DOC 9977 повлияет на авиапромышленность необходимо прежде всего обратить внимание на две ключевые позиции четко изложенные в документе.

Первая касается определения и структуры процесса авиатопливообеспечения. Если ранее борт воздушного судна был конечной точкой процесса, то теперь воздушное судно стало полноправным участником процесса топливообеспечения.

На рис. 1 представлена структура синхронизации стандартов участников процесса топливообеспечения в соответствии с Директивой ICAO DOC 9977 «Руководство по поставке авиационного топлива для гражданской авиации».

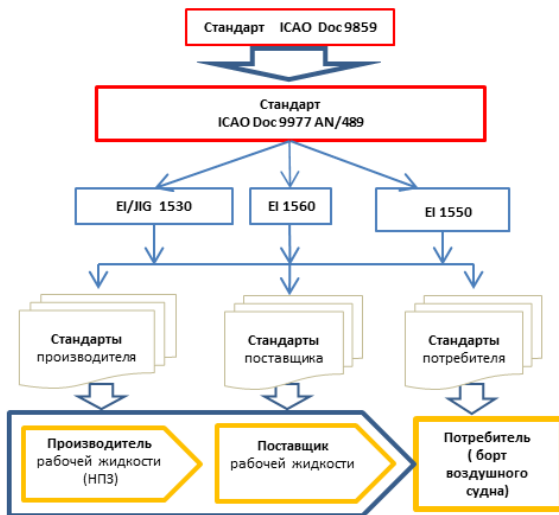


Рис. 1. Структура Синхронизации стандартов в соответствии с Директивой ICAO DOC/9977 «Руководство по поставке авиационного топлива для гражданской авиации»

Вторая позиция перечисляет права, обязанности и ответственность участников призванных решать поставленную задачу. Если ранее борт судна и экипаж должны были только получать кондиционное топливо и далее эксплуатировать его практически без контроля, то теперь положение изменилось.

Теперь экипаж должен в процессе приема топлива самостоятельно выполнить его входной контроль и обеспечить поддержание уровня чистоты вплоть до подачи в двигатель.

Чем обосновано такое требование? Как всегда – это анализ статистики причин отказов и катастроф летальных аппаратов. Так, по данным ICAO, до 33% всех аварий и катастроф происходящим по техническим причинам, до 50% отказов в полете реактивных двигателей, до 90% отказов гидравлических систем управления летательных аппаратов (ЛА) обусловлены наличием загрязнений в рабочих жидкостях на борту ЛА. По данным ICAO число аварий в авиации по техническим причинам вследствие загрязнения рабочих жидкостей в десятки раз превышает число аналогичных происшествий связанных с отказами и поломками других систем. Причём, как показывает анализ авиационной статистики, несмотря на наличие большого числа нормативных документов, средств обеспечения чистоты, число аварий и катастроф, происходящих по техническим причинам в авиации, с каждым годом не только не уменьшается, а, напротив, все время увеличивается. Большая часть этих событий прямо связана с обеспечением чистоты рабочей жидкости.

Уровень аварийности перешагнул черту, когда в авиационный инцидент попадало по причине загрязнённости отдельное воздушное судно. Дело дошло до авиакатástроф, которые накрывают как отдельные аэропорты, так и целые страны.

Австралийский авиакатástроф. Первый авиакатástроф произошёл в январе 2000 г. в Австралии когда вследствие загрязнённости авиационного топлива, был остановлен процесс эксплуатации приблизительно пяти тысяч самолетов с поршневыми двигателями по всей территории восточной Австралии и Новой Зеландии. Как показали результаты расследования, это произошло из-за появления черного осадка в двигателях и топливных баках содержащих этилен диамин (EDA). Наличие EDA приводит к постоянному повреждению деталей конструкции. Загрязнения образовались вследствие введения в топливо антикоррозионной присадки для снижения кислотного числа топлива фирмой производителем «Mobil». В результате взаимодействия присадки с медными или бронзовыми деталями машин в резервуарах появился черный осадок. Осадок блокировал топливные фильтры, карбюраторы и системы впрыска топлива, приводя к нарушению работы систем управления двигателями и их остановке в полёте.

В результате этих событий компания «Mobil» понесла убытки в виде компенсации владельцам авиапредприятий свыше 100 млн долларов США. Почти половина из одиннадцати с половиной тысяч легких самолетов страны была неспособна летать в течение больше чем четырех недель.

Все самолёты, которые были заправлены некондиционным топливом, потребовали ремонта двигателей. Стоимость ремонта одного самолёта составила в среднем порядка шестьдесят тысяч долларов США. Сотни авиационных фирм Австралии оказались на грани банкротства.

Израильский авиакатástроф. Спустя одиннадцать лет, в мае 2011 г. подобная ситуация возникла в Израиле, в аэропорту «Бен-Гурион» Тель-Авива. В топливных терминалах заправщиков в реактивном топливе было обнаружено инородное вещество. В результате:

- в срочном порядке были задержаны вылеты авиалайнеров.
- после обнаружения в топливных фильтрах пробок из посторонних примесей, было принято решение полностью прекратить заправку самолетов в аэропорту.
- в связи с тем, что причина загрязнения была непонятна, – было принято решение о прекращении полётов, которое было распространено на все аэропорты страны.

- ликвидация инцидента заняла более месяца.

По итогам расследования проведенного компанией «PazOilCompanyLtd», в топливе была обнаружена некая маслянистая жидкость, которая забила фильтры топливного терминала. Суммарный экономический ущерб в этом случае был оценен десятками миллионов долларов США.

Авиакатástроф ЮАР. По данным «AirportsCompanySouthAfrica (ACSA)» и «AfricanAerospace» в аэропорту «TamboInternational» Йоханнесбурга в ноябре 2012 г. имело место загрязнение топлива – вследствие чего топливо Jet A-1 оказалось непригодным для использования авиакомпаниями. Нормальный процесс топливообеспечения аэропорта был прерван на четыре дня. Всего было повреждено около 7 млн л топлива.

Совокупность этих событий, а также не прекращающиеся инциденты с отдельными воздушными судами послужили причиной для разработки новой нормативной базы призванной помочь в решении проблемы обеспечения промышленной чистоты.

В результате, в феврале 2013 года вступил в силу новый документ ИКАО «Manual on Civil Aviation Jet Fuel Supply» Doc 9977 AN/489. Несколько ранее вышли еще три руководящих документа, которые необходимо рассматривать совместно. Это EI/JIG 1530, EI 1550, EI 1560.

Директива призвана улучшить положение с аварийностью и, в частности, применительно к топливной системе самолета защитить её самый чувствительный элемент – команднотопливный агрегат. На рис. 2. Представлены опасные зазоры в командно-топливном агрегате реактивного двигателя. В золотниковых парах КТА эти зазоры находятся в диапазоне 5–15 микрон. Попадание частички загрязнений в зазор вызывает изменение условий трения золотника и плунжера, в ряде случаев может привести к неоднородности хода золотника, а в экстремальных ситуациях – к заклиниванию плунжера. На рис. 2 показана фотография с царапиной, образовавшейся вследствие взаимодействия частицы загрязнения и плунжером.

Размер зазора в плунжерной паре показан совместно с размерами частиц загрязнения, представленными для сравнения. Очевидно, что для устойчивой работы плунжерной пары в топливе не должно быть частиц размером более 10–12 микрон.

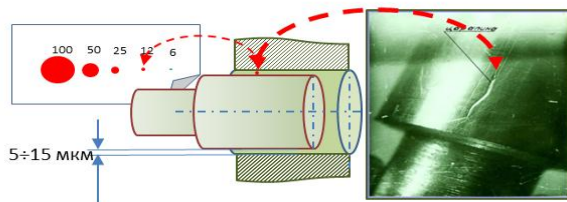


Рис. 2. Опасные зазоры в командно-топливном агрегате реактивного двигателя

Почему мы делаем акцент на размерах частиц загрязнений?

На рис. 3 представлена микрофотография пробы топлива заправляемого в ЛА. На микрофотографии представлено поле фильтроэлемента с тонкостью фильтрации 0,8 микрон через который профильтровано в соответствии с ГОСТ 100 мл жидкости. Размер поля зрения микроскопа в данном случае 1000x800 микрон. Размер ячейки в свету – 100x100 микрон. Уровень загрязнённости топлива при заправке оценен в среднем на уровне 5–6 класс по ГОСТ 17216 (что соответствует 1–2 классу по NAS 1638). Массовая доля загрязнений данной пробы оценивается как 1–2 грамма /тонну. Такой уровень загрязнённости топлива в целом соответствует требованиям мировых стандартов к авиатопливу, заправляемому в баки ЛА.

Как и какими средствами и с какими затратами наземные службы ГСМ аэропортов достигли этого значения в данной статье мы не рассматриваем. Для

нас представляет интерес несколько иной вопрос – если топливо при заправке чистое, то почему же так обеспокоена ИКАО? Почему падают самолеты?

Сделаем шаг вперед и посмотрим, что же у нас в топливных баках самолётов? Логично было бы ожидать, что если мы заправляем самолет чистым топливом, то и топливные баки должны быть чистыми. К сожалению не всегда, то, что кажется очевидным на первый взгляд, является таковым. Так, на первый взгляд и Земля плоская и Солнце движется вокруг Земли. Посмотрим, что в топливных баках самолётов на самом деле. На рис. 4. Представлена микрофотография топлива отобранного из расходного бака самолета **Boeing 737-400**. Фотография разительно отличается от объекта, представленного на рис. 3. В пробе наблюдается большое число частиц размером 50–100 микрон. Присутствуют волокна, стружка размером более 800 микрон. Общий уровень загрязненности данной пробы характеризуется 11–17 классом чистоты по ГОСТ 17216. (Разброс значений 11–17 классом характеризуется оценкой загрязнённости по разным фракционным группам. 11 класс для мелких фракций – 5–50 микрон, и 17 класс – для фракционных групп размером >100 микрон и волокон).

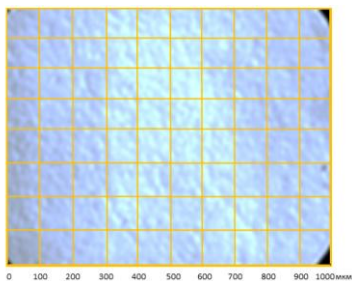


Рис.3. Микрофотография чистого топлива заправляемого в топливные баки ЛА (5–6 класс чистоты по ГОСТ 17216)

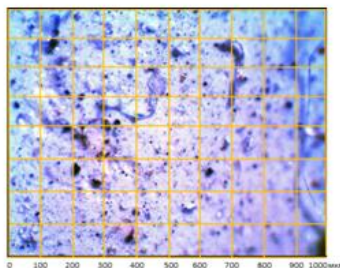


Рис. 4. Микрофотография топлива отобранного из расходного бака Boeing 737-400 (11–17 класс чистоты по ГОСТ 17216)

На рис 5. Представлена микрофотография пробы топлива из магистрали подачи топлива в двигатель **“Lycoming IO-360-M1A”** самолёта **D A40 “DiamondStar”**. Уровень загрязнённости топлива характеризуется 12 классом по NAS 1638 или 16 классом чистоты по ГОСТ 17216 .

На рис. 6 представлена микрофотография пробы моторного масла двигателя **“Lycoming IO-360-M1A”** самолета **DA40 “DiamondStar”**. Уровень загрязненности масла также много больше, чем >>12 класс по NAS 1638 или >16 класс чистоты по ГОСТ 17216

Таким образом, очевидно, что проблема загрязненности рабочих жидкостей сегодня, это в основном проблема бортовых систем ЛА.

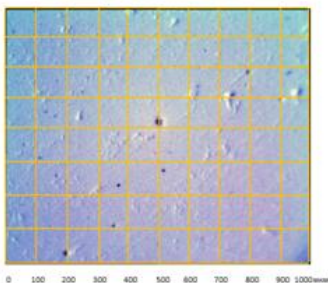


Рис. 5. Микрофотография топлива из магистрали подачи в двигатель DA40 «Diamond Star» (12 класс по NAS 1638) 16 класс чистоты по ГОСТ 17216)

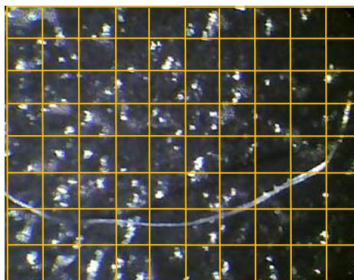


Рис. 6. Микрофотография из системы смазки Двигателя «Lycoming IO-360-M1A» самолёта DA40 «Diamond Star» (>> класс по NAS 1638) 16 класс чистоты по ГОСТ 17216)

В процессе обсуждения **директивы ICAO DOC 9977/AN 489** в рамках Международного круглого стола «Современные требования системы авиатопливообеспечения. Требования Директивы ICAO 9977/AN 489 «Руководство по поставке авиационного топлива для гражданской авиации» к правилам поставки авиационного топлива авиакомпаниям и нормам контроля его качества» было отмечено, что:

- современная ситуация в системе авиатопливообеспечения характеризуется тем, что внутренняя спецификация на топливо, процедуры контроля качества и государственное регулирование «конфликтует» с существующей, отработанной специалистами всего мира, системой обеспечения безопасности полетов в части производства и применения авиационного топлива, со стороны разработчиков ЛА и авиационных двигателей (Boeing, Airbus, IATA).

- ни один топливный, маслобак и бак гидрожидкости современных ЛА не имеет системы защиты от проникновения во внутреннюю полость механических частиц и влаги загрязнения через дренажную систему;

- ни один топливный, маслобак и бак гидрожидкости ЛА не имеет системы текущего контроля содержания механических частиц и влаги в жидкости;

- ни один топливный, маслобак и бак гидрожидкости ЛА не адаптирован для проведения промывок внутренних полостей;

- ни один топливный, маслобак и бак гидрожидкости не имеет систем текущего контроля содержания механических частиц загрязнений и воды в жидкости;

- в трубопроводах системы перекачки топлива, в топливных баках самолётов и вертолётов отсутствуют автоматизированные систем контроля уровня загрязнённости авиа ГСМ в резервуарах;

- подбор фильтров и очистителей выполняется исходя из «общих соображений»;

- отсутствуют научно-обоснованные критерии подбора фильтров и очистителей

- отсутствуют научно-обоснованные критерии формирования систем и подсистем очистки.

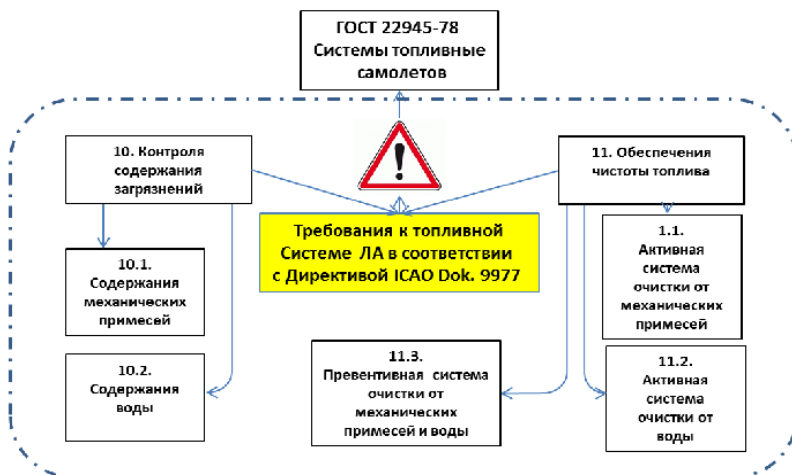


Рис. 7. Подсистемы топливной системы самолёта в соответствии с ГОСТ 22945



Рис. 8. Дополнительные подсистемы топливной системы самолёта в соответствии с требованиями ICAO DOC 9977

В работе круглого стола приняли участие представители двадцати восьми компаний из семи стран, которые поддержали эту позицию.

Действительно, если проанализировать ГОСТ 22945 «Системы топливные самолётов. Термины и определения», то в нем перечислены девять основных подсистем топливной системы самолёта. Структура топливной системы ЛА в соответствии с ГОСТ 22945 представлена на рис. 1. Среди этих систем нет тех

подсистем, о которых мы упоминали выше.

«Ложная» простота вопроса обеспечения чистоты топлива, «ложное» представление о том, что если в систему заправляется чистое топливо, то она должна быть чистой и «ложное» представление о том, что если качество топлива проинспектировано службой ГСМ перед заправкой, то и беспокоится нечего и привели к потоку аварий и катастроф и авиационным коллапсам.

Реально топливные системы ЛА требуют дополнения структурной схемы компонентами, представленными на рис. 8.

Во-первых, топливные системы в соответствии с требованиями ICAO DOC 9977 должны включать системы контроля загрязненности.

Эти системы должны контролировать содержание, как механических примесей, так и воды. Причем контроль должен быть организован как в процессе заправки, так и в процессе эксплуатации (в процессе стоянки и выполнения полёта).

На рис. 3 и 4 прекрасно видна разница между топливом, подаваемым в крыло и топливом в баке-кессоне. Следовательно, нужны две подсистемы контроля: при подаче в крыло и в баке-кессоне.

Мало того, необходимо иметь возможность выборочного контроля топлива в каждом топливном баке.

Контроль содержания воды в топливе – не менее важная, но во многом более сложная задача. Здесь вопросы контроля резко усложняются вследствие того, что вода имеет возможность динамически менять свое агрегатное состояние в зависимости от температуры, как топлива, так и стенок топливных баков.

По состоянию на сегодняшний день ни датчиков контроля загрязнения, ни приборов контроля воды на борту попросту нет.

Во-вторых, топливная система должна быть оснащена эффективной системой очистки. Система обеспечения чистоты топлива на борту ЛА в её сегодняшнем виде также абсолютно не пригодна к использованию. Если бы она была в состоянии обеспечивать очистку, то, наверное, и не было бы темы для этого материала и актуальности появления ICAO DOC 9977. Чтобы понять – в чем причина недостатков современных систем бортовой очистки нужно сначала разобраться в динамике процессов происходящих с загрязнениями в баках-кессонах.

Один из важнейших источников загрязнения топлива в баках-кессонах это, как это не парадоксально звучит, – это чистое топливо. Исследования, проведенные группой В. И. Терёхина, показали, что средний уровень загрязнённости топлива подаваемого в крыло находится в диапазоне 2–3,2 грамма/тонну. Установлено, что в процессе отстоя в наземных резервуарах уровень загрязненности топлива снижается в среднем на 70%.

Нашими исследованиями установлено, что бак-кессон представляет собой фактически почти идеальный отстойник. От наземного резервуара он отличается в основном размерами. В нём также идут процессы седиментации и выпадения загрязнения осадок. В процессе полёта топливо не вырабатывается из баков мгновенно. Если предположить, что средняя продолжительность полёта составляет порядка двух часов, то за это время из каждой тонны топлива выпадает 1–2 г загрязнений. Из тридцати тонн топлива (средний объём топлива, заправляемый в ЛА) за один полёт в осадок выпадает шестьдесят грамм

загрязнений. На первый взгляд это очень мало. Однако за год в баках накапливается значительное количество загрязнений. По данным фирмы «Boeing» современный самолёт гражданской авиации типа Boeing 767 имеет средней годовой налёт три тысячи двести восемьдесят часов. При средней продолжительности полёта равной 2 часам, за год, самолёт класса Boeing 767 выполнит порядка 1600 рейсов. За это время в баке самолёта скопится порядка ста килограмм «грязи». Через год эксплуатации, заливая чистое топливо в бак, получим там концентрацию загрязнений равную 3284 грамма/тонну. Это в 5,2 раза больше чем концентрация характерная для 17 класса чистоты по ГОСТ 17216 и соответственно в тысячу шестьсот раз больше, чем допустимо при подаче в двигатель.

Можно возразить, что грязь, выпавшая на дно, удерживается там как за счет сил гравитации, так и адгезии. Однако возьмем на себя смелость утверждать, что такой взгляд – не более чем очередное ошибочное допущение. Результаты анализа уровня загрязнённости топлива, выполненные нами и представленные на рис. 4 убедительно это доказывают.

В отличие от наземных резервуаров, которые стоят на грунте неподвижно, бак-кессон в процессе полёта все время колеблется вместе с крылом и летательным аппаратом в целом. По данным В. Л. Рудакова на крыло самолёта действуют в полете перегрузки до 6,4 с частотой 1–3с⁻¹.

Кроме того, за счет особенностей аэродинамики и конструкции профиля крыла, в процессе «болтанки» возникают крутильные колебания крыла, обусловленные несоосностью осей жесткости, фокуса крыла и центра тяжести сечения профиля. Т.е. в процессе болтанки могут возникать дополнительные крутильные колебания. При пересечении самолётом зоны «сдвига ветра» скорость сдвига может достигать ещё больших значений вплоть до 45 м/с. Нельзя также забывать и об резонансных колебаниях стенок топливных баков, амплитуда которых может на порядок превышать амплитуду колебания стенки.

При таких перегрузках и частотах колебаний бак-кессон скорее напоминает шейкер – устройство для равномерного перемешивания компонентов (загрязнений, топлива и воды) нежели отстойник. Естественно при столь значительных концентрациях загрязнений, о которых говорилось выше, никакие бортовые фильтры не выдержат. Следовательно, сегодня можно только надеяться, что в данную минуту не будет активной турбулентности, которая приведет к скачку загрязненности и отказу техники.

Подводя итог отметим, что директива 9977 в случае, если будет проигнорирована, то не только не сможет повлиять, на увеличение надежности, но послужит эффективным механизмом по удалению с рынка ЛА тех КБ, которые не начнут работу по её практической реализации. Безусловно, мгновенно реализовать все задачи, которые ставит перед разработчиками 9977 невозможно. Это потребует времени и появлению новых эффективных конструкторских решений. Наличие факта реализации этих решений сегодня – это инструмент для того чтобы сохранить свои позиции на рынке производства транспортных ЛА, а завтра выйти в лидеры.

СТАБІЛЬНІСТЬ ГІДРАВЛІЧНОЇ РІДИНИ «ГІДРОНІКОЙЛ» FH-51 ПІД ЧАС ТРИВАЛОГО ВИКОРИСТАННЯ

Сьогодні ІКАО розробляє механізм неперервного моніторингу безпеки авіації як на міждержавному рівні, так і на рівні окремої держави. Моніторинг безпеки авіації планується проводити за усіма напрямками, а саме, аеронавігація, аеродроми, авіаційний персонал, льотна придатність та експлуатація повітряного судна. Моніторинг надійності повітряного судна складається із постійного періодичного контролю стану всіх його систем, включаючи гідравлічну. Необхідність введення таких контролюючих дій підтверджується статистичними даними про те, що значна кількість несправностей та відмов припадає на основну гідравлічну систему повітряного судна та гідравлічну систему шасі, а саме, до 34,62% від загальної кількості відмов по всім системам повітряного судна.

Протягом останніх років в Україні введено до застосування у гідравлічній системі повітряних суден цивільної авіації гідравлічну рідину «Гідронікойл» FH-51. Гідравлічна рідина «Гідронікойл» FH-51 виробляється французькою фірмою «НІКО», та поставляється в Україну через російські та українські торгові фірми. Нею замінена гідравлічна рідина АМГ-10, що застосовувалася раніше багато років, і, яку й зараз застосовують та виробляють в Росії. З прайсів виробника відомо, що «Гідронікойл» FH-51 мінеральна гідравлічна рідина за своїм хімічним складом та показниками якості є аналогом робочої рідини АМГ-10, і ці рідини можна змішувати у будь-яких співвідношеннях.

Однак, спеціальних досліджень на предмет порівняння хімічного складу та властивостей «Гідронікойл» FH-51 з АМГ-10 не проводилося.

Оскільки гідравлічна рідина перебуває в гідросистемі повітряного судна тривалий час (до 3600 год), в її вуглеводневому складі під дією зовнішніх факторів перебігають окиснювальні процеси. Останнє зумовлює хімічні перетворення у молекулах вуглеводнів гідравлічної рідини, погіршуючи її експлуатаційні властивості, та спричиняючи утворення твердої фази, корозію елементів та агрегатів гідросистеми, тим самим зумовлюючи появу відмов та несправностей.

Установлено, що для гідравлічних рідин «Гідронікойл» FH-51 та АМГ-10 показник якості «кислотне число» (КЧ) збільшується з часом нальоту за рівнянням:

$$КЧ = \frac{f}{\exp\left(\frac{a}{b+c \cdot t}\right)}.$$

Для гідравлічної рідини АМГ-10 коефіцієнти мають таке значення: $f = 0,2$ мг КОН на 1 г; $a = 0,53, год$; $b = 0,13, год$; $c = 10^{-3}$. Для гідравлічної рідини FH-51 коефіцієнти мають наступне значення: $f = 0,27$ мг КОН на 1 г; $a = 1,05, год$; $b = 0,45, год$; $c = 10^{-3}$.

Нами доведено, що показник якості «кислотне число» протягом 300 год роботи в гідросистемі ПС для гідравлічної рідини АМГ-10 збільшується до 0,04 мг КОН на 1 г, а для FH-51 – до 0,063 мг КОН на 1г, що перевищує нормоване чинними інструкціями значення (не більше 0,03 мг КОН на 1г мастила). Відомо, що відповідно до чинної інструкції, гідравлічні рідини АМГ-10 та FH-51 з такими значеннями показника якості «кислотне число» використовувати в гідросистемі ПС заборонено.

Також встановлено, що у зразках рідини FH-51 після 300 годин та 380 год нальоту вихід першої фракції зменшується на 5,2% та 22,3% відповідно у порівнянні з зразком товарної рідини. У свою чергу збільшується вихід других фракцій зразків рідини FH-51 після 300 год нальоту на 6,2% та після 380 год нальоту на 22,9% у порівнянні із зразком товарної рідини.

Результати мас-спектрального аналізу показали, що в бі- та трициклічних нафтових структурах перших фракцій перебігають реакції розриву нафтових кілець з утворенням моно- і біциклічних нафтових вуглеводнів відповідно. Продуктами реакцій дегідрування утворених нафтових вуглеводнів є ненасичені нафтові вуглеводні з одним та двома подвійними зв'язками та ароматичні. У зразку рідини FH-51 після 380 год нальоту встановлено збільшення на 10,2% вмісту ароматичних вуглеводнів, особливо алкілбензолів, порівняно з зразком як товарної рідини, так і рідини після 300 год нальоту (рис.7).

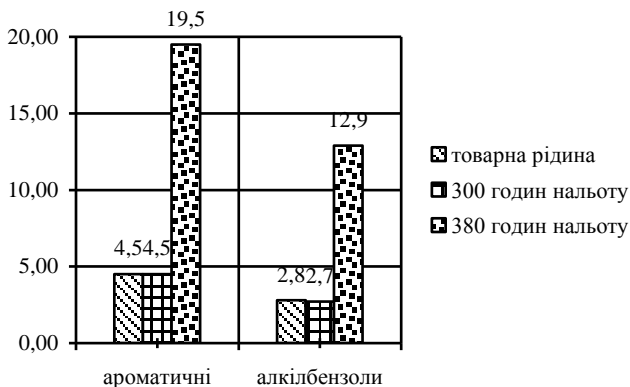


Рис. 7. Вміст ароматичних вуглеводнів у перших фракціях зразків рідини FH-51

У результаті перебігу реакцій деструкції алкільних радикалів циклічних сполук збільшується загальний вміст парафінових вуглеводнів у других фракціях зразків рідини FH-51 (рис.8).

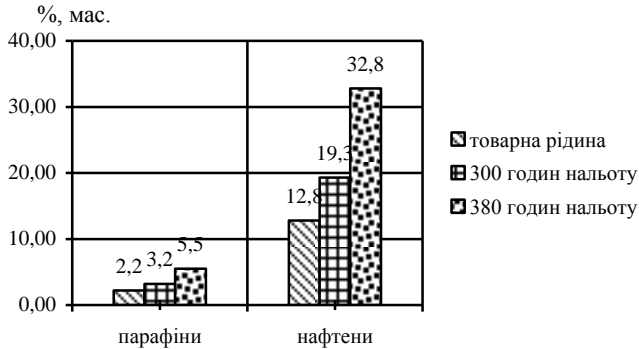


Рис. 8. Вміст парафінів та нафтенів у других фракціях зразків рідини FH-51

Деструктивні процеси з розкриттям нафтових циклів, що відбулися з поліциклічними нафтовими вуглеводнями, спричинили зростання вторинних нафтенів відповідно у 1,5 рази та 2,6 рази в других фракціях зразків рідини FH-51 після 300 і 380 год нальоту порівняно з фракцією товарної рідини (див. рис. 8).

Деструкція алкільних радикалів алкільбензолів спричиняє збільшення вмісту ароматичних вуглеводнів у зразку рідини FH-51 після 300 год нальоту на 0,1%, у зразку після 380 год нальоту – на 1,0% порівняно з такою ж фракцією товарної рідини FH-51.

Таким чином, проведені дослідження щодо зміни вуглеводневого складу гідравлічної рідини FH-51 під час тривалого використання показують, що відбувається зменшення вмісту легких вуглеводнів, збільшення кількості висококиплячих вуглеводнів з новоутворення молекул вторинних нафтових вуглеводнів. Встановлено кінетику перебігу окиснювальних перетворень в молекулах вуглеводнів гідравлічної рідини FH-51 під час тривалого використання. Знайдено математичну залежність показника якості кислотне число від наробітку для гідравлічних рідин АМГ-10 та FH-51, що дає можливість прогнозувати зміни експлуатаційних властивостей гідравлічних рідин під час експлуатації.

Кузнєцова О. Я.,

Національний авіаційний університет, Україна

НОРМАТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОНТРОЛЮ ЯКОСТІ ГІДРАВЛІЧНИХ РІДИН У СУЧАСНИХ УМОВАХ

На 37-й сесії Асамблеї ООН прийнято резолюцію щодо подальшого розвитку Універсальної програми перевірок організації контролю за забезпеченням безпеки польотів (УППКБП) та виконання завдання ІКАО про розроблення механізму неперервного моніторингу (МНМ) безпеки авіації.

МНМ безпеки авіації при експлуатації повітряного судна (ПС) складається із постійного періодичного контролю стану роботи всіх його систем, у тому числі,

і гідравлічної. Оскільки робочим тілом гідравлічної системи повітряного судна є гідравлічна рідина, постає задача періодичного контролю її експлуатаційних властивостей під час тривалого використання.

Об'єктами системи контролю якості одночасно виступають гідравлічна система ПС та робоча рідина. Експлуатаційні властивості робочих гідравлічних рідин визначені з метою забезпечення режимів роботи гідросистеми ПС та її агрегатів під час виконання польоту. У свою чергу технологічні процеси виробництва гідравлічних рідин забезпечують їх певний вуглеводневий склад з метою відтворення зазначених експлуатаційних властивостей. Під час тривалого використання внаслідок хімічних перетворень у вуглеводневному складі гідравлічних рідин їхні експлуатаційні властивості не зберігаються. У зв'язку з цим технологія контролю якості призначена для перевірки під час тривалого використання відповідності експлуатаційних властивостей гідравлічної рідини вимогам чинного стандарту.

Чинна технологія контролю якості гідравлічних рідин регламентується «Інструкцією з забезпечення заправлення повітряних суден паливно-мастильними матеріалами і технічними рідинами в підприємствах цивільного авіаційного транспорту України», затвердженої Наказом Державіаслужби 14.06.2006 р. № 416. Інструкція встановлює правила прийому, зберігання, заправлення, контролю якості гідравлічних рідин з моменту їх поставки на підприємство цивільного авіаційного транспорту та впродовж усього терміну експлуатації в гідросистемі літака. Технологія контролю якості гідравлічних рідин складається з чотирьох етапів (рис. 1). Перший етап – контроль якості при прийомі на склад паливно-мастильних матеріалів (ПММ), другий етап – під час зберігання на складі ПММ, третій – при видачі на заправку в гідравлічну систему ПС, четвертий етап – під час тривалого використання в гідравлічній системі ПС. Як показано на рис. 1, на першому, другому та третьому етапах регламентовано за певних умов виконання аналізів якості з метою встановлення відповідності експлуатаційних властивостей визначеним вимогам. На четвертому етапі, тобто впродовж терміну роботи рідини в гідравлічній системі ПС, передбачено лише періодичне візуальне визначення наявності води та механічних домішок, що не несе інформації про процеси хімічних перетворень у складі вуглеводнів гідравлічної рідини і, як наслідок, погіршення її експлуатаційних властивостей.

Отже чинна технологія контролю якості не передбачає тестування, що індикують зміни у вуглеводневному складі гідравлічної рідини при тривалому використанні, в наслідок чого не надходить інформація про дійсний стан її якості, що не може гарантувати нормальні режими роботи агрегатів гідравлічної системи та, відповідно, необхідного рівня безпеки ПС.

Слід зазначити, що зараз в умовах комерційних відносин всі необхідні випробування щодо контролю якості гідравлічної рідини не тільки фінансуються компанією-власником літака, а й ним же замовляється кількість та перелік тестувань. Тому часто-густо компанії-власники літака не дотримуються вимог чинної інструкції контролю якості гідравлічних рідин.

Виникає питання: «Чому контролю якості гідравлічних рідин при тривалому використанні не приділяється достатньої уваги?» Роками склалася думка, що відмови та несправності агрегатів гідравлічної системи не становлять суттєвої

загрози безпеці польотів. У разі, коли несправності та відмови агрегатів гідравлічної системи ПС виявлені на землі під час підготовки до польоту, їх заміна спричиняє затримку рейсів, порушується розклад руху ПС та авіакомпанії несуть лише фінансові збитки. Випадкова ж поява несправностей та відмов агрегатів гідравлічної системи ПС у польоті створює серйозну загрозу безпеці ПС та, відповідно, здоров'ю пасажирів.

Оскільки сучасні міжнародні документи вимагають приділяти більше уваги контролю якості паливно-мастильних матеріалів, в тому числі, і гідравлічних рідин, при тривалому використанні, Україна, як учасник єдиного міжнародного повітряного простору, має виконувати завдання сформульовані ІКАО. У зв'язку з цим, необхідно

- гармонізувати чинну технологію контроль якості гідравлічних рідин з вимогами ІКАО;

- розробити систему управління якістю гідравлічних рідин при тривалому використанні;

- створити систему забезпечення безпеки польотів в частині тривалого використання гідравлічних рідин;

- гармонізувати ці системи з сучасними світовими вимогами враховуючи національні особливості.

Вдовенко С. В.,

ТОВ «Укргазпромстрой», Україна

МЕТОДИ ЗНИЖЕННЯ ВТРАТ ВУГЛЕВОДНІВ ПІД ЧАС ПЕРЕРОБКИ НАФТИ НА НПЗ

Діяльність будь-якого нафтопереробного заводу (НПЗ) неможлива без втрат частини вуглеводнів. Кількість втрат залежить від багатьох чинників, основними з яких є характеристика перероблюваної сировини, напівфабрикатів та готової продукції; кліматичні умови в даному регіоні; технологічні аспекти виробництва; особливості обслуговування технологічного обладнання під час нормальної його експлуатації та при планових ремонтах тощо.

У залежності від походження загальнозаводські втрати можна умовно поділити на декілька груп, найбільш вагомими з яких є втрати з резервуарних парків і транспортних ємностей, втрати відкритих об'єктів очисних споруд та блоків оборотного водопостачання, технологічні втрати, втрати під час проведення ремонтних робіт.

Нами проведено комплекс науково-дослідних і розрахункових робіт з метою зменшення окремих категорій втрат вуглеводнів на нафтопереробних заводах.

Одним з напрямів були роботи щодо визначення впливу типу спеціального фарбування резервуарів для зберігання нафти, світлих і темних нафтопродуктів на кількість втрат вказаних продуктів. Вивчення впливу кольору резервуару на втрати нафтопродуктів проводили на спеціально створеній лабораторній установці вимірюванням температури навколишнього середовища і температури продукту всередині міні-резервуару при зміні режиму зовнішнього освітлення розрахунковим методом за загальноприйнятими методиками. Встановлено, що для

мінімізації втрат резервуари необхідно покривати фарбами з коефіцієнтом відбиття не менше ніж 0,8. Поряд із зовнішнім фарбуванням зменшення втрат від випаровування можна досягнути нанесенням на його внутрішню поверхню лакофарбових покриттів з низьким коефіцієнтом випромінювання. Комплексне фарбування резервуарів дасть змогу зменшити втрати легких вуглеводнів від випаровування на 30–65%.

Важливою частиною досліджень стало вивчення складу і властивостей нафтових шламів, утворених в результаті переробки нафти на НПЗ. Нами здійснено відбір різних типів нафтошламів з відкритих об'єктів очисних споруд (пісколовок, нафтовловлювачів, амбарів тощо) і проведено їх лабораторний аналіз. Встановлено, що склад і властивості цих шламів значно відрізняються один від одного. Розглянуто декілька методів кваліфікованої утилізації цих нафтошламів. Встановлено, що окремі типи шламів можуть бути повернуті в переробку згідно існуючої схеми нафтопереробного заводу. Одним з перспективних методів переробки є термічна деструкція непідготовлених шламів за температури 420–460°C. Можливість проведення цього процесу підтверджена дериватографічними дослідженнями нафтошламів і проведенням комплексного термічного аналізу. У подальшому планується проведення лабораторних досліджень процесів термічної та термоокиснювальної деструкції нафтошламів з метою встановлення оптимальних параметрів процесу.

Алієва О. Р., Матвєєва О. Л.,

Національний авіаційний університет, м. Київ

МЕТОДИ ОЧИЩЕННЯ НАФТОВІСНИХ СТІЧНИХ ВОД

Одним із забруднювачів навколишнього середовища є нафто- і оливомісні стічні води. Вони утворюються в багатьох технологічних процесах в різних галузях промисловості і сільського господарства: нафтовидобуток і нафтопереробка, транспорт, металургія та гірнична галузь, мийка всіх видів транспорту, тощо. Зокрема, операційна діяльність аеропортів є одним з поширених джерел забруднення природних ресурсів нафтопродуктами.

На сьогодні накопичений досить великий досвід для оптимального вирішення більшості технологічних і технічних проблем, що виникають при очищенні нафтовмісних стічних вод. Разом з тим, у багатьох випадках на практиці реалізуються проекти, в яких не враховані особливості складу нафтовмісних стоків і властивості забруднюючих речовин, що містяться в них. Так, в першу чергу, не враховується те, що нафтовмісні стічні води є багатокомпонентними і багатозафазними водними системами.

Нафтовмісні скиди практично завжди одночасно з нафтопродуктами містять також механічні частки, поверхнево-активні речовини (ПАР), органічні сполуки і, в багатьох випадках, важкі метали. Під час розроблення технологічних схем очищення, крім багатокомпонентності стічних вод, необхідно неодмінно враховувати стан і ступінь агрегативної стійкості нафтопродуктів, що в них містяться.

Зазвичай нафтопродукти у стічних водах знаходяться в станах:

- неемульгованому,
- грубоемульгованому,
- тонкоемульгованому,
- молекулярному.

Залежно від умов утворення, концентрації домішок і складу стічних вод в них переважають нафтопродукти в тому чи іншому фазово-дисперсному вигляді. При високих їх концентраціях і відсутності в стоках стабілізуючих речовин, в першу чергу ПАР, основна кількість нафтопродуктів перебуває у вигляді великих крапель.

У разі низьких концентрацій нафтопродуктів, практично всі вони знаходяться в тонкоемульгованому стані, тим більше за наявності в стічних водах стабілізуючих речовин. Утворення високодисперсних емульсій відбувається в результаті механічного диспергування нафтопродуктів в стоках, головним чином, при перекачуванні та руху нафтовмісних вод в трубопроводах.

Тонкоемульговані частинки нафтопродуктів у стічних водах можуть бути нестабілізованими, слабостабілізованими або сильностабілізованими інгредієнтами, що містяться в стоках. Стабілізуючу дію проявляють ПАР, що знаходяться в стічних водах, високомолекулярні органічні сполуки, а також тверді домішки колоїдного ступеня дисперсності. Найчастіше на практиці агрегативна стійкість тонкоемульгованих домішок забезпечується аніонними і неіонними ПАР, які використовуються для приготування різноманітних технологічних розчинів або скидаються у стічні води після застосування для будь-яких інших технологічних цілей.

Неемульговані та грубоемульговані нафтопродукти досить просто і ефективно видаляються зі стічних вод відстоюванням в нафтовловлювачах різних конструкцій. Розмір частинок, що ефективно відокремлюються при відстоюванні, залежить, насамперед, від густини нафтопродуктів.

Нафтоуловлювачі мають певну межу ефективності, що визначається розміром і щільністю крапель нафтопродуктів у стічних водах. Нафтопродукти, що залишаються в забруднених водах після проходження нафтовловлювача, можна умовно віднести до тонкоемульгованих.

Для очищення стічних вод, що містять не стабілізовані тонкоемульговані нафтопродукти можуть застосовуватися безреагентні процеси:

- коалесценція,
- електрофлотажія,
- фільтрування,
- ультрафільтрація,
- сорбція та інші.

Безреагентна схема очищення, як правило, не забезпечує отримання очищених вод з якістю, що допускає їх скидання у водойми і водотоки. Водночас, очищені води цілком можуть бути використані в водооборотних системах, наприклад, в системах ручних мийок автотранспорту, в яких не застосовуються мийочі засоби.

Технологія очищення стічних вод, що містять слабостабілізовані тонкоемальговані нафтопродукти, включає, в більшості випадків, електрокоагуляцію або реагентну коагуляцію. При цьому одночасно відбувається коагуляція високодисперсних і колоїдних твердих частинок, сорбція ПАР та органічних сполук. Для отримання очищених вод з допустимою для скидання у водойми або водотоки концентрацією нафтопродуктів у технологічній схемі передбачається етап сорбційної доочистки від нафтопродуктів, що знаходяться в розчиненому стані.

Найбільш складною проблемою є очищення стічних вод, що містять сильностабілізовані нафтопродукти. Технологія очищення таких стоків, як правило, містить етап дестабілізації (деемальгування), який дозволяє суттєво знизити агрегативну стійкість емульсій і дає можливість здійснення ефективної коагуляції для дестабілізації частинок нафтопродуктів. Після обробки дестабілізатором стічні води направляються на відстоювання в нафтовловлювачі, а потім на доочищення, що передбачає електрокоагуляцію або реагентну коагуляцію залишкових нафтопродуктів.

У даний час окремі процеси очищення нафтовмістних вод практично не застосовуються через неможливість отримання очищених вод з якістю, що відповідає нормативним вимогам. Тому, зазвичай їх очищення здійснюється в декілька ступенів, кожний з яких забезпечує видалення зі стоків нафтопродуктів, що перебувають у певному фазово-дисперсному стані. Як правило, такі багатоступінчасті схеми складаються з етапу попередньої очистки від неемальгованих і грубоемальгованих нафтопродуктів, етапу основного очищення від тонкоемальгованих частинок і етапу доочистки від розчинених нафтопродуктів.

На етапі доочистки найчастіше застосовуються біохімічні методи очищення у зв'язку з їх високою ефективністю при низьких залишкових концентраціях нафтопродуктів. В основі цих методів полягає принцип біодеструкції нафтопродуктів мікроорганізмами.

На очисних спорудах у залежності від прийнятої системи каналізації, а також від характеристики забруднюючих речовин, на стадії біологічного очищення застосовують одно- і двоступінчасті аеротенки. Для доочищення біологічними методами використовуються споруди біологічної очистки, якими служать в основному аеротенки з розосередженим впусканням води і аеротенки – змішувачі. Аеротенки – витискувачі найчастіше застосовують на другому ступені очищення. У закордонній практиці поряд з аеротенками використовуються біофільтри. Однак при цьому потрібно більш ретельне попереднє видалення нафтопродуктів із стічних вод (концентрація нафтопродуктів не має перевищувати гранично допустиму величину 25 мг/л, при якій вода може подаватися на споруди біологічної очистки).

Слід зазначити, що біологічне розкладання нафти і нафтових відходів під дією мікроорганізмів у природних умовах відбувається дуже повільно, тому інтенсифікація природних процесів біологічного розкладання нафтопродуктів є в даний час найбільш перспективним науковим підходом. На сьогодні відомо безліч видів мікроорганізмів, що споживають органічні речовини нафтопродуктів, причому кожен з них проявляє вузьку специфічність до певного класу вуглеводнів. Відомо, що суміш культур мікроорганізмів з різним метаболізмом

більш інтенсивно і повно розкладає субстрати складного хімічного складу, ніж окремі чисті культури.

Для підвищення ступеня очищення стічних вод необхідно провести оптимізацію процесу біологічного очищення, підвищити його стійкість до складних і мінливих умов роботи. Найбільш простий й ефективний спосіб – підбір оптимального матеріалу завантаження біофільтрів. Наприклад, геотекстиль оптимально підходить для проведення біологічного очищення в складних умовах.

В основному для прискорення процесу біологічного очищення від нафтових забруднень за допомогою мікроорганізмів на очисних спорудах застосовується активізація метаболічної активності нафтоокиснюючої мікрофлори шляхом зміни відповідних умов середовища – біостимуляції. Параметри, на які варто впливати, можна умовно віднести до:

- факторів зовнішнього середовища;
- складу середовища протікання біологічного очищення;
- мікробіологічних параметрів.

Особливий інтерес для подальшого вивчення представляють фактори зовнішнього середовища, а саме фізичні параметри, такі як вплив зовнішніх силових полів. Наприклад, опромінення ультразвуком та дія електромагнітного поля відкривають широкі перспективи для подальшого удосконалення процесу біологічного очищення нафтозабруднених стічних вод.

Верягіна Л. С., Трофімов І. Л.,

Національний авіаційний університет, Україна

ПРОБЛЕМИ ЗАЧИЩЕННЯ РЕЗЕРВУАРІВ

На підприємствах авіапаливозабезпечення, автозаправних станціях (АЗС), у транспортних і в сервісних службах достатньо значною і високовартісною є зачищення твердих поверхонь резервуарів, ємностей, обладнання, механізмів, різних деталей, а також забруднення ґрунтів від нафти, нафтопродуктів і наступна утилізація продуктів змиву.

Головне завдання, що поставлене перед структурою нафтопродуктозабезпечення це збереження якості нафтопродуктів. Саме погіршення якості палива призводить до значних фінансових затрат, а в найгірших випадках навіть може становити небезпеку для життя людей та оточуючого середовища.

Враховуючи той факт, що зберігання нафтопродуктів відбувається на спеціальних підприємствах таких, як АЗС, нафтобази та служби паливозабезпечення аеропортів та оскільки на кожному такому підприємстві використовується певна кількість одних і тих самих резервуарних ємностей, то важливою умовою підтримання належної якості нафтопродуктів є вчасне і якісне кваліфіковане технічне обслуговування та своєчасне зачищення резервуарів. Таке зачищення може бути здійснене хіміко-механізованим методом. Але, головна проблема полягає у тому, що всі сучасні комплекси для хіміко-механізованого зачищення є закордонними і мають високу вартість та широко не використовуються. На наш погляд, розглянуті сучасні технології зачищення

резервуарів від забруднень, а особливо на підприємствах авіа паливозабезпечення не є досконало обгрунтованим, тому і надалі потрібно вирішувати поставлену проблему за допомогою виробництва вітчизняних комплексів зачищення з більшою ефективністю та меншою собівартістю.

З вище сказаного означає, що метою даної роботи є удосконалення технології зачищення резервуарів на підприємствах авіа паливо забезпечення для підтримання належного стану експлуатації резервуарів.

Відомо, що при зберіганні та перекачуванні фізико-хімічні властивості нафти та нафтопродуктів змінюється, особливо це відбувається на дні резервуарів, де збирається осад який вміщує в собі парафіни, асфальтени і механічні домішки. Механічні домішки являють собою продукти корозії металу (окисли заліза), а також окисли кальцію, магнію, кремнію і частинки коксу (карбонів та карбоїдів). Асфальтени, що знаходяться в нафтовому осаді мають колоїдний стан або вигляд грубо дисперсного твердого осаду. Великий вплив на вміст нафтозалишків має змішування різних сортів нафтопродуктів, багатократне підігрівання та довготривалі строки експлуатації резервуарів без періодичних зачищень, тобто це призводить до утворення накопичення великої кількості осадів, їх ущільнення і утворення твердих мас. Нафтозалишки по хімічному складу і фізичним властивостям відрізняються від вихідних нафт, по випробуванням спеціалістів, осади в резервуарах об'єктів паливозабезпечення містять:

- 25–40 % асфальтосмолистіх з'єднань;
- 5–30 % парафінів;
- 30–60% механічних домішок та води.

Осади являють собою високов'язку вагу, що стає мало рухомою у залежності від складу парафіно-смолистих сумішей, продуктів корозії, мінеральних частин та води. Обводненість нафтозалишків – результат відстою нафтопродуктів, потрапляння атмосферних осадків через нещільність люків, арматури, покриття резервуарів, а також пропарювання резервуарів паром для видалення твердих відкладень. При цьому утворюється стійка емульсія води в нафтопродуктах, що значно не дозволяє видалення залишків із резервуарів, так як домішки води в кількості 20–25% значно змінюють в'язкість осаду. Особливо різко підвищується в'язкість нафтопродуктів при зниженні температури. Видалення такого згущеного нафтозалишку можливо лише при належному підігрівання, а це все призводить до великих енерговитрат.

Для попередження всіх цих факторів необхідно дотримуватися наступних умов:

- застосовувати сучасні металеві конструкції з антикорозійним покриттям внутрішніх стінок;
- своєчасно проводити зачищення резервуарів.

Металеві та залізобетонні резервуари для нафти, мазуту, авіаційних палив та аналогічних по фізико-хімічним властивостям нафтопродуктів слід зачищати по мірі необхідності, що визначається умовами зберігання їх якості, надійної експлуатації резервуарів та обладнання. Крім збереження якості нафтопродуктів зачищення проводиться з метою:

- забезпечення нормальної експлуатації резервуарів, роботи обладнань, відбору проб та інше;

- при зміні сорту нафтопродукту;
- для ремонту.

Способи зачищення резервуарів та ємностей визначають за фізико-хімічним вмістом та кількістю нафтозалишка, вони класифікуються наступним чином (рис. 1)



Рис. 1. Види зачищень резервуарів

Як відомо, основна частина підприємств України та інших країн СНД використовують старі технології, що не забезпечують необхідних норм зачистки поверхонь і потребують періодичної заміни миючих засобів. Наприклад, традиційні миючі засоби які використовуються в нафтохімічній промисловості та авіації, а саме це – каустична та кальцинована сода, Лабомід, Форс, Темп, РІК, МЛ, МС, МЛІ-2, МЛІ-52, Лабомід-203, ТМС-31 і т.п утворюють стабільну стійку емульсію із суміші вуглеводнів і води, які важко розділити звичайними методами. Тому відпрацьовані після обробки різних поверхонь миючими засобами скидаються на очисні споруди для очистки і нейтралізації різними способами з використанням: нафтопастки, відстійників, флотаторів, реагентів. Використання цих методів потребує значного виділення великих коштів під очисні споруди, а також тепло енерговитрат.

Практика експлуатації резервуарних ємностей на підприємствах паливо забезпечення висуває до миючих засобів ряд вимог, серед яких:

- мінімальна взаєморозчинність води в паливі (до 1,5%);
- сепарація;
- мінімальна утилізація;
- багаторазове використання миючого засобу;
- біологічний розпад і нетоксичність;
- самоочищення;
- наявність антикорозійних властивостей;
- регенерація миючих розчинів.

На наш погляд, розглянуті технічні миючі засоби не задовольняють всім вимогам, що висуваються до сучасних миючих композицій. Майже всі вони є корозійно активними, потребують великої кількості води на змивання та не вирішену проблему утилізації. Таким чином, миючі засоби потребують значного вдосконалення, саме тому потрібно проводити наукові дослідження у цій області і надалі.

Для подальшого підвищення надійної експлуатації резервуарних ємностей необхідно:

- дослідити механізм взаємодії ПАВ з нафтопродуктами;
- розробити методику експериментального дослідження;
- розробити миючу композицію для знищення нафтових залишків і забруднень, що дозволить використовувати метод хіміко-механізованої зачистки в авіаційній галузі;
- підібрати відповідне технологічне устаткування, що дозволяє ефективно використовувати сучасні миючі композиції.

Черняк Л. М.,

Національний авіаційний університет, Україна

ВТРАТИ АВТОМОБІЛЬНИХ БЕНЗИНІВ ВІД ВИПАРОВУВАННЯ. ЕКОЛОГІЧНИЙ ТА ЕКОНОМІЧНИЙ АСПЕКТИ

Забруднення атмосферного повітря стає серйозною проблемою в багатьох міських областях світу і жорстке нормування та регулювання рівня повітряного забруднення пов'язане з тим, що це може мати серйозний вплив на здоров'я людини та навколишнє природне середовище. Збільшення кількості транспортних засобів, а й відповідно кількості моторного палива, що використовується, призвело до збільшення інтересу науковців не тільки до економічних аспектів цієї проблеми, а й до досліджень того, як саме впливає цей вид забруднення на стан атмосферного повітря у великих містах.

Під час транспортування нафти з нафтопромислів до місць переробки, під час зберігання нафтопродуктів, виконання операцій їх приймання та видачі, існує безліч можливостей для викиду пари до атмосфери з резервуарів, автомобільних цистерн, залізничних цистерн та танкерів у повітря.

Емісія вуглеводневої пари, маючи значний небезпечний вплив на людину та навколишнє середовище, завжди була цікавою темою для науковців, інженерів та менеджерів, що займаються питаннями переробки нафти, зберігання та транспортування нафтопродуктів, забезпечення пожежобезпечності використання нафтопродуктів та захисту природного навколишнього середовища. Прямий негативний результат таких викидів летких органічних сполук нафтопродуктів – це з однієї сторони екологічна проблема, а з іншої сторони – втрата цінних енергоресурсів.

Метою досліджень є визначення сучасного стану проблеми викидів вуглеводневої пари автомобільних бензинів у атмосферу та нормування цих втрат. Аналіз кількісних втрат палива від випаровування показав, що більшість паливних втрат від випаровування мають місце втрати автомобільних бензинів на автозаправних станціях. Леткі органічні сполуки (ЛОС) легко випаровуються і потрапляють в атмосферу, особливо під час виконання різних операцій з автомобільним бензином. Оцінка фактичних втрат автомобільних бензинів – це постійний складний процес, оскільки ці викиди спостерігаються на усьому шляху від нафтопереробного зводу до баку споживача. Від точності їх визначення залежить ефективність нормування та подальша роль цих втрат в економіці та

забезпеченні екологічної безпеки об'єктів сфери нафтопродуктозабезпечення. Насьогодні бензин – це основний вид автомобільного палива, що широко використовується у всьому світі. Емісія ЛОС автомобільних бензинів – завжди була істотною екологічною проблемою, і контроль рівня забруднення ЛОС завжди був актуальною темою у сфері забезпечення чистоти атмосферного повітря, вирішення якої дасть змогу зменшити техногенне небезпеку об'єктів сфери нафтопродуктозабезпечення та сприятиме економії цінної нафтової сировини.

Шкільнюк І. О., Фесак Т. О.,
Національний авіаційний університет, Україна

ПРОБЛЕМИ ЧИСТОТИ ТА МІКРОБІОЛОГІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ В СФЕРІ АВІАПАЛИВОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Повітряний транспорт є одним з основних споживачів високоякісних паливно-мастильних матеріалів (ПММ). За великих масштабів споживання високоякісних нафтопродуктів питання підвищення ефективності авіаційної техніки, економії та раціонального використання авіаційних паливно-мастильних матеріалів (ПММ) має важливе державне та економічне значення.

Працездатність та надійність роботи системи паливозабезпечення суттєво залежить від якості авіаційного палива. Найбільша кількість відмов і несправностей елементів паливної системи, ПРД та ЛА, пов'язана з якістю палива та зовнішніми забрудненнями.

Шкідливий вплив на паливну апаратуру спричиняють не тільки видимі неозброєним оком забруднення, але й невидимі мікрозабруднення. За відсутності часток розміром більше 25–30 мкм (межа розрізняючої здатності ока у випадку бокового освітлення) 1 л палива для ПРД містить десятки тисяч невидимих часток розміром 20±5 мкм, сотні тисяч часток розміром 10±5 мкм, багато мільйонів часток – 1–5 мкм. А розмір окремих клітин мікроорганізмів-нафтодеструкторів до 2 мкм, колоній – до 30 мкм.

Для прецизійних елементів паливної апаратури, що має зазори порядку 5–10 мкм найбільш небезпечні частки такого ж розміру У випадку потрапляння у зазори вони перешкоджають нормальній роботі паливорегулюючих пристроїв та можуть заклинити їх. Дрібніші частки викликають зношення пар, що труться, більш крупні забруднюють канали форсунок, липкі частки утворюють відкладення та налипання на фільтроелементах. Фільтри паливної системи забиваються у випадку великої кількості часток того ж розміру, що мають пори фільтроелементів.

Авіаційні палива зазнають біоушкоджень під час зберігання, транспортування та експлуатації. Особливо нестійкі до біоушкоджень палива, що споживаються реактивною авіацією.

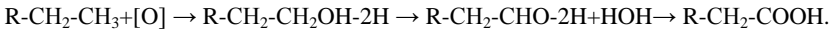
Суттєвими факторами, що сприяють активному розвитку мікроорганізмів, є рН середовища, присутність ряду елементів (вуглецю, фосфору, калію, азоту, сірки, заліза), сонячної енергії. Важливою також є і температура оточуючого середовища, так як клітини мікроорганізмів активно розмножуються за

температури 25–35°C, хоча можуть рости і за температури від плюс 5 до 45°C. Доведено, що спори багатьох видів мікроорганізмів залишаються життєздатними протягом декількох год за температури мінус 40°C.

На сьогодні відомо 200 видів мікроорганізмів, що включають 30 родів, що здатні використовувати вуглеводні, як єдине джерело вуглецю і енергії. До них належать бактерії, дріжджі та гриби.

Доведено, що біоушкодження палива пов'язано з мікробіологічним ферментативним окисненням вуглеводнів з утворенням органічних кислот, що мають поверхнево-активні властивості. Процеси мікробіологічного окиснення вуглеводнів є дуже складними, тому що на процеси біогенного окиснення здійснюють вплив багато факторів: волога, кислотність середовища (Ph), температура, осмотичний тиск і так далі. Крім перерахованих факторів мають значення і фізіологічні особливості самих мікроорганізмів, що проявляються при окисненні індивідуальних вуглеводнів і їх сумішей. У свою чергу, продукти корозії є активними каталізаторами окислювальних процесів в паливі, що сприяє утворенню в ньому осадів.

Першими стабільними продуктами окиснення вуглеводнів є первинні спирти. Наступний етап складають звичайні біологічні перетворення спирту в альдегід і альдегіду в кислоту. Загальна схема реакцій виглядає наступним чином:



Після ураження палива мікроорганізмами за наявності зазначених вище сприятливих умов спостерігаються наступні наслідки:

- *зміна фізико-хімічних властивостей палива*, а саме підвищення значень таких основних фізико-хімічних показників, як кінематична в'язкість, коефіцієнт заломлення, кислотність, вміст фактичних смол та ін. Також характерними ознаками є утворення осаду, помутніння палива, поява специфічного запаху;

- *корозія ємностей для зберігання авіаційних палив*. Розвиток корозії металів донної частини, де накопичується водний шлам, особливо на межі розподілу системи «паливо-вода», корозійні ураження баків літальних апаратів (ЛА – якщо було раніше, то це зробити раніше, а далі – ЛА), корозія силових конструкцій літаків;

- *забивання і пошкодження паливних фільтрів, насосів та паливних систем*. Відкладення осадів міцелію і колоній бактерій на внутрішніх стінках паливних систем призводить до забивання осадами трубопроводів, фільтрів, насосів і паливних систем;

- *загроза безпеки польотів літальних апаратів*. Зміна фізико-хімічних та експлуатаційних властивостей авіаційних палив призводить до передчасного забивання фільтрів, забруднення регулювальної апаратури, що викликають нестабільну роботу паливної системи, і внаслідок цього можуть викликати вихід з ладу двигуна і навіть повну відмову всієї системи, і як наслідок – виникнення аварій і вимушених посадок літаків.

Мікробіологічне забруднення, наприклад, *Cladosporium Resinae* складається з волокон, що досягають значної довжини і формують заплутаний шар. Гриби розмножуються спорами, що можуть знаходитись у пасивному стані достатньо

довго, очікуючи сприятливих умов для зростання. Тому паливо буває часто забрудненим мікроскопічними грибами під час транспортування, зберігання, підготовки до видачі, а також у паливних баках літака. У зв'язку з цим спори можуть залишатись непоміченими протягом значного періоду часу. Тільки у випадку виникнення умов, що сприяють їх розвитку, спори проростають, гриби розмножуються і, внаслідок цього, забруднюється паливо

Науково-практичний інтерес представляє розробка експрес-методу щодо визначення наявності мікробіологічного забруднення в умовах оперативної роботи аеродрому та вітчизняної біоцидної присадки, що сприятиме істотному зниженню ступеню мікробіологічного ураження авіаційних палив.

Захматов В. Д., Кряжич О. О.,
Національний авіаційний університет, Україна

ВІДПОВІДНІСТЬ МОДЕЛІ УПРАВЛІННЯ ІМПУЛЬСНИМИ ЗАСОБАМИ БАГАТОПЛАНОВОГО ЗАХИСТУ СИСТЕМНИМ ПОТРЕБАМ НАФТОХІМІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ ПРИ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ВИБУХОПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ

В Україні усього функціонує 1810 об'єктів, на яких зберігається або використовується у виробничій діяльності більше 283 тис. т. сильнодіючих отруйних речовин. Всього у зонах можливого хімічного зараження від цих об'єктів мешкає близько 22 млн чол. При цьому знос основних виробничих фондів нафтохімічних підприємств в Україні складає в середньому 70,9%, що значно підвищує вірогідність виникнення аварійної ситуації. Зазначені аспекти стану нафтогазової галузі в Україні приводять до розуміння нагальної потреби в модернізації системи вибухопожежного захисту підприємства, щоб привести її у відповідність до реальних потреб нафтогазового об'єкта. Обов'язковими передумовами управління, відповідного потребам нафтогазового підприємства, в першу чергу, є:

- відповідність призначення нафтогазового підприємства вимогам вибухопожежної безпеки на ньому;
- адекватність інформації, що стосується вибухопожежного стану, за якою приймає рішення персонал;
- синхронізація рішень та керівних дій персоналу в процесі управління вибухопожежною безпекою.

Усі перелічені фактори можна задовольнити за допомогою провадження імпульсних засобів багатопланового захисту. Ці засоби значно підвищують ефективність гасіння та скорочують час реагування на подію за наступними параметрами:

- витрати вогнегасної суміші (ВС) або води тільки в 2–3 рази вище, ніж теоретичні, у той час як у традиційної техніки питомі витрати ВС і води перевершують теоретичні від 10 до 10 000 разів;
- масштаб ефективного впливу за допомогою одного модуля або вогнегасника вище до 100 разів, що скорочує час гасіння до 50 разів;

- дальність дії вище в 3–10 разів, висока надійність і стабільність роботи в широкому діапазоні температур від мінус 60°С до 60°С, погодних і кліматичних умов;

- уперше реалізується гнучко кероване, ефективне розпилення будь-яких рідких, гелеподібних і порошкових вогнегасних сумішей, а також вперше – ґрунту, піску, води, бруду, пилу, промислових пилових і порошкових відходів без додаткової підготовки й змін конструкції;

- вперше з однієї установки, системи або машини здійснюється комбіноване гасіння або захист;

- низька собівартість виробництва й сервісного обслуговування, легкість навчання та перекваліфікації персоналу для роботи з такими системами;

- високий ступінь безпеки роботи, що складається з 10-ти кратного запасу міцності щодо невеликих ємностей високого тиску імпульсних розпилювальних систем, виводу персоналу, пожежних і рятувальників з небезпечної зони.

Проте ефективність моделі використання імпульсних засобів багатопланового захисту загалом залежить від умов невизначеності інформації, що циркулює в системі управління. Інформаційна модель підтримки прийняття рішень у системі імпульсного вибухопожежного захисту нафтогазових підприємств повинна відбивати умови різних видів, зокрема: невизначеності ситуації, невизначеності впливу окремих факторів на розвиток ситуації, невизначеності стану засобів проти аварійного захисту на підприємстві чи у його підрозділах.

Такі умови можуть виникнути при таких надзвичайних подіях, як падіння літака на нафтогазовий об'єкт, терористичний акт, масови заворушення, стихійне лихо. Тож інформаційна модель імпульсного багатопланового захисту повинна використовувати наряду з формалізованими неформалізовані процедури, що включають досвід, знання, інтуїцію, передбачення.

Для системи імпульсного багатопланового захисту на нафтогазовому підприємстві такі процедури будуть однотипними за формальним визначенням, але різні за структурною реалізацією. Кожен підрозділ підприємства буде з врахуванням особливостей свого технологічного процесу формулювати свій вектор-функцію на базі власного визначення цілей та стратегій дій, що визначено в ПЛАСах. Зазначену системну невизначеність слід розкрити і представити у вигляді визначених факторів, що можна представити у формальному вигляді для застосування у моделі. У цьому випадку сприятливою умовою є незалежність впливу факторів, що досліджуються, умов та обмежень. Така ситуація може бути представлена у вигляді цільових функцій:

$$f_{1i1} = f_{11i1}(x_1) + f_{12i1}(x_2) + f_{13i1}(\alpha_1), i_1 = \overline{1, m_1},$$
$$f_{2i2} = f_{21i2}(x_1) + f_{22i2}(x_2) + f_{23i2}(\alpha_2), i_2 = \overline{1, m_2},$$

де для першої функції складові описують i_1 компоненту мети як функцію від вектора x_1 , що змінюється одним підрозділом хімічного підприємства; другим компонентом є прогнозована функція вектора дії іншого підрозділу, третя компонента описує ситуацію, що залежить від вектора α , що кількісно характеризує ситуацію. Аналогічний опис і для іншої наведеної функції.

Слід також відзначити роль одного підрозділу відносно інших, враховуючи невизначеність, неповноту та недостовірність інформації про дії інших підрозділів. Але для умов вибухопожежної ситуації цілі всіх підрозділів взаємозалежні і описуються мультиплікативними функціями:

$$[1 + f_{1i1}(x_1; x_2; \alpha_1)] = [1 + f_{11i1}(x_1)]^{\gamma_{11i1}} \cdot [1 + f_{12i1}(x_2)]^{\gamma_{12i1}} \cdot [1 + f_{13i1}(\alpha^1)]^{\gamma_{13i1}}; i = \overline{1, m},$$

$$f_{1i1}(x_1; x_2; \alpha_1) = \{ [1 + f_{11i1}(x_1)]^{\gamma_{11i1}} \cdot [1 + f_{12i1}(x_2)]^{\gamma_{12i1}} \cdot [1 + f_{13i1}(\alpha^1)]^{\gamma_{13i1}} - 1 \}; i_1 = \overline{1, m_1},$$

Маючи на увазі, що за своїм фізичним розумінням функції (f), аргументи (x, \hat{x}) і параметри (γ), що входять у вищенаведене співвідношення, в якому α – вектор, задовольняють умови:

$$f_{1i1}(x_1; x_2; \alpha_1) \geq 0; f_{11i1}(x_1) \geq 0; x_1 = (x_{1j1} | x_{1j1} \geq 0; j_1 = \overline{1, n_{1j1}}),$$

$$x_2 = (x_{2j2} | x_{2j2} \geq 0; j_2 = \overline{1, n_{2j2}}); \alpha_1 = (\alpha_{1k1} | \alpha_{1k1} \geq 0; k_1 = \overline{1, k_{01}}),$$

$$\gamma_{11} = (\gamma_{11i1} | \gamma_{11i1} \geq 0; i_1 = \overline{1, m_1}); \gamma_{12} = (\gamma_{12i1} | \gamma_{12i1} \geq 0; i_1 = \overline{1, m_1}),$$

$$\gamma_{13} = (\gamma_{13i1} | \gamma_{13i1} \geq 0; i_1 = \overline{1, m_1}); \gamma_{11i1} \in \gamma_{11}; \gamma_{12i1} \in \gamma_{12}; \gamma_{13i1} \in \gamma_{13},$$

вираз можна представити у аддитивній формі за алгоритмом:

$$f_{1i1}(x_1; x_2; \alpha_1) = \exp \left\{ \gamma_{11i1} \ln[1 + f_{11i1}(x_1)] + \gamma_{12i1} \ln[1 + f_{12i1}(x_2)] + \gamma_{13i1} \ln[1 + f_{13i1}(\alpha_1)] \right\} - 1$$

Тобто, будь-які мультиплікативні функції можна привести до аддитивного представлення і розкрити системну невизначеність, що є основною проблемою існуючих моделей, що примушує на перших етапах ліквідації аварійної ситуації застосовувати типові моделі, далекі від існуючої ситуації.

Як правило, враховуючи сучасний критичний матеріально-технічний стан хімічних підприємств, особи, що приймають рішення на підприємстві відчувають потребу в модернізації системи управління вибухопожежною безпекою підприємства, але нездатність адекватно сформулювати завдання на таку модернізацію примушує спиратися на вже існуючі підходи, норми і нормативи старих систем, що діють у теперішніх умовах і є головною перешкодою на шляху до ефективного управління новими імпульсними засобами вибухопожежної безпеки. Щоб запобігти цьому, необхідно визначитися з системою показників для аналізу відповідності моделі управління реальним потребам об'єкта управління.

З огляду на те, що підприємство, як складна система, функціонує у відповідності до завдань зовнішнього середовища, здійснює взаємодію із середовищем та забезпечує умови стійкості підприємства, що визначені в проектній документації, показник відповідності поточного стану підприємства системним вимогам можна сформулювати як здатність функціонувати (F) за призначенням:

$$F_{АкС} = F_1 + F_2 + \dots + F_i + \dots + F_n,$$

де 1,2– i – n – перелік типових завдань, які здатно реалізувати хімічне підприємство за призначенням.

Кожний з наведених показників є системним аспектом хімічного підприємства по відношенню до цільової функції об'єкта:

$$F_{AO} = F_{AcC} + F_{вд} + F_{ст},$$

де $F_{вд}$ – здатність взаємодіяти із середовищем; $F_{ст}$ – здатність утримувати штатний режим, визначений регламентом (стійкість). Саме на цей показник націлений вектор дії імпульсної вибухопожежної системи.

Крім загальносистемних вимог до об'єкта управління, потрібно висунути системні вимоги саме до процесу управління імпульсною вибухопожежною безпекою. Загальною тенденцією для формування таких вимог є зменшення невизначеності інформації в системі управління імпульсною вибухопожежною безпекою завдяки управлінню вибухопожежною безпекою в реальному часі, а також повноті і несуперечності інформації про вибухопожежний стан об'єкта. Це, в свою чергу, вимагає проведення аналізу складної системи, який повинен врахувати відносини підприємства із навколишнім середовищем та із своїми складовими: ресурсами, інфраструктурою та регламентом функціонування самого підприємства та системи вибухопожежного захисту. Системний підхід примушує розглядати складну систему з позиції процесу управління і, зокрема, з позиції послідовної трансформації інформації в процедурах технологічного циклу управління з метою належного її представлення персоналу для прийняття ним рішень.

Таким чином, взаємодія зазначених аспектів функціонування хімічного підприємства повинна реалізувати його призначення без переходу до кризового режиму функціонування, яка забезпечується застосуванням імпульсних засобів вибухопожежного захисту. Суть взаємодії полягає в тому, що ресурси, регламент та рішення персоналу також по черзі стають активним, пасивним фактором або балансуєчим фактором в управлінні. Так, інформація про стан ресурсів породжує рішення, які балансуються типовими процедурами регламенту їх реалізації; регламент регулює рішення за умов балансу визначених ресурсів для їх реалізації та ін. При цьому цільова функція в аспекті вибухопожежного захисту лишається незмінною на протязі життєвого циклу підприємства – безаварійне функціонування або швидке повернення нештатної ситуації до штатного режиму за допомогою імпульсних засобів вибухопожежного захисту. Досягнення цього критерію доводить відповідність моделі управління, що буде застосована в кожній конкретній ситуації, системним потребам нафтогазового підприємства.

Марчук В. С., Морозов В. І., Морозова І. В.,
Національний авіаційний університет, Україна

МАГНІТНІ ПРОЦЕСИ ДИСКРЕТНИХ ДІЛЯНОК ТРИБОСИСТЕМИ В УМОВАХ ГРАНИЧНОГО МАЩЕННЯ

За останні роки процеси тертя та зношування досліджуються з урахуванням енергетичних позицій з метою найбільш повного врахування різних факторів, що можуть вплинути на цей процес. Відомо, що тертя розглядається як пружно-

коливальний процес генерації тепла в поверхневому шарі і утворення вторинних структур. Поряд з генеруванням тепла при терті є й інші перетворення енергії, серед яких має місце збудження електричних і магнітних полів, створення термострумів, трибохімічні реакції та ін. Ці фактори відіграють важливу роль у процесах тертя та зношування.

У багатьох роботах зону тертя розглядають як джерело електромагнітного випромінювання, що сприяє утворенню поверхнево-активних речовин, що мають підвищену мастильну здатність, сприяючого зниженню зносу деталей. В основному роботи присвячені зовнішньому впливу електромагнітного поля на трибосистему. Так після впливу на масло МК-8 постійним магнітним полем знос пари тертя зі сталі ШХ15 під час тертя ковзання в умовах граничної мастильної плівки зменшується в 2,0–2,5 рази, а вплив на масло електрофізичним способом призводить до зменшення зносу в 3,0–3,5 рази. Одночасно з цим встановлено збільшення осьового навантаження на 20% і зменшення температури масла і зразка на 25–30%. Відзначено зменшення моменту тертя на 12–16% [1].

Аналогічні результати було отримано після впливу на масло МК-8 постійного магнітного поля напруженістю 340 кА/м в умовах фретинг-корозії, що дозволило зменшити знос α -заліза в 1,8–2,0 рази. Проведення випробувань через 24 і 48 год після впливу магнітного поля приводить до зменшення зношування контактуючих деталей тільки на 20–22% і 14–16% відповідно [2].

Значний інтерес представляють дослідження внутрішніх електромагнітних полів трибосистеми і особливо на дискретних поверхнях, тому що кромки дискретних ділянок (заглибин) є джерелом найбільшої напруженості магнітного поля, у порівнянні з виступами шорсткості поверхні тертя. У результаті на них будуть накопичуватися парамагнітні й феромагнітні частки, що притягуються до магнітного поля з найбільшим градієнтом напруженості. Ці процеси будуть запобігати виникненню недопустимих процесів пошкодження поверхневого шару в місцях фактичного контакту. У зв'язку з вищевикладеним наукові дослідження магнітних явищ у трибоконтакту з дискретними поверхнями є актуальними. Крім того, необхідно відмітити, що дослідження магнітних явищ у дискретних поверхнях в літературі майже відсутні.

Експериментальними дослідженнями встановлено, що на кромках лунок напруженість магнітного поля вища на 10–26%, у порівнянні з напруженістю магнітного поля між дискретними ділянками, що становить 44–65 мТл. Поза межами кромки (у заглибині) величина напруженості магнітного поля різко зменшується до 13–17 мТл. У процесі зношування дискретної ділянки, коли кромки заглибин поступово згладжуються величина напруженості магнітного поля на зношених кромках падає до величини напруженості магнітного поля між дискретними ділянками.

Тому можна стверджувати, що продукти зношування (феромагнетики) будуть концентруватися (контактувати) спочатку з великими виступами на поверхні (кромками заглибин), що є концентратором найбільших магнітних силових ліній, у порівнянні з шорсткістю поверхні між дискретними ділянками (рис. 1). Кожна частка продуктів зношування у магнітному полі буде направлена до вершини кромки заглибини більшою віссю. У залежності від навантаження пари тертя, швидкості ковзання та інших факторів здійснюється зношування вершин кромок

заглибин і зауплення вершин частинок зношування та їх переорієнтація таким чином, щоб знову створена найбільша вісь направлялася уздовж найбільших магнітних силових ліній. Тобто здійснюється механічне зношування (згладжування) виступі кромки заглибин і частини продуктів зношування на субмікроскопічному (нано) рівні. При зношуванні кромки заглибин силові лінії магнітного поля зменшуються до величини напруженості магнітного поля між дискретними ділянками і продукти зношування в подальшому вилучаються у заглибини. Ці процеси дозволяють усунути ймовірність появи у зоні тертя критичних навантажень і температур та запобігатиме виникненню недопустимих процесів пошкодження поверхневого шару між дискретними ділянками в місцях фактичного контакту та покращити триботехнічні характеристики пар тертя.

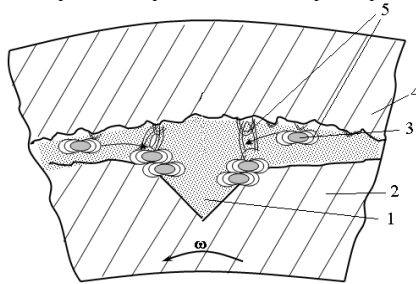


Рис. 1. Фізична модель зношування окремої дискретної ділянки в умовах граничного мащення: 1 – лунка; 2 – контртіло; 3 – продукти зношування; 4 – зразок; 5 – лінії магнітного поля впливу магнітного поля

Це підтверджуються даними, отриманими в результаті проведення експериментальних досліджень дискретних поверхонь в умовах граничного мащення. Встановлено високу зносостійкість дискретних поверхонь як без, так і додатково зміцнених методом іонно-плазмового термоциклічного азотування (ПТА). Вони перевищують зносостійкість сталей 45 у 3,1–5,3 рази і 30ХГСА – 1,9–3,25 рази, сталі 30ХГСА, поверхневий шар якої зміцнений методом ПТА у 1,3–2,3 рази [3]. Також покращились умови припрацювання пар тертя з дискретними поверхнями. Встановлено зменшення як тривалості припрацювання, так і величини коефіцієнта тертя зразків з дискретними поверхнями [4–6].

Значний вклад у покращення триботехнічних властивостей пар тертя забезпечують мастильні матеріали. Вуглеводні мастильні матеріали являють собою неполярні рідкі діелектрики з розведеними в них полярними молекулами невеликої концентрації. Неполярні рідини, в яких основну роль відіграє поляризованість електронного зсуву, мають невисоку діелектричну проникність у межах $\epsilon = 1,8–2,5$. Продукти деструкції мастильних матеріалів (парамагнетики) завжди полярні і мають значний дипольний момент. Ці частинки несуть, як правило, певний електромагнітний заряд.

Дослідження, проведені з мастильними матеріалами, показали, що діелектрична проникність мастильних матеріалів залежить від температури і з її підвищенням лінійно зменшується, що повністю узгоджується з теорією діелектриків [7]. При нагріванні масла розширюються, внаслідок чого на одиницю об'єму виявляється менше молекул і діелектрична проникність рідини падає (рис. 2).

Діелектрична проникність і тангенс кута діелектричних втрат вуглеводневих рідин залежать від температури. Мастильні матеріали можна розглядати як розчин кисневих, сірчистих, азотистих та інших з'єднань у вуглеводному середовищі. У певних умовах при підвищенні температури і взаємодії з киснем нестабільні вуглеводні і гетерогенні органічні сполуки окислюються, що призводить до збільшення їх молекулярної ваги, а отже і до зміни діелектричної проникності і тангенса кута діелектричних втрат.

Особливого розгляду заслуговує залежність тангенса кута діелектричних втрат мастильних матеріалів. Температура, склад суміші та хімічні властивості мастильних матеріалів впливають на стабільність утворення вільних радикалів і напрямок окисного процесу в цілому [8]. Як видно з рис. 2 залежність $\text{tg}\delta$ від температури масла МК-8 має екстремальний характер, який проявляється в діапазоні температур 373–423 К. Завдяки різному впливу складу мастильних матеріалів на процес їх окислення із зростанням температури вище певної межі, спостерігається зниження швидкості окислення і в певному інтервалі швидкість зміни тангенса кута діелектричних втрат має від'ємне значення. Таким чином, із зростанням температури швидкість утворення полярних сполук у визначеному інтервалі температур зменшується.

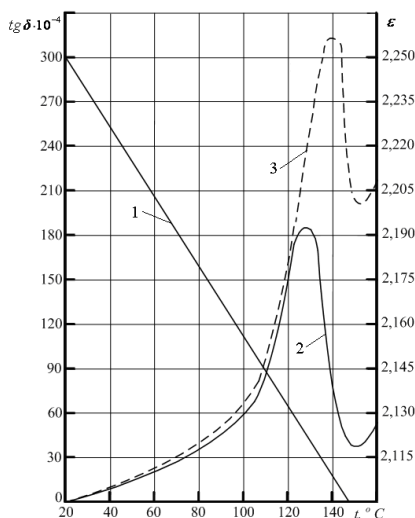


Рис. 2. Залежність діелектричної проникності ϵ і тангенса кута діелектричних втрат $\text{tg}\delta$ мінерального масла МК-8 від температури і магнітного поля: 1 – ϵ ; 2 – $\text{tg}\delta$; 3 – $\text{tg}\delta$ після впливу магнітного поля

При подальшому підвищенні температури відбувається різке збільшення $tg\delta$, тобто середня швидкість окислення масла приймає позитивне значення і збільшення $tg\delta$ нівелюється. Тобто, можна стверджувати, що при підвищенні температури молекули набувають теплову енергію і отримують можливість орієнтуватися в електромагнітному полі, що призводить до появи дипольно-орієнтаційної поляризації. По мірі звільнення молекул дипольно-орієнтаційна поляризація зростає з температурою. Потім, коли всі молекули набувають можливість орієнтуватися в електромагнітному полі, дипольно-орієнтаційна поляризація проходить через максимум. При подальшому зростанні температури дипольно-орієнтаційна поляризація зменшується через те, що тепловий рух заважає молекулам орієнтуватися в електромагнітному полі.

Таким чином, вплив магнітного поля на мастильні матеріали, при якому відбувається поглинання енергії магнітного поля, створює сприятливі умови для переходу молекул у збуджений стан утворюючи при цьому міжмолекулярні асоціати і комплекси, що сприяють збільшенню швидкості окислення мастильних матеріалів в об'ємі рідкої фази.

З отриманих даних видно, що після впливу магнітного поля діелектричні втрати в кілька разів збільшуються, залишаючись практично незмінними при кімнатній температурі. Різке збільшення тангенса кута діелектричних втрат при зростанні температури мастильних матеріалів можна пояснити, очевидно, формуванням іон-радикальних комплексів і комплексів з переносом заряду, що сприяє збільшенню релаксаційних втрат за рахунок збільшення числа дипольних молекул і слабо зв'язаних іонів.

Література:

1. Канарчук В. Е. Исследование противозносных свойств топлив и масел после ЕФВ / Канарчук В.Е., Морозов В.И., Дмитриев Н.Н. // Эксплуатация автомобильной техники: межвузов. науч.-техн. зб. – М.: МАМИ, 1991.
2. Краля В. А. Влияние магнитного поля на износ α – железа при фреттинг-коррозии / Краля В. А., Морозов В. И. // Материалы IV НТК «Эксплуатационные свойства топлив, смазочных материалов и спецжидкостей». – Киев, 1977.
3. Марчук В. Є. Зносостійкість текстурованих лункових поверхонь з дискретно-орієнтованою структурою в умовах граничного нащедження / В.Є. Марчук, О.І. Духота, В.І. Морозов // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2012. – Вип. 57. – С. 128–138.
4. Марчук В. Є. Дослідження зносостійкості електроіскрових покриттів в умовах фреттинг-зношування / Марчук В.Є., Духота О.І., Науменко Н.О. // Проблеми тертя та зношування: наук.-техн. зб. – К.: НАУ, 2011. – Вип. 56. – С. 84–93.
5. Фретингостійкість дискретних поверхонь в умовах граничного тертя [Марчук В. Є., Духота О. І., Градиський Ю. О., Єнін О. М.] // Вісник Харківського НТУСГ ім. Петра Василенка. – Харків: Вид-во Харківського НТУСГ ім. Петра Василенка, 2010. – Вип. 100. – С. 147–152.
6. Цыбанев Г. В. Управление свойствами поверхностей трения при приработке дискетных покрытий в условиях фреттинга / Цыбанев Г. В., Марчук В. Е., Калининко В. И. // Проблеми трибології. – 2011. – №1. – С. 52–57.

7. Богородицкий Н.П. Теория диэлектриков / Богородицкий Н. П., Волокобинский Ю. М., Воробьев А. А., Тареев Б. М. – М.: Энергия, 1965. – 341 с.

8. Третьяков И. Г. Влияние примесей дизельного топлива и бензина на диэлектрические потери топлива РТ / Третьяков И. Г., Морозов В. И. // Исследование процессов подготовки, применения и контроль качества ГСМ и спецжидкостей: зб. наук. праць. – Київ, 1988. – С. 40–43.

Азаренкова А. О., Харченко В. П., Аксьонов О. Ф. Бойченко С. В.,
Національний авіаційний університет, Україна

ЕКОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОЕТАНОЛЬНОГО ПАЛИВА ДЛЯ БЕЗПІЛОТНОЇ АВІАЦІЇ

Використання палива на основі біоетанолу, що охопив значну частину світового ринку енергоносіїв, з кожним роком набуває все більшої актуальності, оскільки експерти прогнозують на найближчий час зростання обсягів його виробництва в усьому світі.

В Україні використання біоетанольних палив є перспективним з метою зменшення залежності від імпортного палива та запобігання забрудненню навколишнього природного середовища. Використання біоетанолу дозволяє зменшити викиди вихлопних газів через збільшення вмісту кисню, сприяючого більш повному згоранню палива.

Україна має конкурентні переваги серед інших країн під час виробництва паливного біоетанолу: поживні ґрунти, сприятлива сільськогосподарська інфраструктура та традиції вирощування зерна.

Дослідження експлуатаційних та екологічних показників моторного палива з різним вмістом біоетанолу для безпілотної авіації виконувались в Національному авіаційному університеті силами Випробувальної лабораторії «АвіаТЕСТ» спільно з Науково-виробничим центром безпілотної авіації «Віраж».

Об'єктом дослідження був автомобільний бензин марки А-92 з різним вмістом біоетанольної добавки (від 5 до 85 % об.).

Дослідження проводились на безпілотному повітряному судні БВС М-7Д «Небесний патруль», основними функціями якого є картографія та аерофотозйомки, відеоспостереження в реальному часі, патрулювання лінійних об'єктів. Тип двигуна – 2Т, ПД, бензиновий.

Екологічні властивості оцінювались за показниками об'ємних викидів оксиду вуглецю (СО), діоксиду вуглецю (СО₂) та вуглеводнів С_xН_y за допомогою приладу газоаналізатору ІНФРАКАР М.

Перші результати показали, що при збільшенні вмісту біоетанолу в паливній суміші спостерігається значне зменшення таких газів як СО, С_xН_y, несуттєве зменшення СО₂. Отримані результати дозволяють сформулювати висновок про поліпшення повноти згорання у камері згорання двигуна і відповідно зменшення кількості вихлопних газів. Пояснити це можливо тим, що у біоетанолі є кисень, що дозволяє покращити якість згорання паливно-повітряної суміші.



Рис. 1. Безпілотне повітряне судно БВС М-7Д «Небесний патруль»

З точки зору вивчення екологічних показників було досліджено вміст ароматичних вуглеводнів та бензолу. Ці речовини є токсичними та небезпечними для навколишнього середовища та здоров'я людини. Екологічні стандарти світу й України постійно зменшують їх вміст в паливі. Наприклад, вимоги щодо ароматичних вуглеводнів за ДСТУ 4839 «Бензини автомобільні підвищеної якості. Технічні умови», що відповідає вимогам екологічного стандарту EURO-4, зменшились порівняно з вимогами ДСТУ 4063 «Бензини автомобільні. Технічні умови», що відповідає вимогам EURO-3 (на сьогодні скасований) з 42 до 35% (об.) відповідно. Залежність зміни вмісту ароматичних вуглеводнів та бензолу від вмісту біоетанолу в паливі наведені на рис. 2.

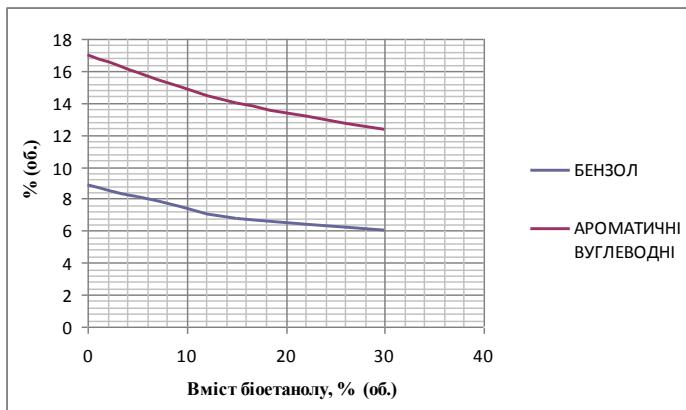


Рис. 2. Залежність зміни ароматичних вуглеводнів та бензолу від вмісту біоетанолу в паливі

Експлуатаційні властивості оцінювались за показниками статичної тяги, часу роботи двигуна при постійному одиничному об'ємі паливно-повітряної суміші та потужності двигуна (рис. 3).

Однією з основних характеристик біоетанольного палива є детонаційна стійкість. Октанове число (ОЧ) біоетанолу вище ОЧ бензину, що дозволяє збільшити компресію, і, як наслідок, надає нові можливості збільшення потужності двигуна (рис. 4).

Отже, за результатами отриманих експериментальних даних впливу біоетанолу на властивості бензину, можна стверджувати що використання біоетанолу є перспективним напрямом модифікації традиційного бензину для авіаційних двигунів безпілотної авіації.

Такий реформульований бензин має низку переваг:

- більш екологічний вміст відпрацьованих газів (на 30% менше шкідливих викидів), та зменшення ризику ракових захворювань до 30%;

- посилення енергетичної безпеки країни. Виробництво біоетанолу в багатьох країнах світу дозволяє їм зменшувати свою енергетичну залежність від постачальників нафтових і газових ресурсів. Упровадження біоетанолу як альтернативної добавки до палив забезпечить підвищення рівня енергетичної безпеки держави; належне функціонування вітчизняного ринку моторних палив, зменшення залежності держави від імпорту енергоносіїв; розвиток та стабільність роботи, як агропромислового комплексу країни так і вітчизняного ринку нафтопродуктів;

- ОЧ етанолу вище ОЧ бензину, що дозволяє збільшити компресію, і як наслідок, надає нові можливості збільшення потужності двигуна;

- відсутність необхідності конструктивних змін двигуна при використанні біоетанолу як добавки до бензину у кількості до 15%.

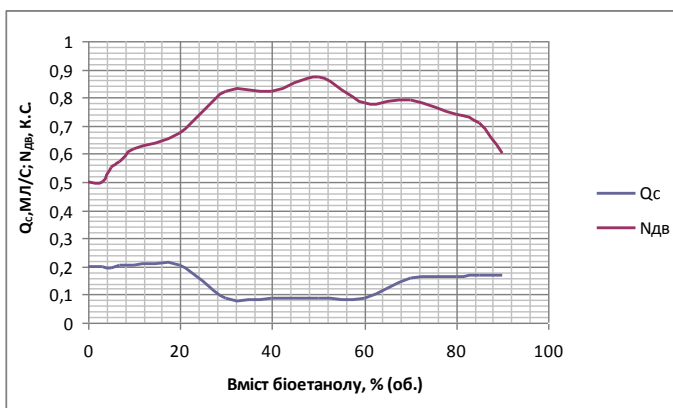


Рис. 3. Залежність статичної тяги та потужності двигуна від вмісту біоетанолу в паливі

На основі отриманих результатів та подальших досліджень будуть розроблятися та досліджуватися оптимальні концентрації біоетанолу в моторному паливі для безпілотної авіації, які не призводять до конструктивних змін двигуна та не погіршують фізико-хімічні властивості палива.



Рис. 4. Залежність октанового числа від вмісту біоетанолу в бензині

Федорів Г. В., Білик Т. І.,
Національний авіаційний університет, Україна

ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ОЧИЩЕННЯ ЗАБРУДНЕНИХ НАФТОПРОДУКТАМИ ТЕРИТОРІЙ

Забруднення навколишнього середовища нафтою й нафтопродуктами є одним з найбільш масштабних і небезпечних видів впливу людини на навколишнє середовище. Промисловість, транспорт, оборонний комплекс – практично всі ланки економічної інфраструктури пов'язані із проблемою забруднення навколишнього середовища нафтопродуктами.

Нафтові забруднення важко розкладаються у зв'язку з їх складною хімічною природою, високою стійкістю і стабільністю до дії факторів довкілля (температури, сонячної радіації, вологості тощо). Ґрунти, що забруднені нафтою та нафтопродуктами, характеризуються порушеною структурою, при якій ґрунтові частинки втрачають свою нормальну будову. Це порушує газообмін і водний баланс, призводить до запласованості ґрунтових горизонтів і, в свою чергу, викликає різке зниження кількісного та якісного складу ґрунтових мікроорганізмів, рослин, ґрунтової фауни, різко знижує біопродуктивність ґрунтів. Все це змінює перебіг біохімічних процесів в забруднених ґрунтах, порушує важливі мікробіологічні процеси (азотфіксацію, амоніфікацію, нітрифікацію тощо), та різко знижує ґрунтове дихання протягом значного часу (до 10–20 років).

На даний час існує кілька груп методів очищення ґрунтів від нафтового забруднення: механічні, фізико-хімічні (екстракція, сорбція), біологічні та комплексні. Застосування тієї або іншої групи методів залежить від умов регіону, характеру і ступеня забруднення. Найбільш сучасні технології очищення та відновлення нафтозабруднених ґрунтів включають наступні.

1. Механічні методи. Вони полягають у зборі нафти та нафтопродуктів з поверхні ґрунту за допомогою механічних засобів для усунення нафтового забруднення. Очищення ґрунтів відбувається шляхом зрізання забрудненого нафтою шару та заміни його привозним ґрунтом. Забруднену частину ґрунту зберігають у спеціально відведених місцях.

2. Фізико-хімічні методи засновані на використанні відповідних властивостей речовин (реагентна нейтралізація нафтозабруднених ґрунтів, екстракція паром, відновлення територій за допомогою ініційованого гумінового сорбенту, промивання забрудненого нафтопродуктами ґрунту, використання активованого торфу, очищення твердих поверхонь за допомогою гідрофобного органомінерального нафтового сорбенту, використання твердих сорбентів «Миксойл», «С-верад», сорбентів на основі жирних кислот).

3. Біологічні методи засновані на інтенсифікації процесів самоочищення ґрунту шляхом внесення спеціальних біологічних препаратів (Біоактиватор HYDROBREAK 2000, Препарат BIOVERSAL FW Біопрепарат «Мікроміцет», біопрепарати типу «Нафтокс», «Екобіос», «Сойлекс»), що представляють собою певним чином підібрані групи мікроорганізмів (бактерій і грибів).

4. Комплексні методи являють собою сукупність засобів для поліпшення стану ґрунтів і усуненню нафтового забруднення, що полягають у застосуванні механічних, фізико-хімічних і біологічних методів очищення в комплексі з агротехнічними і (фіто) меліоративними роботами.

Фізичні й хімічні методи очищення ґрунтів, забруднених нафтопродуктами, характеризуються трудомісткістю та потребують великих витрат коштів та часу для регенерації і відновлення ґрунтів. Наприклад, витрати лише для вилучення і транспортування забрудненого ґрунту, із середнім рівнем забруднення вуглеводнями, масою 9000 тон з площі 1,3 га становить близько 500 000 \$, тоді як витрати на відновлення і регенерацію забруднених ґрунтів за допомогою рослин без здійснення подібних заходів становлять 17 \$ за тону ґрунту. Крім того, якщо фізико-хімічні способи очищення забруднених ґрунтів мають одноразовий ефект, то біологічні способи дають триваліший вплив і стабільне покращання екологічної ситуації. Вони можуть бути використані як для одноразового термінового очищення забруднених ґрунтів, так і для профілактики стану земель, що часто піддаються забрудненням ПММ. Переваги біологічних методів загальноприйняті з економічного, енергетичного та екологічного погляду.

Біологічні методи очищення ґрунту від нафтових забруднень полягають у застосуванні активних мікробних штамів, що виявляють здатність рости і використовувати як джерел вуглецю й енергії вуглеводні нафти, отримали сьогодні широкий розвиток і застосування. За сприятливих умов середовища (оптимальна температура, солоність, рН, достатня міра аерації, забезпеченість елементами мінерального живлення) вдало підібрана культура або суміш штамів здатні за короткий час практично повністю утилізувати десятки тонн нафтових

вуглеводнів, що трансформуються, зокрема, в органічну речовину власної біомаси, вуглекислий газ і нешкідливі для довкілля продукти. Процес деструкції нафтового забруднення протікає в період від декількох днів або тижнів до декількох місяців, залежно від міри забруднення об'єкту, хімічного складу забрудника, кліматичних і фізико-хімічних параметрів середовища.

Практично в усьому світі широко застосовуються біопрепарати для очищення навколишнього середовища від нафти і нафтопродуктів. В Російській Федерації застосовуються переважно 2 препарати – «Путідойл» та «Деворойл» – як для очищення ґрунту, так і водної поверхні. У Франції фірма «Сльф-Акітен» акцентує увагу на препараті «INIPOL-EAP 22», що застосовують як для очищення ґрунту на території нафтопромислів, так і при забрудненні морської акваторії. У Німеччині пріоритет віддають препаратам «Konsan» і «Noggies». Фірми «Polybac Corporation» та «Sun Oil». США успішно використовують препарати «Petrobak» і «Fenobak». В Україні найбільш відомими препаратами є «Деворойл», що продукується за ліцензії РФ ВАТ «Фермент» (м. Ладижин), «Еконадін» – розробка Одеського держуніверситету та «ДЕСНА» – авторський препарат, що продукується Іваньківським спиртовим заводом [6].

Іншим перспективним методом для очищення вуглеводневих забруднень в промислово розвинених країнах є фіторе mediaція – набір екологічних технологій, основаних на використанні рослин та асоційованих з ними мікроорганізмів для очищення забруднених ґрунтів.

Процеси фіторе mediaції базуються на здатності рослин акумулювати, деградувати, стабілізувати, трансформувати і випаровувати забруднювачі з великої кількості природних матриць. В основі даної технології лежить природний процес біологічного кругообігу, складовими частинами якого є культивування рослин-акумуляторів, покращення властивостей ґрунтів та їх захист від ерозії.

Фіторе mediaційні технології інтенсивно розвиваються в усьому світі. В останні роки вони широко застосовуються у польових умовах в Європі та у США (Н. Van Liere, 2005, J.C. White, 2001). Водночас, на Україні фіторе mediaція перебуває на початковій стадії розвитку.

В Україні розроблено метод очищення нафтозабруднених ґрунтів за допомогою рослин *Carex hirta* (осока шершаволиста), що дозволяє у короткі терміни знижувати рівень вмісту нафти й нафтопродуктів у ґрунті, покращувати його біологічні та фізико-хімічні властивості. У той же час цей метод є екологічно безпечним і дешевим способом ре mediaції та рекомендується для використання під час реалізації програм загальнодержавного та регіонального рівнів для боротьби з деградацією земель в Україні відповідно до затверджених Кабінетом Міністрів України першочергових заходів, спрямованих на виконання положень Конвенції ООН щодо боротьби з деградацією земель. Також досліджено участь бобових рослин *Faba bona Medic.* (*Vicia faba L.*) у відновленні нафтозабруднених ґрунтів. Встановлено, що рослини *V. faba* суттєво знижували фітотоксичність і вміст нафтопродуктів у забруднених ґрунтах, що дає підстави рекомендувати цей вид для фіторе mediaції нафтозабруднених територій. Україна має сприятливі умови для вирощування таких рослин-фіторе mediaнтів, як дерева роду тополя (*Populus*); трави роду жито (*Secale*); сорго звичайне (*Sorghum*

vulgare); бобові (Trifolium), люцерна посівна (Medicago sativa), кульбаба лікарська – Taraxacum officinale Wigg. (Asteraceae); нетреба звичайна – Xanthium strumarium L. (Asteraceae); полин гіркий – Artemisia absinthium L. (Asteraceae); полин звичайний – Artemisia vulgaris L. (Asteraceae); злинка канадська – Erigeron canadensis L. (Asteraceae); деревій звичайний – Achillea millefolium L. (Asteraceae); пирій повзучий – Elytrigia repens L. (Poaceae); морква дика – Daucus carota L., (Apiaceae) [9], які використовуються у світовій практиці.

Фіторе mediaція має низку переваг перед фізичними методами ремедіації: може використовуватися на великих площах, значно дешевша, не вимагає спеціального обладнання, сприяє збереженню та покращенню навколишнього середовища, тому що пов'язана із вирощуванням рослин та покращенням стану ґрунтів.

Основною перевагою цього методу є його найбільша економічна ефективність в порівнянні з усіма вищезгаданими при збереженні того ж рівня ефективності очищення. Порівнюючи його з мікробіологічними методами, можна сказати, що останні ефективніші для водойм, тоді як рослини краще використати для очищення ґрунтів [5,7].

Література:

1. Р. І. Вільданова-Марцишин, Т. Я. Покинсьброд, О. Я. Карпенко, В. П. Новіков Скринінг мікроорганізмів- деструкторів вуглеводнів із забруднених нафтопродуктами об'єктів західної України // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – 2008. – №1. – С. 117–119.
2. Касаревич І. В., Шелестов В. Ю., Гончаренко А. П. Екологія буріння. – Мінськ, 1994. – 120 с.
3. Cunningham, S. D., Anderson, T. A., Schwab, A. P., and Hsu, F.C. 1996. Phytoremediation of soils contaminated with organic pollutants. *Advances in Agronomy*, v. 56, pp. 56–114.
4. Rosenberg E., Perry A., Gibson D.T. Emulsifier of *Arthrobacter calcoaceticus* RAG-1: specificity of hydrocarbon substrate. – *Appl. Environ. Microbiol.*, 1979, V.37, N 3, P.409–413.
5. Козаченко В.Ю. Методи ліквідації нафтових забруднень // Тези доповідей Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих учених та студентів «ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ДЕРЖАВИ», Київ, 2012 р.
6. <http://www.ecologylife.ru>
7. Молотков И.В., Касьяненко В.А. Фиторе mediaция// Нефть.Газ.Промышленность. – 2005. – № 1 (13). – С. 4–6.
8. Джура Н. М. Фізіологічні аспекти адаптації рослин *Carex hirta* L. до нафтового забруднення: Авреф. дис. канд. біол. наук: 03.00.12 / Львівський національний ун-т ім. Івана Франка. – Київ, 2007. –21 с.
9. Джура Н. М. Перспективи фіторе mediaції нафтозабруднених ґрунтів рослинами *Faba bona Medic.* (*Vicia faba* L.) // Вісник Львівського університету. – 2011. – Випуск 57. – С. 117–124.
10. Булавенко Р. В. Можливості застосування рослин- фіторе mediaнтів для захисту ґрунтів Полтавщини від діяльності об'єктів нафтопромислового комплексу // ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА. – 2013. – № 1. – С. 99–102 .

ТЕМПЕРАТУРА В РЕАКТОРІ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ ЯК ОСНОВНИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПАРАМЕТР ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ

Продуктивність біогазової установки залежить від кліматичних умов території, на якій вона побудована. Клімат більшої частини території України помірно континентальний, що обумовлює значно більший перепад температури у день та в ночі у міжсезоння, ніж на території більшості Європейських країн, де панує м'який клімат. Це зобов'язує для підвищення продуктивності біогазових установок більше уваги приділяти оптимізації температурного режиму роботи біогазових реакторів, що, в свою чергу, потребує більше енергетичних витрат.

Вплив температури на швидкість росту анаеробної метаногенної популяції. Продуктивність біогазової установки залежить від типу сировини та від швидкості процесу зброджування. Відомо, що швидкість хімічних реакцій зростає зі збільшенням температури [1;2;3]. Це правило стосується і біохімічних реакцій, але в обмеженому діапазоні температур. Діапазон оптимальних температур в реакторі є доволі вузьким, що характерно для більшості біотехнологічних процесів. Допустимі значення температур, за яких процес анаеробного метанового зброджування проходить оптимально: мезофільний – температура субстрату складає 33°C ($\pm 3^\circ\text{C}$); термоотолерантний – температура субстрату становить 40°C ($\pm 2^\circ\text{C}$); термофільний – температура субстрату складає 53°C ($\pm 1^\circ\text{C}$) [4;5].

Хашімото А. для опису залежності питомої швидкості росту популяцій мікроорганізмів від температури запропонував лінійну залежність, яка має місце в діапазоні температур від 20°C до 60°C [6]:

$$\mu = \alpha + \beta T, \quad (1)$$

де α і β константи.

Слід зазначити, що при температурах вище за 60°C питома швидкість росту популяцій мікроорганізмів стрімко падає.

Р. Мак Кінні для опису залежності питомої швидкості росту популяцій мікроорганізмів процесу анаеробного зброджування осадів стічних вод від температури запропонував експоненціальну залежність, яка справедлива для температур в діапазоні від 5°C до 35°C [7]:

$$\mu = \alpha \exp(\beta T). \quad (2)$$

Зазначимо, що згідно залежності (2) значення питомої швидкості зростає вдвічі при збільшенні температури на 10°C.

В. Бірюков для опису залежності питомої швидкості росту популяцій мікроорганізмів від температури запропонував гіперболічну залежність [8]:

$$\mu = \frac{\alpha}{\beta - T}. \quad (3)$$

На основі існуючих даних щодо швидкості біохімічних реакцій більшості біотехнологічних процесів та процесу зброджування, зокрема, встановлено, що питома швидкість біохімічних реакцій описується за допомогою рівняння Арреніуса [8;9]:

$$\mu = k \cdot \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (4)$$

де: R – універсальна газова стала; E_a – енергія активації (це мінімальна кількість енергії, яка необхідна для початку проходження хімічної реакції).

Фізичний зміст енергії активації в залежності (4) можливо встановити, якщо відомо з якими молекулярними структурами пов'язаний процес росту популяції мікроорганізмів [10]. Більшість реакцій має значення енергії активації від $4 \cdot 10^4$ Дж/моль до $40 \cdot 10^4$ Дж/моль [10]. Типове значення енергії активації для росту мікроорганізмів становить від $6,68 \cdot 10^4$ Дж/моль до $8,38 \cdot 10^4$ Дж/моль, тоді як для процесу вимирання мікроорганізмів, значення активації становить від $25,14 \cdot 10^4$ Дж/моль до $29,33 \cdot 10^4$ Дж/моль. Очевидно, що ріст популяції мікроорганізмів в більшій мірі, ніж вимирання залежить від температури.

Такі кінетичні параметри росту популяції мікроорганізмів як максимальна питома швидкість росту, константа напівнасичення, швидкість гідролізу та швидкість вимирання популяції мікроорганізмів, рекомендовано описувати за допомогою удосконаленого рівняння Арреніуса [10]:

$$\mu_{\max}(T) = k_1 \cdot \exp\left(-\frac{E_1}{RT}\right) + k_2 \cdot \exp\left(-\frac{E_2}{RT}\right) \text{ год}^{-1}, \quad (5)$$

де: E_1 – енергія активації хімічної реакції; E_2 – енергія інактивації хімічної реакції.

У залежності (5) перший доданок правої частини описує збільшення максимальної швидкості росту популяції мікроорганізмів через зміну температури. Другий доданок правої частини описує зменшення максимальної швидкості росту популяції мікроорганізмів за рахунок різниці температури від певного температурного ліміту.

Як приклад, розглянемо максимальну питому швидкість росту анаеробної метаногенної мікробної популяції в залежності від температури (табл. 1), з утворенням мікробної біомаси та продуктів метаболізму. Зазначимо, що максимальна питома швидкість росту цієї популяції становить $0,36 \text{ год}^{-1}$ за температури 36°C .

Апроксимуємо експериментальні дані, використавши при цьому наступні залежності:

$$\mu_{\max}(T) = k_1 \cdot \exp\left(\frac{\alpha_1}{T}\right), \quad (6)$$

$$\mu_{\max}(T) = k_2 \cdot \exp\left(\frac{\alpha_2}{T}\right) + k_3 \cdot \exp\left(\frac{\alpha_3}{T}\right). \quad (7)$$

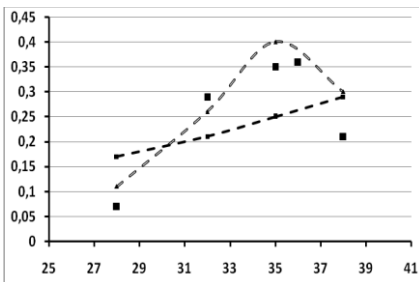
Таблиця 1

Швидкість росту анаеробної метаногенної популяції
мікроорганізмів за різних температур

Температура, °С	Максимальна питома швидкість росту, год ⁻¹
28	0,07
32	0,29
35	0,35
36	0,36
38	0,21

Використовуючи програму апроксимації експериментальних даних, в якій реалізовано метод найменших квадратів було визначено константи в залежностях (6) та (7): $k_1 = 0,038447$; $\alpha_1 = 0,053391$; $k_2 = 0,000531$; $\alpha_2 = 0,322148$; $k_3 = -0,000485$; $\alpha_3 = 0,324461$. На рис. 1 зображено отримані криві апроксимації.

Порівнюючи наведені криві апроксимації можливо стверджувати, що найкращу збіжність до експериментальних даних має крива, яка побудована за залежністю (7). Отже, рекомендується використовувати удосконалену залежність Арреніуса для обчислення кінетичних параметрів росту популяції мікроорганізмів процесу зброджування в реакторі. Як бачимо, графік залежності максимальної питомої швидкості росту від температури має чітко виражене оптимальне значення, що й пояснює вплив температури в реакторі на продуктивність біогазової установки. А із врахуванням кліматичних умов цей вплив може тільки посилюватись.



Позначення до рисунку:

квадрати – дослідні точки;

пунктирна лінія – залежність (6);

суцільна лінія – залежність (7).

Осі координат:

вісь абсцис – температура, °С;

вісь ординат – максимальна питома швидкість росту популяції, год⁻¹.

Рис. 1. Дослідні точки та їх криві апроксимації

Стійкість процесу перетворювання енергії в реакторі біогазової установки. Неоднорідність поля температур та концентрацій органічної речовини в реакторі істотно впливає на продуктивність біогазової установки та якість біогазу [11;12].

Експериментально встановлено як впливає зміна температури навколишнього середовища у Київській області на динаміку коливання продуктивності дослідних та промислових біогазових установок. Обґрунтовано, що зміна температури в анаеробному реакторі викликає погіршення ефективності функціонування біогазових установок, що може бути обумовлена утворенням температурних автоколивальних режимів в реакторах, або виникненням нестійкості динаміки процесів тепло-масоперенесення, результатом яких є просторово неоднорідні дисипативні структури. Утворення таких режимів у реакторі можливо пояснити нерівномірним розподілом температури та концентрації субстрату, існуванням їх невеликих локальних збурень внаслідок біохімічних реакцій, можливих їх випадкових флуктуацій і свідчить про нестійкість процесу виробництва біогазу.

Отже, актуальним є питання про стійкість стаціонарних станів процесу перетворювання енергії в реакторі біогазової установки під час виробництва біогазу.

Процес перетворювання енергії у реакторі біогазової установки проходить за рахунок взаємопов'язаних процесів дифузії органічної речовини та теплоперенесення в реакторі і описується за допомогою двох диференціальних рівнянь типу теплопровідності:

$$\begin{cases} \rho c_p \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot \{ \lambda(T, S) \nabla T \} = F_T(T, S), \\ \rho_s \frac{\partial S}{\partial t} + \nabla \cdot \{ D_s(T, S) \nabla S \} = F_S(T, S). \end{cases} \quad (8)$$

де: $T = T(t, x, y, z)$ – температура середовища, $S = S(t, x, y, z)$ – концентрація органічної речовини в точці з координатами (x, y, z) на момент часу t ; $F_T(T, S)$ та $F_S(T, S)$ – внутрішні джерела теплоти за рахунок вводу нових порцій сировини, виведення вже збродженого субстрату разом із популяціями мікроорганізмів та біохімічних реакцій; ρ – густина, c_p – теплоємність та $\lambda = \lambda(T, S)$ – теплопровідність середовища; ρ_s – густина та $D_s = D_s(T, S)$ – дифузія органічної речовини.

Доповнивши систему рівнянь (8) відповідними граничними, що описують теплообмін між реактором та навколишнім середовищем і початковими умовами отримаємо крайову задачу для дослідження процесу теплоперенесення в реакторі із врахуванням теплообміну між реактором та навколишнім середовищем. Розв'язання крайової задачі дозволить обчислити температурне та концентраційне поле в реакторі. Очевидно, що поле температур та концентрацій органічної речовини є неоднорідним, що доводить існування передумов для виникнення нестійкості в динаміці температур та концентрацій речовини [13].

При дослідженні стійкості процесу перетворювання енергії в реакторі біогазової установки під час виробництва біогазу до малих збурень температури було застосовано синергетичний метод аналізу.

Збурення температури та концентрації речовини в реакторі описані наступними залежностями:

$$T = T_0 + \delta T, \quad \text{де} \quad \delta T = \delta T_a \exp(i\vec{k}\vec{r} + \omega t), \quad (9)$$

$$S = S_0 + \delta S, \quad \text{де} \quad \delta S = \delta S_a \exp(i\vec{k}\vec{r} + \omega t). \quad (10)$$

де: нижній індекс 0 відповідає незбуреному стану системи; δT_a – амплітуда збурень температури; δS_a – амплітуда збурень речовини; \vec{k} – хвильовий вектор; \vec{r} – радіус вектор; ω – частота збурень, що визначає зміну параметру з часом; i – уявна одиниця.

За умови, що теплопровідність середовища та дифузія органічної речовини залежать від температури і концентрації органічної речовини в біореакторі було встановлено дисперсійне рівняння $a\omega^2 + b\omega + c = 0$, де $a \in \square$, $b \in \square$, $c \in \square$, а саме:

$$\begin{aligned} a &= \rho c_p \rho_s; \\ b &= - \left(\rho c_p D(T_0, S_0) \vec{k}^2 + \rho c_p \left. \frac{\partial F_s(T, S)}{\partial S} \right|_0 + \rho_s \lambda(T_0, S_0) \vec{k}^2 + \rho_s \left. \frac{\partial F_T(T, S)}{\partial T} \right|_0 \right) + \\ &+ i \left(\rho_s \left. \frac{\partial \lambda(T, S)}{\partial T} \right|_0 \nabla T_0 + \rho c_p \left. \frac{\partial D_s(T, S)}{\partial S} \right|_0 \nabla S_0 \right) \vec{k}; \\ c_i &= \lambda(T_0, S_0) D_s(T_0, S_0) \vec{k}^4 + \lambda(T_0, S_0) \left. \frac{\partial F_s(T, S)}{\partial S} \right|_0 \vec{k}^2 + \\ &+ D_s(T_0, S_0) \left. \frac{\partial F_T(T, S)}{\partial T} \right|_0 \vec{k}^2 + \left. \frac{\partial F_T(T, S)}{\partial T} \right|_0 \left. \frac{\partial F_s(T, S)}{\partial S} \right|_0 - \\ &- \left. \frac{\partial \lambda(T, S)}{\partial T} \right|_0 \left. \frac{\partial D_s(T, S)}{\partial S} \right|_0 \nabla T_0 \nabla S_0 \vec{k}^2 + \\ &+ \left. \frac{\partial \lambda(T, S)}{\partial S} \right|_0 \left. \frac{\partial D_s(T, S)}{\partial T} \right|_0 \nabla T_0 \nabla S_0 \vec{k}^2 - \left. \frac{\partial F_T(T, S)}{\partial S} \right|_0 \left. \frac{\partial F_s(T, S)}{\partial T} \right|_0; \\ c_i &= -D_s(T_0, S_0) \left. \frac{\partial \lambda(T, S)}{\partial T} \right|_0 \nabla T_0 \vec{k}^3 - \lambda(T_0, S_0) \left. \frac{\partial D_s(T, S)}{\partial S} \right|_0 \nabla S_0 \vec{k}^3 - \\ &- \left. \frac{\partial F_s(T, S)}{\partial S} \right|_0 \left. \frac{\partial \lambda(T, S)}{\partial T} \right|_0 \nabla T_0 \vec{k} - \left. \frac{\partial F_T(T, S)}{\partial T} \right|_0 \left. \frac{\partial D_s(T, S)}{\partial S} \right|_0 \nabla S_0 \vec{k} + \\ &+ \left. \frac{\partial \lambda(T, S)}{\partial S} \right|_0 \left. \frac{\partial F_s(T, S)}{\partial T} \right|_0 \nabla T_0 \vec{k} + \left. \frac{\partial D_s(T, S)}{\partial T} \right|_0 \left. \frac{\partial F_T(T, S)}{\partial S} \right|_0 \nabla S_0 \vec{k}. \end{aligned} \quad (11)$$

Після аналізу критичних станів дисперсійного рівняння було встановлено співвідношення між коефіцієнтами системи термодифузії, за яких виникають автоколивання температури і органічної речовини в реакторі. Розвиток нестійкості з експоненційно-синусоїдальним ростом збурень в часі, тобто автоколивання температури та концентрації речовини в реакторі можливі, якщо між коефіцієнтами системи (8) виконуються співвідношення:

$$\omega_i = -\frac{c_i}{b_i} \quad \text{за умови} \quad \frac{c_i}{b_i} = \frac{b_r}{2a} \quad (12)$$

або:

$$\omega_i = -\frac{c_i}{b_r} \quad \text{за умови} \quad \frac{c_i}{b_r} = \begin{cases} \frac{b_i + \sqrt{b_i^2 + 4ac_r}}{2a}, \\ \frac{b_i - \sqrt{b_i^2 + 4ac_r}}{2a}. \end{cases} \quad (13)$$

Рекомендації щодо покращення ефективності функціонування біогазових установок. Виникнення автоколивальних режимів в реакторі призводить до затухання процесу зброджування в окремих частинах реактора. З часом ці зони можуть розширюватись, утворюватись обширні застійні зони і, як правило, знижується продуктивність біогазової установки. Такі режими в реакторі є шкідливими, оскільки в ньому спостерігається зміна локального збурення з певною частотою, а температура в реакторі може експоненціально зростати чи спадати або набувати хвильового характеру. Тому, виявлення та розуміння причин виникнення автоколивальних режимів допоможе усунути або хоча б обмежити їх наслідки.

Традиційними заходами для запобігання шкідливим режимам експлуатації біогазових установок в наших кліматичних умовах є підігрівання та перемішування субстрату. Підігрівання температури реактора здійснювали при їх експлуатації на дослідному полігоні в умовах прогрівання повітря і реакторів сонячним опроміненням з використанням сонячного колектора, прокачуванням нагрітої води через теплообмінники, що були змонтовані в біогазовій установці. Періодичне перемішування субстрату в реакторі запобігає утворенню кірки на поверхні, зменшує утворення осаду та сприяє рівномірному розподілу органічної речовини, популяції мікроорганізмів, субстрату і температури в реакторі.

Література:

1. Корсаков С.М. Химические реакторы как объекты математического моделирования / С.М. Корсаков. – М.: Химия, 1967. – 223 с.
2. Кафаров В.В. Процессы и аппараты химической технологии / В.В. Кафаров. – М.: Винити, 1982. – 169 с.
3. Брайнес Я.М. Введение в теорию и расчеты химических и нефтехимических реакторов / Я.М. Брайнес. – М.: Химия, 1976. – 232 с.
4. Баадер В. Биогаз. Теория и практика / В. Баадер, Е. Бренндерфер, М. Доне. – М.: Колос, 1982. – 148 с.
5. Семененко И.В. Проектирование биогазовых установок / И.В. Семененко. – Сумы: МакДен, 1996. – 347 с.
6. Hashimoto A.G. Ultimate methane yield from beef cattle manure: effect of temperature, ration constitutions, antibiotics and manure age / Hashimoto A.G., Varel V.H., Chen Y.N. // Agricultural wastes. – Amsterdam: Elsevier Sci Ltd., 1981. – Vol. 3. – P. 241 – 256.

7. McKinney R.E. Mathematic of complete-mixing activated sludge / R.E. McKinney // Sanitariness engineering division. – New York: American society of civil engineering, 1962. – Vol. 88. – P. 87 – 113.
8. Бирюков В.В. Оптимизация периодических процессов микробиологического синтеза / В.В. Бирюков, В.М. Кантере. – М: Наука, 1985. – 248 с.
9. Бондарь А.Г. Математическое моделирование в химической технологии / А.Г. Бондарь. – К: Вища школа, 1973. – 280 с.
10. Перт С.Д. Основы культивирования микроорганизмов и клеток / С.Д. Перт. – М.: Мир, 1978. – 116 с.
11. Дубровский В.С. Метановое сбраживание сельскохозяйственных отходов / В.С. Дубровский, У.Э. Виестур. – Рига: Знание, 1988. – 204 с.
12. Никитин Г.А. Метановое брожение в биотехнологии / Г.А. Никитин. – К.: Вища школа, 1990. – 208 с.
13. Николис Г. Самоорганизация в неравновесных системах / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Мир, 1979. – 512 с.

Пузік С. О., Гвоздецький А. В.,
Національний авіаційний університет, Україна

ФАКТОРИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА РЕГЕНЕРАЦІЮ ВНУТРІШНЬОЇ ПОВЕРХНІ ГРАВІТАЦІЙНОГО ОЧИСНИКА ІНЕРЦІЙНОГО ТИПУ (ГОІТ)

Як відомо, технологія очищення авіаційних палив розвивається в основному у трьох напрямках [1]:

1. Створення фільтрів багаторазового використання із міцних матеріалів, що можна не одноразово регенерувати (відновлювати).
2. Розробка фільтроелементів разового використання з найдешевших матеріалів (папір, тканина, штучні і натуральні волокна), що забезпечують економічно вигідну техніку отримання чистої рідини.
3. Очищення палив в силових полях. Залежно від природи силового поля існують наступні типи очисників: гравітаційні, відцентрові, магнітні й електричні. Силкові очисники мають низку переваг порівняно з традиційними фільтрами: велику трудомісткість, малий гідравлічний опір, відсутність змінних фільтроелементів.

Одним із типів силових очисників є гравітаційний очисник інерційного типу (ГОІТ) [2]. Він виконаний у вигляді гвинтової пружини та має патрубок вводу, змійовик з витками і патрубок виводу. Завдяки своїй конструкції та руху палива при очищенні знизу вгору, частки забруднень, під дією гравітаційної сили ваги і відцентровим силам інерції, залишаються на внутрішній поверхні очисника.

Для повторного використання ГОІТ необхідно регенерувати його внутрішню поверхню від часток забруднень, які там залишились після очищення авіаційного палива.

Мета роботи – визначення факторів, що впливають на регенерацію внутрішньої поверхні ГОІТ.

До факторів, що впливають на регенерацію внутрішньої поверхні очисника висувається низка вимог [3]:

- незалежність – можливість встановлення фактора на будь-якому рівні незалежно від рівня інших факторів;

- точність виміру – можливість кількісного визначення значення фактору з необхідною точністю;
- сумісність – здійснення всіх комбінацій факторів;
- керованість – можливість підтримання його постійного значення протягом усього процесу;
- однозначність – безпосередній вплив фактору на об'єкт.

Виходячи з вищевказаних вимог, розглянемо наступні фактори.

1. Швидкість течії рідини. Даний фактор є важливим з точки зору енергетичного впливу на частки забруднень. Його величина визначається об'ємною подачею рідини через ГОІТ.

На частку забруднення, що знаходиться на внутрішній поверхні ГОІТ, при впливі на неї потоку рідини діють: сила Архімеда F_{ap} , сила тертя $F_{тер}$, сила гідравлічного опору Q_x , підйомна сила, гравітаційна складова G та сила адгезії F_a .

Таким чином, підвищення швидкості потоку і його турбулентності в ГОІТ збільшує ймовірність відриву часток забруднень з його внутрішньої поверхні.

2. Забрудненість палива. Цікавлять тільки ті частки забруднення, що можуть бути відірвані потоком рідини. Частки, що не можуть бути відірвані через недостатню гідродинамічну дію, не цікавлять з точки зору очищення.

Таким чином, оцінка чистоти поверхні ГОІТ за побічним параметром – чистотою робочої рідини – є обгрунтованою. Дослідження свідчать, що збільшення даного фактору впливає на зростання часу регенерації ГОІТ, так як збільшується час потрібної дії потоку рідини на частки забруднень.

3. Чистота рідини для регенерації. При очищенні ГОІТ процес відриву часток забруднень не залежить від чистоти рідини для регенерації. Але після завершення очищення починається процес осадження в рідині часток забруднень, що знаходяться у вільному стані і в цьому випадку чистота рідини для регенерації визначає чистоту поверхні ГОІТ.

4. Температура рідини для регенерації. При збільшенні температури палива покращуються його мастильні характеристики. Підвищення температури дозволяє збільшити ступінь очищення або при збереженні постійного степеню очищення можливе підвищення об'ємної подачі рідини для регенерації. Але даний фактор не задовільняє вимоги керованості, так як технічно складно підтримати температуру постійною в процесі регенерації.

5. Об'єм ГОІТ. Даний фактор є фіксованою величиною. Але можна відмітити, що при інших рівних умовах збільшення об'єму очисника, що очищується, викликає зростання часу, що витрачається на цей процес.

6. Об'ємна подача рідини. Зі збільшенням об'єму ГОІТ зростає час, що необхідний для відриву та вносу часток забруднень. Збільшення об'ємної подачі рідини навпаки веде до зниження цих величин. Слід відмітити, що об'єм ГОІТ, як і об'ємна подача рідини, є константами. Тому доречно розглядати їх в співвідношенні один до іншого, що характеризує процес заміни рідини для регенерації ГОІТ.

7. Фізико-хімічні властивості рідини для регенерації. Рідину для регенерації (миючий засіб) отримують простим змішуванням необхідної кількості інгредієнтів, що взяті в будь-якій послідовності для ефективного очищення ГОІТ. Тому даний фактор є фіксованою величиною.

8. Степінь шорсткості внутрішньої поверхні ГОІТ. ГОІТ виконаний із гуми, тому внутрішню поверхню можна рахувати гідравлічно гладкою.

9. Розмір часток забруднень. Розміри часток забруднень лежать в широкому діапазоні від 3 до 100 мкм і більше. Загальна кількість часток окремих фракцій залежить від динаміки надходження часток в ГОІТ та інтенсивності їх відфільтрування. У цілому даний процес приближується до постійної величини, що характерна для конкретного очисника.

Частки забруднень малих розмірів, коли знаходяться в пристінному шарі, випробовують менший силовий вплив потоку рідини та змиваються гірше великих часток забруднень.

10. Фізико-хімічний склад забруднювача. Забруднення палив підрозділяють на: тверді (механічні), аморфні (інкреторні), рідкі, газоподібні та біологічні (мікроорганізми). За допомогою ГОІТ можливе очищення авіаційних палив від твердих (механічних) забруднень. Із твердих домішок виділяємо: метали (залізо, магній, алюміній, мідь, хром, титан), неметали (сірка, кремній) та їх оксиди.

11. Форма поверхні часток забруднень. Частки забруднень мають довільну форму. Це може бути бочкоподібна, волокноподібна, кругла форми та ін.

Сила адгезії часток залежить від площі контакту з тілом. Отже, найменша сила виникає при контакті сферичних часток з поверхнею, а найбільша при контакті з голчастими частками. Проміжні положення займають плоскі частки.

Література:

1. Пузік С. О. Узагальнений аналіз очищення авіаційних палив від забруднень у гравітаційних очисниках / Пузік С.О., Гвоздецький А.В., МНТК «Проблеми хімотології». – К. : Вид-во нац. авіац. ун-ту «НАУ-друку», 2010. – С. 167–170.
2. Патент України на корисну модель № 79280 від 25.04.2013 «Інерційний очисник авіаційних палив», винахідники: Пузік С. О., Гвоздецький А. В.
3. Автореф. дисерт. на здобуття к.т.н. НАУ «Технологія підготовки авіаційних палив, очищених в гравітаційному полі Землі, до заправки повітряних суден», Гвоздецький А. В., К. – 2011. – 19 с.

Готун Е. В., Склярский Д. В., Туз Н. Д.,
Национальный авиационный университет, Украина

НАПОРНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВИАЦИОННОГО ТОПЛИВНОГО НАСОСА ЭЦНГр-5А ПРИ НЕСТАБИЛЬНЫХ ПАРАМЕТРАХ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРОСЕТИ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Центробежный авиационный насос ЭЦНГр-5А трехфазного переменного тока применяется в топливной системе самолётов Ту-204, Ту-214 для межбаковой перекачки топлива. Близкие по конструктивному исполнению и эксплуата-

ционными параметрам авиационные топливные насосы используются на самолетах конструкторского бюро Антонова: ЭЦНГ-5-2 на самолёте Ан-225, ЭЦНГ-5А-2 – на самолётах семейства Ан-148.

В табл. 1 приведены эксплуатационно-технические характеристики насосов.

Интерес разработчиков современных воздушных судов (ВС) к экспериментальным исследованиям работоспособности электроприводных топливных насосов при нестабильных параметрах бортовой сети обусловлен следующим. Во первых, оборудование по стабилизации бортовой сети трехфазного переменного тока напряжением 200 В, частотой 400 Гц достаточно дорого и имеет значительную удельную массу относительно взлётной массы ВС. Во вторых – топливная система и её топливные насосы, в частности, относятся к группе основных функциональных систем и агрегатов, отказ которых может привести к аварийным ситуациям или катастрофе.

Таблица 1

Эксплуатационно-технические характеристики авиационных топливных насосов трехфазного переменного тока типа ЭЦНГ-5

№ п/п	Тип насоса	Тип электродвигателя	Эксплуатационно-технические характеристики						
			U	Q	P	I	n	Мас-са	Габариты
			B	$л/ч$	$кПа$	A	$об/мин$	$кг$	$Мм$
1	ЭЦНГ-5	ЭТМ-101	200	5000	63,8	2,2	7300	2,8	194xø144
2	ЭЦНГ-5-2	ЭТМ-101	200	5000	63,8	2,2	7300	4,5	220xø172
3	ЭЦНГ-5А-2	ЭТМ-101	200	5000	68,7	2,3	7300	4,4	208xø172
4	ЭЦНГ-5-С62	ЭТМ-101А	200	5000	63,8	2,2	7300	3,5	228xø192
5	ЭЦНГр-5А	ЭТМ-104	200	5000	68,7	2,3	10800	2,65	217xø136

Так, на самолёте Ан-148, система электроснабжения переменным трехфазным током напряжением 115/200 В частотой 400 Гц включает:

- два привод-генератора ГП-21 с генератором ГТ30НЖЧ12;
- генератор 30030-140;
- преобразователь ПТС-800БМВ;
- два блока регулирования, защиты и управления БРЗУ115ВО-2с;
- блок регулирования, защиты и управления 2438-140;
- два блока трансформаторов тока БТТЗОБТА;
- блок трансформаторов тока 20736-140;
- аппарат АПП-1М-5;
- два аппарата АПШ-3Р-2с;
- аппарат АПШ-3М;
- блок контроля БКНА115В;
- трансформатор ТТА-115-400;
- защитная, коммутирующая и светосигнальная аппаратура.

Система выполнена трехпроводной с использованием корпуса самолёта в качестве нулевого провода.

Блок регулирования, защиты и управления БРЗУ115ВО-2С предназначен для поддержания напряжения генератора ГТЗОНЖЧ12 в заданных пределах, защиты и управления каналом генератора. Блок выполняет защиту генератора от короткого замыкания в пределах дифференциальной защиты; защиту от повышения напряжения, снижения напряжения, большого повышения или снижения частоты; защиту от работы при полностью открытом регуляторе напряжения и от нулевой последовательности.

Блок регулирования, защиты и управления 2438-140 предназначен для поддержания напряжения генератора 30030-140 в заданных пределах, защиты и управления каналом генератора. Блок обеспечивает отключение генератора от бортсети и отключение возбуждения генератора при выходе напряжения и частоты любой из фаз источника за установленные пределы; обрыве фазы; неисправных диодах; коротком замыкании в пределах дифференциальной защиты.

Исходя из перечисленных функций блоков очевидно, что возможны такие сочетания функциональных отказов агрегатов электроснабжения, когда параметры бортовой сети будут нестабильными с довольно широким диапазоном изменения напряжения и частоты переменного тока.

Программа экспериментальных исследований работоспособности и определения напорных характеристик центробежного авиационного насоса ЭЦНГр-5А предусматривала следующие диапазоны и дискретно фиксированные значения параметров электропитания и подачи:

- напряжение – 173–220 В (173, 187, 200, 207 и 220 В);
- частота – 290–480 Гц (290, 350, 380, 420, 450 и 480 Гц);
- подача – 500–6000 л/ч (500, 1500, 2500, 3500, 4500 и 6000 л/ч).

Исходя из возможных сочетаний параметров, было проведено 5 серий экспериментов по 36 экспериментов в каждой серии, всего 180 экспериментов. Температура топлива в процессе экспериментальных исследований находилась в диапазоне 18–32°C.

На рис.1 представлена электрическая часть экспериментального стенда.

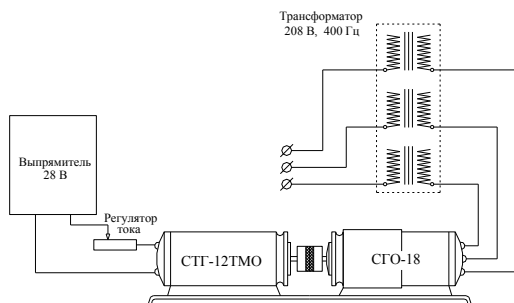


Рис. 1. Электрическая часть экспериментального стенда

Она состоит из механически соединенных между собой стартера-генератора постоянного тока СТГ-12ТМО и трехфазного авиационного генератора переменного тока СГО-18. Первый, запитанный от выпрямителя постоянного тока (28 В) ВА-600 является приводом, а второй – собственно генератором. Независимое регулирование частоты осуществляется регулятором напряжения постоянного тока в цепи питания стартера-генератора СТГ-12ТМО, представляющего собой мощный реостат. Напряжение трехфазного переменного тока устанавливается пусковым реостатом и двумя реостатами цепей подвозбудителя генератора СГО-18 – синхронной бесконтактной безщеточной машины с блоком вращающихся выпрямителей.

Принципиальная схема экспериментального стенда для определения работоспособности и напорных характеристик топливного насоса ЭЦНГр-5А приведена на рис. 2. Исследуемый насос – позиция 3.

Результаты определения напорных характеристик насоса при фиксированных значениях частоты и изменении напряжения сети трехфазного тока и подачи насоса представлены на рис. 3.

Напорные характеристики насоса ЭЦНГр-5А при фиксированных значениях напряжения и изменении частоты тока и подачи насоса приведены на рис. 4.

Из графиков видно, с увеличением напряжения и частоты специального трехфазного тока с номинальными параметрами $U = 208 \text{ В}$, $f = 400 \text{ Гц}$,

напорные характеристики авиационного топливного насоса возрастают. При этом интенсивность снижения давления с увеличением подачи насоса остается примерно постоянной, что можно объяснить расчетными условиями работы центробежного качающего узла насоса и его безкавитационным режимом во всем диапазоне отклонений параметров электросети.

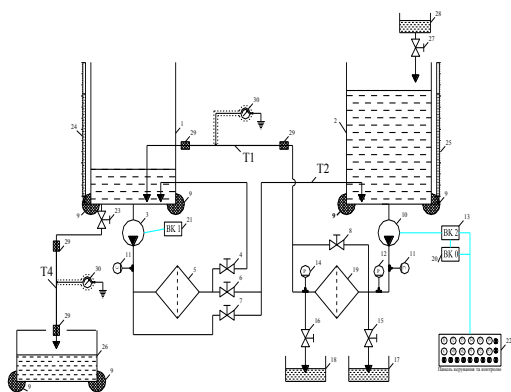
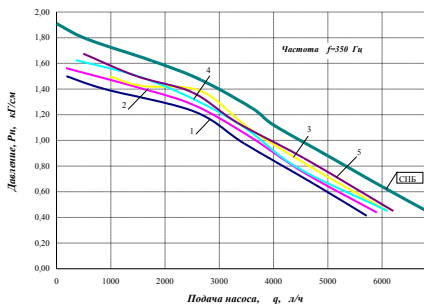
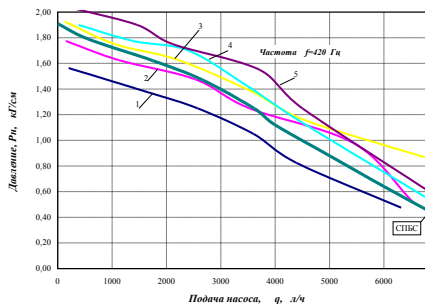


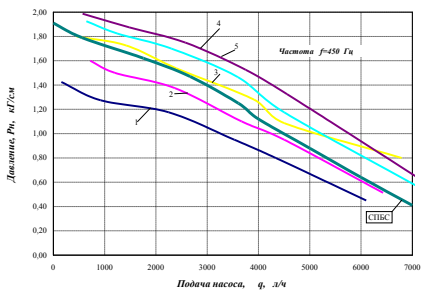
Рис. 2. Принципиальная схема стенда для определения работоспособности и напорных характеристик топливного насоса ЭЦНГр-5А



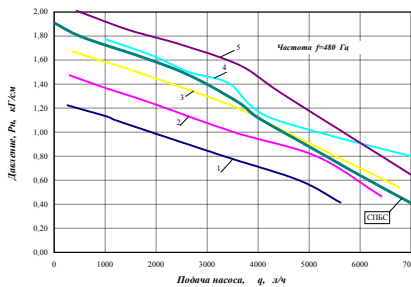
а) Частота $f = 350$ Гц



б) Частота $f = 420$ Гц



в) Частота $f = 450$ Гц



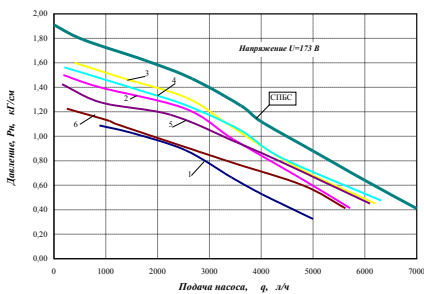
г) Частота $f = 480$ Гц

Рис. 3. Напорные характеристики насоса ЭЦНГр-5А при нестабильных параметрах бортовой сети (фиксированная частота)

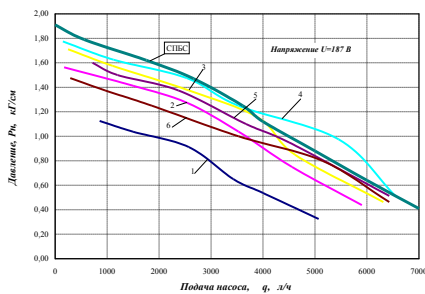
Графики для параметров бортовой сети (напряжение):

1 – $U = 173$ В; 2 – $U = 187$ В; 3 – $U = 200$ В; 4 – $U = 207$ В; 5 – $U = 220$ В;

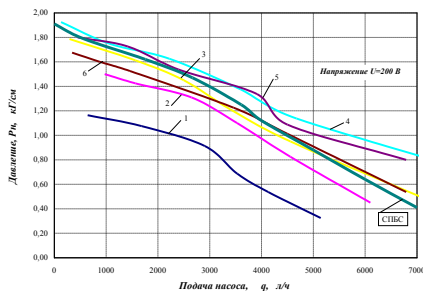
СПБС – $U = 208$ В, $f = 400$ Гц.



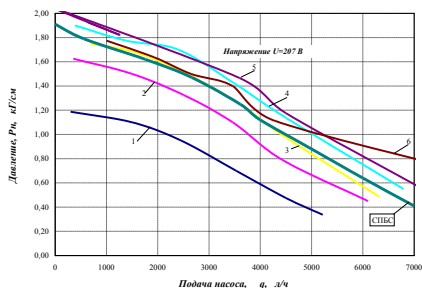
а) Напряжение $U = 173$ В



б) Напряжение $U = 187$ В



е) Напряжение $U = 200$ В



з) Напряжение $U = 207$ В

Рис. 4. Напорные характеристики насоса ЭЦНГр-5А при нестабильных параметрах бортовой сети (фиксированное напряжение)

Графики для параметров бортовой сети (частота):

1 – $f = 290$ Гц; 2 – $f = 350$ Гц; 3 – $f = 380$ Гц; 4 – $f = 420$ Гц; 5 – $f = 450$ Гц;

СПБС – $U = 208$ В, $f = 400$ Гц

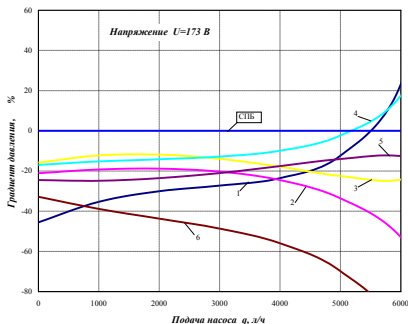
Влияние отклонений напряжения от номинального значения на напорные характеристики насосов несколько ниже, чем влияние от изменения частоты переменного тока, о чем свидетельствует меньший разброс кривых на рис. 3 чем на рис. 4.

Повышение частоты свыше 450 Гц незначительно влияет на увеличение напорных характеристик. Прирост мощности электродвигателя ЭТМ-104 практически останавливается, что объясняется электромагнитной картиной взаимодействий в системе статор-ротор и нагрузкой на валу качающего узла при текущих значениях напряжения, частоты тока и подачи топлива. Сказанное наглядно иллюстрирует положение кривых 4 на рис. 3, з и рис. 3, в соответственно относительно графиков СПБС.

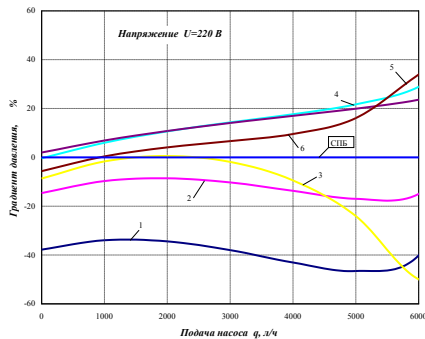
На рис. 5 представлены градиенты напорных характеристики насоса ЭЦНГр-5А для определенных нестабильных значений напряжений, частоты тока и подачи насоса по сравнению с работой на номинальных стабилизированных параметрах бортовой сети.

Видно, что отклонение параметров сети в выше указанных диапазонах приводит к смещению напорной характеристики по давлению в сторону увеличения до 20%, а в сторону снижения, при определенном сочетании параметров, до 40% и более.

Установлено, температурный режим насоса ухудшается при нерасчетных параметрах сети незначительно. Так, при начальной температуре перекачиваемого топлива 24°C , процессе непрерывной перекачки в течение 12 мин, параметрах $U = 220$ В, $f = 450$ Гц, $Q = 4000$ л/ч, температура корпуса электродвигателя ЭТМ-104 возросла до 31°C . Это объяснимо высокоэффективной системой охлаждения электродвигателя реализацией «мокрой» обмотки статора путем прокачки через корпус топлива.



а) Напряжение $U = 173 \text{ В}$



б) Напряжение $U = 220 \text{ В}$

Рис. 5. Градієнти напорних характеристик насоса ЭЦНГр-5А при нестабільних параметрах бортової мережі (фіксованне напруга)

Графіки для параметрів бортової мережі (частота): 1 – $f = 290 \text{ Гц}$; 2 – $f = 350 \text{ Гц}$; 3 – $f = 380 \text{ Гц}$; 4 – $f = 420 \text{ Гц}$; 5 – $f = 450 \text{ Гц}$; 6 – $f = 480 \text{ Гц}$; СПБС – $U = 208 \text{ В}$, $f = 400 \text{ Гц}$.

Отклонение значений напряжения и частоты бортовой сети трехфазного тока $U = 208 \text{ В}$, $f = 400 \text{ Гц}$ в пределах до $\pm 20\%$ от номинальных значений не приводит к отказам центробежного авиационного насоса ЭЦНГр-5А. Возможное снижение подачи насоса не выходит за допустимые значения по условиям гарантированного питания силовой установки самолета при всех расчетных случаях, в том числе и при отказах части насосов топливной системы. Не наблюдается кавитационных режимов работы насоса, пульсаций в трубопроводах.

Полученные результаты позволяют в процессе проектирования новых типов ВС рассматривать вопрос о возможном отказе от части массивных дорогостоящих устройств для стабилизации трехфазной сети переменного тока при питании энергоемких потребителей, таких как топливные насосы типа ЭЦНГ.

Пашко Т. Є., Красильникова Н. Л.,
ДП «НДІННП «МАСМА», Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТРИВАЛОСТІ, ТЕМПЕРАТУРИ РЕАКЦІЇ ТА ПРИРОДИ РОЗЧИННИКА НА ПРОЦЕС ЕСТЕРИФІКАЦІЇ КИСЛОТ ПАЛЬМОВОЇ ОЛІЇ ЕТИЛОВИМ СПИРТОМ

У наш час перспективною сферою застосування хімічних продуктів на основі олій і жирів є паливно-мастильні матеріали (дизельне паливо, базові оливи, гідравлічні рідини, мастила тощо), що використовують у численних машинах і механізмах. Тому вкрай привабливим є використання палив та мастильних матеріалів, вироблених з відновлювальної сировини, здатних до біорозщеплення в навколишньому середовищі.

Основним завданням дослідження процесу естерифікації органічних кислот пальмової олії етиловим спиртом було досягнення максимального ступеню

перетворення кислот та виходу естерів. З цієї метою досліджували вплив таких умов реакції: природи та концентрації каталізатора; концентрації реагентів (мольного відношення спирт/кислоти); температури; тривалості синтезу; природи розчинника.

Виходячи з наших попередніх результатів досліджень, зазначеного процесу естерифікації, було обрано кислотний каталізатор (п-толуолсульфокислота) в концентрації 0,6–1% в розрахунку на завантажені кислоти, мольне співвідношення спирту і кислот 3 до 1–4 до 1.

На даному етапі роботи було досліджено конверсію кислот пальмової олії в реакції естерифікації абсолютним етанолом, каталізованої п-толуолсульфокислотою, залежно від температури та тривалості синтезу. Дослідження проводили в інтервалі температур від 50 до 100°C та інтервалі часу від 3 до 12 год.

Було помічено, що після 6 год перебігу синтезу за температури 75–81°C, подальше підвищення температури та збільшення тривалості процесу вже незначно впливають на конверсію кислот.

Для дослідження реакції естерифікації кислот пальмової олії абсолютним етанолом було вибрано розчинники, що розрізняються за своєю здатністю до неспецифічної та специфічної сольватації: ацетонітрил, ксилол, гептан, оцтова кислота і диметилформамід, етиловий і метиловий спирти.

Порівнюючи результати естерифікації кислот пальмової олії з розчинником і без розчинника (при цьому метиловий або етиловий спирт для реакції брали у надлишку), помічено, що в обох випадках досягаються близькі швидкості реакції та ступені перетворення кислот.

Виходячи з отриманих результатів досліджень, оптимальними умовами проведення реакції переестерифікації кислот пальмової олії абсолютним етанолом наступні: температура проведення реакції 75–81°C, тобто у межах температури кипіння спирту; мольне співвідношення спирту та кислот пальмової олії дорівнює 9 до 1; тривалість реакції 6 год; синтез проводити без розчинника.

Курбатова М. В.,
ДП «НДІНП «МАСМА», Україна

ВПЛИВ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ НА ВЛАСТИВОСТІ БЕНТОНІТОВИХ МАСТИЛ

Бентонітові мастила (Вп-мастила) є досить поширеним типом мастил в усьому світі. Світові обсяги їх виробництва за рік становлять близько 22 тис. тонн. Такі мастила призначені до використання в важконавантажених вузлах тертя промислового обладнання в металургійній, цегельній та інших галузях, де існує необхідність використання мастила, яке здатне зберігати свої властивості за умов високих температур, навантажень та вібрації, під дією агресивного середовища чи води.

Мастила на неорганічних загусниках за своєю рецептурою мають суттєві відмінності від інших типів мастил. Вп-мастила складаються з трьох основних

складових: дисперсійного середовища, загусника та добавок. Вибір дисперсійного середовища та виду модифікації бентонітової глини (Вп-глини) обумовлює певні властивості мастила, що визначають умови їхньої експлуатації.

Основними недоліками, що значно впливають на обсяги застосування Вп-мастил, вважаються невисокі трибологічні характеристики та низька механічна стабільність.

Механічна стабільність мастил – один з найважливіших параметрів оцінки їх експлуатаційних властивостей. Відомо, що при механічному деформуванні суттєво змінюються структура мастила та погіршуються його основні показники якості. Це пов'язано зі змінами в структуровому каркасі, а також зі зменшенням сил зв'язку між окремими його частинками. Ступінь та тип руйнувань в системі загусника обумовлені природою та складом мастила, температурою, часом і швидкістю деформації.

Враховуючи, що бентонітові мастила використовуються в важконавантажених вузлах тертя, вони повинні мати задовільну механічну стабільність, щоб забезпечувати довготривалу та безперебійну експлуатацію промислового обладнання. Оскільки мастило може використовуватись як в підшипниках кочення і ковзання, так і в шарнірах, опорах, зубчатих зчепленнях та інших подібних вузлах, необхідно враховувати той факт, що процес руйнування мастила відбувається під дією різних факторів і може мати різні характеристики в залежності від умов експлуатації. Тому при визначенні механічної стабільності мастила необхідно враховувати умови його експлуатації, та для дослідження його властивостей підбирати таку методику випробувань, що б краще відтворювала умови роботи мастила в реальних вузлах тертя.

Механічну стабільність мастил прийнято оцінювати за зміною величини їх показників якості (звичайно, об'ємно-механічних характеристик) після механічного руйнування. На даний час широко використовують три основні регламентовані методи визначення механічної стабільності мастил: ГОСТ 19295, ASTM D 217, ASTM D 1831. Усі три методи дослідження відрізняються умовами випробувань, в яких руйнування мастила відбувається під впливом різних типів навантаження.

Для дослідження механічної стабільності бентонітових мастил виготовлено низку лабораторних зразків з додаванням різних неорганічних наповнювачів.

Для виготовлення лабораторних зразків використовували як дисперсійне середовище індустріальну оливу И-40 (ГОСТ 20799) та як загусник – модифікований бентонітовий загусник BARAGEL 3000 (виробництва Elementis Specialties Inc.). До складу вихідного мастила (Вп) з метою підвищення його механічної стабільності додатково вводили різні за природою неорганічні наповнювачі у кількості 2% мас.: поліетилен високого тиску «ПВД» (ГОСТ 16377), тальк марки ТРПН (ГОСТ 19729), графіт марки ГС-4 (ГОСТ 17022), аеросил марки А-300 (ТУ У 24.1-05540209-003:2010), силікагель вищого сорту (ГОСТ 3956) та нанокристалічний порошок дисульфід мольбдену ($2H-MoS_2$), синтезований в Інституті проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАНУ.

Результати визначення механічної стабільності лабораторних зразків мастил за трьома методиками наведено на рис. 1.

За результатами проведених випробувань встановлено, що зразки мастил із

вмістом аеросилу та нанокристалічного дисульфиду молібдену мають найменші значення коефіцієнту руйнування. Таким чином, можна стверджувати, що для підвищення механічної стабільності мастил з вибраних речовин краще підходять аеросил та нанокристалічний дисульфід молібдену.

Для покращення трибологічних властивостей мастил за умов роботи при високих граничних навантаженнях використовують протизадирні та протизношувальні добавки, що представляють собою органічні сполуки, що містять активні атоми сірки, хлору або фосфору, наприклад сірчисті природні жири та продукти нафтового походження, ді- та полісульфіди, ксантогенати, дітіокарбамати, діалкілдітіофосфати металів та інші сполуки.

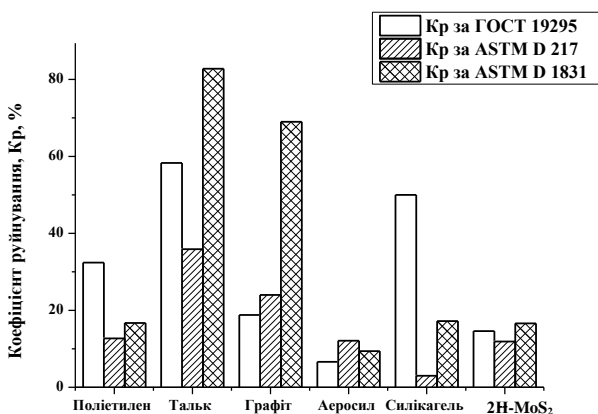


Рис. 1. Механічна стабільність Вп-мастил з наповнювачами

З метою дослідження напрямів покращення трибологічних властивостей бентонітових мастил використовували два добавки Infineum C9425 (виробник компанія «Infineum», Великобританія) та НіТЕС 312 (виробник компанія «Afton Chemical», США). Додаток Infineum C9425 представляє собою цинкдіалкілдітіофосфат, призначений до використання в змащувальних оливах як антиокиснювального та протизношувального додатку. НіТЕС 312 – суміш сульфидованих олефінів, призначений до використання в мастилах, як протизадирний додаток. Також використано неорганічний наповнювач нанокристалічний порошок дисульфиду молібдену (MoS₂).

Для досліджень використовували стандартизований метод випробувань в якому реалізується широко розповсюджена схема контакту – «чотирикохулькова» згідно ГОСТ 9490.

Вплив додатків на трибологічні властивості змащувальних матеріалів може значно змінюватись у залежності від концентрації. Для встановлення оптимального вмісту додатків виготовлено зразки при їх концентрації 1; 2,5 та 5 % мас. Результати випробувань наведено в табл. 1.

За отриманими результатами зроблено висновок, що зі збільшенням вмісту

присадки Infineum C9425 значно покращуються протизношувальні властивості та в меншій мірі протизадирні. При концентрації додатку 5% мас. не спостерігається зміни за показником «навантаження зварювання» та зменшується вплив на показник «індекс задиру». У випадку введення до складу мастила додатку НіТЕС 312 більше покращуються протизадирні властивості, та після певної концентрації протизношувальні. Збільшення концентрації додатку впливає на підвищення характеристик мастила за всіма показниками. Найкращі властивості отримані для зразків з вмістом додатку НіТЕС 312, особливо за концентрації 5% мас., але виходячи з вимог, що висуваються до характеристик бентонітових мастил, достатньою концентрацією додатків можна вважати 2,5% мас.

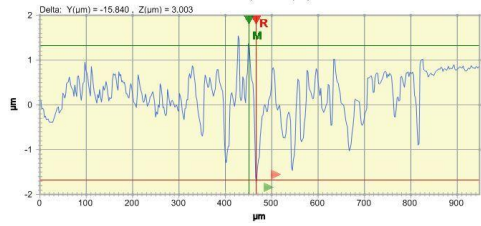
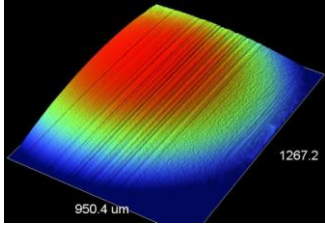
Таблиця 1

Трибологічні властивості бентонітових мастил з додатками

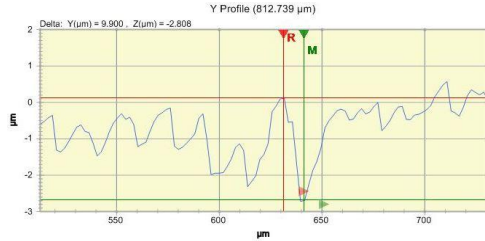
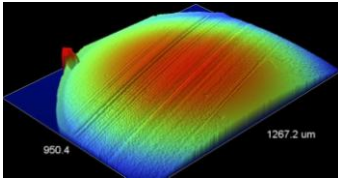
Вміст додатку, % мас.	Трибологічні характеристики			
	$P_{кр}, Н$	$P, Н$	$I, Н$	$D, мм$
Базове мастило				
-	784	1380	234	0,63
Мастила з додатком Infineum C9425				
1,0	784	1960	349	0,61
2,5	1230	2450	355,5	0,59
5,0	1744	2450	367	0,54
Мастила з додатком НіТЕС 312				
1,0	784	2450	445	0,60
2,5	1235	2764	502	0,54
5,0	2067	3479	536	0,50
Мастила з нанокристалічним 2Н-MoS₂				
2,5	1381	1960	418	0,64
5,0	1568	2450	438	0,62
7,5	1646	2764	486	0,60
10,0	1842	2930	516	0,56

Введення нанокристалічного дисульфиду молібдену має позитивний вплив на покращення трибологічних властивостей мастил, при цьому покращення показників відбувається по мірі збільшення концентрації наповнювача. Враховуючи умови використання бентонітових мастил, необхідні трибологічні характеристики отримані для зразків із вмістом нанокристалічного дисульфиду молібдену у кількості 5–10 % мас.

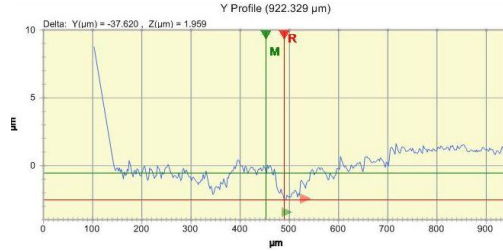
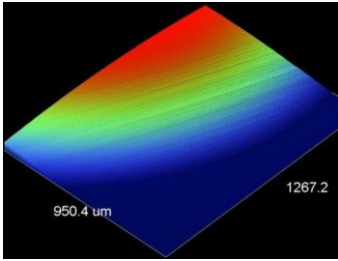
Вплив наповнювачів та додатків на зношування поверхонь тертя оцінювали за допомогою профілографічного аналізу. Такі дослідження провели для зразків мастил з вмістом додатку НіТЕС 312 та нанокристалічним дисульфідом молібдену в порівнянні з базовим мастилом. При випробуваннях оцінювали доріжки зношування рухомих куль чотирьохкульової пари тертя, що використовувалась при трибологічних дослідженнях за ГОСТ 9490 при навантаженні 198 Н. Результати досліджень наведено на рис. 2.



a



б



в

Рис. 2. Профілографічне зображення доріжок зношування пари тертя:
a – базового зразка; *б* – зразка з НіТЕС 312; *в* – зразка з нанокристалічним MoS_2 .

За результатами випробувань оцінили шорсткість отриманих поверхнь тертя. Встановлено, що зношування поверхні кулі після роботи з базовим мастилом відбувається значно сильніше ніж з мастилами із вмістом НіТЕС 312 та нанокристалічного дисульфиду молібдену. Величина максимальних виступів на поверхнях становить: для базового зразка – 3 мкм, для зразка з додатком НіТЕС 312 – 2,8 мкм та для мастила з нанокристалічним MoS_2 – 1,9 мкм. Таким чином, вміст нанокристалічного дисульфиду молібдену в складі мастила має найбільший вплив на зменшення зношування поверхнь тертя.

За результатами проведеної роботи визначена можливість принципового покращення змащувальної здатності бентонітових мастил та їх механічної стабільності з метою забезпечення їх працездатності в різних важконавантажених вузлах промислового обладнання.

Кобилянський С. В., Кравець К. О.,
УкрНДІНП «МАСМА», Україна;
Волошинець В. А., НУ «Львівська політехніка», Україна;
Іщук Ю. Л., Україна

УТВОРЕННЯ ВИСОКОЛУЖНИХ ТА НАДЛУЖНИХ НАНОСИСТЕМ ПІД ЧАС КАРБОНАТАЦІЇ

Під час одержання надлужних додатків, що використовують в моторних оливах як колоїдні розчини [1] та мастил – тиксотропних колоїдних систем [2], визначальними є реакції карбонатації, оптимальні умови для протікання яких забезпечує обернена мікро-наноемультсія. Дисперсною фазою у цих системах є розподілені у толуольно-оливному середовищі спиртово-водні нанореактори в яких, згідно О. Главаті [3], під час профатеритної карбонатації, формується оливорозчинний нанодисперсний карбонат кальцію, що застосовується як високолушний додаток до олив. Одержання продуктів карбонатації свідчить про існування як мінімум двох реакцій карбонатації: профатеритної, у результаті якої утворюються високолушни додатки та прокальцитної, в результаті якої утворюються надлужні наносистеми – мастила.

Масоперенесення на міжфазних поверхнях оберненої мікро-наноемультсії під час карбонатації залежить від міжфазної енергії між спиртово-водною і вуглеводневою фазами, тому оцінка значень поверхневої енергії важлива для дослідження реакції карбонатації. Для одержання високолужних і надлужних нанодисперсних систем в обернених мікро-наноемультсіях найбільший інтерес як компонент спиртово-водної суміші викликають метанол, етанол, пропанол-2 і пропанол-1. Розрахунками за рівнянням Джіріфалько-Гуда [4] для гетерогенних систем із метанолом та етанолом показано, що міжфазний натяг максимальний на границі фаз між толуольно-оливою і метанольно-водною фазами, що забезпечує в усьому діапазоні концентрацій метанольно-водної фази утворення дисперсної оберненої емультсії. В усіх досліджених системах значення емпіричного параметра Φ у рівнянні Джіріфалько-Гуда має змінне значення та залежить від вмісту спирту у водній фазі.

Література:

1. Пат. США № 2485861. – 1949.
2. Кобилянський С. В. Автореф. докт. дис. – Київ, ІБОНХ НАНУ, 2011.
3. Главати О. Л. Физико-химия диспергирующих присадок к маслам. – Киев: Наукова думка, 1989. – 184 с.
4. Волошинець В. А., Кобилянський С. В. // Вопросы химии и хим. технологии, 2013, № 4. – С. 116–119.

Велігорська Ю. В., Панейкін О. О., Венгер І. О.,

ДП Науково-дослідний інститут нафтопереробної та нафтохімічної промисловості «МАСМА», Україна

Железний Л. В.,

Інститут біоорганічної та нафтохімії НАН України, Україна

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИХ ОЛЕОМАСТИЛ

Станом на сьогодні у промисловості та на транспорті застосовуються високотемпературні комплексні сульфонатні надлужні кальційові мастила. Вони відрізняються покращеними трибологічними властивостями, підвищеною стабільністю до окиснення та стійкістю в агресивних середовищах. Загусники цих мастил – дисперсії карбонату кальцію, стабілізовані поверхнево-активними алкіларілсульфонатами кальцію.

Через широке застосування у мастильних матеріалах різного призначення світове виробництво нафтових та синтетичних сульфонатів невпинно зростало. Однак, в останній час спостерігається стійка тенденція до заміни, де це можливо, ПАР, вироблених з нафтохімічної сировини, на ПАР природного походження, що є відповіддю на нестабільність нафтового ринку, економічні та екологічні негаразди, пов'язані з низькою біорозщеплюваністю синтетичних продуктів нафтохімії. Передбачається, що у найближчому майбутньому більше половини ПАР нафтового походження вдасться замінити продуктами олеохімії.

Нами розроблені технології виготовлення нових високотемпературних мастил, органічною складовою загусника яких є ПАР природного походження – кальційові мила кислот, що входять до складу гліцеридів олій. Ці мастила відносяться до групи олеомастил, що поєднують високі експлуатаційні характеристики з безпечністю для довкілля, і при цьому виготовлені на доступних сировинних компонентах, добутих з відновлюваних джерел.

У даній роботі представлені результати досліджень властивостей мастила, виготовленого із застосуванням рицинової олії в якості жирового компоненту загусника. Виявлено, що загущувальна здатність композиції на основі дисперсії карбонату кальцію та кальційових мил кислот гліцеридів рицинової олії (80% рицинолевої кислоти) не поступається комплексному надлужному загуснику мастила Ceran HV фірми Total, виготовленого на основі надлужного алкіларілсульфонату кальцію (табл.1.). Про це свідчать значення показників penetрації, колоїдної стабільності та межі міцності.

Олеомастило відрізняються підвищеною температурою крапання та термостабільністю. Особливістю цього мастил можна вважати здатність зберігати працездатність за низьких температур та високі трибологічні характеристики (табл.1.). Олеомастило характеризується нижчою за мастило Ceran HV в'язкістю за температури мінус 20°C та може експлуатуватися за температури мінус 30°C, коли імпорнтний аналог застигає.

Оскільки усі випробування проведені з базовим олеомастилом, що не містить функціональних додатків, зрозуміло, що ці позитивні властивості забезпечені саме системою загусника. Іншими словами, система загусника в олеомастилі є

багатофункційною: ефективно загущуючи базову оливу, не даючи їй виділятися навіть при навантаженні, вона забезпечує мастилу високі експлуатаційні характеристики.

Таблиця 1

Характеристика мастил

Найменування показників	Олеомастило на рициновій олії	Ceran HV	Метод випробування
Температура крапання, °С	337	300	ASTM D 566
Пенетрація за 25°С з перемішуванням, мм·10 ⁻¹	285	304	ГОСТ 5346 метод В
В'язкість за мінус 20°С і середньому градієнті швидкості деформації 10 с ⁻¹ , Па·с	1039	1962	ГОСТ 7163
Межа міцності за 20°С, Па	450	230	ГОСТ 7143 метод Б
Колоїдна стабільність, %	1,5	2,1	ГОСТ 7142
Корозійна дія на метали (мідь, латунь, сталь)	Витр.	Витр.	ГОСТ 9.080
Змащувальні властивості на чотирикульковій машині тертя за (20±5) °С: - навантаження зварювання (P _з), Н - діаметр плями зношування (D _з), 392 Н, мм	3479 0,45	4136 0,54	ГОСТ 9490
Крутний момент за мінус 30°С, Н·м - пусковий - сталий	0,17 0,07	застигає	ASTM D 1478

Отже, як свідчать дані табл. 1, розроблене нами олеомастило за рівнем об'ємно-механічних, захисних та антизадирних (значення P_з) властивостей знаходиться на рівні товарного аналога. А за високотемпературними (значення температури крапання) та протизношувальними характеристиками (значення D_з) переважає його.

**Харченко Н. О., Будзинська І. А., Красільнікова Н. Л.,
Кочірко Б. Ф., Сахацький І. І., Пшеничка О. В.,
ДП «НДІННП «МАСМА», Україна**

ПИТАННЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ АЛЬТЕРНАТИВНИХ РІДИННИХ ПАЛИВ

Швидке зростання використання біоетанолу й естерів жирних кислот олій та жирів як біокомпонентів рідинних палив викликало потребу в стандартизації альтернативних видів палива з поновлюваної сировини.

На сьогодні рідинні палива з вмістом біокомпонентів більше ніж 5% виробляють за власними технічними умовами, у той час як нормативні документи національного рівня відсутні. В Україні чинні лише національні стандарти на метилові естери жирних кислот (ДСТУ 6081:2009) та етилові естери жирних кислот (ДСТУ 7178:2009), що використовують у чистому виді як альтернативне паливо для дизельних двигунів або як добавку до традиційного нафтового палива.

Для впровадження в Україні сучасних видів альтернативних палив належної якості, ДП «НДІННП «МАСМА» разом з технічним комітетом ТК 38 «Стандартизація продуктів нафтопереробки і нафтохімії» активно проводить роботи з розроблення та погодження нормативних документів на альтернативні палива з різним вмістом біокомпонентів для дизельних та бензинових двигунів.

1. Проводяться наступні роботи зі стандартизації альтернативних палив для дизельних двигунів:

- погоджено проект національного стандарту ДСТУ XXXX:20XX «Паливо дизельне сумішеве. Технічні вимоги та методи контролювання», розробленого Національним університетом біоресурсів і природокористування України. Цей стандарт поширюється на дизельне паливо, що містить від 30% до 50% метилових естерів жирних кислот. На цей час проект знаходиться на затвердженні;

- погоджено низку технічних умов на палива альтернативні для дизельних двигунів з максимальним вмістом метилових естерів жирних кислот 30%. Це – свідчення зростання попиту в країні на такі палива;

- розроблено проект національного стандарту ДСТУ XXXX:20XX «Паливо альтернативне для дизельних двигунів. Технічні умови». Цей стандарт поширюється на альтернативне паливо для дизельних двигунів, що містить від 10% до 30% метилових та/або етилових естерів жирних кислот олій і жирів. Технічні вимоги, що встановлені в розроблюваному стандарті, відповідають технічним вимогам, встановленим в проекті технічної специфікації FprCEN/TR 16557 «Automotive fuels – High FAME (B₁₁–B₃₀) diesel fuel blends – Background to the parameters required and their respective limits and determination (Паливо для двигунів внутрішнього згоряння – Високий вміст метилових естерів жирних кислот (B₁₁–B₃₀) в сумішевому дизельному паливі – Встановлення граничних норм викидів до навколишнього середовища)» та стандарті ASTM D 7467 – 13 «Standard Specification for Diesel Fuel Oil, Biodiesel Blend (B₆ to B₂₀) (Стандартна специфікація для дизельного палива, біодизельного сумішевого палива (B₆ до B₂₀))». Також ураховані напрацьовані випробувальні та експлуатаційні дані, що встановлені у технічних умовах на аналогічний продукт, що розроблені впродовж останніх 6 років. У цьому стандарті встановлено дві марки палива залежно від сезонних умов використання: Л-літнє та З-зимове. За вмістом сірки встановлено екологічні класи: Євро3, Євро4, Євро5. За вмістом метилових та/або етилових естерів жирних кислот встановлено два типи палива: B₂₀ (об'ємна частка естерів від 10% до 20%) та B₃₀ (об'ємна частка естерів від 20% до 30%). На цей час розроблюється остаточна редакція стандарту.

2. Проводяться наступні роботи зі стандартизації альтернативних палив для бензинових двигунів:

- розроблено проект національного стандарту ДСТУ XXXX:20XX «Паливо автомобільне біостанольне E85. Технічні умови». Паливо E85 – це альтернативне

паливо, що містить від 50% до 85% біоетанолу або інших біокомпонентів на його основі. Залежно від сезонних умов використання паливо підрозділяють на E85 літнє та E85 зимове. Технічні вимоги, що встановлені в стандарті, відповідають технічним вимогам, встановленим в технічних специфікаціях CEN/TS 15293:2011 «Automotive fuels. Ethanol (E85) automotive fuel. Requirements and test methods» (Автомобільне паливо. Етанол (E85) як автомобільне паливо. Вимоги та методи випробування) та ASTM D 5798-2011 «Standard Specification for Ethanol Fuel Blends for Flexible-Fuel Automotive Spark-Ignition Engine» (Стандартна специфікація на суміші з паливним етанолом для автомобільних двигунів внутрішнього згорання). Вимоги щодо тиску насиченої пари відповідають сезонним та кліматичним умовам України. За вмістом сірки паливо відповідає екологічному класу Євро4;

- погоджено низку технічних умов на альтернативні бензини, що містять від 30% до 50% біокомпонентів (біоетанолу або оксигенатних добавок на його основі, інших спиртів). Це – свідчення зростання попиту в країні на такі палива;

- розроблено проект національного стандарту ДСТУ XXXX:20XX «Паливо альтернативне для бензинових двигунів. Технічні умови». Паливо альтернативне являє собою паливну суміш добавки комплексної оксигенатної у кількості від 30% до 50% та фракції бензинової прямогонної. Наведена детальна класифікація палива: на марки за октановим числом; на класи залежно від сезонних умов застосування (літнє, зимове); на групи залежно від вмісту біоетанолу (E35, E40, E45, E50). За вмістом сірки встановлено екологічні класи: Євро3, Євро4, Євро5. Технічні вимоги, встановлені в розроблюваному стандарті, відповідатимуть узагальненим технічним вимогам з врахуванням напрацьованих випробувальних та експлуатаційних даних, що встановлені у технічних умовах на аналогічний продукт, що розроблені протягом останніх 10 років.

3. Для виробництва альтернативних біоетанольних палив необхідна відповідна сировина: оксигенатні добавки, вуглеводневі фракції тощо. За останнє десятиліття в Україні розроблено низку технічних умов на різноманітні оксигенатні добавки та на вуглеводневі фракції і суміші вуглеводнів як компоненти альтернативних бензинів. Що стосується технічних умов на вуглеводневі фракції, то для більшої їх частини скасовано реєстрацію. Це значно ускладнило випуск альтернативних біоетанольних палив. Наявність стандартів національного рівня на сировинні компоненти дасть можливість підприємствам випускати альтернативні біоетанольні палива стабільної якості. Враховуючи це, ДП «НДІННП «МАСМА»» розроблено проекти національних стандартів:

- ДСТУ XXXX:20XX «Добавка комплексна оксигенатна (компонент палив для бензинових двигунів). Технічні умови». У цьому стандарті встановлено вимоги до біокомпонентного складника сучасних видів альтернативних та традиційних сумішевих бензинів.

- ДСТУ XXXX:20XX «Нафтопродукти рідкі. Фракція бензинова прямогонна (компонент палив для бензинових двигунів). Технічні умови». У цьому стандарті встановлено вимоги до бензинової фракції, що застосовують для виготовлення альтернативних та традиційних бензинів.

4. Усі розроблені стандарти на альтернативні палива в основному забезпечені національними стандартами на методи їх випробування введенням в Україні відповідних міжнародних та європейських стандартів.

Білякович О. М., Богайська К. В., Данилейко О. В.,
Національний авіаційний університет, Україна
Дмитриченко М. Ф., Савчук А. М., Туриця Ю. О.,
Національний транспортний університет, Україна

АНАЛІЗ ЯКІСНОГО СТАНУ ОЛИВ В УМОВАХ ТРИВАЛОЇ ЕКСПЛУАТАЦІЇ АГРЕГАТИВ ТРАНСМІСІЙ СПЕЦМАШИН АЕРОПОРТІВ

Одним із вирішальних факторів щодо забезпечення надійності, ресурсу і економічності функціонування вузлів та агрегатів авіаційної наземної техніки є використання у їх трибосистемах мастильних матеріалів з високими експлуатаційними якість, що б зберігались протягом тривалого періоду використання.

Цілком очевидно, що використання моторних і трансмісійних олів, що не відповідають вимогам експлуатації, призводить до зменшення надійності техніки, але в той же час, застосування мастильних матеріалів з необґрунтованим запасом якості призводить до нераціональних витрат останніх.

У даному контексті важливе значення має встановлення раціональних термінів використання олів на основі науково обґрунтованих критеріїв їх якості.

Працездатність системи, у якості якої у даному випадку можна розглядати трансмісійну оливу у процесі експлуатації, може бути охарактеризована сукупністю її визначених параметрів (фізико-хімічних властивостей оливи). Контроль параметрів дозволяє судити про стан системи на даний момент часу та прогнозувати її майбутній стан. Для цього встановлюються допустимі межі зміни визначених параметрів об'єкта контролю.

У свій час авторами була запропонована та опублікована математична модель, що обґрунтовувала вибір найбільш вагомих фізико-хімічних властивостей (відбраковочних показників) трансмісійних олів, аналіз яких є найбільш доцільним при визначенні впливу якісного стану мастильних матеріалів на ефективність їх мастильної дії та стан поверхневих шарів трибосполучень.

Саме оцінка зміни таких показників якісного стану трансмісійних олів у процесі тривалої експлуатації і була предметом досліджень, результати яких викладені у даній статті.

Як відомо, мікро- і наночастинки, що потрапили до складу мастильного середовища в результаті забруднення і ті, що утворилися в результаті зношування контактних поверхонь пар тертя, здійснюють суттєвий вплив на протікання різноманітних фізико-хімічних процесів у трибосистемі.

До сприятливих процесів, що збільшують довговічність трибосполучень, можна віднести зміцнення поверхневих шарів, вигладжування поверхні з утворенням малокутової шорсткості, формування стійких розділових шарів, утворення трибохімічних продуктів із властивостями мастильних матеріалів типу

“полімерів тертя”, солей жирних кислот, збільшення стабільності реологічних характеристик мастильного шару за підвищених температур [1–3].

За свідченням ряду вчених [4,5] на тривалість раціонального використання олив, ефективність їх мастильної дії здійснює суттєвий вплив не лише концентрація, а й гранулометричний склад механічних домішок (МД), що підтверджені в результатах досліджень, представлених у роботах [6,7].

На підставі експериментальних даних і їх математичної обробки [8] приходять до висновку, що максимальні розміри частинок природних забруднювачів палив, олив і робочих рідин гідравлічних систем, як правило, не перевищують 30–100 мкм, а переважна більшість частинок має розміри менше 5–10 мкм.

Механічні домішки розміром до 5–7 мкм, що мають активовану поверхню внаслідок перебування в постійному напружено-деформованому стані у процесі тертя, миттєво вкриваються адсорбційно-сольватною плівкою з продуктів окислення та полімеризації олив, що унеможливорює їх абразивну дію на металеві поверхні пар тертя, і не тільки не погіршують мастильну дію олив, а, навпаки, сприяють зростанню товщини граничних мастильних шарів, що локалізують зрушувальні деформації і зменшують втрати на тертя, гальмують інтенсивність зношувальних процесів контактних поверхонь [4, 6].

Підтвердженням вищенаведених висновків можуть бути графічні залежності, представлені на рис. 1, що були отримані авторами після проведення триботехнічних випробувань в умовах моделювання нестационарних режимів роботи зубчатих зчеплень у середовищі трансмісійних олив із різним якісним станом та аналізу фізико-хімічних властивостей досліджуваних проб підконтрольних мастильних середовищ.

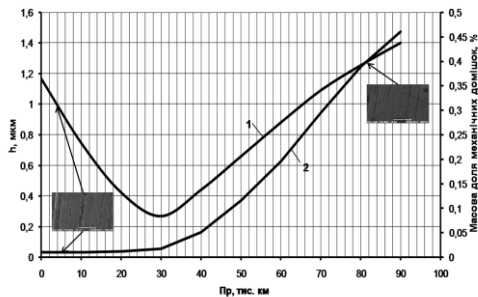


Рис. 1. Залежність значень товщини граничного мастильного шару (1) та концентрації механічних домішок (2) від пробігу підконтрольних транспортних засобів

Для визначення динаміки надходження МД у мастильне середовище та впливу концентрації МД у модельній оливі на інтенсивність формування граничних мастильних шарів (ГМШ) на поверхнях контактних пар був реалізований комплексний метод триботехнічних випробувань та хімотологічних досліджень.

На першому етапі було здійснено відбір проб трансмісійної оливи у стані постачання із товарних ємностей та з агрегатів підконтрольних транспортних засобів (ПТЗ) з інтервалом 10000 км пробігу до 90000 км пробігу включно.

Другий етап включав серію випробувань зразків роликowego типу на установці СМЦ-2 при моделюванні роботи зубчатих зчеплень.

Останній етап полягав у визначенні концентрації МД у досліджуваних пробах оливи та з'ясуванні її впливу на процес формування ГМШ.

Графічна залежність, представлена на рис.1, містить два характерних етапи формування ГМШ у залежності від масової долі МД в пробах оливи: на початковому етапі мало місце зменшення величини граничного шару при незначному зростанні концентрації МД, після чого спостерігалось інтенсивне зростання товщини ГМШ при суттєвому збільшенні кількості механічних домішок у об'ємі оливи.

Як свідчить аналіз результатів дослідження динаміки зміни значень товщини ГМШ та концентрації МД у залежності від пробігу підконтрольних транспортних засобів, у середовищі оливи, проби якої були попередньо злиті з агрегатів трансмісій ПТЗ до 30000 км пробігу, спостерігалось падіння товщини ГМШ при незначному зростанні концентрації МД.

На думку авторів, це пояснюється відсутністю необхідної концентрації продуктів окиснення оливи у даному якісному стані, що спричиняло часткову руйнацію ГМШ дрібнодисперсними частинками механічних домішок неорганічного походження внаслідок відсутності на їхній поверхні захисного шару з активних компонентів продуктів старіння (АКПС) мастильного матеріалу.

У результаті випробувань в оливі, зразки якої були злиті після 30000 км пробігу ПТЗ, мало місце інтенсивне зростання товщини ГМШ при суттєвому збільшенні концентрації МД, що може бути пояснено наявністю у мастильному середовищі достатньої кількості АКПС для проходження адсорбційних процесів, які сприяють формуванню захисної плівки на поверхнях МД, унеможлижуючи їх абразивну дію на граничні шари пар тертя; при цьому не виключається можливість зростання товщини ГМШ у тому числі й за рахунок модифікованих частинок механічних домішок.

Вищенаведені висновки знаходять підтвердження при аналізі мікрофотографій поверхонь тертя – після випробувань у середовищі оливи після 90000 км пробігу ПТЗ на контрольованих поверхнях спостерігався стійкий граничний шар без суттєвих дефектів структури на відміну від поверхні тертя, сформованої в умовах застосування “свіжої” оливи.

Безумовно, позитивний вплив дрібнодисперсних механічних домішок на параметри мастильної дії трансмісійних оливи у процесі їх старіння та забруднення не означає необхідності впровадження беззмінної експлуатації мастильних матеріалів у вузлах та агрегатах транспортних засобів. Проте аналіз проведених досліджень, вивчення закономірностей формування захисних мастильних шарів за участю механічних домішок дає підстави для перегляду граничних значень такого відбраковочного показника, як масова доля МД для конкретних марок трансмісійних оливи, сприятиме визначенню механізмів мастильної дії оливи при їх довготривалому використанні (старінні та забруднюванні) в агрегатах трансмісій

транспортних засобів, оптимізації періоду раціонального використання мастильних матеріалів.

Збільшення кислотності у досліджуваних пробах оливи у залежності від наробітку ПТЗ на першому етапі експлуатації (до 30000 км пробігу) можна пояснити потраплянням у об'єм мастильного матеріалу кисню з оточуючого середовища та інтенсифікацією процесів окислення компонентів оливи у процесі тертя (рис. 2).

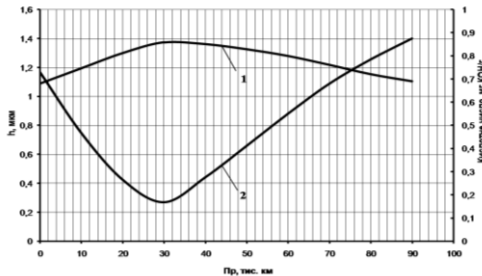


Рис. 2. Залежність значень кислотного числа (1) та товщини граничного мастильного шару (2) від пробігу підконтрольних транспортних засобів

На даному етапі значення товщини ГМШ зменшувались по мірі спрацьовування комплексу поверхнево та хімічно активних компонентів присадок, якими була легована модельна олива на стадії виробництва.

Абсолютно логічним, на наш погляд, є послідуєче збільшення товщини ГМШ при зменшенні значень кислотного числа проб досліджуваної оливи.

Пояснюється це, на нашу думку, наступним – при недостатній кількості поверхнево та хімічно активних речовин, які у якості пакету присадок містились у товарній оливі, матеріалом для формування ГМШ у процесі довготривалого використання трансмісійної оливи є продукти старіння мастильного середовища, зокрема, вуглеводневі сполуки компонентів оливи з активним киснем, сформовані при функціонуванні трибосистеми під впливом температурно-навантажувальних режимів роботи агрегатів трансмісії ПТЗ.

Саме тому концентрація продуктів окислення оливи, а, отже, і значення кислотного числа поступово зменшуються (у нашому випадку після 30000 км пробігу ПТЗ).

Початкове збільшення значень кінематичної в'язкості (від 0 до 40000 км пробігу ПТЗ), очевидно, пов'язано із зростанням концентрації продуктів окислення та полімеризації у об'ємі мастильного матеріалу, зростання масової долі механічних домішок органічного походження, подальше зменшення величини в'язкості можна пояснити процесами активного формування захисних граничних шарів на трибосполученнях за рахунок саме вищезазначених продуктів старіння і забруднення оливи, підтвердженням чого є графічна залежність зміни в'язкості оливи протягом усього періоду експлуатації ПТЗ (рис. 3).

Дослідження процесів старіння та забруднення механічними домішками моторних та трансмісійних олив, їх впливу на ефективність мастильної дії

й структурний стан поверхневих шарів трибосполучень дозволять розширити спектр об'єктивних відбраковочних критеріїв мастильних матеріалів, оптимізувати підбір елементів трибосистем, виходячи з конкретних умов їх експлуатації, та строки раціонального використання останніх.

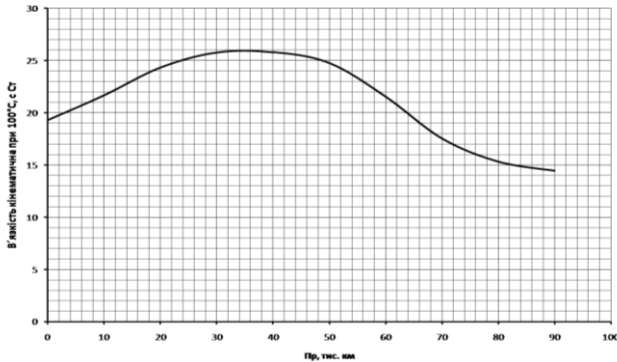


Рис. 3. Залежність значень кінематичної в'язкості за температури 100°C оливи від пробігу підконтрольних транспортних засобів

Література:

1. Мельников В. Г. Влияние параметров трения на энергию активации трихимического разложения смазочных материалов в зоне трения качения // Трение и износ. – 2001. – Т.22. – №5. – С. 567–574.
2. Венцель Е. С. Упрочнение поверхностей трения при смазывании их диспергированными маслами // Трение и износ. – 1990. – Т. 11. – №3. – С.544–546.
3. Савкин В. Г., Чмыхова Т.Г., Деликатная И.О., Волнянко Е.Н. Влияние внешних воздействий на процессы структурирования в смазочных материалах // Трение и износ. – 2007. – Т.28. – №6. – С.634–639.
4. Венцель С. В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания/ С.В. Венцель. – К.: Техніка, 1977. – 208 с.
5. Венцель Е. С. Повышение износостойкости трибосопряжений гидродинамическим диспергированием масел: дис. ... докт.техн.наук: 05.02.04 / Харьковский автомобильно-дорожный институт. – Харьков, 1990. – 397 с.
6. Билякович О. Н. Влияние загрязненности трансмиссионных масел на смазочное действие и состояние поверхностных слоев трибосопряжений: дис... канд. техн. наук: 05.02.04 / Киевский международный ун-т гражданской авиации. – К., 1996. – 273 с.
7. Билякович О. М. Механізми мастильної дії трансмісійних олив з різним ступенем забрудненості / О.М. Билякович // Вісник Національного транспортного університету. – 2009. – Вип. № 18. – С.193–198.
8. Григорьев М. А., Пономарев Н.Н. Распределение размеров частиц загрязнений в рабочих жидкостях //Автомобильная промышленность. – 1981.– № 9. – с. 23–24.

ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ МЕТОДІВ МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ ПРИДОРОЖНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ

За останнє десятиріччя інтенсивне зростання кількості автотранспортних засобів призвело до перевантаження ними вулично-дорожньої мережі міст України. Це загострило соціально-економічні, санітарно-гігієнічні і технічні проблеми, пов'язані як із здоров'ям людей, так із організацією і безпекою дорожнього руху. Відсутність єдиного комплексного підходу до проблеми розвитку автомобільного транспорту і збереження природного середовища ускладнює прийняття необхідних заходів по її вирішенню.

Розвиток автомобільного транспорту супроводжується двома протиріччями. З одного боку – досягається високий рівень задоволення потреб населення в транспортних засобах, а з іншого боку – збільшується негативний вплив на довкілля. Забруднення відпрацьованими газами автотранспорту атмосферного повітря, водоймищ і ґрунту, транспортний шум і дорожньо-транспортні пригоди приносять великі екологічні, економічні і соціальні збитки [1].

Одним із головних джерел забруднення довкілля є елементи системи «Транспортний потік – дорога», що чинять інгредієнтну та параметричну дію на придорожнє середовище. Сумарний екологічний ефект цієї дії може бути встановлений на основі моніторингу та прогнозування стану екосистем придорожнього середовища та аналізу результатів таких досліджень.

З метою охорони природного середовища, раціонального використання природних ресурсів, підвищення екологічної безпеки життєдіяльності людини в Україні здійснюється екологічна політика, спрямована на збереження безпечного для існування живої і неживої природи навколишнього середовища, захисту життя та здоров'я населення від негативного впливу техногенних факторів, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи [2–4]. На сьогодні існує великий спектр методів моніторингу впливу транспортних потоків на навколишнє середовище, на результатах яких базуються дослідження.

Питанням впливу автомобільних доріг на довкілля в розрізі впливу автотранспорту та дорожнього будівництва присвячені наукові розробки В. Бойчука, Ф. Гончаренка, Ю. Ф. Гутаревич, І. Євгенєва, Д. В. Зеркалов, В. М. Луканіна, В.В. Мержиєвська, Д. Прусенка, В. Скорченка, А. Славуцького, Н. Солєнікова, Ю.В. Трофіменка, Н. Орнатського, Я. Хомяка та ін.

Теоретико-методичні розробки в галузі моніторингу стану атмосферного повітря наведено в публікаціях В.О. Артемчука, А.В. Примака, А.Н. Щербаня, Е.Ю. Безуглої, Д.О. Горелика, Л.А. Конопелько, І.П. Ковальчука, І.П. Ковальчука, А. Михновича, О.І. Рязанцева, І.С. Скарґа-Бандурова, І.П. Каменевої, А.В. Яцишина, О.О. Попова та ін.

Суттєвою проблемою для проведення якісного аналізу впливу транспортних потоків на придорожнє середовище є виключно цифровий результат існуючих методів, для аналізу якого потрібні додаткові розрахунки та подальші порівняння із існуючими нормами. Можливість використання картографії та сучасних

інформаційних технологій дозволить наочно відображати рівень забруднення довкілля автотранспортом, що сприятиме застосуванню необхідних заходів для вирішення даного питання.

Метою роботи є обґрунтування вибору методу моніторингу забруднення придорожного середовища транспортними потоками. Для досягнення поставленої мети вирішувалися низка завдань:

- визначення задач і методів екологічного моніторингу;
- класифікація та аналіз даних моніторингу забруднення придорожного середовища транспортними потоками;
- аналіз геосистемного моніторингу забруднення довкілля;
- визначення та обґрунтування оптимального методу моніторингу забруднення придорожного середовища транспортними потоками з використанням сучасних технічних засобів.

Вирішення екологічних проблем, стратегія екологічної безпеки й стійкого розвитку є глобальною проблемою. Оцінки глобального екологічного стану навколишнього середовища змінюються від оптимістичних (типу «необхідно запобігти екологічній кризі») до помірковано песимістичних (типу «планета знаходиться на передодні кризи») і вкрай песимістичних («на регіональних рівнях мова вже йде про «тверду екологічну кризу»). Вважають, що відповіді на ці питання повинна дати наукова концепція екологічної безпеки на базі екологічного моніторингу навколишнього середовища. Як відомо, екологічний моніторинг – це науково-інформаційна система контролю за станом навколишнього середовища, до якої належить спостереження, збирання і обробка інформації, оцінка і прогнозування стану навколишнього середовища. Він дозволяє виявити критичні та екстремальні ситуації, фактори антропогенного впливу, оцінює і прогнозує стан об'єктів спостереження.

Моніторинг складається з багатьох різноманітних методів спостереження, збору необхідних параметрів-характеристик стану середовища та їх обробки. Усю сукупність цих методів можна поділити на такі основні напрями [5]:

- методи реєстрації та оцінки якості стану середовища (біомоніторинг, дистанційний моніторинг та ін.);
- методи кількісного обліку організмів і методи оцінки біомаси, продуктивності рослин і тварин (біологічний моніторинг);
- вивчення особливостей впливу різних екологічних чинників на життєдіяльність організмів (лабораторні методи дослідження);
- методи математичного моделювання екологічних явищ і процесів, екосистем;
- створення геоінформаційних систем і технологій для розв'язання екологічних проблем;
- комплексний еколого-економічний аналіз стану різних об'єктів;
- геоекологічні і геофізичні методи дослідження;
- технологічні методи дослідження;
- медико-екологічні методи дослідження;
- методи екологічного контролю: екологічна експертиза, екологічний аудит, екологічна паспортизація та ін.

Процес екологічного моніторингу є багаторівневим, першим етапом якого є визначення конкретного об'єкту навколишнього середовища. Наступним кроком процесу екологічного моніторингу є обґрунтування параметрів вимірювання дослідного об'єкту. Методи отримання та передачі інформації визначають способи її обробки на основі яких здійснюється аналіз, прогнозування та прийняття рішень щодо поліпшення стану екосистеми об'єкту.

Отримання даних спостереження та їх обробка тісно пов'язана з системою управління якістю довкілля та екологічною безпекою об'єкта спостереження.

Інформація про стан навколишнього середовища, отримана в системі моніторингу, використовується системою управління для усунення негативної екологічної ситуації або зменшення несприятливих наслідків зміни стану навколишнього середовища, а також для розробки прогнозів соціально-економічного розвитку, розробки програм охорони навколишнього середовища.

Одним з факторів, що негативно впливає на екологічний стан придорожного середовища автошляхів, є техногенне забруднення викидами автомобільного транспорту, обсяги якого з кожним роком збільшуються. Причому вплив викидів транспортних засобів проявляється на відстані 1–2 км від автотраси і поширюється на висоту 300 м і більше [7].

Основну небезпеку щодо забруднення придорожньої зони складають відпрацьовані гази, компонентами яких є оксид вуглецю, вуглеводні, оксиди азоту тощо.

Важливо відстежувати рівень забруднення транспортними потоками уздовж доріг для прийняття необхідних заходів для зменшення розповсюдження забруднення та прогнозування його динаміки.

Виходячи з вищесказаного, очевидно, що особливо актуальним є визначення рівня забруднення придорожного середовища транспортними потоками з високою інтенсивністю руху, що виконується засобами візуального обстеженнями і є дуже трудомістким. Швидкий розвиток інформаційних та комп'ютерних технологій розширює можливості проведення екологічного моніторингу автотранспортних систем. Використання дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), геоінформаційних систем та технологій (ГІС) дозволяє істотно знизити витрати часу. Завдяки застосуванню таких інформаційних ресурсів як електронна картографія, даних космічних зондів та супутників, систем GPS мережі GSM/GPRS проведення екологічного моніторингу стало більш багатогранним та оперативним.

Отримання інформації від об'єктів спостереження може здійснюватися з використанням електронних вимірювальних пристроїв дистанційного спостереження, використовуючи підключення до базової станції або через телеметричні мережі, або через наземні лінії, стільникові телефонні мережі тощо. Використання великої кількості каналів отримання та аналізу інформації однією базовою станцією є перевагою дистанційного спостереження. Це різко підвищує ефективність моніторингу при досягненні порогових рівнів контрольованих показників, наприклад, на окремих ділянках контролю. Такий підхід дозволяє за даними моніторингу розробити результативну програму заходів щодо забезпечення екологічної безпеки об'єкту.

Дані з орбітальних платформ, які отримані з різних частин електромагнітного спектра в поєднанні з наземними даними, формує інформацію для контролю тенденцій прояву довгострокових і короткострокових явищ, природних і антропогенних. Інші області застосування включають управління природними ресурсами, планування використання землі, а також різні галузі наук про Землю.

Супутникові дані дистанційного зондування дозволяють вирішувати низка завдань екологічного моніторингу та контролю, основні типи яких представлено на рис. 1.

Визначення метеорологічних характеристик: вертикальні профілі температури, інтегральні характеристики вологості, характер хмарності, тощо	Контроль динаміки атмосферних фронтів, ураганів, отримання карт великих стихійних лих	Визначення температури підстильної поверхні, оперативний контроль і класифікація забруднень ґрунту і водної поверхні
Виявлення великих або постійних викидів промислових підприємств, автомобільного транспорту	Контроль техногенного впливу на стан лісопаркових зон	Виявлення великих пожег і виділення пожежо-небезпечних зон в лісах
Виявлення теплових аномалій і теплових викидів великих виробництв і ТЕП; реєстрація димних шлейфів від труб тощо	Моніторинг та прогноз сезонних паводків і розливів річок; виявлення і оцінка масштабів зон великих повеней	Контроль динаміки снігових покривів і забруднень сніжного покриву в зонах впливу промислових підприємств

Рис. 1. Завдання, що вирішуються з використанням супутникових даних дистанційного зондування

Для створення ефективної системи моніторингу забруднення придорожного середовища транспортними потоками необхідно сформулювати принципово нові підходи та погляди до проблеми забруднення придорожного середовища транспортними потоками. Вони повинні відповідати сучасному розвитку інформаційних технологій.

Оскільки інформація, що використовується для моніторингу забруднення придорожного середовища має просторово-розподілений характер, то при розробці технологій отримання, збереження, обробки, аналізу і візуалізації актуальних даних доцільно застосовувати геоінформаційні системи і реляційні бази даних.

ГІС є відзеркаленням загальної тенденції прив'язки екологічних даних до просторових об'єктів. Як вважають деякі фахівці, подальша інтеграція ГІС та екологічного моніторингу призведе до створення потужних ЕІС (екологічних інформаційних систем) з щільною просторовою прив'язкою.

Використання ДДЗ та ГІС в системах екологічного моніторингу спроможні оптимізувати та вдосконалити процес спостереження за об'єктами довкілля, забезпечуючи при цьому наочну основу для аналізу та прогнозування змін їх екологічної безпеки.

Отже, ГІС спроможні інтегрувати дані з різних джерел (бази даних, ДЗЗ, дані метеослужби, Інтернет тощо). Крім того, геоінформаційні системи дозволяють створювати карти розподілу інгредієнтних та параметричних забруднень, відслід-

ковувати зміну їх динаміки в залежності від температури, тиску, швидкості вітру, технічних параметрів автотранспорту, його кількості на автомагістралі тощо.

Інструментарій ГІС забезпечує не тільки введення інформації, але й надає можливість розрахунків допоміжних показників, що характеризують динаміку зміни екологічного стану довкілля, а придорожного середовища зокрема, як за окремими точковими об'єктами, так і за потоком в цілому, побудови рейтингових оцінок, що відображають реальний стан довкілля тощо.

На основі геоінформаційних систем та технологій можуть створюватися підсистеми для підтримки задач управління і прийняття рішень, розробці заходів з попередження викидів в атмосферу, а також геоінформаційних модулів, що будуть доступні пересічним громадянам через Інтернет. Концептуальна схема ГІС моніторингу забруднення придорожного середовища повинна складатися з чотирьох основних підсистем (рис. 2):

- підсистема збору і збереження інформації з використанням даних ДЗЗ, статистичних даних та наземних спостережень;
- підсистема управління, обробки та аналізу даних з розрахунком рівня забруднення придорожного середовища та блоком обробки картографічної інформації та створенням реляційної бази даних з оперативними даними;
- підсистема моделювання рівня забруднення придорожного середовища;
- підсистема відображення і виводу інформації з інтеграцією всіх даних та наданням можливості візуалізації забруднень.

У комплексних системах екологічного моніторингу та управління важливою функціональною задачею є створення єдиного інформаційного простору, у якому інформація, отримана з різних джерел, інтегрується на просторовій основі. Для цього необхідно використовувати базові електронні карти місцевості і цифрові моделі рельєфу (ЦМР). Для задачі моніторингу важливою є можливість побудови карт розміщення мереж спостереження, а також потрібно забезпечити отримання, систематизацію та відображення даних моніторингу стану повітря, що надходять від стаціонарних та мобільних постів спостережень. Не менш важливим елементом системи постачання даних сьогодні є актуалізація інформації за даними дистанційного зондування землі.

Усі перераховані операції найефективніше виконують за допомогою геоінформаційних технологій, у яких є інструменти створення тематичних карт. Геоінформаційні системи мають розвинені засоби опрацювання та аналізу вхідних даних з метою подальшої їх реалізації. На етапі збирання даних відбувається накопичення географічної (цифрові карти, зображення) та атрибутивної інформації.

Для обробки екомоніторингових даних використовуються методи обчислювальної та математичної біології (у тому числі і математичне моделювання), а також широкий спектр інформаційних технологій. Географічні інформаційні системи є відзеркаленням загальної тенденції прив'язки екологічних даних до просторових об'єктів.

Як вважають деякі фахівці, подальша інтеграція ДДЗ та ГІС в процес екологічного моніторингу призведе до створення потужних ЕІС (екологічних інформаційних систем) з щільною просторовою прив'язкою.

Система моніторингу та прогнозування забруднення з використанням ГІС



Рис. 2. Концептуальна модель системи моніторингу та прогнозування забруднення придорожного середовища транспортними потоками на з використанням геоінформаційних систем та технологій

На даний час існує досить велика кількість програмного забезпечення, призначеного для створення картографічних Інтернет-ресурсів. Робота з такими програмами вимагає великої кількості висококваліфікованих кадрів та обсягу часу для досягнення мети при вирішенні поставленої задачі.

Таким чином, розглянуті методи екологічного моніторингу мають широкий спектр застосувань у залежності від поставлених цілей. Більш точні методи потребують великих фінансових затрат, такі як космічні методи та методи авіаційного базування. Їх високі ресурсні потреби роблять їх не практичними та фінансово не вигідними. У свою чергу методи, що не потребують великих коштів для реалізації (методи біологічного моніторингу), зовсім не підходять для моніторингу забруднення придорожного середовища транспортними потоками, так як результати дуже відносні та не несуть достатньої точності для якісного аналізу.

Отже, застосування дистанційного зондування та ГІС виявляється найкращим варіантом для моніторингу забруднення придорожного середовища транспортними потоками. Дані ГІС можуть використовуватися для візуалізації на електронних картах інгредієнтного та параметричного забруднення придорожного середовища транспортними потоками з можливістю внесення змін до алгоритму розрахунків та системного аналізу результатів моделювання та прогнозування рівня забруднення.

Література:

1. Лашенко О. Екологічний стан українських міст: [Електронний ресурс] / О. Лашенко, М. Набока. — 2010. — Режим доступу: <http://www.radiosvoboda.org/ontent/article/2081472.html>.
2. Аналіз факторів впливу для моделювання забруднення приземного шару атмосфери від рухомих джерел в м. Чернівці: автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата географічних наук / Олена Юріївна Красовська; Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича / Чернівці: Видавництво Чернівецького національного університету, 2011. — 20 с.
3. Оцінка стану забруднення атмосферного повітря великого міста: (методи аналізу, прогнозу, регулювання): монографія / І. Д. Лосва, О.Г. Владимірова, В.А. Верлан; Міністерство освіти і науки України, Одеський державний екологічний університет. — Одеса: Екологія, 2010. — 220 с.
4. Игнатенко Г. К. Первичная обработка данных экологического мониторинга / Г. К. Игнатенко – Обнинск: ИАТЭ. 2006. – 76с.
5. Клименко М. О. Моніторинг довкілля: підруч. / М. О. Клименко, А. М. Прищепа, Н. М. Вознюк. – К. : Академія, 2006. – 360 с.
6. Гутаревич Ю.Ф. Екологія автомобільного транспорту: Навч. посіб. / Гутаревич Ю.Ф., Зеркалов Д.В., Говорун А. Г., Корпач А. О. // Національна транспортна академія. – К.: Основа, 2002. — 312 с.
7. Луканин В. Н. Снижение экологических нагрузок на окружающую среду при работе автомобильного транспорта / В. Н. Луканин, Ю.В. Трофименко. – М., 1996. – 339 с.

ЗАБРУДНЕННЯ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА ВУГЛЕВОДНЕВИМИ ПАЛИВАМИ В РЕЗУЛЬТАТІ ДІЯЛЬНОСТІ АЕРОПОРТІВ (НА ПРИКЛАДІ АЕРОПОРТУ «БОРИСПІЛЬ»)

Вуглеводневе забруднення геологічного середовища (ГС) території України останніми десятиліттями набуло масштабного характеру. Джерелами даного виду забруднення є низка об'єктів, пов'язаних із видобутком, переробкою, транспортуванням, зберіганням та використанням нафти та нафтопродуктів (далі – НП). Їх втрати на об'єктах-забруднювачах призвели до формування різномасштабних осередків забруднення ГС, загальна кількість яких може вимірюватись щонайменше тисячами. Найбільш масштабні та небезпечні забруднення зафіксовані на об'єктах нафтовидобутку, нафтопереробних заводах, базах зберігання нафтопродуктів, військових аеродромах. Не оминула ця проблема й аеропорти, що підтверджується зафіксованим забрудненням території прирейкового складу паливно-мастильних матеріалів (ПММ) ДП «Міжнародний аеропорт «Бориспіль». Для встановлення дійсних обсягів забруднення території нашої країни необхідним є проведення еколого-геологічного обстеження та впровадження моніторингу на ділянках зафіксованого та потенційного забруднення, що наразі виглядає неможливим без необхідного законодавчого врегулювання.

Нафта та нафтопродукти є складними речовинами-забруднювачами, основними складовими яких є вуглеводні. У більшості випадків забруднення відбувається товарними рідкими НП: бензином, гасом, дизельним, котельним паливами, різноманітними олівами, мазутом, що являють собою вуглеводневі фракції, що їх отримують із нафти. Разом із вуглеводнями в НП присутні з'єднання сірки, азоту, кисню, різноманітні добавки, що покращують їх експлуатаційні властивості.

Надходження в ГС нафтопродуктів відбувається в результаті систематичних та аварійних проливів, пов'язаних із недосконалістю та зношеністю технологічного обладнання, а в деяких випадках – у результаті навмисних виливів. У результаті втрат НП потрапляють на земну поверхню, в подальшому інфільтруючись у ГС, а при втратах із заглиблених об'єктів – безпосередньо у відклади зони аерації (ЗА). Міграція техногенних втрат НП у геологічному середовищі та характер формування осередку забруднення визначаються фізико-хімічними властивостями втрачених НП, зокрема, щільністю, в'язкістю, температурою кипіння, розчинністю у воді та геолого-гідрогологічними умовами ділянки забруднення: пористістю та проникністю відкладів, їх вологістю, глибиною залягання рівня ґрунтових вод (РГВ), літологічним складом та сорбційними властивостями відкладів тощо.

Головною відмінністю нафтопродуктів як забруднювачів геологічного середовища є рідкий фазовий стан. Він обумовлює спільну властивість НП –

рідинну рухомість (текучість): високу у найменш в'язких товарних НП (особливо у бензинів) і низьку у найбільш в'язких (мазут). Рідкі НП здебільшого мають щільність меншу за 1 г/см^3 (легкі НП), що є визначальним фактором при формуванні осередку забруднення у вигляді лінз НП, що накопичуються над РГВ. Останній виступає рідинним бар'єром для просування легких НП у геологічному середовищі.

Лінзи є найпоширенішою формою техногенних скупчень НП у геологічному середовищі. Вони є серцевиною та найбільш небезпечною частиною осередку забруднення. Лінза являє собою стратифіковану за умовами НП знаходження систему, має змішану насиченість порового простору НП та водою, характеризується наявністю мобільних НП, що знаходяться у відкладах під тиском більшим за атмосферний, при якому відбувається їх горизонтальне розтікання та надходження у свердловину.

Лінзи фіксуються на більшості значних об'єктів-забруднювачів. Їх площа в окремих випадках досягає десятків гектарів, а потужність (товщина) – декількох метрів. Лінза може бути утворена із суміші декількох нафтопродуктів, відрізняючись по площі за вуглеводневим складом. Лінза здатна змішуватись в напрямку зниження поверхні ґрунтових вод та вертикально при коливанні РГВ. Рідкі НП можуть надходити у водозабірні споруди, розвантажуватись у поверхневі водойми та водотоки, надходити у підвали будівель і виходити на земну поверхню. Крім того, лінза є джерелом вторинного забруднення ГС, найнебезпечнішими серед яких є забруднення ґрунтових вод розчиненими та емульгованими вуглеводнями та надходження вуглеводневих випаровувань у повітря ЗА.

Дослідження осередку забруднення прирейкового складу ПММ ДП «Міжнародний аеропорт «Бориспіль» виконано з метою встановлення сучасного стану забруднення, закономірностей формування, впливу на довкілля та ефективності існуючої системи локалізації лінзи нафтопродуктів.

Для вирішення поставлених задач виконано буріння та облаштування мережі моніторингових свердловин, відбір зразків відкладів ЗА та насиченої зони, ґрунтових вод, хімічні аналізи відібраних зразків, проведено моніторинг рівневого режиму ґрунтового водоносного горизонту та лінзи нафтопродуктів.

Прирейковий склад ПММ побудований у 1975 р. для прийому, зберігання і забезпечення паливом аеропорту. Склад розташований на північно-західній околиці м. Бориспіль, на відстані близько 1 км від житлової зони та 7 км від аеропорту.

Забруднення ГС на території складу було виявлено в 1997–98 рр. дослідженнями «Укрбудопрозвідування». Встановлена площа поширення лінзи нафтопродуктів складала 4,4 га з епіцентром забруднення в районі нафтоналивної естакади і насосної станції. Потужність рідких НП досягала 1,2–1,6 м, глибина залягання – 2,5–3,0 м. За орієнтовними оцінками, загальний об'єм рідких НП у ГС становив 1725 м^3 . Рідкі НП представлені маслянистою рідиною світло-коричневого кольору, за складом відповідають авіаційному газу типу ТС-1. У 1999 р. «Укрбудопрозвідування» спільно з ТОВ «Еко-плюс» виконали проектні роботи із вилучення і очищення підземних вод, забруднених нафтопродуктами, і застереження їх поширення за межі складу ПММ. У період 1999–2012 рр.

здійснено будівництво системи дренажних (ліквідаційних) свердловин, обладнано систему відкачування і очищення води, яка із деякими перервами функціонує до теперішнього часу. У результаті експлуатації системи очищення вилучено більше 30 тис. м³ забрудненої води та 336 м³ нафтопродуктів.

Незважаючи на виконані роботи із вилучення забруднення, осередок нафтопродуктового забруднення продовжує існувати. Проведеними моніторинговими дослідженнями протягом 2011–12 рр. підтверджено наявність шару рідких НП у більшості ліквідаційних свердловин.

Лінза займає значну частину площі складу ПММ (рис. 1). Вона охоплює ділянку резервуарного парку, зливно-наливної естакади та поширюється в південному напрямку, що відповідає зниженню поверхні ґрунтових вод. Станом на листопад 2012 р. площа лінзи оцінювалась близько 6,6 га. Порівняно із даними «Укрбурозвідування» (1998 р.), збільшення площі лінзи спостерігається в її північній частині, що може бути пов'язано як із недоліками попередніх досліджень (відсутністю моніторингу), так і з більш пізнім формуванням забруднення. Також зафіксовано просування фронту забруднення у південному напрямку, що призвело до поширення лінзи за межі складу.

Верхня частина геологічного розрізу території досліджень складена сучасними елювіальними утвореннями (eIV) – ґрунтово-рослинним шаром потужністю до 1,1 м. Нижче залягає товща верхньочетвертинних еолово-делювіальних відкладів (vdIII), представлених лесовидними макропористими супісками. Ґрунтовий водоносний горизонт, до поверхні якого приурочено формування лінзи, вміщується у верхньочетвертинних алювіальних супіщано-суглинистих відкладах (aIII), що простежуються в інтервалах глибин 2,5–6 м. Нижче за розрізом залягають водонасичені алювіальні відклади (aII) третьої надзапальної тераси річки Дніпро, представлені дрібнозернистими, рідше пілуватими пісками розкритою потужністю до 5,9 м.

Глибини залягання поверхні лінзи НП за замірами в моніторингових свердловинах протягом 2011–12 рр. становили 2,5–4,6 м, потужність лінзи – від кількох сантиметрів до 1,1 м. Нижня межа поширення лінзи максимально досягала глибини 5 м. Максимальну потужність та інтенсивність відновлення шару НП після желонування свердловин зафіксовано у районі зливно-наливної естакади та насосної станції (св. № 4). На даній ділянці сконцентровано більшість діючих ліквідаційних свердловин, із яких в автоматичному режимі виконується відкачка рідких НП та ґрунтових вод. Вірогідно, зазначені об'єкти є головними джерелами втрат НП, які, досить ймовірно, можуть продовжуватися в теперішній час. Джерелами надходження нафтопродуктів до ГС також виступали надземні резервуари та трубопроводи (св. №№ 8, 9, 15), ділянка наливу палива в автоцистерни (св. № 15), про що свідчить конфігурація лінзи.



Рис. 1. Карта забруднення складу ПММ нафтопродуктами (станом на листопад 2012 р.)
 1 – моніторингова свердловина, праворуч: у чисельнику – номер, у знаменнику – потужність шару рідких НП, ліворуч: у чисельнику – глибина рівня НП, в знаменнику – глибина РГВ (* – станом на серпень 2012 р.); 2 – ліквідаційна свердловина,
 3 – контур поширення лінзи НП.

Забруднення відкладів НП практично від земної поверхні (з глибини 0,3–0,5 м) зафіксовано в районі вище зазначених джерел забруднення, що підтверджує втрати НП на ділянках їх розташування. Максимальна глибина забруднення відкладів, що досягає 6 м, спостерігається на ділянках втрат НП. На площі розтікання лінзи зафіксована потужність рідких НП становить 0,1–0,6 м, а потужність забруднених відкладів – 1,5–2 м. Загальний вміст НП у відкладах за результатами лабораторних вимірів досягає 1,5–3,1 г/кг.

У процесі моніторингу зафіксовано поширення лінзи в південно-східному напрямку (св. 7м), що відповідає місцевому напрямку руху ґрунтових вод.

Вміст розчинених НП у ґрунтових водах визначався у зразку води, відібраній із св. 7 м, розташованої за межами складу, до появи в ній шару рідких НП. Він становив 2,76 мг/дм³, що свідчить про поширення забруднення в розчиненій формі у напрямку міської забудови.

Аналіз результатів обстеження ділянки забруднення свідчить, що багаторічні заходи із вилучення забруднення дозволили лише у деякій мірі локалізувати лінзу. Досить обмежений ефект відновлювальних заходів обумовлено об'єктивними причинами. Вертикальні ліквідаційні свердло-вини були розміщені на вільній від технологічних споруд та комунікацій площі, та, як наслідок, охоплюють лише частину лінзи. Враховуючи, що лінза сформована у відносно слабкопроникних супіщано-суглиннистих відкладах, радіуси впливу ліквідаційних свердловин досить обмежені (орієнтовно вони не перевищують 20 м), а ефективність вилучення НП –

незначна. Вірогідні постійні втрати НП, як наслідок недосконалого технічного стану підземних трубопроводів.

Для досягнення позитивного результату необхідно виключити можливість подальших втрат НП та вдосконалити систему ліквідаційних заходів ґрунтуючись на отриманих результатах та шляхом проведення додаткових досліджень. Зокрема, необхідно уточнити гідродинамічну обстановку площі поширення лінзи, дійсні межі різного типу нафтопродуктового забруднення (рідкими, емульгованими, розчиненими нафтопродуктами, забруднених ґрунтів), встановити асимілятивну здатність ГС.

На прикладі прирейкового складу ПММ аеропорту «Бориспіль» показано ймовірність формування масштабного забруднення геологічного середовища вуглеводневими релівами на об'єктах аеропорту.

Серцевиною осередку вуглеводневого забруднення на ділянці складу ПММ аеропорту «Бориспіль» є лінза рідких НП, що сформувалась внаслідок втрат авіаційного палива ТС-1. Забруднення несе загрозу як для навколишнього середовища, так і для функціонування складу ПММ. Проведення окремих видів ліквідаційних робіт – у даному випадку ліквідаційних відкачок як найбільш доступно виду – не дає необхідних позитивних результатів. Багаторічні відкачки дозволили лише частково локалізувати лінзу рідких НП. Потенційними напрямками вдосконалення існуючої системи ліквідації забруднення є:

- розширення мережі вертикальних ліквідаційних свердловин на вільній від забудови і комунікацій площі;
- облаштування горизонтальних ліквідаційних свердловин з метою охоплення недоступних для вертикального буріння ділянок лінзи;
- облаштування системи горизонтального дренажу на південній межі лінзи з метою недопущення її подальшого розповсюдження;
- застосування методів стимулюючих віддачу НП (вентиляція ненасиченої зони, подача гарячого повітря);
- застосування біологічних методів ліквідації (біодеградація, біовентиляція, біослярпінг).

З метою якнайшвидшого виявлення осередків забруднення на території аеропортів та мінімізації їх негативного впливу на довкілля необхідно впровадження еколого-геологічних обстежень та моніторингу об'єктів, що є потенційними джерелами вуглеводневого забруднення.

Пушак А. П., Пушак В. А.,
ТОВ «ПАЛТЕХ», Україна
Топільницький П. І., Романчук В. В.,
НУ «Львівська політехніка», Україна

ВИКОРИСТАННЯ ПРИСАДОК ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВ НА ОСНОВІ ЗРІДЖЕНИХ ГАЗІВ

В останні десятиріччя все більша кількість автомобілів працює на зрідженому газі. За оцінками експертів, у світі більше мільярда автомобілів [1]. З них близько

п'ятнадцяти мільйонів в 2010 р. використовували зріджений газ і протягом останнього десятиліття їх кількість зростає на 12–15% на рік.

У 2013 р. в Україні було реалізовано 900 000 т зрідженого газу (LPG). Високі октанові числа, екологічність, достатня кількість заправок, низька ціна роблять зріджені гази суттєвим конкурентом традиційному бензину. Однак, при використанні даного палива в зимовий період можливе виділення кристалів льоду і забивання фільтрів, корозія обладнання деталей двигуна, прогорання клапанних сідел. LPG, потрапляючи в камеру згорання в газоподібному стані, горить з більш високою температурою ніж бензин, що є додатковим навантаженням для клапанів і клапанних сідел. Більш висока температура горіння газу часто призводить до пошкодження випускних клапанів, а саме до ситуації, відомої як «прогорання клапанних сідел». Клапани і клапанні сідла схильні до корозії й ерозії при використанні LPG, що проявляється втрапою потужності, збільшенням витрати палива до 10% і шкідливих викидів, а тим більше, при роботі на українському газі, який виробляється згідно ДСТУ 4047-2001. Цей газ, що частково продається на українських АЗС, перестав влаштовувати компанії, що найбільш динамічно розвиваються та пропонують різний асортимент палива високої якості.

Беручи до уваги, що українські НПЗ і ГПЗ не можуть перейти на виробництво якісного автомобільного газу найближчим часом, компанії бачать вихід з ситуації, що склалась, – покращувати доступний на ринку скраплений газ за рахунок застосування присадок, що дозволяє знизити його негативний вплив на роботу двигуна і навколишнє середовище.

Компанія «Палтех» співпрацює з Промисловим інститутом моторизації (Польща) та іншими світовими компаніями в напрямку випробування та впровадження присадок для зрідженого пропан-бутану. Даною компанією було випробувано багатofункціональний пакет присадок CORIMSOL, розроблений для захисту від утворення нагару і підтримання в чистоті випускних клапанів двигуна автомобіля. В її склад входять (z)-N-метил-N(оксі-9-октадеценіл)гліцин, поліетилен, поліпропілен, ізопропанол, толілотриазол, бензотриазол і розчинник – метанол. Не зважаючи на значну різницю в питомій вазі присадки та LPG, CORIMSOL при запропонованій концентрації в LPG не відділяється як окрема рідка фаза або осад, до температури мінус 50°C. Різниця в питомій вазі не має значення, оскільки складові присадки CORIMSOL розчиняються в LPG, створюючи дійсний (справжній) розчин (не емульсією). Додавання присадки CORIMSOL в кількості 250 ppm значно підвищило міочі, змашувальні, протизношувальні властивості палива, збільшило потужність двигуна на 2,2%, викиди CO та NO₂ зменшились на 10% кожен, CO₂ – на 2%.

Інша присадка від компанії «ПАЛТЕХ» – AQUAGASOL, в склад якої входять поверхнево-активні речовини в розчинниках (метанолі й 2-пропанолі), чинить миочу дію на випускні клапани і паливну апаратуру двигуна, зберігає воду у високодисперсному стані, понижує максимальну температуру згорання палива і зменшує вміст шкідливих речовин у вихлопних газах. Поглинаюча вода добавка до LPG, що збільшує здатність розчинення води в паливі; запобігає й повністю видаляє каламутність палива, викликану присутністю частинок води.

Дана присадка особливо рекомендується для зрідженого газу, що відповідає вимогам ДСТУ 4047-2001 з вмістом рідкого залишку до 1,6%. Присадку вводять

в кількості 250–1000 ppm в зріджений газ. При цьому розчинність води в зрідженому газі зростає на 100 ppm, що дозволяє використовувати газ за температур нижчих мінус 25°C.

При застосуванні даних присадок властивості LPG не змінюються під час технологічних операцій (підігріву, перекачування, зберігання тощо). CORIMSOL і AQUAGASOL обмежують або повністю усувають корозію металевих елементів резервуарів і всієї технологічної апаратури, що має контакт з LPG.

Zakhmatov V. D.,

Institute of Telecommunications of National Academy Science of Ukraine, Ukraine

Sverdin S.S., Sherback N.V.,

Firm «Safety Systems»

TECHNOLOGY OF PULSE, LARGE SCALE PULVERIZATION OF THE SORBETS FOR FAST AND EFFECTIVE CLEANING OF OIL SPILL ON THE WATER SURFACE OF SEA, RIVER, LAKE

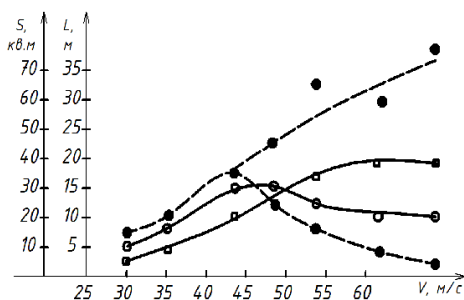
Modern environmental science and environmental practice has established the following main areas: 1) Prevention of accidental pollution of the environment – ecosystems, 2) Forecast of development of the effects of accidental contamination of ecosystems, 3) Elimination of these contaminants and their effects. As a general rule, in case of accidental oil spill, the last stage is realized on the stage of development of large-scale accidents with more environmental damage. The reason is that there is no technology that can quickly and efficiently locate and eliminate the oil fillings. Currently used for this purpose booms in conjunction with ships, skimmers, as well as a universal remedy – spraying granular sorbents for oil film filling. Improvement of the latest technology is more promising for the rapid elimination of oil spill after the minimum time after the emergency filling.

Known spray equipment – pneumatic and mechanical (1, 3, 4) is not able to provide low-density spray relatively large size, porous pellets at a distance more than 3 m and large territories. Adsorbents spraying from a helicopter in a stream from a helicopter rotor blade was used in the Gulf of Mexico – shows the lowest sighting, blow in the wind up to 90% of the adsorbent and its non-uniform oil slick. Modernization of this technique is not promising, given that even a slight increase in radius and scale spraying is associated with a multiple increase in size, weight, cost and technical complexity of the spray equipment (4). Required range spraying at least 20m from the boundary of an oil film on the basis of the need to reduce turbulence in the oil film on the water jet propellers of the ship, which makes effective work of biosorbents. The most promising in terms of universal spraying various compositions are pulsed powder spray system.

In 2008 Sevastopol Emergency Forces conducted field-range testing of module for pulsed spray the biosorbent. Test object: 9-barrels module "Impulse- 10L" (carriage design), pulse-pulverize the biosorbent's granules "Ekolan". Direct gas blow-wave – pre wave of powder gases burned completely destroys bacteria pellets or from 50 to 80% from total weight of biosorbent granules, depending on the size of the spray powder charge. Proposed and tested new equipment the barrel and propellant charge, allowing to obtain – "cold" throwing gas wave, but with a sufficiently powerful projectile impact.

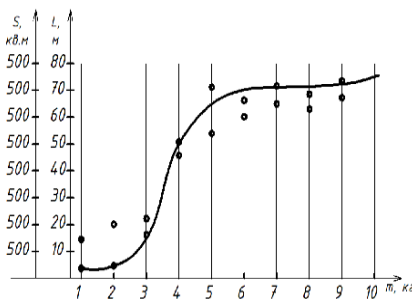
This was achieved not only in the traditional way, the introduction of flame retardant additives in charge – paraffin, but also a new wad of water-filled foam.

Held spray selection of the optimal value of the charge by a series of single shots from a single barrel. Constant weight was sprayed biosorbent –1,5 kg, fill the barrel’s channel over 600 mm. Magnitude range and area spray, as well as quality – complete localization and neutralization of the film on the oil spill area spraying determined visually and video materials. Fig.1 shows a graph of the values obtained by the basic parameters of the spray and functional impact – range and area – from the values of the charge and the spray from the initial (barrel’s cut) velocity. If released from the barrel, formed uniform, gas-dispersed, swirly, local fragment (continuum) with a gas phase as the powerful carrier. Through out the flight path is a uniform aerodynamic destruction of the continuum with the concomitant effect of blow of whirly’s front, ensure biosorbent’s granules penetrating over a significant area of oil spreads-slicks. Continuum "slides" on the surface of the oil film, leaving a uniform, continuous coating granules biosorbent teardrop-shaped area that is expanding into a path from the muzzle. This provides good deposition of the biosorbent’s pellets (granules) contact with the oil film and accordingly, an effective absorption of oil the pores of these grains.



Pic. 1. Dependence of range-L of spraying sorbent pellets and its effective covering area-S from the value of the spray charge – m .

Change in the spray charge yielded values change depending on the area and spray distance. Their analysis showed express a range of optimal values of the respective charge and spray the initial velocity spray that gives the best and stable values of the area and the impact of the effective range (Pict.1). The initial velocity values spray to the specified range of optimal values there is a steady increase in the magnitude range of the spray area and uniform coating respectively cleaning (localization and neutralization) of oil film. After reaching a maximum value of the range of optimal values of the effect begins to manifest differences quantities distances and areas spraying and effective functional impact. This difference increases with further increase in the initial rate of spraying.

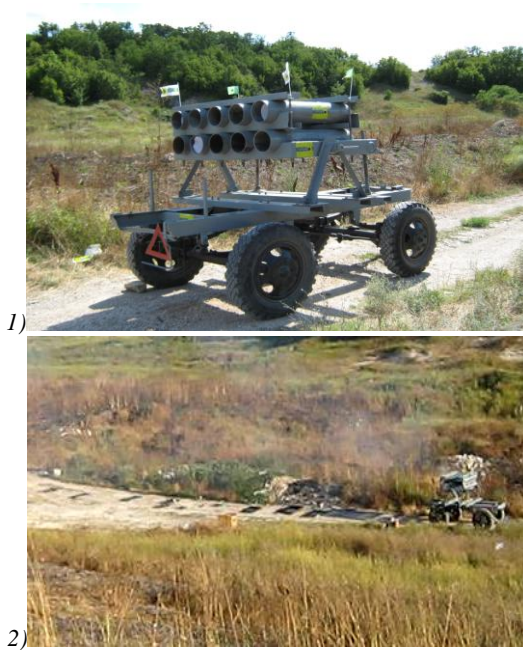


Pic. 2. Dependence distance L and the area-S from of the number of charge on barrels-N, participating in a volley.

During burst spraying are synergies and merging with optimal interaction of the individual components of the vortices trunks. The effects of vortex total rose by 1,5–2,5 times compared with the arithmetic sum of the squares of these influences individual elements constituting the total whirly. Increased range of functional whirly to 53 m (in 4,5 times more compared to the spray-shot from single barrel) and the amount of area uniform spray biosorbent to 450 sq.m with a volley of 5barrels, staggered. This is 2,3 times more than the sum of effective covering area of sequential sputtering of 5-barrels.

Obtained high values of functional parameters allow confidently offer process and equipment multicore module pulsed spray biosorbents for practical use in the version of multibarrels modules mounted on the upper deck of ships, such as high-speed rescue boats or large harbor tugs maneuver. Achieved effective range of spray allows ships "shoot" on to oil spill and oil not entering the zone filling, as after passing any ship or vessel, especially a high-speed, on the oil film is difficult to eliminate it. Scale allows effective spraying small amount of ships (2–4 in the harbor and the surrounding area of the coast) quickly and reliably eliminate various oil filling up to scale. To protect a certain area of the sea coast, located between the ports is advisable to equip these units, a minimum of 2–3 auxiliary vessels at each port – tugs, fire-rescue cutters and ships.

Specific averaged cost of modern technologies: the elimination of the oil slick from single sq.m of the sea surface is not less than 40 evro/sq.m collecting oil from the sandy beach is no less 100 evro/sq.m. Collecting oil from the rocky shore stands up 400 evro/sq.m. The new technology reduces the unit cost of the elimination of the oil film on the water to 4,3 euro / sq.m, the liquidation in 20 times bottling up and set-up time to 50 times. The difference in the timing and cost of work due to the fact that new technology is almost completely eliminating the most time-consuming and dangerous operations: passing rescue ship on the film and manual oil spill spreading bio-sorbents from a ship, collect the adsorbent saturated with oil from the water surface to its placement ship to shore transportation, unloading and disposal on shore. Besides the elimination of these hazardous operations allows approximately an order to reduce the residence time of the ship and sailors in the danger zone toxic oil spill.



Pic. 3. 1 – 10-barrels module of pulse, long-range, large scale pulverization of sorbents for cleaning oil-spreads at water and buy, ground; 2 – Target situation of reservoirs with water, covered oil-film



Pic. 4. Volley with 5 barrels, pulverized 12,5 kg biosorbents to range up 55 m, wide of uniform cover 2–10 m along the trajectory and area of uniform cover to 450 m²



Pict. 5. Pulse pulverization of 2,5 kg bio-sorbet out of single barrel to range 15 m, wide uniform cover 1–3,5m² along trajectory of pulverization and area of uniform cover is 35–45m²

Tertyshnaya O. V., Roienko K. V., Kalinichenko O. O., Snizhko L. O.,
Ukrainian State University of Chemical Technology, Ukraine

ESTIMATION OF OIL MIXTURE COMPONENTS COMPATIBILITY BY OSCILLATOR METHODOLOGY

Oil refineries are often forced to work with the oil mixtures due to the shortage of raw material. Oil compound fluctuations cause serious “perturbations” of the settings technological mode and lead to a decrease of desired fractions outcome and quality.

The methodology for analyzing of boiling intensity oscillators (BI) was used for calculation the BI potential at the core of true boiling point (TBP) of crude oils in order to obtain the best compositions.

In this work, the method of oscillators was applied for creation the most effective mixture from East-Ukrainian (ГОСТ 9965) and Azerbaijani («Azeri Light») oils, as well as prediction the possibility of creating a threefold oil mixture with Kazakhstani («Tengiz») oil.

Potential content of oil fractions were determined by TBP curve (ГОСТ 11011-85 "Oil and oil products. Method for determination of the fractional composition in a machine AVR-2"). Fractional composition of oil was determined according to ГОСТ 2177 (ISO 3405-88) AVR-LAB-2 «Oil products. Methods of fractional composition determining»; oil viscosity was determined according to ГОСТ 33-2000 “Oil products. Transparent and opaque liquids”. Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity»; congealation point is determined according to ГОСТ 20287 «Oil products. Methods for fluidity and chilling point determination»; density is determined according to ГОСТ 3900 «Oil and oil products. Methods of density determination».

Dependence of the w of rectified product G and temperature t was represented as a function of $G = f(t)$. Its continuity allowed the differentiation.

The intensity of oil fractions boiling was expressed by the second derivative of w fractions outcome temperature d^2G/dr^2 . Graphical dependence of this derivative versus temperature is an oscillator or boiling intensity (BI). Oscillators, unlike TBP curves, characterize the behavior of the raw material during its evaporation more detailed. The positive values of BI indicate an accelerating of the boiling in a case when the temperature rises, vice versa, the negative one indicates slowdown of the process. The maximum outcome of the selected fraction is provided by the choice of the correct part – intensifier, which reduces the intensity of this fraction boiling, increasing its outcome. The value of $\varphi(BI)$ – potential of boiling intensity – was calculated such as a ratio of the BI positive integral value to the BI negative one:

$$\varphi(BI) = \left(\frac{\int_{T_1}^{T_2} BI(t) \text{ when } BI(t) > 0}{\int_{T_1}^{T_2} BI(t) \text{ when } BI(t) < 0} \right) \quad (1)$$

The value of each integral was calculated graphically by Microcal Origin software. The order of crude oil mixing was determined according to the BI numerical value. The basic oil with greatest value of the BI potential was added by the oil with a lower capacity (supplementary oil). The quantitative ratio of basic and supplementary flows, allowing getting specified fraction, was determined according to the required characteristics of the fraction.

East Ukrainian and Azerbaijani TBP curves are shown in Fig. 1.

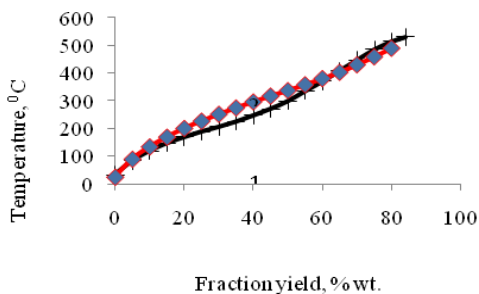


Fig. 1. TBP of East-Ukrainian (1) and Azerbaijani (2) crude oil

According to Figure 1, BI oscillators are designed and built with a step of 5% by weight (Figure 2).

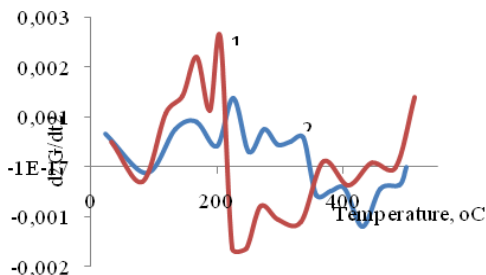


Fig. 2. Oscillators of East-Ukrainian (1) and Azerbaijani (2) crude oil.

It is seen that East-Ukrainian oil has negative BI values in the temperature range of 300–500°C, while the Azerbaijani oil has positive values at the same temperature range.

Values BI calculated by the equation (1) for the basic component and component-intensifier quantity determination were applied to the oil fraction boiled in the temperature range of 300–500°C (Table 1).

Table 1

BI values for the fraction boiled in the temperature range 300–500°C

BI value	East-Ukrainian oil	Azerbaijani oil
Integral BI > 0	$9,96 \cdot 10^{-3}$	$22,61 \cdot 10^{-3}$
Integral BI < 0	$65,74 \cdot 10^{-3}$	$84,91 \cdot 10^{-3}$
$\varphi(\text{BI})$	0,15	0,27

Interpretation of obtained data (Table 1) suggests that the Azerbaijani oil with a higher BI is the basic component, so the East-Ukrainian oil (intensifier) must be added to it. The amount of East-Ukrainian oil G_a was calculated by the equation:

$$G_a = G_b \frac{x_b}{x_a} \left(\frac{1 - \frac{\rho_n \vartheta_n T_{fm}}{\rho_b \vartheta_b T_{fb}}}{\frac{\rho_b \vartheta_{nb} T_{fb}}{\rho_a \vartheta_{ba} T_{fa}} - 1} \right) \quad (2)$$

where G_b is the flow rate of the basic component, kg/h; x_b and x_a are weight portions of basic and additional components correspondently; ρ_n , ρ_b , ρ_a are standardized densities of the required oil fraction, basic and additional components correspondently (kg/m^3); v_n , v_b , v_a are standardized viscosity of the required oil fraction, basic and additional components correspondently (m^2/s); T_{fm} , T_{fb} , T_{fa} are standardized pour points of the required oil fraction, basic and additional components correspondently (K).

Experimental data (Table 2) were obtained for the oil mixture of East Ukrainian (61,4% wt.) and Azerbaijani (38,6% wt.) crude oils as well as some characteristics of the fraction boiled in the temperature range of 300–500°C.

Table 2.

Characteristics of components and oil mixture N1

Characteristics	Components		Oil mixture №1
	East-Ukrainian oil	Azerbaijani oil	
Components content, % wt	61,4	38,6	100
ρ^{20} , kg/m ³	0,8606	0,8615	0,8610
Yield of the fraction 300–500°C, % wt.	10,5	13,5	11,12
v^{100} for fraction of 300–500°C, mm ² /s	3,388	4,065	3,95
Pour point of the fraction of 300–500°C, K:	255	267	255

Substituting data from the Table 2 into the equation (2) allows to calculate the theoretical composition of the mixture N1 and get values of the components: Azerbaijani oil – 38,7 and East-Ukrainian oil – 61,3% wt. This almost corresponds to the experimentally accepted values.

The resulting coincidence demonstrates the validity of the used methodology. It also suggests the possibility of applying BI potential values such as the defining parameter of the raw materials mixing order.

The third component (Kazakhstani oil) was added to the mixture N1 to improve its properties. Fig. 3 shows the TBP of the mixture N1 and Kazakhstani oil.

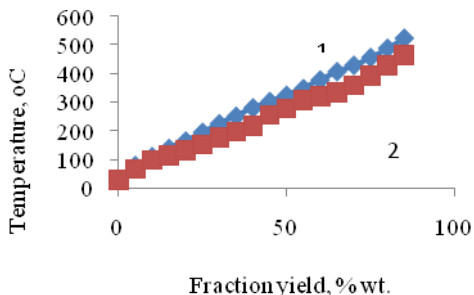


Fig. 3. TBP of the mixture N1 (1) and Kazakhstani oil (2)

BI oscillators were calculated with a step of 5% by weight and represented on the Fig. 4.

Preliminary analysis of the resulting oscillator shows that the boiling intensity values in 300–350°C temperature interval are negative in both cases. BI positive values of the mixture №1 are compensated by moderate negative values of the Kazakhstani oil in the 350–400°C temperature range. If the temperature is higher than 400°C, BI values of the both components change their signs. It should have a positive impact on the boiling intensity and quantitative output of the corresponding fraction.

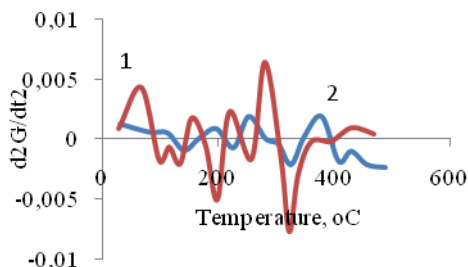


Fig. 4. Oscillators of oil mixture N1 (1) and Kazakhstani (2) oil

Basic component and the component-intensifier were found by the equation (1). Results of the calculation applying to the oil fraction in the 300–500°C temperature range are presented in Table 3.

Table 3

Integral BI and BI potential for 300–500°C fraction

BI value	Oil mixture N1	Kazakhstani oil
Integral BI > 0	$16,79 \cdot 10^{-3}$	$254,27 \cdot 10^{-3}$
Integral BI < 0	$44,94 \cdot 10^{-3}$	$186,61 \cdot 10^{-3}$
$\varphi(\text{BI})$	0,19	0,73

It is seen that the higher value of $\varphi(\text{BI})$ for Kazakhstani oil (0,73) makes this oil basic, whereas oil mixture N1 ($\varphi(\text{BI})=0,19$) serves as an intensifier. To check these calculated results, the arbitrary mixture, consisting of oil mixture N1 and Kazakhstani oil in the ratio of 87, 52:12, 48 %wt. (mixture N2) was investigated. Experimental data are shown in Table 4.

Table 4

Characteristics of components and oil mixture №2

Characteristics	Components mixture		Oil mixture №2	
	Mixture №1	Kazakhstan i oil	Calculate d results	Experiment al data
Oil components in a mixture, % wt.	87,52	12,48	100	100
ρ^{20} , kg/M ³	0,8610	0,8570	0,8598	0,8601
Oil fracture yield, % wt.	11,12	9,0	-	11,3
v^{100} for fraction of 300-500°C C, mm ² /s	3,95	3,74	3,90	3,91
Pour point of the fraction of 300-500°C, K	255	257	255	255

TBP characteristics obtained for the oil mixture N2 (Figure 5), is linear that indicates the alignment of boiling intensity throughout the studied temperature range.

Projected yield of the oil fraction in the 350–420°C temperature range exceed 11% whereas the experimental one was 11,3%. That is 4% higher than the additive sum of the corresponding fractions.

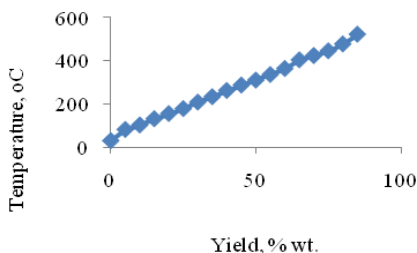


Fig. 5. TBP of the threefold mixture № 2

Шевченко О. Б., Алексеев В. С., Каменска В. М.,
ДВНЗ «Український державний хіміко-технологічний університет», Україна

ВПЛИВ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОГО КОМПОНЕНТУ НА ВЛАСТИВОСТІ СУМІШЕВОГО ДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА

Виявлено, що кристалізація і застигання біодизеля за низьких температур є причиною недостатнього надходження палива у двигун і викликає проблеми в його роботі. оскільки затверділі частинки забивають паливні лінії і фільтри, головним чином через великий вміст в складних ефірах жирних кислот (ЕЖК) насичених компонентів. В останні роки досліджено кілька підходів до вирішення проблеми низькотемпературних властивостей біодизеля (ЕЖК), включаючи компаундування із звичайними дизельними паливами, фракціонування, додавання присадок, використання розгалужених складних ефірів і об'ємних замісників в ланцюзі. Практично біодизель частіше використовують не в чистому вигляді, а в як різні суміші з нафтовими дизельними паливами.

Нами досліджено вплив ЕЖК, одержаних з різних олій і жирів, на температури застигання, помутніння та граничну температуру фільтрованості (ГТФ) сумішевих дизельних палив. В гідроочищених дизельних паливах ЕЖК до визначених концентрацій покращують низькотемпературні показники, а при подальшому збільшенні їх вмісту погіршують їх. У прямогонних дизельних паливах вплив ЕЖК протилежний.

Як варіант нами розглянута паливна композиція, що вміщує дизельне паливо, ЕЖК та розчинник (НТК). Як розчинник взяли відходи нафтохімічного виробництва, що добре змішуються з паливами та мають низьку температуру застигання. Фракційний склад НТК аналогічний фракційному складу дизельного палива.

У межах концентрацій розчинника в сумішевому дизельному паливі від 0 до 30% залежність температур застигання, помутніння, ГТФ, а також кінематична в'язкість, густина, кислотність практично лінійна.

При концентрації розчинника 30% у суміші ГТФ складає мінус 8 °С, що відповідає вимогам до літнього дизельного палива.

Додавання суміші розчинника з ЕЖК (в співвідношенні 30:70) в концентрації 10–20% в гідроочищене дизельне паливо не погіршує його низькотемпературних властивостей і практично не впливає на температуру спалаху, метанове число та інші факультативні показники. Вартість розчинника така, що не збільшує собівартість сумішевого дизельного палива в порівнянні з паливом, що не вміщує розчинник.

Лешинська А. Л., Безовська М. С., Зеленько Ю. В.,
Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені
академіка В. Лазаряна, Україна

СУЧАСНІ РОЗРОБКИ У СФЕРІ УТИЛІЗАЦІЇ МАСТИЛЬНО-ОХОЛОДЖУЮЧИХ РІДИН

Необхідною умовою розвитку виробництва на сучасному етапі є створення і освоєння високоефективних технологій, до яких висуваються вимоги щодо ресурсо-та енергозбереження, а також екологічної безпеки.

Інтенсифікація процесів механічної обробки металів, впровадження високопродуктивного обладнання, автоматизованих процесів, широке застосування конструкційних матеріалів призводять до того, що обробка металів різанням стає неможливою без застосування ефективних мастильно-охолоджувальних рідин (МОР).

МОР являють собою водну емульсію мінеральної оливи, стабілізовану ПАР і різними органічними добавками, призначеними для запобігання передчасного старіння емульсії. У процесі використання МОР втрачає свої технологічні властивості і потребує заміни свіжою. Відпрацьована МОР відноситься до 3 класу небезпеки, ГДК одного з основних компонентів МОР-мінеральної оливи – у воді водних об'єктів господарсько-питного та культурно-побутового водокористування становить 5 мг/м³, ЛД 50 = 7000 мг/кг [1].

У процесі використання МОР схильні до забруднення:

- найдрібнішими механічними частинками (домішками), що виділяються з окисленого шару металу, шламом після травлення і продуктами зносу металу при травленні та холодній прокатці;
- вільними (неемульгованих) оливами, що виділяються з емульсії у результаті розшарування;
- оливами, що потрапляють у емульсійну систему в результаті вито-ків з механічних і гідравлічних вузлів металообробного обладнання та ін.

Одночасно відбувається термічна деструкція органічних складових МОР, так як у місця контакту різального інструменту і оброблюваної деталі локальна температура може досягати 450–500°С.

Відпрацьована МОР (емульсія) являє собою особливий вид стічних вод, дуже небезпечних для навколишнього середовища, так як містить велику кількість стійко емульгованих нафтопродуктів. У зв'язку з цим необхідне проведення комплексу заходів щодо нейтралізації відпрацьованої МОР.

Відпрацьована МОР підлягає обов'язковому знешкодженню від найбільш токсичних компонентів. Існуючі на сьогоднішній день методи знешкодження емульсій типу МОР-вмісних стоків можна розділити на три основні групи: термічні, фізико-хімічні, біологічні.

Жодна із зазначених груп окремо не може забезпечити сучасні вимоги щодо якості води, що очищується і кількості відходів, що утворюються. Застосування традиційних хімічних та фізико-хімічних методів призводить до вторинного забруднення навколишнього середовища за рахунок утворення різних відходів. Більшість способів утилізації відпрацьованих МОР-вмісних стоків або економічно неефективні, або екологічно неприйнятні. Тому проблема знешкодження МОР залишається актуальною.

Не менш актуальною є задача розробки таких заходів з очищення МОР, які дозволяли б при мінімальних витратах здійснювати очищення МОР та інших технологічних рідин до такого стану, що дає змогу використовувати їх повторно.

Авторами проводилися дослідження у сфері знешкодження та утилізації відпрацьованих МОР, зокрема «Емульсолу СВК», що використовуються на підприємствах залізничної інфраструктури, з використанням різних типів поверхнево-активних речовин (ПАР). Для інтенсифікації процесу випадіння осаду була досліджена можливість застосування такого кислого агента, як алкілбензолсульфофосфат (АБСК). У результаті досліджень найкращий результат дало поєднання неонулу АФ 9–12 та АБСК.

У результаті проведених досліджень була розроблена загальна реагентна схема утилізації відпрацьованої водорозчинної емульсії «Емульсол СВК», за якою відпрацьована МОР збирається у спеціальній ємкості-усереднювачі, з якої перекачується до змішувача. У змішувачі МОР нагрівається до необхідної температури, далі зі спеціальних ємкостей додаються у необхідній кількості реагенти: АБСК і неонол. Після перемішування маса відстоюється, відбувається розділення її на шари. Оливнонафтопродукти, що вспили, перекачують до спеціального резервуару для зберігання, осад, що випав, відводиться у ємкість-шламонакопичувач, а недоочищена вода потрапляє по трубопроводу до адсорберу для доочищення. Згодом очищену воду перекачують до резервуару.

Використання запропонованої технології забезпечує наступні показники: ступінь очищення – 71,4%, вихід очищеної води – 95,3%, вихід оливнонафтопродуктів – 1,7%.

Вилучені оливнонафтопродукти, як товарна продукція можуть бути реалізовані різним нафтопереробним підприємствам, підприємствам, що виробляють залізобетонні конструкції, асфальт. Очищена вода може бути використана у промисловому обороті для внутрішнього споживання чи для приготування нової МОР, а при додержанні санітарних вимог може бути скинута у каналізаційну мережу підприємства чи навіть у водойми. Воду після регенерації адсорбенту можна використовувати для обмивки рухомого складу залізниці.

Дана технологія може бути застосована у металообробних цехах залізничних підприємств, а також підприємств машинобудівної, металургійної та інших галузей де у комплексі стічних вод утворюються МОР-вмісні стоки. Одним з найперспективніших прикладів використання даної технології утилізації відпрацьованої МОР є її впровадження на локальних очисних станціях

локомотивних та вагонних депо, а також на комплексних утилізаційних станціях залізниці.

Таким чином, запропонована технологія забезпечує подвійний ефект: екологічний ефект (за рахунок мінімізації кількості відходів, що відносяться до III класу небезпеки, та раціонального використання водних ресурсів) та економічний ефект (за рахунок повторного використання води в оборотній системі водопостачання та оливнофтопродуктів).

Сабан І. І., Гринишин О. Б.,
НУ «Львівська політехніка», Україна

ВУГЛЕВОДНЕВІ МАСТИЛЬНІ РІДИНИ ДЛЯ ФОРМУВАННЯ СКЛОВИРОБІВ

Скляна тара знаходить широке застосування у різних галузях промисловості і побуту, має широкий асортимент, нетоксична, екологічно безпечна, придатна до багаторазового використання. Виготовляють склотару на спеціальних формувальних машинах у прес-формах. Для зменшення інтенсивності взаємодії металевої форми зі скломасою і попередження прилипання скла до металу важливим є використання мастильних рідин, які б зменшували інтенсивність дифузійних процесів на поверхні контакту скляної маси з формою, покращували ковзання скла в формі, захищали форму від окиснення і агресивної дії скломаси, полегшували вихід готового виробу з форми, сприяли забезпеченню необхідної продуктивності склоформуючих машин. Однак універсальні мастильні рідини для процесів формування виробів зі скла практично відсутні.

Сьогодні українські склотарні заводи використовують мастильні рідини власного виробництва, що не володіють необхідними технологічними властивостями, але є дешеві та прості у приготуванні. Окремі виробники імпортують з-за кордону дорогі мастила. Тому розробка вітчизняної високоефективної мастильної рідини є досить актуальною.

Мастильні матеріали поділяються на три групи: вуглеводневі, силіконові та водні. Вуглеводневі в свою чергу бувають на оливні та графітові. Найширше використання у композицій на основі графітових матеріалів, однак вони мають низку недоліків, зокрема спостерігається осадження графіту в процесі зберігання мастила, а також в комунікаційних лініях, що утруднює подачу мастила, мають низький коефіцієнт тертя, високу теплостійкість за робочої температури, є достатньо дорогими.

Нами запропоновано використовувати багатокомпонентну мастильну рідину, що б у своєму складі не містила графітові матеріали. До складу такого мастила входять: оливна основа, що б мала хороші змащуючі властивості, низьку газотвірну здатність за робочих температур, не утворювала відкладів при випаровуванні; розбавлювач, який є регулятором колоїдної структури, сприяє зниженню в'язкості оливи, регулюванню дозування подачі мастила (гасові фракції); та загущувач, використовується полімерна добавка, яка сприяє утворенню щільної розділяючо-захисної плівки між прес-формою і гарячою скломасою, а також спеціальні добавки.

Нами виконано дослідження оливної основи, що була б дешевою, доступною та відповідала технологічним вимогам. Встановлено, що авіаційна олива МС-20 та базова залишкова олива, одержана на ПАТ «Укртатнафта», можуть бути використані як основа при виготовленні мастильних рідин, для змачення преформ у процесах виготовлення скловиробів. Перевагою базової оливи є нижча собівартість, оскільки вона не є товарним продуктом. На сьогодні продовжується розробка складу мастильної рідини.

Гринишин О. Б., Абд Ал-Амері М. Ш.,
НУ «Львівська політехніка», Україна

СКЛАД, ВЛАСТИВОСТІ І НАПРЯМИ ПЕРЕРОБКИ ВАЖКИХ ВИСОКОСІРЧИСТИХ НАФТ

Протягом останніх десятиліть і в наш час більшість нафтопереробних заводів світу переробляють традиційні легкі нафти, запаси яких постійно зменшуються. З іншого боку, розвідані величезні запаси важкої (нетрадиційної) нафти, що зараз майже не розробляються. Тому найближчим часом нафтопереробна промисловість буде змушена переходити на переробку нетрадиційних низькоякісних нафт, одним з представників яких є важкі високосірчисті нафти. Родовища важких високосірчистих нафт з низьким вмістом світлих фракцій знаходяться в багатьох країнах світу (в Канаді, Мексиці, Іраку, Росії тощо). Українським аналогом нафт даного типу є орховицька нафта, яка видобувається в невеликих кількостях на території Західної України і переробляється за спрощеною схемою.

Наша наукова робота є комплексним дослідженням важкої високосірчистої високосмолистої орховицької нафти, що включає вивчення основних властивостей нафти і виділених з неї фракцій з метою одержання товарних нафтопродуктів. Під час виконання роботи вперше детально вивчена характеристика важкої високосірчистої орховицької нафти, одержаних з неї дистильованих фракцій і залишку, та встановлено, що вміст сірки в орховицькій нафті в 15–30 разів, а вміст асфальтенів в 20–40 разів перевищує вміст сірки і асфальтенів в інших українських нафтах, що видобуваються в районі Прикарпаття та Дніпровсько-Донецької впадини. Показано, що на відміну від інших українських нафт, із збільшенням температур кипіння бензинових фракцій орховицької нафти вміст вуглецю в парафінових структурах підвищується. Встановлено, що в сірковмісних сполуках бензинових фракцій орховицької нафти переважає меркаптанова сірка, в дизельних фракціях – сульфідна сірка, а в оливних фракціях основна частина сірки входить до складу циклічних сполук.

Встановлено, що метод сумісного окиснення залишку орховицької нафти та 11–13% мас. важкої смоли піролізу за температури 250°C, об'ємній швидкості подачі повітря 2,5 год⁻¹ протягом 6 год дає можливість отримати дорожній бітум марки БНД 60/90 згідно ДСТУ 4044-2001. Крім цього, бітум БНД 60/90 можна отримати модифікацією вакуумного залишку орховицької нафти полімерними латексами Butonal NS 104 або Butonal NS 198 в кількості 2–3% мас. за температури 180°C протягом 2–6 год.

У кінцевому результаті нами запропоновано варіанти переробки важкої високо сірчистої орховицької нафти на міні-НПЗ та нафтопереробному заводі високої продуктивності. Здійснено розрахунок матеріальних балансів технологічних установок заводу й зведеного матеріального балансу переробки нафти на НПЗ Розроблений варіант переробки в подальшому може бути використаний не тільки для орховицької нафти, але й для подібних нафт інших родовищ.

**Гринишин О. Б., Братичак М. М., Фридер І. В.,
Хлібишин Ю. Я., Нагурський А. О.,
НУ «Львівська політехніка», Україна**

ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ТА ПОБІЧНИХ ПРОДУКТІВ НАФТОПЕРЕРОБКИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІТУМІВ

Одним з основних чинників, які впливають на якість нафтових бітумів, є характеристика сировини. Невідповідність групового складу нафтових залишків, високий вміст парафінів часто стають причиною низької якості бітумів або взагалі унеможливають їхнє одержання. Особливо гостро постає проблема виробництва дорожніх бітумів на українських нафтопереробних заводах, оскільки на них здебільшого переробляють малосмолисті парафіністи нафти. Одним з варіантів одержання бітумів з залишків переробки парафіністичних нафт є модифікування їх побічними продуктами та відходами нафтопереробки (важкою смолою піролізу, елементною сіркою, високосірчистим залишком переробки орховицької нафти, кислим гудроном, екстрактом селективного очищення).

Використання важкої смоли піролізу підвищує ступінь «ароматичності» сировини і збільшує інтенсивність окиснення. Бітуми, одержані з використанням важкої смоли піролізу, характеризуються більшою твердістю, вищою тугоплаккістю, а також непоганими пластичними властивостями порівняно з бітумами на основі лише парафіністого гудрону.

Додавання до сировини нейтралізованого кислого гудрону дає змогу збільшити температуру розм'якшення та зменшити penetрацію окисненого бітуму. Важливим є те, що застосування нейтралізованого кислого гудрону в процесі сумісного окиснення з вихідною сировиною дає змогу кваліфіковано утилізувати кислий гудрон, що є багатотоннажним відходом нафтопереробки.

Введення високосірчистого залишку в парафіністий гудрон з подальшим окисненням цієї суміші дає змогу максимально підвищити розтяжність, а також підвищити температуру розм'якшення та знизити penetрацію бітуму.

Дослідженнями встановлено, що кожен із вивчених модифікаторів має вузьке спрямування і покращує тільки деякі властивості бітумів. Тому вони не можуть забезпечити одночасно весь комплекс властивостей, необхідний для одержання дорожніх бітумів. Одночасне використання декількох модифікаторів повинно забезпечити покращення основних властивостей бітуму і дасть змогу одержати дорожній бітум.

Розроблені основи технології одержання товарного дорожнього бітуму на основі залишків переробки парафіністичних нафт, високосірчистих залишків і темної

нафтополімерної смоли. Встановлено, що при введенні в гудрон, одержаний з українських парафіністих нафт, 20% мас. високосірчистого залишку та 5% мас. темної нафтополімерної смоли із подальшим окисненням суміші упродовж 6 год за 250°C об'ємною швидкістю подачі повітря 2,5 хв⁻¹ дає змогу отримати дорожній бітум марки БНД 60/90 за ДСТУ 4044-2001. Створена принципова технологічна схема установки одержання бітумів на основі залишку переробки парафіністих нафт, розрахований матеріальний баланс та складена технологічна карта процесу.

Приходько А. В.,
ТзОВ «Infineum GB», Україна
Топільницький П. І, Романчук В. В.,
НУ «Львівськаполітехніка», м. Львів

ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ ПРИСАДКАМИ КОМПАНІЇ INFINEUM

Вимоги до якості дизельних палив, що використовуються в Україні, з кожним роком підвищуються. Низка показників фракційний склад, вміст сірки, вміст фактичних смол можна покращити зміною технологічного режиму при виробництві. Інші показники – температура застигання, змащуючі властивості, цетанове число покращити зміною технології виробництва дуже складно і дорого, а іноді неможливо.

Було досліджено дизельну фракцію, одержану з суміші газового конденсату та нафти. Фракційний склад досліджуваного зразка наступний:

п.к. – 177°C; $t_{50\%}$ – 234°C; $t_{90\%}$ – 342°C; к.к. – 381°C;

гранична температура фільтрованості – мінус 4°C;

густина – 827 кг/м³; цетанове число – 48,5; цетановий індекс – 47,6;

діаметр плями зношування 485 мкм.

Сумарний вміст n-алканів 18,5% мас., при цьому основну кількість парафінів складають C₁₀–C₁₈.

При дослідженнях встановлювали можливість зниження граничної температури фільтрованості, покращення змащуючих властивостей і підвищення цетанового індексу. Для цього було використано депресорну присадку InfineumR206, диспергатори InfineumR738, R756, змащуючі присадки R650, R645, цетанопідвищуюча присадка ZenteumZR 668.

Депресор і диспергатор використовували в кількостях 100, 200, 300, 400 та 500 ppm. Додавання депресора R206 і диспергатора R 738 вже при концентрації 200 ppm знижують граничну температуру фільтрованості до мінус 18–19°C. Найкращі результати було одержано при додаванні 200 ppm депресора R 206 і 150 ppm диспергатора R 756 – мінус 20°C. При збільшенні концентрації присадок вище 200 ppm в даній дизельній фракції зниження граничної температури фільтрованості не відбувалось.

Діаметр плями зношування для досліджуваного дизельного палива становить 485 мкм, що на 25 мкм більше, ніж норма цього показника згідно EN 590 для дизельних палив.

Для покращення змашуючих властивостей додавали присадку InfineumR 650 в концентрації 25–200 ppm. Вже при додаванні 25 ppm присадки діаметр плями зношування стає меншим 400 мкм, однак враховуючи похибку методу ± 60 мкм необхідно, щоб діаметр плями зношування був меншим на 60 мкм. Для досягнення величини плями зношування 400 мкм необхідно додавати 150–170 ppm присадки InfineumR 650.

Згідно Всесвітньої Хартії для 2-ої категорії ринків дизельний індекс складає 50, а цетанове число 53. Досліджуване дизельне паливо має значно меншцетанове число та цетановий індекс, тому досліджували вплив цетанопідвищуючої присадки ZenteumZR 668 на ці показники та знаходили необхідну концентрацію присадки для одержання цетанового індексу 50. Встановлено залежність цетанового індексу від кількості доданої присадки і знайдено, що в даному випадку достатньо 600–1100 ppm присадки для досягнення цетанового індексу 50, при цьому цетанове число буде становити 53.

Пиш'єв С. В., Гриценко Ю. Б., Коваль Т. М.,
Національний університет «Львівська політехніка», Україна

ПОКРАЩЕННЯ АДГЕЗІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ НАФТОВИХ БІТУМІВ

Нафтові бітуми, що виготовляються в даний час на українських нафтопереробних заводах часто володіють низькими адгезійними властивостями. Це обумовлює інтенсивне відшарування бітумної плівки від поверхні мінерального матеріалу під дією води, температурних перепадів та механічних навантажень, що призводить до руйнування дорожнього покриття. Для покращення експлуатаційних властивостей, у тому числі адгезійних, бітумів їх модифікують полімерами.

На сьогодні в Україні частка використання у дорожньому будівництві модифікованого бітуму складає лише 1–5%. Однією з головних причин такого низького показника є надзвичайно висока вартість модифікаторів, що, в основному, є імпортними продуктами. Тому актуальним є впровадження вітчизняних аналогів для модифікування в'язучого. Однією з таких речовин може бути інден-кумаронова смола (ІКС).

Для одержання бітумів модифікованих полімерами (БМП) використовувався нафтовий дорожній бітум БНД 60/90, відібраний на Львівській асфальтно-бітумній базі. ІКС була одержана у ДП «Український державний науково-дослідний вузьколінійний інститут (УХІН)». Для порівняння використовували промисловий адгезійний модифікатор Kraton D 1192. БМП готували у наступній послідовності: відбирали необхідну кількість бітуму, розігрівали його до фіксованої температури після цього додавали необхідну кількість модифікатора і вмикали перемішування ($R_e = 1200$). Модифікацію проводили протягом 1 год. Кількість полімеру визначали експериментально, виходячи з необхідності одержання БМП з температурою розм'якшення близько 52–54°C (згідно ДСТУ Б В.2.7-135:2007 для бітумів, модифікованих полімерами, марки БМП 60/90-52 вона повинна бути не менше 52°C).

Після одержання БМП, встановлювали характеристики отриманих сумішей відповідно до вимог ДСТУ Б В.2.7-135:2007, що подані в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики БМП

БМП	Температура розм'якшення за кільцем і кулею, °C	Розтяжність (дуктильність), $m \cdot 10^{-2}$ (см)	Зчеплення зі склом, %
БНД 60/90 + 5 % ІКС	52	25	100
БНД 60/90 + 1,5 % Kraton D 1192	53	33	91
Норма для БМП марки 60/90	≥ 52	≥ 25	75

Як видно з табл. 1 зразок на основі ІКС, як і зразок на основі промислового додатку, відповідає вимогам вищевказаного нормативного документу до адгезійних властивостей та дуктильності і володіє високими адгезійними властивостями, що забезпечує міцний зв'язок в'яжучого з мінеральним матеріалом.

Базуючись на власних спостереженнях та літературних даних, встановлено, що адгезія бітумів може різко зменшуватися при від'ємних температурах, іншими словами у зимовий період, морозостійкість дорожніх покриттів, їх твердість та однорідність можуть різко погіршуватися.

Нами було розроблено відносно просту методику, що дозволяє одержати відтворювальні результати, що характеризують залежність адгезійних властивостей БМП від температури довкілля. Суть даної методики полягає у визначенні адгезійних властивостей бітумів методом зчеплення зі склом (ДСТУ Б В.2.7-81-98) після ряду циклів заморожування розморожування. Заморожування проводили за мінус 15°C, розморожування за 25°C протягом 12 год.

Результати досліджень за цією методикою наведені у табл. 2

Як видно з табл. 2, БМП, одержані на основі ІКС, мають високі низькотемпературні адгезійні властивості, що свідчить про надзвичайно високу морозостійкість бітумних таких покриттів. Промисловий адгезійний модифікатор, порівняно з ІКС, характеризується слабкою морозостійкістю. Тому можна стверджувати, що використання ІКС для одержання БМП є виправданим, одержані зразки відповідають вимогам нормативних документів та можуть застосовуватися у дорожньому будівництві.

Таблиця 2

Зчеплення зі склом при заморожуванні-розморожуванні зразків

БМП	Вихідне зчеплення зі склом, %	Зчеплення зі склом після одного циклу, %	Зчеплення зі склом після чотирьох циклів, %	Зчеплення зі склом після чотирьох циклів і чотирьох днів витримки за мінус 15°C, %
БНД 60/90 + 5% ІКС	100	100	100	100
БНД 60/90 + 1,5% Kraton D 1192	91	48	45	4

АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ВІДХОДІВ РЕГЕНЕРАЦІЇ МОТОРНИХ ОЛИВ БІОЛОГІЧНИМ МЕТОДОМ

У проблемі охорони навколишнього середовища велике значення надається питанню ефективного використання природних ресурсів та відходів промисловості. Зростання потреби використання природних ресурсів призводить до утворення значної кількості відходів, що викидаються у навколишнє середовище. Великі масштаби виробництва і розвиток міст викликають необхідність раціонального, наукового обґрунтування регулювання взаємодії людини і природи. Економна витрата природних ресурсів потребує нових методів їх перероблення, а також впровадження безвідходних технологій та комплексного використання всіх викидів виробництва, що дозволить різко зменшити забруднення навколишнього середовища.

У процесі регенерації відпрацьованих олив, використовуючи адсорбційний метод, застосовують природні сорбенти. У результаті утворюються побічні відходи, а саме відпрацьований сорбент. Враховуючи те, що у відпрацьованій глини, яка поглинула смоли та асфальтени, збільшується пластичність, її використовують як сировину для приготування керамзиту. Отримуємо продукт з більшою механічною міцністю. Внаслідок цього підвищується кристалізація сирової маси в процесі обпалу. Застосування використаної глини у виробництві керамзиту забезпечить економію трудових та матеріальних затрат на будівництві, а також зменшить собівартість всієї основної продукції.

Відпрацьовану глину контактної очистки олив і штучні органічно-мінеральні композиції рекомендується вводити в склад шихт у вигляді суспензій в кількості 1,2–2,5% в перерахунку на суху масу. Часто заводи керамзитового гравію працюють на суглинистій сировині, що має слабку здатність набухати (коефіцієнт набухання 1,8–2) в короткому інтервалі температур 1160–1180°C, що утруднює процес обпалення та одержання керамзиту, що відповідає вимогам стандарту. Як добавки, що активізують набухання суглинків, використовують відпрацьовані глини контактної очистки олив.

Шлами, що утворюються при регенерації олив, можуть бути використані для виробництва дорожніх бітумів.

Відпрацьовані сорбенти процесу Meinken знайшли застосування, головним чином, для цементної промисловості. Використовують його в печах, які працюють на твердому паливі. Існують методи регенерації відпрацьованих сорбентів, що базуються на екстракції різними розчинниками або промивання їх розчинами кислот. Модернізація передбачає переведення сорбенту у водну суспензію з подальшою гомогенізацією, екстракцію органічним розчинником в автоклаві, окиснення після видалення розчинника з метою доведення остаточного вмісту кислот до необхідного значення.

Біологічні методи знешкодження промислових і твердих побутових відходів дедалі ширше застосовуються в нашій країні й особливо за кордоном. Ці методи ґрунтуються на здатності різних штамів мікроорганізмів у процесі життєдіяльнос-

ті розкласти чи засвоювати у своїй біомасі багато органічних забруднювачів. Біологічне очищення базується на здатності мікроорганізмів розкласти різні сполуки, які забруднюють навколишнє середовище. Розклад відбувається завдяки дії ферментів, які продукуються мікроорганізмами.

Біологічне очищення найчастіше використовують для нейтралізації органічних токсикантів і важких металів, а також азотних і фосфорних сполук у ґрунтах. Біологічні методи можна умовно поділити на мікробіодеградацію забруднювачів, біопоглинання і перерозподіл токсикантів.

Мікробіодеградація – це деструкція органічних речовин певними культурами мікрофлори, внесеними у ґрунт або воду. Процес біорозкладання відбувається з помітною швидкістю за оптимальних температури й вологості. Мікробіодеградацію можна використовувати в усіх випадках, де природний мікробіоценоз зберіг життєздатність і видове розмаїття. Хоч процес іде вкрай повільно, його ефективність висока.

Біопоглинання – це здатність деяких рослин і найпростіших організмів прискорювати біодеградацію органічних речовин чи акумулювати забруднення в клітинах.

Очищення забруднених нафтою та нафтопродуктами екосистем є однією із найбільш актуальних екологічних проблем сьогодення. У природних умовах у цих процесах вирішальну роль відіграють вуглеводнеокиснювальні мікроорганізми. Розкладання нафтових вуглеводнів мікроорганізмами, що постійно присутні у ґрунті та воді, відбувається дуже повільно. Цей процес досліджено такими науковцями, як Коронеллі в 1994 р., Калюжним в 2001 р., Новосьоловим в 2004 р. Для прискорення біологічної деструкції вуглеводнів широко використовуються мікробіологічні методи, що полягають у внесенні в забруднене середовище виділених з природних еконіш активних штамів вуглеводнеокиснювальних мікроорганізмів або створених на їх основі препаратів. Часто їх використання є єдиною можливістю збереження екологічної чистоти навколишнього середовища без порушення природних біоценозів. Із зменшенням концентрації вуглеводнів у ґрунті та воді відбувається активізація місцевого мікробіоценозу, інтенсифікується метаболізм забруднених ґрунтів і водойм, що забезпечує повне відновлення рівноваги екосистем, що існувала до забруднення.

Серед мікроорганізмів, що виявляються в забруднених нафтою природних середовищах, широко представлені актинобактерії родів *Rhodococcus* і *Gordonia* та бактерії роду *Acinetobacter*. Активне засвоєння цими мікроорганізмами різних класів вуглеводнів пояснюється унікальністю їх структурної та метаболічної організації, зокрема здатністю до змін гідрофобно-гідрофільного балансу клітинної поверхні та синтезу поверхнево-активних речовин, що може супроводжуватися появою нових фізіологічних властивостей. Дані літератури свідчать про те, що асоціації мікроорганізмів здатні більш повно і швидко розкласти вуглеводневі субстрати порівняно з індивідуальними штамми, а іммобілізація клітин на сорбентах сприяє збільшенню ефективності та скороченню строків очищення. Ефективність таких препаратів у значній мірі залежить від властивостей використаного сорбенту, що повинен не тільки утримувати на своїй поверхні максимальну кількість бактеріальних клітин, але й

адсорбувати забруднювач, створюючи мікроосередки його деструкції мікроорганізмами.

Залежність рівня гідрофобності клітин від фази розвитку культур встановлена і іншими авторами (Bredholt et al., 2002), що досліджували особливості росту бактерій роду *Rhodococcus* на середовища з вуглеводнями. Відомо, що одним з основних механізмів адаптації мікроорганізмів до засвоєння гідрофобних субстратів, зокрема вуглеводнів нафти, є їх здатність до синтезу біоПАР з емульгувальними властивостями (Christofi, Ivshina, 2005; Ron, Rosenberg, 2001). Тому визначення індексу емульгування (E24) часто використовують як нескладний тест для первинної оцінки здатності культур до утворення біоПАР. Встановлено, що при засвоєнні гексадекану у *Rhodococcus erythropolis* IMB B-7012 і *Gordonia rubropertinctus* IMB Ac-5005 впродовж фази активного росту емульгувальна активність культуральної рідини збільшується до 48–51%, а суспензії клітин – до 51,0–54,0%. Дуже низькі значення E24 у супернатанту культуральної рідини (4,0–5,0 %) цих штамів свідчать про те, що синтезовані ними біоПАР як і у переважної більшості видів актинобактерій асоційовані з клітинами.

Метою даної роботи є регенерація відпрацьованого сорбенту біологічним методом, що утворюється внаслідок очищення відпрацьованих моторних олиф адсорбційним методом. Необхідно встановити найбільш ефективніші види штамів, дослідити їх біологічні властивості, механізмів адаптації до засвоєння цих гідрофобних субстратів та можливості використання мікроорганізмів для очищення доквілля від відходів нафтопереробки.

Об'єктом дослідження є відпрацьований сорбент (бентоніт Іршавського родовища Закарпатської області). Згідно технологічного процесу, для адсорбції 1 т відпрацьованої оливи використовують 100 кг бентоніту, відповідно утворюється 100 кг відпрацьованого сорбенту із вмістом вуглеводнів біля 30%.

Згідно проведеного літературного аналізу штами будуть вибиратися у залежності від продукування мікроорганізмів в середовищі, що спричиняють його забруднення.

Кількість залишкових вуглеводнів визначали методом інфрачервоної спектроскопії.

Станом на сьогодні, біологічні методи очищення від нафтозабруднень використовують досить рідко, оскільки для біорозкладу нафтопродуктів під дією штучно культивованої мікробіологічної культури необхідні тривалі час і підвищення температури, але з екологічної точки зору це найбільш ефективніший та безпечний метод утилізації.

Топільницький П. І, Романчук В. В.,
НУ «Львівська політехніка», Україна

ЗАСТОСУВАННЯ ПРИСАДОК ДЛЯ ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЬНИХ ПАЛИВ

Вимоги до якості дизельних палив, які використовуються в Україні, з кожним роком підвищуються. Низка показників фракційний склад, вміст сірки, вміст фактичних смол можна покращити зміною технологічного режиму при

виробництві. Інші показники – температура застигання, змащуючі властивості, цетанове число покращити зміною технології виробництва дуже складно і дорого, а іноді неможливо.

Було досліджено дизельну фракцію, одержану з суміші газового конденсату та нафти. Фракційний склад досліджуваного зразка наступний:

п.к. – 177 °С,

$t_{50\%}$ – 234 °С,

$t_{90\%}$ – 342 °С,

к.к. – 381 °С,

гранична температура фільтрованості – мінус 4 °С,

густина – 827 кг/м³;

цетанове число – 48,5,

цетановий індекс – 47,6,

діаметр плями зношування 485 мкм.

Сумарний вміст н-алканів 18,5% мас., при цьому основну кількість парафінів складають С₁₀–С₁₈.

При дослідженнях встановлювали можливість зниження граничної температури фільтрованості, покращення змащуючих властивостей і підвищенняцетанового індексу. Для цього було використано депресорну присадку InfineumR206, диспергатори InfineumR738, R756, змащуючі присадки R650, R645, цетанопідвищуюча присадка ZenteumZR 668.

Депресор і диспергатор використовували в кількостях 100, 200, 300, 400 та 500 ppm. Додавання депресора R206 і диспергатора R 738 вже при концентрації 200 ppm знижують граничну температуру фільтрованості до мінус 18–19 °С. Найкращі результати було одержано при додаванні 200 ppm депресора R 206 і 150 ppm диспергатора R 756 – мінус 20 °С. При збільшенні концентрації присадок вище 200 ppm в даній дизельній фракції зниження граничної температури фільтрованості не відбувалось.

Діаметр плями зношування для досліджуваного дизельного палива становить 485 мкм, що на 25 мкм більше, ніж норма цього показника згідно EN 590 для дизельних палив.

Для покращення змащуючих властивостей додавали присадку InfineumR 650 в концентрації 25–200 ppm. Вже при додаванні 25 ppm присадки діаметр плями зношування стає меншим 400 мкм, однак враховуючи похибку методу ±60 мкм необхідно, щоб діаметр плями зношування був меншим на 60 мкм. Для досягнення величини плями зношування 400 мкм необхідно додавати 150–170 ppm присадки InfineumR 650.

Згідно Всесвітньої Хартії для 2-ої категорії ринків дизельний індекс складає 50, а цетанове число 53. Досліджуване дизельне паливо має значно менше цетанове число та цетановий індекс, тому досліджували вплив цетанопідвищуючої присадки ZenteumZR 668 на ці показники та знаходили необхідну концентрацію присадки для одержання цетанового індексу 50. Встановлено залежність цетанового індексу від кількості доданої присадки і знайдено, що в даному випадку достатньо 600–1100 ppm присадки для досягнення цетанового індексу 50, при цьому цетанове число буде становити 53.

Топільницький П. І., Романчук В. В.,
НУ «Львівська політехніка», Україна
Бойченко С. В.
Національний авіаційний університет, Україна
Пушак А. П., Пушак В. А.,
ТОВ «Палтех», Україна

ПОКРАЩЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПАЛИВ НА ОСНОВІ ЗРІДЖЕНИХ ГАЗІВ

В останні десятиріччя все більша кількість автомобілів працює на зрідженому газі. За оцінками експертів, у світі більше млрд. автомобілів [1]. З них близько 15 млн в 2010 р. використовували зріджений газ і протягом останнього десятиліття їх кількість зростає на 12–15% на рік.

У 2013 р. в Україні було реалізовано 900 000 т зрідженого газу (LPG). Високі октанові числа, екологічність, достатня кількість заправок, низька ціна роблять зріджені гази суттєвим конкурентом традиційному бензину [2, 3]. Однак, при використанні даного палива в зимовий період можливе виділення кристалів льоду й забивання фільтрів, корозія обладнання деталей двигуна, прогорання клапанних сідел. LPG, потрапляючи в камеру згоряння в газоподібному стані, горить з більш високою температурою ніж бензин, що є додатковим навантаженням для клапанів і клапанних сідел. Більш висока температура горіння газу часто призводить до пошкодження випускних клапанів, а саме до ситуації, відомої як «прогорання клапанних сідел». Клапани і клапанні сідла схильні до корозії і ерозії при використанні LPG, що проявляється втратою потужності, збільшенням витрати палива до 10% і шкідливих викидів, а тим більше, при роботі на українському газі, що продукується згідно ДСТУ 4047-2001 [4,5]. Цей газ, що частково продається на українських АЗС, перестав влаштовувати компанії, які найбільш динамічно розвиваються та пропонують різний асортимент палива високої якості.

Беручи до уваги, що українські НПЗ і ГПЗ не можуть перейти на виробництво якісного автомобільного газу найближчим часом, компанії бачать вихід з ситуації, що склалась, – покращувати доступний на ринку скраплений газ за рахунок застосування присадок, що дозволяє знизити його негативний вплив на роботу двигуна і навколишнє середовище [6].

Компанія «Палтех» співпрацює з Промисловим інститутом моторизації (Польща) та іншими світовими компаніями в напрямку випробування та впровадження присадок для зрідженого пропан-бутану. Даною компанією було випробувано багатофункціональний пакет присадок CORIMSOL, розроблений для захисту від утворення нагару і підтримання в чистоті впускних клапанів двигуна автомобіля. В її склад входить (z)-N-метил-N(оксі-9-октадеценіл)гліцин, поліетилен, поліпропілен, ізопропанол, толілотриазол, бензотриазол і розчинник – метанол. Не зважаючи на значну різницю в питомій вазі присадки та LPG, CORIMSOL при запропонованій концентрації в LPG не відділяється як окрема рідка фаза або осад, до температури -50 °С. Різниця в питомій вазі не має значення, оскільки складові присадки CORIMSOL розчиняються в LPG, створюючи дійсний (справжній) розчин (не емульсією). Додавання присадки CORIMSOL в кількості

250 ppm значно підвищило миючі,змашувальні, протизношувальні властивості палива, збільшилопотужність двигуна на 2,2 %, викиди CO та NO₂зменшились на 10 % кожен, CO₂ – на 2%.

Інша присадка від компанії «ПАЛТЕХ» – AQUAGASOL, в склад якої входять поверхнево-активні речовини в розчинниках (метанолі і 2-пропанолі), чинить миючу дію на впускні клапани і паливну апаратуру двигуна, зберігає воду у високодисперсному стані, понижує максимальну температуру згорання палива і зменшує вміст шкідливих речовин у вихлопних газах. Поглинаюча вода добавка до LPG, що збільшує здатність розчинення води в паливі; запобігає і повністю видалає каламутність палива, викликану присутністю частинок води.

Дана присадка особливо рекомендується для зрідженого газу, який відповідає вимогам ДСТУ 4047-2001 з вмістом рідкого залишку до 1,6%. Присадку вводять в кількості 250–1000 ppm в зріджений газ. При цьому розчинність води в зрідженому газі зростає на 100 ppm, що дозволяє використовувати газ за температур нижчих мінус 25 °С.

При застосуванні даних присадок властивості LPG не змінюються під час технологічних операцій (підігріву, перекачування, зберігання тощо). CORIMSOL і AQUAGASOL обмежують або повністю усувають корозію металевих елементів резервуарів і усієї технологічної апаратури, що має контакт з LPG.

Література:

1. Андріішин М. П. Газ природний, палива та оливи: монографія / М. П. Андріішин, Я. С. Марчук, С. В. Бойченко, Л. А. Рябоконь. – Одеса: Астропринт, 2010. – 232 с.
2. Сафонов А. С. Автомобильные топлива: Химмотология. Эксплуатационные свойства. Ассортимент. / А. С. Сафонов, А.И. Ушаков, И.И. Чечкенов. – СПб.: НППКЦ, 2002. – 264 с.
3. Чулков П. В. Моторные топлива: ресурсы, качество, заменители: Справочник. – М.: Политехника, 1998. – 416 с.
4. Сафонов А. С. Химмотология горюче-смазочных материалов / Сафонов А.С., Ушаков А.И., Гришин В.В.– НППКЦ, 2007. – 488 с.
5. ДСТУ 4047-2001. Газы углеводные скраплені паливні для комунально-побутового споживання. Технічні умови.
6. ТУ У 19.2-36956615-010:2013 Газ углеводный скрапленный FullGas. Технічні умови.

Голич Ю. В., ПАТ «Укртатнафта», Україна

Бойченко С. В., Національний авіаційний університет, Україна

Топільницький П. І., Романчук В. В.

НУ «Львівська політехніка», Україна

ВИЗНАЧЕННЯ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ДЕЕМУЛЬГАТОРІВ НА ОСНОВІ ОКСИДІВ ЕТИЛЕНУ ТА ПРОПІЛЕНУ

Вміст води, солей та механічних домішок в нафті негативно впливає на її переробку, порушуючи технологічний режим АВТ чи АТ, збільшуючи тиск в апаратах, зменшуючи продуктивність, окрім того збільшуючи витрати на транспортування нафти.

У сучасних умовах підготовки до переробки нафту зневоднюють та знесолюють за допомогою поєднання різних способів руйнування емульсій: механічного (фільтрація, центрифугування, обробка ультразвуком), термічного (підігрівання та відстоювання за атмосферного тиску), електричного (обробка в електричному полі змінного або постійного струмів), хімічного (додавання до емульсії реагентів-деемульгаторів). Для знесолення нафт на нафтопереробному заводі в основному застосовують спосіб, що поєднує термохімічне відстоювання під надлишковим тиском з використанням деемульгаторів та обробкою емульсії в електричному полі високої напруги. При зневодненні разом з водою виділяється велика кількість солей. Залишковий вміст води після зневоднення становить близько 0,1%, а залишкова кількість солей має складати до 5 мг/л.

Ефективність зневоднення та знесолення нафти визначається правильним вибором деемульгатора. Для досліджень були взяті блоккополімери на основі оксидів етилену та пропілену з різною молекулярною масою $M = 3200$, $M = 3500$ та $M = 6000$ та різним співвідношенням оксиду етилену та оксиду пропілену (ОЕ/ОП) в молекулі. Нафтова емульсія була приготовлена з Гнідинцівської нафти за відомою методикою. Вміст води в нафті складав 3,5%.

Приготування розчинів блоккополімерів:

- водний розчин готували додаванням 50% блоккополімеру, 10% ізопропілового спирту (ІПС) та 40% дистильованої води;
- розчин з сольвентом готували аналогічно, але замість води додавали 40% сольвенту.

У результаті отримали 18 розчинів блоккополімерів, в яких визначали густину, в'язкість та температуру застигання.

У порівнянні з чистою речовиною густина та в'язкість водних розчинів блоккополімерів значно зменшились. У блоккополімерах з $M = 6000$ зростання в'язкості та густини зі збільшенням ОЕ груп від 75% до 95% в молекулі проходить більш різко у порівнянні з блоккополімерами з $M = 3200$.

У сольвентних розчинах блоккополімерів відбувається також зростання в'язкості та густини при збільшенні ОЕ груп в молекулі. При $M = 3200$ в'язкість є найменшою, у випадку $M = 3500$ та $M = 6000$ в'язкість та густина різко зростають при вмісті ОЕ груп в молекулі блоккополімеру 95%.

Розчини блоккополімеру з $M = 6000$ при вмісті оксиду етилену в молекулі 95%, застигають за температури мінус 10°C.

Ефективність деемульгаторів визначали за наступними параметрами: питома витрата деемульгатора; тривалість відстоювання емульсії; вміст води, що залишилися в нафті після процесу зневоднення; температура відстоювання нафтової емульсії. Всі досліди проводились за температури 60°C. Кількість деемульгатора, що додавали в емульсію, – 10, 50, 70 та 100 г/т. Емульсію перемішували, відстоювали протягом 1, 2 та 3 год.

Найбільшу деемульгуючу властивість проявили блоккополімери з молекулярною масою 3200 та 3500. Свою найвищу деемульгуючу здатність кожен цей блоккополімер проявив при співвідношенні ОЕ/ОП – 90/10 та 85/15 відповідно. При витратах 10–50 г/т ступінь зневоднення практично в усіх речовинах був недостатнім, що з точки зору технологічного процесу є неефективним. При порівнянні деемульгуючої здатності блоккополімерів за

витрати 70 г/т найменшу деемульгуючу здатність проявляв блоккополімер з $M = 6000$. Усі решта блоккополімерів з $M = 3200$ та $M = 3500$ показали ефективність на рівні 90%. Подальше збільшення витрати блоккополімерів до 100 г/т збільшує ступінь зневоднення блоккополімерів ще на 5% і сягало значення 97–98% для блоккополімерів з $M = 3200$ та $M = 3500$.

Гордієнко О.А.

Вінницький національний технічний університет, Україна

ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТІОАМІДНИХ КОМПЛЕКСІВ У СКЛАДІ ІНДУСТРІАЛЬНИХ ОЛИВ

Раніше нами були проведені комплексні дослідження протизношувальних, антифрикційних, антикорозійних і антиокисню-вальних властивостей комплексних сполук деяких 3d-металів (переважно купруму (II), ніколу (II), кобальту (II) та цинку) на основі ароматичних та гетероциклічних лігандів [1, 2]. Для кращого розчинення зазначених координаційних сполук в базових індустриальних оливах до складу мастильних композицій додавали органічні розчинники (ДМФА, ДМСО та інші) з високим значенням діелектричної проникності. При цьому для більш економічного отримання комплексних сполук складу ML , $M(HL)X_2$, $M(HL)_2X_2$, $[M(HL)X_2]_2$ був досліджений їх прямиий синтез з використанням металевих порошоків кобальту та міді за деякими із наведених схем [3]:

1)

2)

Склад та будову синтезованих сполук досліджували, відповідно, елементним аналізом та спектральними методами (ІЧ- та електронна спектроскопія, РСА).

Дослідження протизношувальних та антифрикційних властивостей синтезованих сполук проводили з використанням машини тертя, аналогічний СМЦ-2 з парою тертя "колодка – ролик" з швидкістю 1,5 м/с та шляхом тертя $5 \cdot 10^3$ м. Матеріал ролика – сталь 40Х, колодки – бронза БрАЖ 9-4. Коефіцієнт взаємного перекриття складав 0,13. Початкова шорсткість 0,30–0,62 мкм для сталюого зразка та 0,62–0,80 мкм – для бронзового. При проведених дослідженнях зношення фіксували ваговим методом на аналітичних вагах 2 класу точності типу ВЛА-200. Температуру в зоні тертя вимірювали хромель-копелевою термопарою, а силу тертя – за допомогою тензобалки.

Антикорозійні властивості синтезованих сполук досліджували з використанням водних розчинів сульфатної та хлоридної кислот заданої концентрації на зразках сталі Ст. 3 ваговим методом. Поверхню контрольних

зразків (без інгібіторів корозії) та дослідних зразків (з інгібіторами корозії) досліджували методом електронної мікроскопії і мікрорентгеноспектрального аналізу (растровий електронний мікроскоп-мікроаналізатор РЕММА-102-02).

Отримані результати дають підстави констатувати, що використання синтезованих координаційних тіоамідних сполук купруму (II) та кобальту (II, III) у кількості 0,05–3,0 % мас. надає індустріальній оливі комплекс поліфункціональних властивостей, зазначених вище.

Література:

1. Композиційні мастильні матеріали на основі тіоамідів та їх комплексних сполук. Синтез. Дослідження. Використання / [А. П. Ранський, С. В. Бойченко, О. А. Гордієнко та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 327 с.

2. Гордієнко О. А. Технології переробки хлорвмісних пестицидних препаратів з одержанням присадок до олив : дис. ... канд. техн. наук : 05.17.07 / Гордієнко О. А. – Вінниця, 2013. – 200 с.

3. Хімія тіоамідів. Повідомлення XIII. Прямий синтез трис[2-(N,N-диметилтіокарбанол)бензімідазолято-1]кобальту (III) / Н.О. Діденко, А.П. Ранський, О. В. Штеменко, Л. О. Соколова // Вопросы химии и хим. технологии. – 2012. – № 3. – С. 23–26.

Панченко Т. І.,

Вінницький національний технічний університет, Україна

ГЕТЕРОМЕТАЛЕВІ КООРДИНАЦІЙНІ СПОЛУКИ ЯК ДОДАТКИ ДО ІНДУСТРІАЛЬНИХ ОЛИВ

Раніше нами були проведені комплексні дослідження протизносної та антифрикційної активності N-, O-, S-вмісних лігандів та їх комплексних сполук з деякими 3d-металами в складі індустріальних олив. Було зазначено, що низка вказаних сполук має добрі поліфункціональні властивості (протизносні, антифрикційні, протикорозійні та антиокиснювальні) [1]. Проте, досліджені в останній час гетерометалеві координаційні сполуки окрім 3d-металів, як центральних іонів комплексоутворення, мають у своєму складі також s-метали (Ca, Sr, Ba), що можуть мати і яскраво виражені миючі властивості [2]. У зв'язку з вище зазначеним, нами були синтезовані гетерометалеві комплексні сполуки купруму(II), ніколу(II) та кобальту(II) і лужно-земельних металів з N,N'-біс(саліциліден)семикарбазидом [3] за такою загальною схемою:

де $H_2L =$

H_3L' =

$M^{2+} = Cu, Ni, Co; n = 2, 6;$

$E^{2+} = Ca, Sr, Ba; x = 3 - 5.$

Наведені сполуки мають у своєму складі окрім означених 3d- і s-металів як активного ліганда комплексоутворення похідні саліцилового альдегіду (H_2L). Необхідно відмітити, що останні також проявляють високі протизносні і антифрикційні властивості у складі мінеральних та синтезованих олив [4]. Тому, на наш погляд, перспективним було дослідження окрім поліфункціональних властивостей, пов'язаних перш за все наявністю катіонів металів, також і явище синергізму (активний органічний ліганд) синтезованих сполук. Заплановані дослідження по комплексу хіміко-механічних властивостей в складі індустріальних олив проводяться сумісно з науковцями кафедри зносостійкості і надійності машин Хмельницького національного університету.

Література:

1. Композиційні мастильні матеріали на основі тіоамідів та їх комплексних сполук. Синтез. Дослідження. Використання / [А. П. Ранський, С. В. Бойченко, О. А. Гордієнко та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 327 с.
2. Кулиев А. М. Химия и технология присадок к маслам и топливам / А. М. Кулиев. – Л.: Химия, 1985. – 312 с.
3. Синтез і властивості гетерометалевих координаційних сполук купруму (II), ніколу (II) або кобальту (II) і лужноземельних елементів з N, N'-біс(саліцилці-ден)семикарбазидом / А. П. Ранський, М. В. Євсєва, Т. І. Панченко, О. А. Гордієнко // Український хімічний журнал. – 2013. – Т. 79, № 2. – С. 74–79.
4. Пономаренко А. Г. О механизме образования полимеров трения в смазочных маслах / А. Г. Пономаренко, Г. Г. Чигаренко, Г. П. Барчан. // Трение и износ. – 1981. – Т. 2, № 9. – С. 43–45.

Тітов Т. С., Сидорчук Ю. Ю., Жуйко К. К.,
Вінницький національний технічний університет, Україна

ДСЛІДЖЕННЯ ПРОТИЗНОШУВАЛЬНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДИТІОКАРБАМАТІВ МЕТАЛІВ ЯК ПРОДУКТІВ РЕАГЕНТНОЇ ПЕРЕРОБКИ СІРКОВУГЛЕЦЮ КОКСОХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

Коксохімічний та металургійний комплекси України, що становлять основу експортного потенціалу України і нараховують 16 коксохімічних заводів та ще близько 30 коксових батарей [1], в процесі своєї роботи чинять суттєвий негативний вплив на людину та навколишнє середовище через утворення великої кількості високотоксичних летких органічних речовин та пилу, що забруднюють у першу чергу атмосферне повітря. Крім того, під час виробництва коксу,

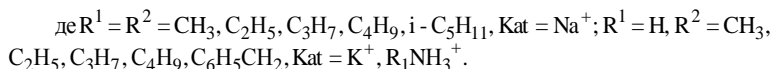
утворюється головна фракція сирого бензолу із значним вмістом такого високотоксичного та хімічно активного компоненту як сірковуглець.

Наявні промислові методи переробки головної фракції сирого бензолу є досить матеріало- та енергоємними, а сам процес – пожежо- та вибухонебезпечним і супроводжується великими втратами сірковуглецю (до 30%), бензолу, циклопентадієну, сировиною для отримання яких є такий невідновлюваний природний ресурс, як кам'яне вугілля [2].

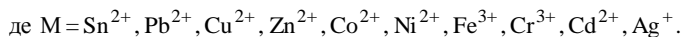
Тому важливим аспектом діяльності коксохімічних підприємств є розроблення нових процесів і технологій, направлених на зменшення обсягів утворення відходів та реалізацію безвідходного коксохімічного виробництва, актуальним в умовах обмеженої сировинної бази на Україні, залишається питання раціональної з технологічно-екологічної точки зору переробки головної фракції сирого бензолу та, особливо, високотоксичного сірковуглецю, через його хімічне модифікування з отриманням цінних хімічних продуктів для подальшого практичного використання в різноманітних технічних галузях, у т. ч. для отримання ефективних додатків до базових олів [3], використання яких має тенденцію до збільшення через постійне підвищення експлуатаційних вимог до якості олів [4].

Серед досліджених P,S,N-вмісних антифрикційних, протизношу-вальних, протизадирних, антикорозійних та антиокиснювальних додатків до індустриальних олів широкого поширення дістали тіоаміди, дитіокарбамати, дитіофосфати, а також інші органічні сполуки та їх комплекси [3]. У продовження цих робіт нами були досліджені дитіокарбамати деяких 3d-металів як продукти реагентної переробки сірковуглецю головної фракції сирого бензолу коксохімічних виробництв України [5].

Досліджені N,N-діетилдитіокарбамат натрію та біс-(N,N-діетилдитіокарбамато)купруму(II), цинку, кобальту(II) та ніколу(II) як додатки до індустриальних олів, отримували з використанням діетиламіну марки «ч» та сірковуглецю головної фракції сирого бензолу, відібраної на ПАТ «Ясинівський коксохімічний завод» (м. Макіївка, Донецька обл.), з вмістом CS₂ 31,7 %. Синтез досліджуваних додатків проводили за такою загальною схемою [6]:



Реакцію проводили при мольному співвідношенні амін:луг: CS₂ = 0,5–1:1,5:1,1 та при постійному охолодженні реакційної маси до 0–5°C протягом 2 год та при наступному її нагріванні до 55–65°C. Отримані дитіокарбамати лужних металів при обробленні водними розчинами неорганічних солей *p*- і *d*-металів утворюють яскраво забарвлені важкорозчинні хелати [7]:



Склад і будову отриманих N,N-діалкілдитіокарбаматів доводили елементним аналізом та ІЧ-спектроскопією дифузного відбиття.

Мастильні композиції готували, розчиняючи в органічному розчиннику необхідну кількість додатку з наступним додаванням до індустріальної оливи І-40А та перемішуванням до гомогенізації суміші. Склад досліджуваних композицій наведений в табл. 1.

Таблиця 1

Склад мастильних композицій на основі
N,N-діетилдитіокарбаматів металів

Номер композиції	[(C ₂ H ₅) ₂ NC(=S)S] _n Me ⁿ⁺			Хлороформ		Олива І-40А, мл
	Me ⁿ⁺	г	% мас.	мл	% мас	
1	Na ⁺	0,9	1,0	–	–	до 100
2	Cu ²⁺	0,9	1,0	6,0	9,7	до 100
3	Zn ²⁺	0,9	1,0	6,0	9,7	до 100
4	Co ²⁺	0,9	1,0	6,0	9,7	до 100
5	Ni ²⁺	0,9	1,0	6,0	9,7	до 100
6	І-40А без додатків			–	–	100

Випробування отриманих сполук проводились на чотирикульковій машині тертя [8]. Моделювання процесу зношування матеріалів здійснено за результатами випробувань за чотирикульковою схемою (степенева апроксимація). Для оцінки сталого зношування за чотирикульковою схемою прийємо модель у вигляді залежності інтенсивності зношування від безрозмірного параметра навантаження

$$\left(\frac{\sigma}{HB} \right);$$

$$\frac{du_W}{dS} = K_W \left(\frac{\sigma}{HB} \right)^m,$$

де u_W – лінійне зношування нижніх куль, м;

HB – твердість за Бринелем, МПа;

S – шлях тертя для нижніх кульок, м;

σ – тиск у контактї, Н/мм²

K_W, m – безрозмірні параметри закономірності зношування.

Для визначення залежностей для розрахунку параметрів закономірності зношування (3) в роботі використана теорія методу випробувань за чотирикульковою схемою [9].

У результаті випробувань отримані результати, які представлені графічно на рис. 1 та рис. 2.

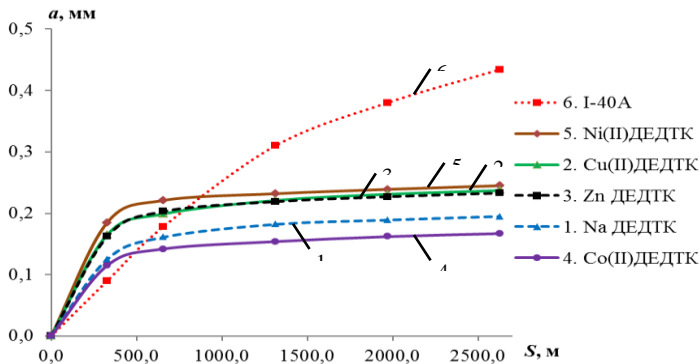


Рис. 1. Залежність радіусу площини контакту від шляху тертя

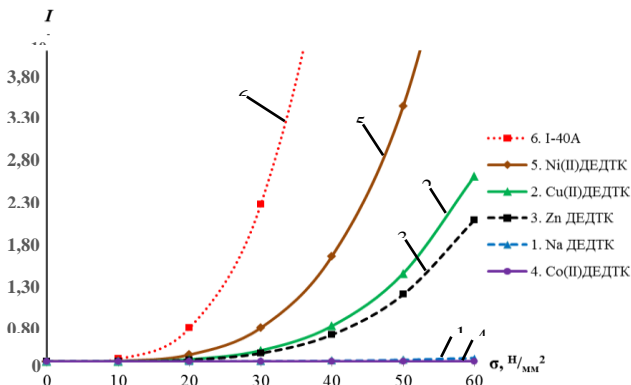


Рис. 2. Залежність інтенсивності зношування від значення контактного тиску

При цьому найкращі протизношувальні властивості були встановлені для мастильної композиції № 4. Метал-хелати купруму(II), цинку та ніколу(II) показали дуже близькі результати, в той час як натрієва сіль *N,N*-діетилдітіокарбамінової кислоти в порівнянні з дослідженими метал-хелатами показала аномально високі протизношувальні властивості.

Подібні результати були отримані при випробуванні мастильних композицій на основі *N,N*-диметилдітіокарбаматів вищезгаданих металів на машині тертя типу СМЦ-2 з парами тертя «колодка-ролик» в традиційних умовах, що описані в роботі [10]. Але в цьому випадку *N,N*-диметилдітіокарбамат купруму(II) по триботехнічним показникам значно поступається своїм аналогам (особливо це стосується *N,N*-диметилдітіокарбамату кобальту(II)).

Відносно чистої оливи І-40А можна констатувати, що хімічно модифіковані форми сірковуглецю (діалкілдитіокарбамати металів) є перспективними додатками до індустріальних олив.

Література:

1. Розміщення продуктивних сил України :навч.-метод. посібник для самост. вивч. дисц. / [С. І. Дорогунцов, Ю. І. Пітюренко, Я. Б. Олійник та ін.]. – К. : КНЕУ, 2000. – 364 с.
2. Крутько И. Г. Извлечение сероуглерода из головной фракции сырого бензола раствором аммиака. Состав и свойства органической и водной фаз [электронный ресурс] / И. Г. Крутько, А. В. Кипря, А. С. Комаров // Наукові праці Донецького національного технічного університету. – 2011. – Вип. 17. – С. 167–171. Режим доступу до журн.: <http://ea.donntu.edu.ua:8080/jspui/bitstream/123456789/3428/1/Kirpua.pdf>
3. Композиційні мастильні матеріали на основі тіоамідів та їх комплексних сполук. Синтез. Дослідження. Використання / [Ранський А. П., Бойченко С. В., Гордієнко О. А. та ін.]. – Вінниця : ВНТУ, 2012. – 328 с.
4. Бойченко С. В. Вступ до хімотології палив та олив: навч. посібник у двох частинах / С. В. Бойченко, В. Г. Спіркін. – Одеса : Астропринт, 2009. – Ч. 1. – 236 с.
5. Дослідження протизношувальних властивостей N,N-діалкілдитіокарбаматів деяких 3d-металів як додатків до індустріальних олив / [Т. С. Тітов, О. В. Диха, О. А. Гордієнко, О. В. Груздева] // Проблеми трибології. – 2013. – № 1. – С. 105-113.
6. Пат. 69639 Україна, МПК12 C01B 21/00. Спосіб очищення головної фракції сирого бензолу коксохімічного виробництва від сірковуглецю / Ранський А. П., Тітов Т. С., Бондарчук О. В.; патентовласник: Вінницький національний технічний університет. – № u201111887 ; заявл. 10.10.2011 ; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.
7. Пат. 69645 Україна, МПК12 C01B 21/00. Спосіб очищення головної фракції сирого бензолу коксохімічного виробництва від сірковуглецю / Ранський А. П., Тітов Т. С., Безвозюк І. І., Полонець О. В. ; патентовласник: Вінницький національний технічний університет – № u201111896 ; заявл. 10.10.2011 ; опубл. 10.05.2012, Бюл. № 9.
8. Диха О. В. Модернізація чотирикулькової машини тертя / О. В. Диха, В. І. Мокрицький // Проблеми трибології. – 2001. – № 4. – С. 193–195.
9. Дыха А. В. Закономерности изнашивания и испытания образцов со смазочными материалами / А. В. Дыха // Проблеми тертя та зношування: науково-технічний збірник. – К. : НАУ, 2007. – вип. 47. – С. 228–241.
10. Метал-хелати – продукти реагентного виділення сірковуглецю коксохімічних виробництв / [Т. С. Тітов, А. П. Ранський, А. М. Дудка, В. І. Ситар] // Вопросы химии и химической технологии. – 2013. – № 1. – С. 185–186.

Челядин Л. І.,

Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу, Україна

ЗМЕНШЕННЯ СУЛЬФУРВУГЛЕВОДНІВ У ДИЗЕЛЬНІЙ ФРАКЦІЇ ЗА КОНТАКТУВАННЯ З ВУГЛЕВОМІНЕРАЛЬНИМИ МАТЕРІАЛАМИ ТА ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ

Дослідженоочищення дизельної фракції (ДФ) методом фільтрування черезвуглецевомінеральніматеріали (ВММ), що змінюють вміст сульфур у вуглеводнях фракції. Описано і показано, що феритина поверхні ВММ

спричиняють окиснення сульфідної сірки у вуглеводнях палива до вільної та зменшують температуру фільтрування ДФ. Встановлено, що очищені ДФ під час згорання спричиняють утворення меншої кількості шкідливих компонентів у викидних газах, що зменшує забруднення довкілля.

Довкілля як окремих об'єктів, регіону, так і держави значною мірою залежить від техногенних викидів в атмосферу. Викидні гази транспортних засобів [1] вміщують шкідливі компоненти, що утворюються під час згорання палива, і основними забрудненнями є оксиди сульфуру, нітрогену і меншою мірою карбону (II) оксиду, а також карбон та бензпірен. Протягом 2005–2012 рр. викиди в Україні складають майже 4,0 млн тонн на рік [2], із них близько 39% складають викиди шкідливих речовин в атмосферу від автомобільного транспорту, в т.ч., 3% це оксиди сульфуру. Зменшення негативного впливу забруднень на атмосферу можливе методом підвищення якості палива через зменшення вмісту органічних сульфурсполук, n-алканів, бензолу [3], що негативно впливають на здоров'я населення, флору, фауну. Таким чином транспортні засоби спричиняють забруднення довкілля у результаті використання не якісного палива.

Основним напрямом зменшення шкідливих компонентів у викидах в атмосферу від двигунів транспорту є одержання високооктанових бензинів з мінімальним вмістом сульфурсполук, що проводяться за використанням катализаторів з вмістом металів платинової групи, що є дорогими та швидко дезактивуються у присутності сульфурсполук, згідно даних [4, 5] та інших. Другим найбільш споживаним паливом для транспортних засобів є дизпаливо, тому важливим є підвищення його якості в напрямі зменшення вмісту сульфурсполук [5], що під час згорання палив забруднюють атмосферу. Для очищення палива використовують технології з участю сорбційних і каталітичних матеріалів та гідроочищення, що описано у роботах [6, 7], а процеси окиснення сульфурсполук в газових, дизельних фракціях та вугіллі в [8]. Відомо, що сполуки металів з перехідним ступенем окиснення (Cu, Ni, Cr, Fe), є компонентами багатьох катализаторів і сорбентів. Тому для процесів очищення палива варто використати матеріали, що є дешевими та доступними. Описана технологія одержання вуглецевомінеральних матеріалів (ВММ) з техногенних відходів і їх апробація [9] для окиснення CO свідчить про отримані позитивні результати (80–85% ступінь очищення).

Метою досліджень є апробація ВММ для очищення ДФ від сульфурвмісних вуглеводневих сполук, оскільки це дає змогу зменшити викиди шкідливих компонентів в атмосферу від згорання палив у двигунах транспортних засобів.

Дослідження процесу зменшення сульфурвуглеводніву ДФ проводилося за використанням проб, які відрізнялися вмістом сульфурсполук та іншими показниками, що приведено у табл. 1.

Гранули ВММ покриті оксидами і феритами Cu, Ni, Cr, Fe, що утворюються у результаті взаємодії гідроксидів металів шламу водоочищення стоків процесу гальваніки під час термообробки сирих гранул за температур 850–1050°C. Характеристика ВММ, що використані у дослідженнях, наведено в табл. 2.

Таблиця 1

Найменування зразка дизпалива	Характеристика проб дизпалива				
	Густина, за 15°C, г/дм ³	Температура спалаху в закритому тиглі, °C	Гранична температура фільтраваності, °C	Вміст загальної сірки, %	Цетанове число
ДФ-1	821	52	+3	0,32	45
ДФ- 2	819	58	+2	0,21	47
ДФ- 3	810	54	+1	0,15	46

Таблиця2

Фізико-хімічні показники зразків ВММ				
Показники № зразка (покриття)	Насипна густина, г/дм ³	Міцність на стиск, кгС/см ²	Поверхня за БЕТ, м ² /г	Об'єм мікропор, см ³ /г
5(NiFe ₂ O ₄)	635	23	14,8	0,071
7(Ci Fe ₂ O ₄)	830	24	15.2	0.081
9 (CrFe ₃ O ₆)	745	25	14.3	0,073

Експериментальні дослідження очищення ДФ проводили методом фільтрації їх через зразки (ВММ-5, ВММ-7, ВММ-9) фракцією гранул 3–5 мм. Дизпаливо з ємності фільтрували через колонки висотою 0,5 м та діаметром 0,03м, що заповнювали гранулами ВММ, що вміщують на поверхні різні феритні компоненти, з середньою швидкістю 4,3 дм³/год у збірники. Контакткування дизпалива з ВММ відбувалося фільтруванням протягом 3-х год і одержано 3 зразка дизпалива (1А, 2А, 3А), що відбирали через кожну год. Визначення граничної температури фільтрованості і вмісту сульфурсполук у зразках дизпалива виконувалося перед і після фільтрування за методиками, що описані у [10].

Усі результати експериментальних досліджень приведені у табл. 3.

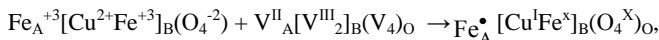
Очищення ДФ від домішок сульфурвуглеводнів, наприклад R-S-R, на ВММ теоретично описано на основі запропонованого у [11] кристалоквазіхімічного механізму проходження хімічних реакцій.

Таблиця 3

Результати досліджень процесу очищення дизпалива на ВММ

Найменування показника		Проби дизпалива								
		Гранична температура фільтрованості, °C				Вміст загальної сірки (S), %				Вихід, % V _{вих} /V _{поч}
№ ДФ	№ зразка ВММ	Початкова	1А через 1 год	2А	3А	Початкова	1А через 1 год	2 А	3 А	
1	5	+3	+2	-1	0	0,32	0,057	0,089	0,132	98,5
1	7	+3	+2,5	-4	-2	0,32	0,05	0,079	0,105	98,6
1	9	+3	-1	-4	-2	0,32	0,06	0,080	0,112	98,7
2	5	+2	+1	-2	-1	0,21	0,025	0,063	0,094	99,1
2	7	+2	+1	-2	-1	0,21	0,02	0,057	0,088	98,9
2	9	+2	+1	-2	-1	0,21	0,028	0,079	0,103	99,0
3	5	+1	0,5	-4	-2	0,15	0,04	0,067	0,96	99,5
3	7	+1	+0,5	-3	0	0,15	0,03	0,064	0,092	99,2
3	9	+1	0,8	-0,5	0,5	0,15	0,05	0,071	0,095	99,4

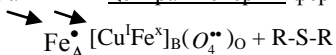
Поверхню зразка ВММ-7 представлено в основному феритом купруму. Даний компонент характеризується оберненою структурою, яка вказує, що іони Cu^{2+} займають октаедричні (В) позиції, а іони Fe^{+3} розміщено в тетраедричних (А) позиціях. Кристалохімічний склад CuFe_2O_4 записуємо як $\text{Fe}_A^{+3}[\text{Cu}^{2+}\text{Fe}^{+3}]_B(\text{O}_4^{-2})$. Проте із кристалохімічної формули неможливо зробити висновок про активні центри на поверхні фериту, а кристалоквазіхімічна дає змогу це відобразити. Для цього проводять суміщення кристалохімічної формули з антиструктурою шпінелі та одержують:



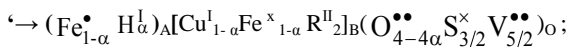
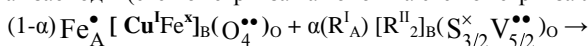
де V-вакансія, \bullet – позитивний заряд, I – негативний заряд, а x – ефективний нуль.

На основі одержаної формули випливає, що донорним активним центром є Cu_B^{I} і акцепторним $-\text{Fe}_A^\bullet$. Таким чином, можливий перебіг реакції очищення дизпалива від сульфідних сполук (R_2S) описується:

а) Адсорбція R_2S на активних центрах поверхні фериту:



б) Хімічна взаємодія (стехіометрія за катіоном та стехіометрія за аніоном):



де α – кількість моль хемосорбованого R_2S .

Утворений комплекс є нестійким, оскільки $3/2 \alpha \text{S}^{\times} - 3\alpha \text{e}^{-1} \rightarrow 3/2 \alpha \text{S}^{\circ} \downarrow$ і $\alpha \text{R}^{\text{I}} - 2\text{e}^{-1} \rightarrow \text{R}^{\bullet}$ та $2\alpha \text{R}^{\text{II}} - 2\text{e}^{-1} \rightarrow \text{R}^{\bullet}$, що утворюють $\text{R}^{\bullet} + \text{R}^{\bullet} = \text{R-R}$ – вуглеводень без сірки.

Вище наведені результати свідчать, що після фільтрування дизпалива через ВММ зменшується вміст загальної сірки і температура його фільтрованості. Найкращий результат отримано при використанні ВММ-7: вміст сірки зменшився з 0,21 до 0,020% у першу год контактування, а гранична температура фільтрованості з +1 до мінус 1°C. Ефективним для зниження граничної температури фільтрованості ВММ-5, оскільки зниження температури відбулося від мінус 1 до мінус 4°C, але зменшення вмісту сірки є значно меншим – від 0,895 до 0,791%, що становить 11,6%. Поверхня зразків ВММ-7, що продемонстрували високу очищувальну здатність, представлено в основному феритом купруму. З часом утворена сірка закриває активні центри на ВММ, а це спричиняє зниження кількості перетворених органічних сульфурсполук в дизпаливі та їх вміст збільшується, про що свідчать результати проведених досліджень. Протягом 3-х год фільтрації дизпалива через ВММ активність їх зменшується на 52%, а після повної втрати активності в процесі очищення такі матеріали можна використати як наповнювач для асфальтодорожніх сумішей.

Екологічний вплив очищення вуглеводневих фракцій з участю ВММ оцінювали за складом продуктів згорання (табл. 4), що визначали, згідно

методики [12], що дає змогу вирахувати викиди забруднюючих речовин в атмосферу.

Таблиця 4

Склад продуктів згорання палива та горючих сумішей

Зразки палива	Об'єм, нм ³ /кг	Продукти згорання, % об.					
		CO ₂	CO	C	H ₂ O	N ₂	SO ₂
Бензин (А-92)	11,83	12,43	1,1	0,04	12,20	73,09	-
Дизпаливо (ЛІ-01-40)	10,73	15,9	0,6	0,12	8,03	75,35	-
1-ДФ початкова (0,32S %)	13,02	13,62	0,75	0,81	11,14	73,66	0,013
А-ДФ після очищення (0,05S %)	12,75	14,09	0,56	0,62	11,01	74,27	0,009

Аналіз складу газів, що утворюються в результаті згорання різних за компонентним та вуглеводневим складом вуглеводневих фракцій, свідчить, що в результаті їх перетворень на поверхні ВММ відбуваються процеси з утворенням меншої кількості шкідливих компонентів (близько 25–30%) у викидних газах дизельних транспортних засобів, що зменшує забруднення довкілля.

Література:

1. Філіпов А. З. Промислова екологія (транспорт) / А. З. Філіпов. – К.: Вища школа, 1995. – 80 с.
2. Статистичний збірник «Довкілля Івано-Франківщини у 2010 році» Ів-Франківськ, – 2011. – 152 с.
3. Нгун ВанТы. Перспективные технологии производства моторных топлив с улучшенными экологическими свойствами / Нгун ВанТы, Буй Чонгхан, Аф. Ахметов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2007. – № 5. – С. 31–34
4. Братичак М. М., Гринишин О. Б. Технологія нафти і газу. – Львів: Видавництво НУ «Львівська політехніка», 2002. – 180 с.
5. А. Н. Коваленко, Ю. П. Ясьян. Исследование адсорбции и катализа n-алканов на комбинированном слое цеолитсодержащих контактов / Нефтепереработка и нефтехимия. – № 9. – 2005. – С. 14–17.
6. И. А. Федоринов, В. И. Анисимов и др. Опыт получения сверхмалосернистых дизельных топлив по стандарту EN 590-2005 в ООО «Лукойл-Волгограднефтепереработка» / Нефтепереработка и нефтехимия. – № 1. – 2006. – С. 10–14.
7. Пиш'ев С. В. Основи технології окисаційного очищення рідких та твердих палив. Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня д.т.н. Львів. – 2013. – С. 40.
8. Гайванович В. І. Вплив температури на вихід та якість продуктів знесірченняпрямогонної газової фракції / В. І. Гайванович, П. М. Панів, С. В. Пиш'ев, В. І. Антониниш // Нафтова і газова промисловість. – 2001. – №5. – С. 47–49.
9. Челябин Л. І. Феритні матеріали з гідроксидів металів та їх каталітична активність в окисненні СО / Л. І. Челябин, В. Л. Челябин, М. С. Мальований // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2000. – № 6. – С. 15–18.
10. Б. М. Рыбак. Анализ нефти и нефтепродуктов. – М. – 1962. – 887 с.

11. Лисняк С. С. Кристаллоквазимеханический механизм высокотемпературных превращений на шпинелидных соединениях: автореферат. дис. на здобуття наук. ступеня докт. хім. наук / С. С. Лисняк. – Львів: НГУ, 1993. – 32 с.

12. Рибачок Б. М. Основні технології та промислова екологія. К. – 1997. – 159 с.

**Варбанец Р. А., Ивановский В. Г.,
Александровская Н. И., Кучеренко Ю. Н.,**
Одесский национальный морской университет, Украина

ИСПЫТАНИЯ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ 4С17.5/24 С ПРИСАДКОЙ К МАСЛУ «Multi-Tech Conditioner»

«Multi Tech Conditioner» – это высокотехническая присадка, не содержащая взвешенных частиц веществ, таких как тефлон, керамика или графит. Её действие на трущиеся поверхности металлов обусловлено сложным физико-химическим эффектом, описание которого не входит в задачи данной публикации, в которой представлены только результаты воздействия присадки на параметры рабочего процесса (рис.1–4).

По данным фирмы I.E.U присадка к циркуляционному маслу Multi-Tech-Conditioner не образует эмульсий, которые забивают фильтры или могут откладываться на подвижных деталях КШМ и ЦПГ. Кроме того, в присадке содержатся специальные ингибиторы, улучшающие воздействие стали с медью и медьсодержащими сплавами.

Программа испытаний:

Объект испытаний – Судовой дизельный двигатель 4С17.5/24 (NVD 24) мощностью 64 кВт при 750 мин⁻¹. Нагрузка – генератор постоянного тока *Elbtalwerk*, напряжением 220В, мощностью 57 кВт. Дизель-генератор установлен в лаборатории кафедры «Судовые энергетические установки и техническая эксплуатация» Одесского национального морского университета (СЭУ и ТЭ ОНМУ).

Топливо – дизельное с плотностью 850 кг/м³ (20°С). $Q_f = 42300$ кДж/кг.

Масло – минеральное M10Г2 SAE 30.

Присадка к маслу - «Multi-Tech Conditioner»*.

I этап: 08.10.2008 Испытания двигателя на старом масле на режимах нагрузочной характеристики (хх,25%,50%,75%) без добавки «Multi-Tech Conditioner». Определение основных параметров рабочего процесса (см. табл. 1, рис. 1). Также определены: температуры выпускных газов по цилиндрам, температура масла, температура охлаждающей воды и расход топлива объёмным методом. Измерение параметров рабочего процесса производилось с помощью программно-аппаратного комплекса D4.0H [2]. Объем испытаний: 2 часа.

Погрешности определения:

- индикаторной мощности – 2%;
- погрешность задания нагрузки эффективной мощности двигателя внешними нагрузочными сопротивлениями – до 2% в диапазоне температур окружающего воздуха 10–22°С;
- расхода топлива – 1%.

Основные расчетные соотношения:

$$Ne = idem(25\%, 50\%, 75\%);$$

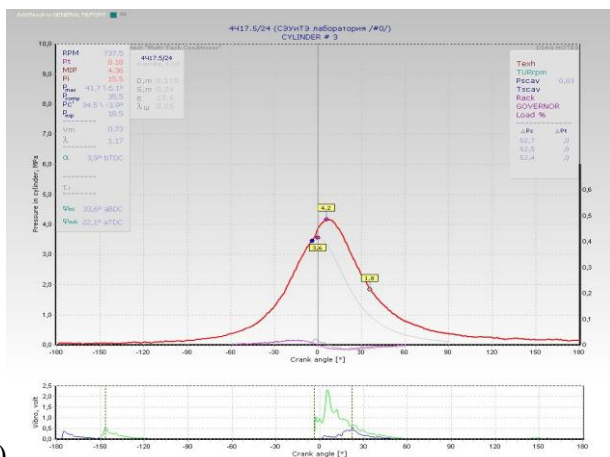
$$Ni = \sum Ni_{цил}; Ne = Ni - N_{мме} \eta_{МЕХ} = \frac{Ne}{\eta_i}$$

II этап: 09.10 – 15.10.2008 Испытания двигателя на старом масле на режимах нагрузочной характеристики (хх,25%,50%,75%) с добавлением «Multi-Tech Conditioner» в картерное масло в пропорции, рекомендованной производителем* (перед добавлением присадки был промыт масляный фильтр, степень загрязнения фильтра – незначительная). Произведено определение основных параметров рабочего процесса вместе с указанными выше температурами и расходом топлива. Объем испытаний: $\frac{3}{4}$... 1.5 часа x 7 раз.

III этап: 15.10.2008 Старое масло удалили из картера. Замыли картер. Промыли масляный фильтр (степень загрязнения фильтра – незначительная). Залили в картер новое масло. Запустили двигатель с работой в течение 1 часа на разных режимах нагрузки для прогрева всего объема масла. Добавили присадку «Multi-Tech Conditioner» в масло в пропорции, рекомендованной производителем*.

15.10.2008 – 22.10.2008 Испытания двигателя на режимах нагрузочной характеристики (хх,25%,50%,75%). Определение основных параметров рабочего процесса вместе с указанными выше температурами и расходом топлива. Объем испытаний: $\frac{3}{4}$... 1.5 часа x 8 раз.

IV этап: Сравнение характеристик рабочего процесса двигателя до и после применения присадки «Multi-Tech Conditioner».



a)

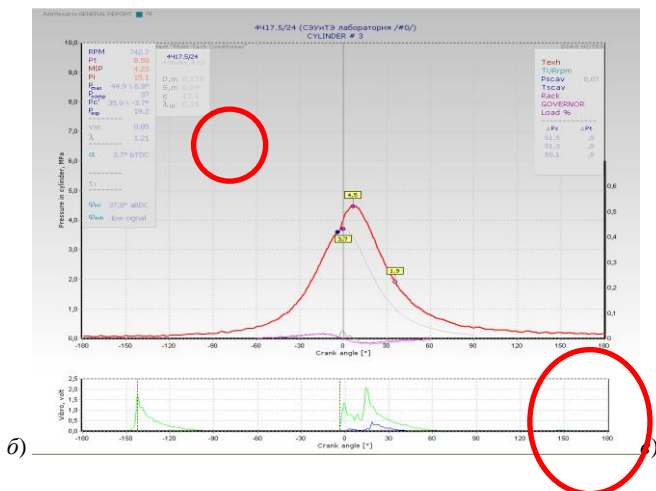


Рис. 1. Параметры рабочего процесса в цилиндре до (а) и после (б) применения «Multi-Tech Conditioner» (ε) – уменьшение индикаторной мощности и среднего индикаторного давления при постоянной внешней нагрузке (эффективной мощности)

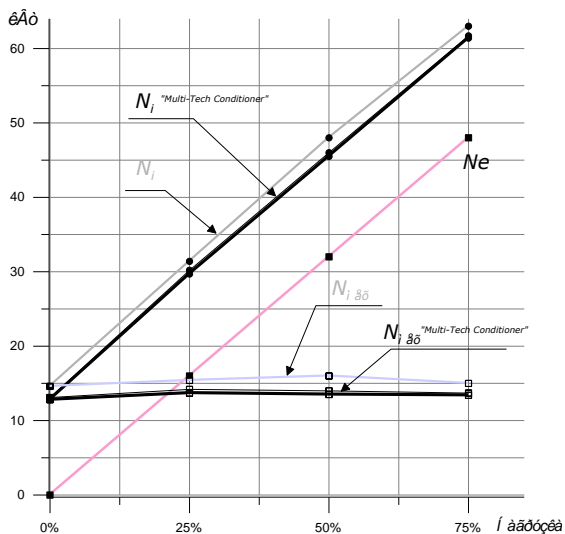


Рис. 2. Средние значения мощностей индикаторной, эффективной и механических потерь до и после применения присадки «Multi-Tech Conditioner»

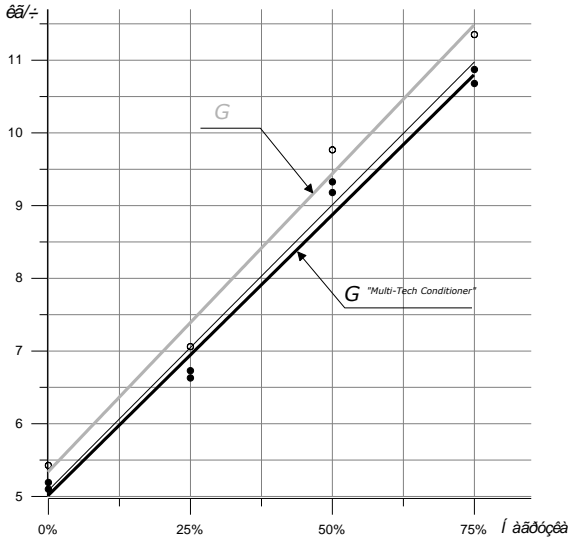


Рис. 3. Средние значения часового расхода топлива до и после применения присадки «Multi-Tech Conditioner»

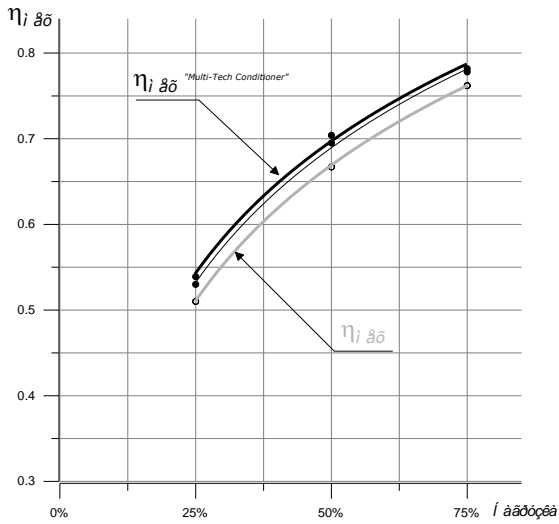


Рис. 5. Средние значения механического К.П.Д. до и после применения присадки «Multi-Tech Conditioner»

Таким образом, после применения присадки уменьшилась мощность механических потерь на 9–11%, снизился часовой расход топлива до 6% на режиме 75% нагрузки. Увеличилась компрессия в цилиндрах (давление в конце сжатия P_c в среднем по цилиндрам увеличилось на 1,2–1,5 бара).

При постоянной нагрузке (сохранении неизменной эффективной мощности), за счет снижения мощности механических потерь, снизилась индикаторная мощность дизеля. Благодаря этому достигнута указанная экономия топлива. Повышение экономичности объясняется снижением потерь на трение и небольшим повышением компрессии в цилиндрах.

$$Ne = idem,$$

$$Ne = Ni - N_{мме}$$

$$N_{мме} \Downarrow \Downarrow \Downarrow \neg \Rightarrow Ni \Downarrow, \eta_{MEC} \Downarrow, G_T \Downarrow$$

Уменьшение индикаторной мощности сопровождается уменьшением температуры выпускных отработавших газов после цилиндров (в среднем на 5–7°C).

Введение в циркуляционное масло двигателя присадки «Multi-Tech Conditioner» в пропорции, рекомендованной производителем, показало наличие положительного эффекта, выражающегося в снижении мощности механических потерь до 11%, уменьшении тепловой напряженности (снижении температуры выпускных газов) и уменьшении часового расхода топлива до 6%.

При неизменной нагрузке двигателя (неизменной эффективной мощности на валу) снижается индикаторная мощность, а вместе с этим и часовой расход топлива, при этом механический К.П.Д. повышается на величину до 2,6%.

Zbikovsky E.,

Donetsk National Technical University, Ukraine

DECREASE OF BED INFLUENCE ON ENVIRONMENT AFTER SOLID FUEL PROCESSING

The majority of coke-chemical plants use the method of biochemical purification to clean sewage from phenol, after which residual phenol content is 4–5 mg/l and this level exceed maximum permissible concentration (PMC) of phenol (0,001 mg/l). For this reason, development of purification technology of coke production sewage is the nationally important task.

The water after biochemical plant (BCP), which goes at the coke quenching, doesn't conform to sanitary code by next factors: phenol, ammonia, thiocyanate content, amount of activated sludge and others. Reduction of this water factors to normal level is important and technically difficult task.

Except using of coagulants and flocculants, purification with using of solid carbon adsorbents on the coke-chemical plants is sufficiently effective method to clean sewage. During wet coke quenching this method allows to decrease an emission of harmful chemical substances (phenol, ammonia, thiocyanate and others) into the atmosphere to the safe level of PMC.

Flocculants are used as an additional agent to coagulants to increase size of formed flakes and to their subsequent removing. In this case, we use products with high-molecular weight, weak cations (from 0 until 15%) or anions (from 0 till 50%). Flocculants of polymeric type are used after destabilization of colloidal suspension by coagulants to increase effectiveness of purification process. Thanks for the very high-molecular weight flocculants create bridges between microflakes, which appeared during coagulation, and form new bigger macroflakes.

Using of a little amount of flocculants (0,01–0,5 mg/l) right after the coagulation maximize capturing of particles, precipitate flakes forming and make flakes more compact and as a result flakes settle faster. Using flocculants for this purpose also allows limit dosing of coagulants to the minimal amount, which would be enough to destabilization of colloidal suspension because in this case we don't need excessive amount of coagulants to create suspension which could precipitate.

From the techno-economic point of view, deep adsorptive purification of sewage before coke quenching allows to solve the problem of fines on the coke-chemical plants absolutely, also, it can help to decrease corrosion of technique and destroying of industrial buildings and as a result to decrease the costs of the upkeep of technique and increase its operating time.

We need fast and uniform distribution of reagents in the whole water volume during admixture coagulation to provide maximum connection of admixture particles with intermediate products of coagulation process, which exist for a short time period, because processes of hydrolysis, polymerization and adsorption go for 1 second. Pyrokinetic (molecular-kinetic) coagulation ends when particles reach size of 1–10 microns, it practically equals to period of fast distribution of coagulants in pretreated water of mixer. Ineffective mixing can lead to coagulants overdraft and low speed of admixture agglomeration in water by this reagent dose. So, we need to create an optimum mode of operation, which can provides the maximum connection of coagulants and admixture particles until reaction of hydrolysis and polymerization end.

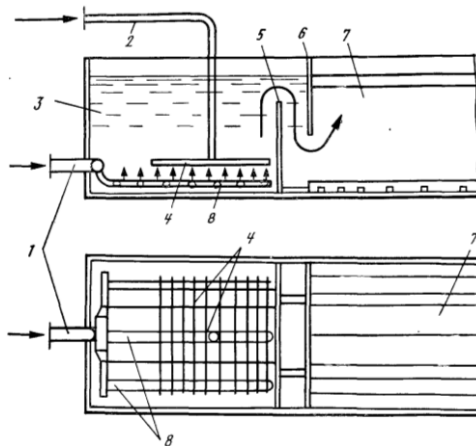
Substantial amount of free carbon oxide forms during coagulation process, as a result bubbles of carbon oxide adsorb on the surface of microflakes, which were formed during process of pyrokinetic coagulation. It causes forming of weak, loose flakes and pH decreasing of pretreated water, also, it causes increasing of difference between water pH and pH of water admixtures and this factor assists their aggregative stability. Because of this reason, removing of carbon acid from the area of mixing coagulants with water and microflakes forming is recommended. This result can be reached by the water aeration, which intensifies coagulation process. Aeration assists not only to the better hydraulic mixing, when reagents are adding into the water, it also assists to get compact flakes with high hydraulic size. Aeration is recommended for exploitation of any water treatment technology.

The modern science considers coagulation as a two-stage process of particles transferring: first stage is the providing of connection and destabilization of particles and the second stage is providing of their agglomeration after the first connection. The optimum result of coagulation would be received by very fast particles transfer, which can be possible only in high-speed mechanical mixer of turbine or propeller type, where practically immediately happens particular distribution in the whole water volume and happens fast receiving of optimum concentration. Mixer of this type allows to decrease

coagulation time, increase of compact of flakes, decrease of coagulants dose with the maximum full using of reagents.

The Behavior of the process of pyrokinetic coagulation is determined by the intensity of a thermal effect of the Brownian motion. In the moment of adding and allocation of coagulant solution in water, aluminum and iron ions begin interact with hydroxyl ions and after a time it causes appearance of an opalescence and the big amount of the first tiny flakes make water turbid. Under the influence of Brownian motion, flakes contact each other, it makes them bigger, and their number in the unit of volume is decreased. There comes a point, when the energy of Brownian motion isn't enough for motion of the first molecules and for their subsequent agglomeration. At this point, the pyrokinetic phase of coagulation is finished and it becomes the orthokinetic phase and for successful behavior of this phase, we need to provide good contact among already formed molecules.

Consequently, flakesforming cameras destine to create propitious conditions at the final stage of the coagulation process – flakeforming. The smooth mixing of stream assists this process. Intensity and duration of mixing, salt mixture of water, the nature of admixture (colloidal or disperse), also the power of adhesion, which holds particles combining with each other, influent on the flakes size in the process of the slow mixing pretreated water. Enlargement creates during the flakes hydrolysis by coagulants and happens gradually during some time. At the beginning, stage of hidden coagulation happens, which is characterized by formation of the first tiny flakes, which after that they become consolidated and form big visible aggregats. At the same time, the structure of iron hydroxide flakes become stronger and they have greater compact than aluminum hydroxide.



Pic. 1. The airflocculator scheme:

1 and 2 – initial apply of water and air; 3 – airflocculator camera; 4 and 8 – air- and waterdistributing systems; 5 – submerged weir; 6 – training partition; 7 – horizontal precipitation tank; 8 – system of perflur in atedconduits

Intensity of water mixing in flakesmaking cameras should not be too fast to not destroy formed flakes. The necessary intensity of water mixing is provided by the way of changing of the speed of the water motion or changing the rotation frequency of mixer to flocculator, and optimum process duration is provided by the appropriate volume of construction.

Well flakesmaking is provided by the bubbling of pretreated water by the air. At the same time, simultaneously with flakemaking, the water satiate by the air oxygen and carbon oxide is removed.

Uniform distribution of air in the mass of pretreated water is provided by the system of porous or perfluorinated conduits or by the system of buttons which are made from porous plates. The depth of water layer should be about 2,5–4,5 m, the intensity of air apply should be about 0,05–0,06 l/(s·m²), the air pressure in the apply pipeline should be about 5 MPa.

The airdistributing conduits, which are located across the camera with the step 0,2–0,3 m, on the distance 1 meter from button, should have lower air holes with diameter 2 mm with step 0,125–0,15 m. Advantages of airflocculators are in flexibility of process regulation of flakeformatting process, well quality of pretreated water, low cost and simplicity of aggregate. To the disadvantages we should add an extra expenses of electricity on the air compression. The example of airflocculator is showed in the pic. 1.

Бумага О. Д., Крахін С. В.,

Донбаська національна академія будівництва і архітектури, Україна

Цюман М. П.,

Національний транспортний університет, Україна

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МЕТАНОВІСНИХ ГАЗОВИХ ПАЛИВ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ПАЛИВНУ ЕКОНОМІЧНІСТЬ ТА ЕНЕРГЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ ГАЗОВОГО ДВИГУНА

У сучасних умовах дефіциту традиційних рідких палив нафтового походження і постійного підвищення їх вартості, особливої актуальності набувають питання поліпшення паливної економічності двигунів внутрішнього згоряння, використання замість традиційних палив альтернативних енергетичних ресурсів. Одним з найбільш потужних споживачів паливних ресурсів є транспорт, зокрема автомобільний. Тому, особлива увага сьогодні повинна приділятися екологічній безпеці автомобільних транспортних засобів, враховуючі постійне зростання їх кількості.

До альтернативних палив прийнято відносити: видобувні і супутні газоподібні палива, синтезовані палива, палива з поновлювальних ресурсів, традиційні палива з добавками [1]. Серед цих груп альтернативних палив найнижчу собівартість мають газоподібні палива. У нашій країні до таких палив насамперед відносять метановмісні газові палива, зокрема біогаз, шахтний метан, які можна видобувати безпосередньо в Україні [2]. Відомий досвід використання шахтного метану для господарських цілей на шахтах Донецької і Луганської областей [3]. Із цих джерел відомо, що інтенсивне використання шахтного метану дало можливість зекономити близько 10–15% імпортованого рідкого палива в

Донецькому регіоні. Разом з тим, спеціальні дослідження показників роботи двигунів на шахтному метані практично не проводились.

Особливістю метановмісних газових палив є знижений вміст вуглецю, порівняно з рідкими паливами. Це однозначно знижує викиди оксиду вуглецю двигуном, що живиться таким паливом. За своїм хімічним складом метановмісні газові палива можуть складатись із 50–95% метану та інших газів: вуглекислого газу, азоту, водню, чадного газу та інших.

До фізико-хімічних властивостей газових палив, що найбільшою мірою впливають на показники робочого циклу і двигуна в цілому, відносять: нижчу теплоту згоряння, теоретично необхідну кількість повітря для повного згоряння палива, молекулярну масу і теплоємність. Хімічний склад метановмісних палив значною мірою впливає на їх фізико-хімічні властивості, а значить і на показники газових двигунів. Тому, актуальною задачею є дослідження впливу фізико-хімічних властивостей метановмісних газових палив на паливну економічність та енергетичні показники газового двигуна, чому і присвячена дана робота.

Оскільки вміст неметанових компонентів в газовому паливі може значно варіюватись, то було проведено дослідження впливу об'ємного вмісту окремих компонентів в суміші з метаном на фізико-хімічні властивості таких сумішевих палив.

На рис. 1, *a* зображено вплив хімічного складу метановмісного газового палива на його масову нижчу теплоту згоряння. З приведених залежностей видно, що збільшення вмісту всіх неметанових компонентів окрім водню майже пропорційно знижує теплоту згоряння. Найбільше зниження відбувається внаслідок вмісту вуглекислого газу. Водночас, наявність водню навпаки збільшує масову теплоту згоряння палива. При цьому, внаслідок зміни густини газового палива (визначеної при стандартних умовах) в залежності від його хімічного складу (рис. 1, *б*), об'ємна теплота згоряння палива знижується з однаковою інтенсивністю за наявності в паливі негорючих компонентів та кисню та менш інтенсивно – за наявності горючих компонентів в суміші з метаном (рис. 1, *в*). Теоретично необхідна кількість повітря для повного згоряння 1 кг метановмісного газового палива знижується при збільшенні вмісту неметанових компонентів в ньому (рис. 1, *г*). Це призводить до збільшення масової частки газу в газоповітряній суміші визначеного складу. Тому, масова теплота згоряння газоповітряної суміші знижується не так інтенсивно як масова теплота згоряння палива при збільшенні вмісту неметанових компонентів в паливі, а у випадку кисню навіть збільшується. Приклад залежності масової нижчої теплоти згоряння стехіометричної газоповітряної суміші від хімічного складу метановмісного газового палива показано на рис. 2, *a*.

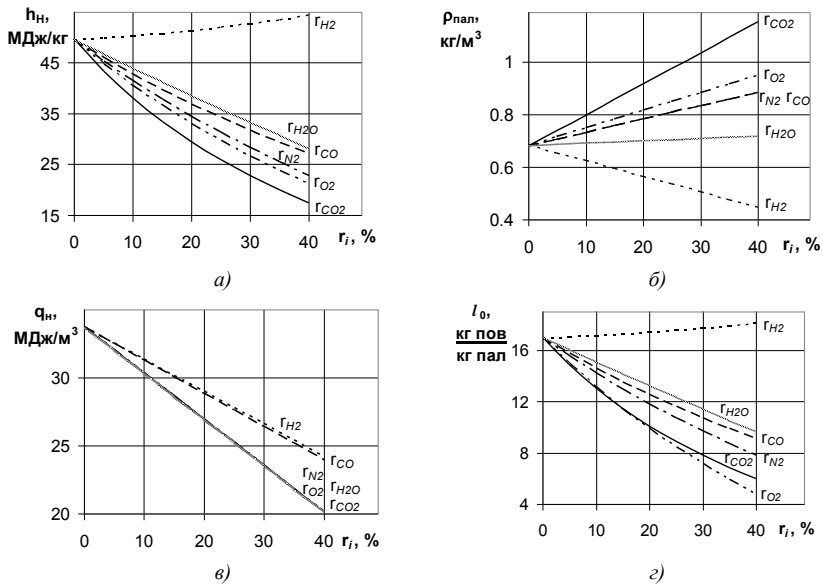
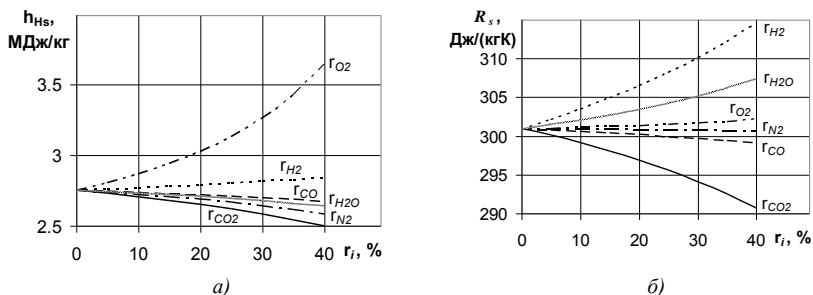


Рис. 1. Залежність основних фізико-хімічних властивостей метановмісного газового палива від його хімічного складу: а) масова нижча теплота згорання; б) густина; в) об'ємна нижча теплота згорання; г) теоретично необхідна кількість повітря для повного згорання

Водночас, наявність водню в складі палива дещо збільшує потребу в повітрі для згорання одиниці маси метановмісного палива (рис. 1, г). Тому, масова теплота згорання газоповітряної суміші метановмісного газового палива за наявності в ньому водню залишається майже незмінною (рис. 2, а).



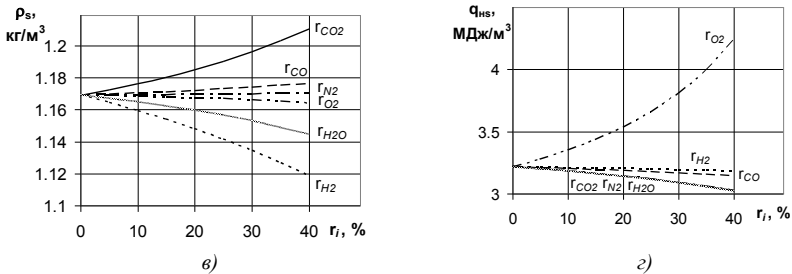


Рис. 2. Залежність основних фізико-хімічних властивостей стехіометричної газоповітряної суміші від хімічного складу метановмісного газового палива:

- а) масова нижча теплота згорання; б) газова стала; в) густина;
 з) об'ємна нижча теплота згорання

Внаслідок збільшення газової сталої газоповітряної суміші при збільшенні вмісту водяної пари і водню в газовому паливі зменшується густина такої газоповітряної суміші (рис. 2, б, в). При цьому вміст в газовому паливі кисню, азоту та чадного газу практично не впливає на газову сталу, а значить і густину стехіометричної газоповітряної суміші. Збільшення вмісту вуглекислого газу в газовому паливі дещо знижує газову сталу газоповітряної суміші, що призводить до зростання її густини на 3,4% при вмісті CO_2 40% за об'ємом. Така зміна густини газоповітряної суміші в залежності від хімічного складу газового палива обумовлює наступну зміну об'ємної теплоти згорання стехіометричної газоповітряної суміші: збільшення вмісту кисню в паливі призводить до зростання об'ємної теплоти згорання суміші на 30,8% при вмісті O_2 40% за об'ємом; збільшення вмісту водню та чадного газу в паливі практично не впливає на об'ємну теплоту згорання суміші; збільшення вмісту азоту, вуглекислого газу та водяної пари в паливі призводить до зниження об'ємної теплоти згорання суміші на 7% при вмісті вищезазначених компонентів 40% за об'ємом (рис. 2, з).

При розрахунку робочого циклу газового двигуна при його роботі на стехіометричній газоповітряній суміші коефіцієнт наповнення повітрям знижується внаслідок заміщення повітря газовим паливом у залежності від густини палива та теоретично необхідної кількості повітря для його повного згорання (рис. 1, б, з і рис. 3, а). Разом з тим, коефіцієнт наповнення двигуна газоповітряною сумішшю практично мало залежить від складу газового палива (рис. 3, б). Тому, масова витрата метановмісного газового палива, для забезпечення роботи двигуна на газоповітряній суміші визначеного складу, повинна бути скоректована відповідно до вмісту неметанових компонентів в паливі. Наприклад, для випадку вмісту у газовому паливі CO_2 в кількості 40% за об'ємом в суміші з метаном, масова витрата такого палива повинна бути збільшена приблизно на 160% порівняно із чистим метаном для забезпечення утворення стехіометричної газоповітряної суміші.

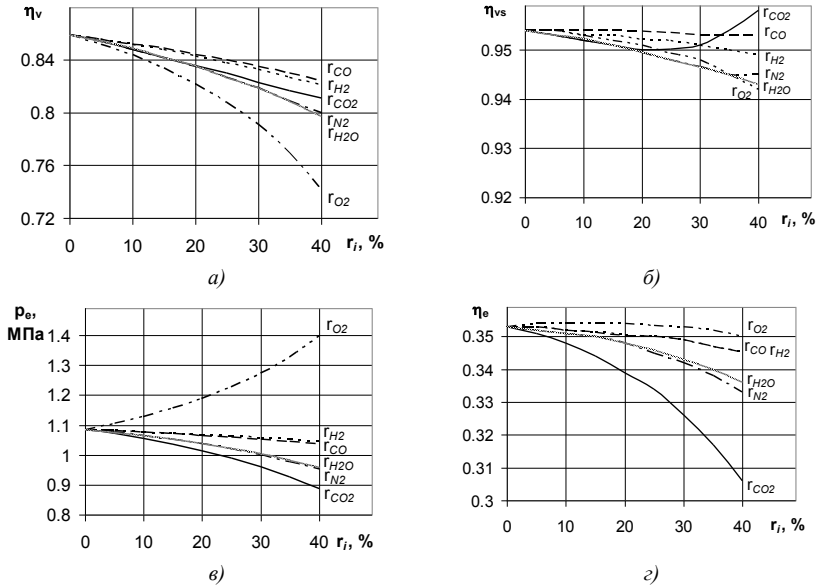


Рис. 3. Залежність ефективних показників газового двигуна від хімічного складу метановмісного газового палива: а) коефіцієнт наповнення повітрям; б) коефіцієнт наповнення газоповітряною сумішшю; в) середній ефективний тиск; г) ефективний к.к.д.

Залежність середнього ефективного тиску газового двигуна від хімічного складу метановмісного газового палива зображена на рис. 3, в. Ця залежність свідчить, що зміна середнього ефективного тиску при зміні складу палива практично пропорційна зміні об'ємної теплоти згорання газоповітряної суміші. Разом з тим, при розрахунку ефективних показників газового двигуна враховано їх залежність від тривалості згорання газоповітряної суміші, що в свою чергу залежить від вмісту негорючих компонентів в паливі: азоту, вуглекислого газу та водяної пари. Таким чином, при збільшенні вмісту у газовому паливі CO_2 до 40% за об'ємом у суміші з метаном, середній ефективний тиск двигуна знижується майже на 18%.

Ефективність перетворення хімічної енергії палива у механічну енергію обертання колінчастого вала оцінюється ефективним к.к.д. двигуна. Ефективний к.к.д. двигуна визначається відношенням середнього ефективного тиску до об'ємної теплоти згорання газоповітряної суміші (рис. 3, в і рис. 2, г). Як зазначено вище, у випадку використання газового палива, що складається з метану та інших горючих газів або кисню, зміна середнього ефективного тиску при зміні складу палива практично пропорційна зміні об'ємної теплоти згорання газоповітряної суміші. Тому, в цьому випадку ефективний к.к.д. практично мало залежать від складу газового палива (рис. 3, г). У випадку вмісту в газовому паливі негорючих компонентів, ефективний к.к.д. знижується внаслідок збільшення

тривалості згоряння газоповітряної суміші. Наприклад, при збільшенні вмісту у газовому паливі CO_2 до 40% за об'ємом у суміші з метаном, ефективний к.к.д. двигуна знижується майже на 12%.

Таким чином, досліджено вплив складу метановмісного газового палива на його фізико-хімічні властивості та паливну економічність і енергетичні показники газового двигуна. Встановлено, що вміст в газовому паливі негорючих компонентів знижує паливну економічність та енергетичні показники газового двигуна внаслідок зниження теплоти згоряння палива та зростання тривалості його згоряння. Разом з тим, зниження показників двигуна не є критичним і можливе їх поліпшення за рахунок оптимізації параметрів систем живлення і запалювання двигуна, що вимагає подальших досліджень паливної економічності, енергетичних, а також екологічних показників двигуна при його роботі на метановмісних газових паливах.

**Бабкин В. И., Яновский Л. С.,
Молоканов А. А, Ежов В. М.,**
ФГУП «Центральный институт авиационного
моторостроения им. П. И. Баранова», Российская Федерация

ИССЛЕДОВАНИЕ ВСПЕНИВАЕМОСТИ АВИАЦИОННЫХ МАСЕЛ

В нашей стране для авиационных газотурбинных двигателей (ГТД) и редукторов вертолетов применяют как отечественные масла ЛЗ-240, Б-3В, АСМО-200, так и зарубежные Turbonuscoil-98, Rooco 899. Выбор масел обусловлен жесткими требованиями по надежности эксплуатации ГТД и редукторов в широком диапазоне температур. Масла должны обладать высокой смазывающей способностью, низкой коррозионной активностью, высокими защитными свойствами, быть безопасными в эксплуатации и нетоксичными, совместимыми с конструкционными материалами, а также обладать минимальными склонностью к отложениям, испаряемостью и вспениванием.

Вспениваемость масел (пенообразующие свойства) является одним из важнейших факторов, влияющих на безопасность полётов. Повышенное образование пены в авиационных маслах затрудняет равномерную работу маслосистемы, приводит к снижению теплоотвода и перегреву узлов трения, ускоренному окислению масла и нарушению режимов работы масляных насосов.

Актуальность исследования пенообразующих свойств масел для ГТД и редукторов вертолётов обострилась в последнее время на фоне крупных поставок отечественной вертолётной техники за рубеж, где в эксплуатации выявились дефекты, связанные с дымлением двигателей.

Попадание масла в выхлопной патрубок силовой установки приводит к дымлению двигателей, что отмечено на вертолетах Ми-8 и Ми-17 и их модификациях производства ОАО «МВЗ им. М. Л. Миля», ОАО «Казанский вертолетный завод», ОАО «Улан-Уденский авиационный завод» и ОАО «Камов», эксплуатируемых в России, Азербайджане, Афганистане, Индии, Колумбии, Перу, Египте и Судане.

Одной из причин попадания масла в выхлопной патрубок является его повышенные пенообразующие свойства. В этом случае суфлирующее устройство маслосистемы не в состоянии разделить масловоздушную пену, образующуюся при откатке масла из опор ротора двигателя, в результате чего излишки пены попадают через суфлирующий патрубок в выхлопной. Температура газов в выхлопном патрубке составляет примерно 400°C, в этих условиях пенообразное масло быстро испаряется, что приводит к дымлению двигателя.

Для определения пенообразующих свойств авиационных масел применяется метод по ГОСТ 21058, который обладает хорошими показателями сходимости и воспроизводимости (ГОСТ Р ИСО 5725) и позволяет определять высоту и время разрушения столба пены.

Для производителей и разработчиков авиатехники важным показателем вспениваемости масел является характер изменения последней в зависимости от температуры и от расхода воздуха.

Методика по ГОСТ 21058 не позволяет отслеживать изменение пенообразующих свойств при изменении температуры, а также недостаточно учитывает вклад насыщения масла воздухом при барботировании при оценке пенообразующих свойств испытуемого образца. Авторами был предложен новый метод определения вспениваемости масел при продолжительном барботировании воздухом в заданном интервале температур, который позволяет исследовать пенообразующие свойства масел в условиях, приближенных к эксплуатации.

Метод заключается в оценке пенообразующих свойств (высоты и времени разрушения столба пены) в интервале температур от 25 до 95°C с шагом 10°C при продолжительном барботировании воздухом и при правильном исполнении обладает хорошими показателями сходимости и воспроизводимости.

Результаты исследования пенообразующих свойств образца TN-98 с «дымящего» двигателя, согласно новой методике, в интервале температур от 25°C до 95°C приведены на рис. 1. С ростом температуры от 25°C до 45°C наблюдается увеличение высоты столба пены. В диапазоне температур 45–65°C наблюдается экстремум по высоте столба пены, а в интервале 65–95°C наблюдается снижение высоты столба пены.

Пенообразующие свойства зависят как от изменения температуры, так и от продолжительности барботирования. Влияние последнего при расходе воздуха 0,2 см³/с при температуре испытания 25°C приведено на рис. 2. Для образца TN-98 с «дымящего» двигателя продолжительность барботирования оказывает существенный вклад в увеличение вспениваемости. После барботирования в течение 90 мин высота столба пены стабилизируются на уровне 72 мм (рис. 2).

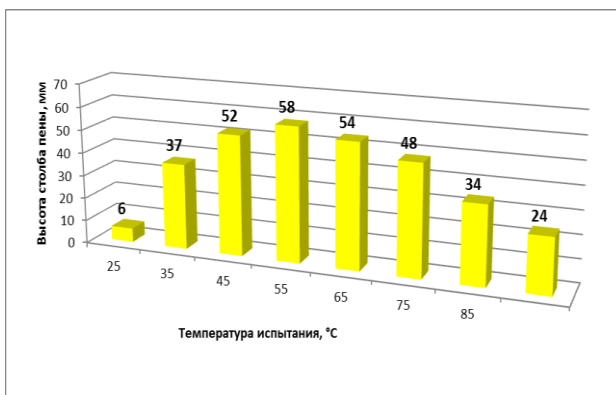


Рис. 1. Пенообразующие свойства образца TN-98 с «дымящего» двигателя

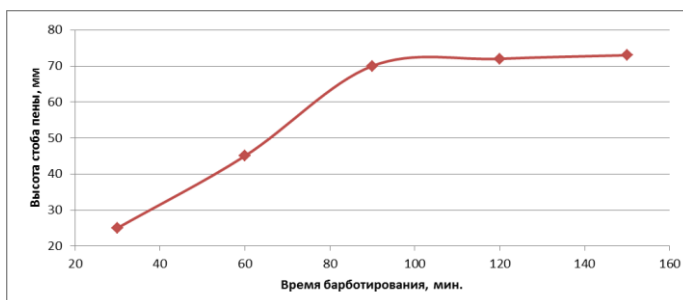


Рис. 2. Зависимость высоты столба пены образца с «дымящего» двигателя от времени барботирования воздухом. Температура 25°C

Результаты исследования вспениваемости образца масла TN-98 с «дымящего» двигателя при изменении температуры от 25 до 95°C для различных расходов воздуха приведены на рис. 3.

Полученные данные согласуются с имеющимися представлениями о механизме образования пены. На высоту столба пены оказывает влияние как пенообразующие свойства самого масла, так и расход воздуха и температура испытания. При расходе 0,2 см³/с с увеличением температуры происходит снижение высоты столба пены, а при расходе 1,0 см³/с наблюдается обратная зависимость.

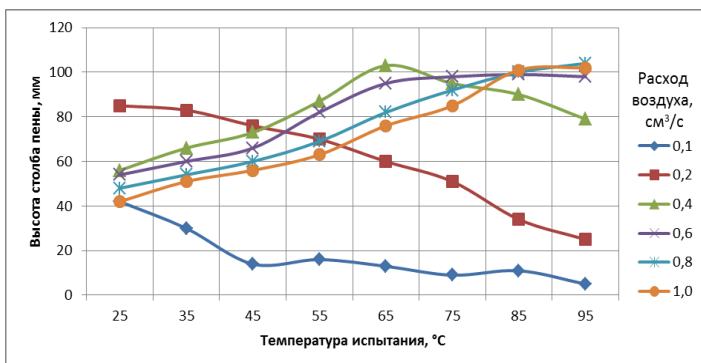


Рис. 3. Зависимость высоты столба пены образца с «дымящего» двигателя от температуры для различных расходов воздуха

Если рассмотреть пенообразующие свойства образца TN-98 с «дымящего» двигателя при 95 °C (рис. 4), то видно, что с увеличением расхода воздуха высота столба пены растет. Это объясняется тем, что при температуре 95 °C пенообразующие свойства исследуемого образца достаточны для удержания в объеме пены возрастающего в интервале 0,1–1,0 см³/с расхода воздуха, при этом структура пены не разрушается, и наблюдается рост пены. С ростом расхода воздуха при 25 °C высота и время разрушения столба пены сначала резко растут, а затем плавно снижаются. Рост объясняется тем, что в интервале расхода от 0,1 до 0,2 см³/с происходит такое же образование пены, как при 95 °C, при котором пузырьки воздуха имеют приблизительно одинаковый размер и не образуются потоков воздуха, разрушающих структуру пены. Снижение высоты столба пены при дальнейшем увеличении расхода объясняется тем, что при температуре 25 °C пенообразующие свойства образца TN-98 с «дымящего» двигателя недостаточны для удержания возрастающего в интервале 0,2–1,0 см³/с расхода воздуха. В результате «лишний» воздух «проскакивает» между пузырьками пены, разрушая её структуру, снижая высоту и время разрушения столба пены, нарушая нормальный режим пенообразования.

Представленные в работе результаты исследования вспениваемости образца отработанного авиационного масла TN-98 с «дымящего» вертолета при варьировании температуры и расхода воздуха имеют значение как для эксплуатантов, так и для разработчиков авиатехники. В работе показано, что при изменении расхода и температуры пенообразующие свойства изменяются нелинейно. Значительный вклад в пенообразующие свойства вносит время барботирования образца воздухом. Разработанная методика эффективна для исследования вспениваемости авиационных масел, она позволяет оценивать пенообразующие свойства масел в условиях, приближенных к реальной эксплуатации.

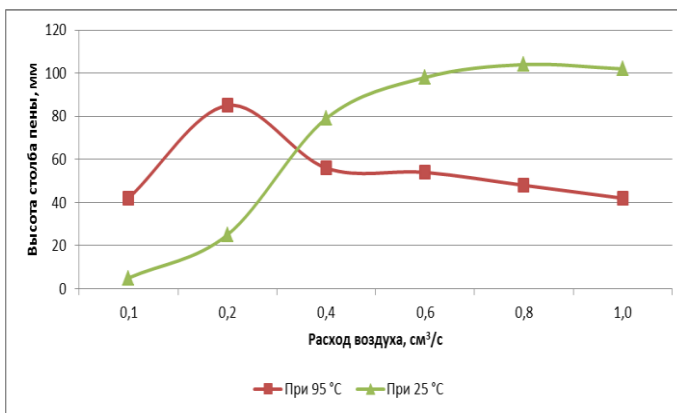


Рис. 4. Зависимость высоты столба пены образца с "дымящего" двигателя от расхода воздуха при различных температурах

**Бабкин В. И., Яновский Л. С., Разносчиков В. В.,
 Бырдина А. А., Кондакова В. М.,**
 ФГУП «Центральный институт авиационного
 моторостроения им. П. И. Баранова», Российская Федерация

СОЗДАНИЕ МАСЕЛ НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ ДЛЯ МАСЛОСИСТЕМ ПЕРСПЕКТИВНЫХ АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Известно, что процесс создания авиационных масел длительный и сложный. С целью ускорения и повышения качества процесса поиска рецептур используется один из перспективных и бурно развивающихся подходов – математическое моделирование.

Математическое моделирование – это по существу определение свойств и характеристик рассматриваемого явления (процесса) путем решения системы уравнений, описывающих этот процесс, – математической модели. При этом очень важно составить модель так, чтобы она достаточно точно отражала основные свойства рассматриваемого процесса и в то же время была доступной для исследования.

В настоящее время состав масла формируется в условиях лабораторных методов оценки теплофизических и эксплуатационных свойств, и при этом используется экспертный подход. Однако условия лабораторных испытаний далеки от реальных режимов работы масла в масляной системе (МС) современных авиационных двигателей. Одним из решений этой проблемы является создание имитационного математического стенда (ИМС) МС и математической модели (ММ) авиационных масел которая используется в ИМС МС.

На данном этапе работы по созданию ММ масел проведены исследования теплофизических свойств. ММ расчета теплофизических свойств масел основана

на результатах анализа и обобщения наиболее достоверных методик расчета свойств веществ, опубликованных в. Блок-схема расчета свойств масел представлена на рис. 1.

ММ масла позволяет производить расчет теплофизических свойств, как индивидуальных компонентов масел (присадки, основы), так и их смесей в широком диапазоне температур и давлений.

Достоверность ММ расчета свойств масел проверялась в сравнении расчета с экспериментами и отраслевыми стандартами. К примеру на (рис. 2) показано сравнение расчета масла ЛЗ-240 с ОСТ на это масло. Абсолютная погрешность расчета основных теплофизических свойств находится в пределах инженерной точности.

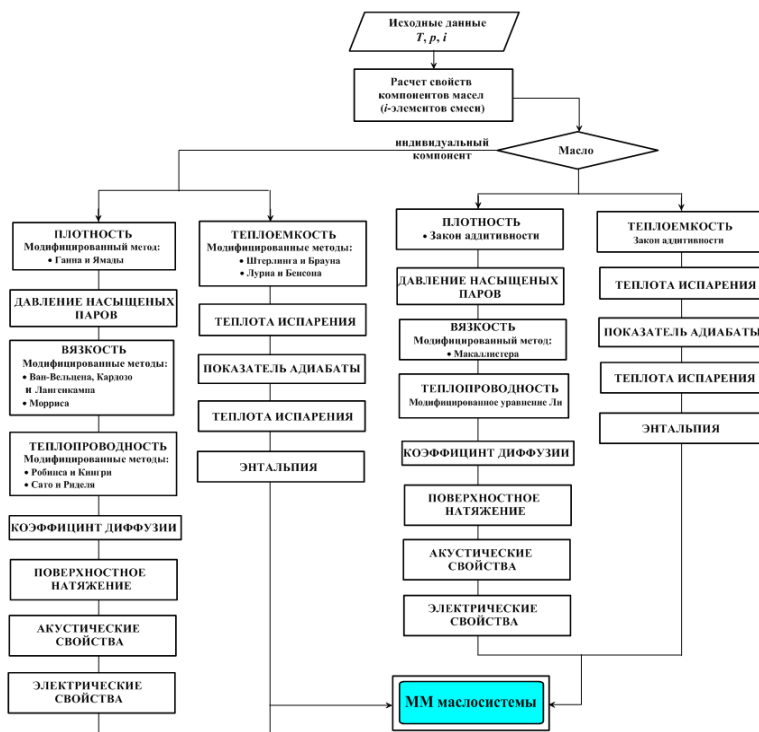


Рис. 1. Блок-схема расчета физико-химических свойств масел

Разработанная модель теплофизических свойств масел используется в задачах по формированию оптимального состава масла совместно с ИМС МС.

Схема ИМС МС может быть сформирована по образу существующей или принципиально новой. В неё входят все основные элементы МС двигателей: бак, теплообменник, насосы и т.д. Пример такой схемы представлен на (рис. 3).

Процесс создания ММ элементов включает в себя следующие стадии:

1. Анализ конструкций и работы элементов МС авиационных двигателей;

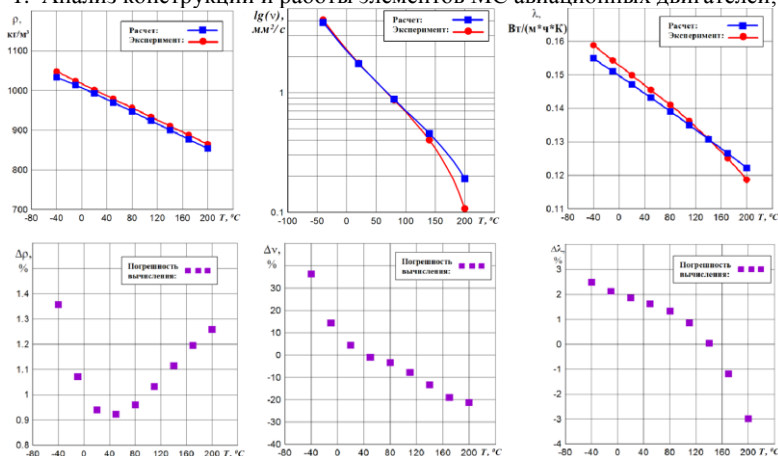


Рис. 2. Проверка на адекватность ММ масла ЛЗ-240

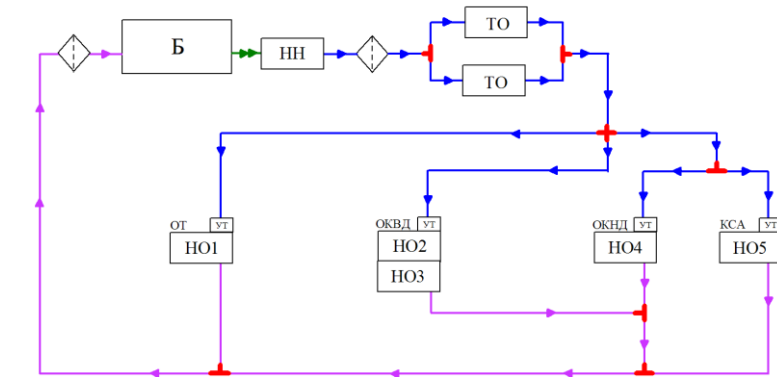
2. Формализация работы каждого из элементов;
3. Разработка алгоритма расчета характеристик элемента и процессов, происходящих в нём;
4. Проверка моделей на адекватность и идентификация моделей.

Исходными данными для ММ являются температура, давление и химический состав масла.

На начальном этапе создания ИМС МС модели элементов имеют упрощенную конструкцию и описывают только основные процессы. ММ элементов МС позволяют рассчитать усредненную температуру, давление и расход масла в сечении на выходе из элемента, а ММ масла – фиксировать изменение теплофизических параметров.

Расчет изменения температуры в каждом элементе заключается в определении процессов теплообмена при заданных условиях (например, нагрев масла в узлах трения, теплопередача тепла от масла к охладителю через стенку в теплообменниках). А изменение давления рассчитывается с учетом коэффициентов трения и местных сопротивлений элемента.

Методика создания новых рецептов с использованием математических моделей предполагает исследование и оценку параметров создаваемого или действующего масла в ИМС МС реального двигателя с учётом штатных режимов работы системы (перегрев масла, выброс масла, уменьшение объёма масла и т.п.).



Б – маслобак; **НН** – насос нагнетания; **ТО** – теплообменник; **УТ** – узел трения; **ОТ** – опора турбины; **ОКВД** – опора КВД; **ОКНД** – опора КНД; **КСА** – коробка самолётных агрегатов; **НО1-НО5** – насосы откачки;

- - подвод масла;
- - подача масла;
- - откачка масла.

Рис. 3. Пример принципиальной схемы МС

Созданные ММ свойств индивидуальных компонентов масел и их смесей и ИМС МС могут быть использованы в следующих задачах:

1. Формирование композиций новых масел на основе требований МС действующего двигателя;
2. Модификация МС, исходя из требуемых условий работы существующего масла;
3. Параллельный поиск рецептур масла и параметров МС для оптимальной работы двигателя.

**Бабкин В. И., Яновский Л. С., Ежов В. М.,
Молоканов А. А., Бырдина А. А.,**

ФГУП «Центральный институт авиационного
моторостроения им. П. И. Баранова», Российская Федерация

МЕТОДОЛОГИЯ ФОРМИРОВАНИЯ НОВЫХ РЕЦЕПТУР АВИАЦИОННЫХ ГСМ

Увеличение верхнего температурного предела работоспособности масляных систем авиационных ГТД, ужесточение условий эксплуатации редукторов и других агрегатов самолётов и вертолётов ставят задачи по разработке авиационных ГСМ, в том числе смазочных масел, нового поколения [1].

Работа по созданию авиационных масел состоит, как правило, из нескольких этапов:

- поиск состава (подбор основы и поиск оптимальных концентраций присадок) нового масла;
- квалификационные испытания образца масла из опытно-промышленной партии;
- стендовые и контрольно-лётные испытания образца.

После этого, при получении положительных результатов, разработчик и изготовитель авиационной техники принимают решение о допуске нового масла к эксплуатации.

Первый этап-поиск оптимального состава масла – занимает много времени, и от него зависит успех всех последующих, достаточно длительных и дорогостоящих, этапов. Этот этап начинается с выбора базовых масел и присадок, определяющих качество будущего масла. Затем проводятся эксперименты, в которых определяют оптимальный состав смазочных масел, обеспечивающий наилучшее значение целевого, наиболее важного, показателя и достаточный уровень контролируемых показателей. При этом очень важно правильно оценить взаимодействие применяемых присадок между собой, поскольку сочетания последних по-разному влияют на свойства готового масла.

При использовании такого, эмпирического, подхода создано подавляющее большинство современных ГСМ [1]. К недостаткам этого подхода относится то, что не всегда разработчику удается в полной мере оценить чрезвычайно большой объём информации о ранее проведенных экспериментах. При таком подходе отсутствует возможность объективного прогнозирования наилучших составов ГСМ.

В этом случае могут быть эффективны современные методы математического моделирования, нашедшие применение при решении схожих задач в ряде отраслей машиностроения, например, в автомобилестроении и металлургии [2], однако при создании композиций авиационных ГСМ, в том числе смазочных масел, такие методы до сих пор не применялись. Разработка математической модели процесса создания нового смазочного масла затруднена наличием большого набора физико-химических и эксплуатационных свойств, подлежащих улучшению, и представляет собой многокритериальную задачу оптимизации. Одним из способов решения таких задач является нейросетевое программирование [2].

Авторами разработана и апробирована методика, предусматривающая поиск оптимального состава ГСМ путём проведения серии экспериментов, управление которыми осуществляется с использованием оптимизатора, основанного на построении поверхностей отклика. Применение разработанной методики позволяет наиболее точно и обоснованно находить экстремум целевой функции при сокращении количества экспериментов.

Цель оптимизационного исследования заключается в определении такого состава ГСМ, который обеспечивает достижение наилучшего значения критерия оптимизации при сохранении необходимого уровня контролируемых показателей.

На рис. 1 приведена блок-схема процедуры поиска оптимальных составов при создании ГСМ. В начале выполняется постановка задачи и ввод в программу имеющихся экспериментальных данных по объекту оптимизации: физико-химические, эксплуатационные, теплофизические свойства как индивидуальных компонентов, так и готовых композиций, а также данные о сходимости и воспроизводимости методов.

Постановка задачи включает выбор критерия (K) оптимизации, определение вектора варьируемых переменных (ВВП) в эксперименте, формирование ограничиваемых параметров (ОП), контролируемых параметров (КП) и выбор условий остановки поиска.

Используя информацию из базы данных, программа формирует первичный ВВП, который предполагает проведение серии экспериментов по заданным точкам для формирования опорной поверхности «состав – свойства». Полученные результаты вносятся в оптимизатор и затем начинается итерационный процесс: оптимизатор предлагает разработчику ВВП, с использованием которого проводится эксперимент, затем полученные в эксперименте значения ОП и K поступают в оптимизатор и в базу данных; оптимизатор обрабатывает информацию и снова предлагает ВВП, – и так далее.

Процесс продолжается до достижения наилучшего значения критерия, определяемого необходимым уровнем точности, или до достижения заданного количества итераций. После проводится проверка контролируемых параметров. Накопление и использование информации в базе данных позволяет существенно сократить число экспериментов и повысить точность и достоверность результатов оптимизации для будущих исследований.

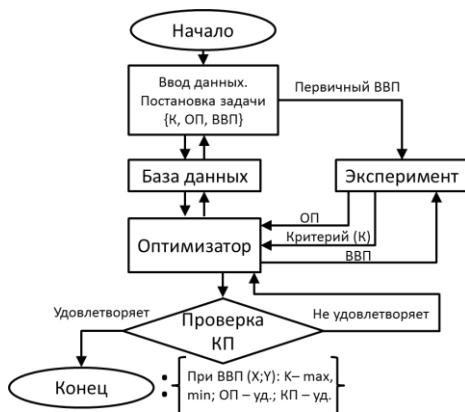


Рис. 1. Блок-схема процесса поиска оптимальных составов при создании ГСМ

Оптимизатор базируется на технологии построения поверхностей отклика, отличающейся от известных подходов нелинейного программирования [2] наличием стадии коррекции экспериментальных данных на этапе построения поверхности отклика, в результате чего предлагаемая методика адаптирована для оптимизации составов ГСМ.

Алгоритм построения поверхностей отклика имеет возможность аппроксимировать функции со сложной топологией, обеспечивая хорошие экстраполяционные свойства. При анализе экспериментальных данных значения, поступающие в оптимизатор, подвергаются уточнению при учёте соседних

результатов, полученных в близких условиях эксперимента, и при учете схожих результатов из базы данных, а также при учёте характера зависимости: монотонно убывающий, монотонно возрастающий или многоэкстремальный с различной степенью экстремальности.

Вышеописанный подход был использован авторами на первом этапе – этапе поиска оптимального состава масла – при создании нового авиационного смазочного масла на базе сложного эфира NB-5750, предназначенного для работы в редукторах вертолётов [3]. В состав таких масел входит, кроме основы, пакет антиокислительных и противоизносных присадок.

Одним из новых российских масел, предназначенных для смазки ГТД и редукторов современных и перспективных вертолетов, является масло АСМО-200 на эфирной основе (его аналоги, допущенные к применению в авиатехнике, – масла ЛЗ-240 и Б-3В 4). Область применения этих масел: в турбовинтовых двигателях (ТВД) самолетов, турбовальных двигателях (ТВаД) вертолётов всех типов и редукторах вертолётов типа МИ-8 с ограниченной рабочей температурой до 200°С.

Отечественные масла АСМО-200, ЛЗ-240 и Б-3В созданы эмпирическим путем и не полностью отвечают требованиям перспективной авиационной техники, уступая по ряду показателей зарубежным аналогам, например, АСТО 555, ВРТО 25 [1, 4].

Из требований к новому маслу наиболее важны высокие противоизносные свойства и термоокислительная стабильность, которые, по крайней мере, должны быть не ниже, чем у масла Б-3В. Противоизносные свойства, определяющие долговечность узлов трения, являются одними из основных эксплуатационных характеристик масел для авиационных ГТД и редукторов вертолётов. Оценка трибологических и других свойств смазочных масел непосредственно в условиях эксплуатации – процесс длительный и дорогостоящий.

Поэтому в качестве критерия оптимизации был выбран диаметр пятна износа D_i , характеризующий противоизносные свойства масла (по ГОСТ 9490). Этот показатель обладает высокой корреляцией с результатами оценки противоизносных свойств масел на редукторной установке Ш-3, имитирующей режимы работы двигателей и редукторов вертолёт в эластогидродинамическом режиме смазки и широко применяемой в интересах авиационной промышленности [5].

В качестве вектора варьируемых переменных выбраны концентрации двух присадок, влияющих на противоизносные и антифрикционные свойства: Irgalube 353 и ТКФ.

В качестве контролируемого параметра была выбрана термоокислительная стабильность масла, определяемая, согласно нормативной документации, по кислотному числу, осадку, нерастворимому в изооктане, и по вязкости окисленного масла при минус 40°С. Требуемые значения этих параметров были достигнуты путём введения в состав масла антиокислительной присадки аминного типа Irganox L-01.

После постановки задачи оптимизационного исследования и ввода данных по объекту оптимизации программа предлагает провести первичную серию экспериментов, затем полученные значения критерия D_i вводят в программу, по

которой проводится анализ полученных данных. Затем программа предлагает провести поисковый процесс: на каждом этапе экспериментального определения критерия $D_{и}$ оптимизатор выдает ВВП, т.е. концентрации присадок, влияющих на противоизносные свойства.

Математическая обработка базы данных позволяет в полной мере использовать накопленный опыт, а прогнозные возможности оптимизатора – предложить математически обоснованный вариант продолжения поиска наилучшего результата. Полученные в эксперименте результаты протоколируются в соответствующих файлах программы, что дает возможность формировать базу данных и использовать их по мере необходимости.

Процесс оптимизационного исследования состава противоизносных присадок при создании нового масла приведен на рис. 2.

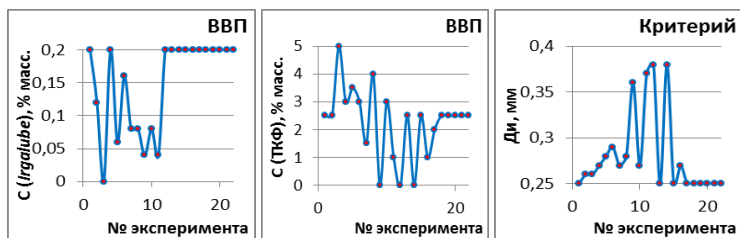


Рис. 2. Процесс оптимизации: изменения ВВП и критерия при варьировании концентраций присадок ТКФ и Irgalube 353

После 18-й итерации была определена композиция присадок, обеспечивающая наилучший результат по диаметру пятна износа ($D_{и} = 0,25$ мм). Применение вышеописанной методики позволило сократить количество экспериментов в несколько раз. Так, при постановке задачи исследования было задано два ВВП: концентрация ТКФ – от 0 до 5% масс. (шаг 0,5%), концентрация Irgalube 353 – от 0 до 0,2% масс. (шаг 0,02%). При этом максимальное количество экспериментов, которое потребовалось бы провести для исследования взаимодействия присадок, оказалось равным 121, однако при использовании разработанной авторами методики искомые концентрации присадок, обеспечивавшие наилучшие противоизносные свойства, были определены уже через 17 итераций – то есть более чем в семь раз быстрее.

В табл. 1 приведены физико-химические и эксплуатационные показатели опытного образца масла № 18, полученные при оценке контролируемых параметров, в сравнении с типовыми показателями масел АСМО-200, ЛЗ-240 и Б-3В (по данным ЦИАМ).

Видно, что по диаметру пятна износа полученный образец № 18 превосходит масло Б-3В более чем в 2 раза, по вязкости при минус 40°C – в 1,5 раза, по вязкости после окисления при минус 40°C – в 2 раза, а по остальным показателям удовлетворяет требованиям нормативной документации. Кроме этого, полученный образец превосходит по целевому показателю ($D_{и}$) более совершенные, чем Б-3В, смазочные масла ЛЗ-240 и АСМО-200. Разработанная авторами методика, основанная на сопряжении экспериментальной базы, оптимизатора и функции

управления экспери-ментом, представляет собой инновационную методологию создания новых масел, а также позволяет организовать эффективный процесс создания ГСМ, отвечающих требованиям технического задания.

Таблица 1.

Наименование показателя	АСМО-200*	ЛЗ-240**	Б-3В**	Образец № 18
Показатель износа D_n при постоянной нагрузке 196 Н, мм	0,32	0,39	0,52	0,25
Вязкость кинематическая, мм ² /с при 100°С	5,10	4,90	5,21	5,12
при минус 40°С	10321	8580	12380	8 750
Кислотное число, мг КОН/г	0,08	0,24	3,65	0,06
Термоокислительная стабильность при 200°С за 50 час по ГОСТ 23797				
вязкость кинематическая после окисления, мм ² /с при 100°С	5,30	5,02	6,32	5,85
при минус 40°С	10721	10680	23 500	11 248
кислотное число после окисления, мг КОН/г	0,6	0,55	1,61	1,58
массовая доля осадка, не растворимого в изооктане, %	0,04	0,045	0,06	0,06

* изготовитель ЗАО «НПЦ Спецнефтьпродукт» (опытная партия);

**изготовитель ЗАО «Завод им. Шаумяна».

Математическая обработка базы эксплуатационных данных по ГСМ позволяет в полной мере оценить уже накопленный опыт, а прогнозные возможности реализованного в методике математического оптимизатора – предложить обоснованный вариант продолжения поиска наилучшего результата.

Литературы:

1. Яновский Л. С., Ежов В. М., Молоканов А. А., Колыбельский Д. С. Отечественные и зарубежные смазочные масла для авиационных двигателей // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2012. – № 9. – С. 2–6.
2. Захаров С. М. Применение информационных технологий в трибологии // Трение и износ в машинах и механизмах. – 2006. – № 12. – С. 34–38.
3. Бабкин В. И., Алексашин А. А., Яновский Л. С., Дунаев С. В., Хурумова А. Ф. Отечественные смазочные масла для авиационных газотурбинных двигателей: проблемы и перспективы // Двигатель. – 2012. – № 5. – С. 6–9.
4. Руководящий технический материал «Перечень зарубежных горюче-смазочных материалов, рекомендованных к применению на авиатехнике отечественного производства» (8-е изд.). Яновский Л. С., Варламова Н. И., Ежов В. М. – М.: ЦИАМ, 2009. – 18 с.
5. Яновский Л. С., Дубовкин Н. Ф., Галимов Ф. М. и др. Инженерные основы авиационной химмотологии. – Казань: Изд. Казанск. ун-та, 2005. – 714 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИДРАТА ПРИРОДНОГО ГАЗА В СОСТАВЕ ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

При непрерывном росте потребления традиционных энергоносителей – нефти, природного газа, каменного угля, и неизбежном истощении их запасов, все острее встает вопрос о вовлечении в потребление новых энергоносителей. Одними из таких новых энергоносителей являются газовые гидраты (ГГ), содержащие горючие газы: метан, этан, пропан и др. Запасы природного газа в Арктике, Антарктике, на дне океанов и морей в составе газовых гидратов на порядки превышают разведанные запасы природного газа, что делает весьма привлекательным рассмотрение возможности применения ГГ в качестве топлива для силовых установок (СУ), в том числе, авиационных летательных аппаратов (ЛА).

Настоящая работа проводилась с целью оценки эффективности применения ГГ и энергоносителей на их основе в качестве горючего для СУ ЛА.

Основным требованием, предъявляемым к авиационному топливу, является требование к его массовой и объёмной теплотам сгорания. Содержащаяся в газовых гидратах вода – негорючий компонент с нулевой теплотой сгорания. Горючим компонентом в составе газгидрата является горючий газ. Количество его в газовом гидрате, как авиационном топливе, должно быть максимально, а воды – минимально возможным. Кроме того, горючий газ должен иметь высокую массовую теплоту сгорания.

Известно, что газы и летучие органические жидкости с $T_{\text{кип.}} \geq 333,16 \text{ К}$ не могут образовывать гидратов. Это означает, что из предельных углеводородов газы метана, этана, пропана, бутана и пентана, имеющих температуру кипения менее 60°C . Реально, нормальный бутан и более высокомолекулярные углеводороды гидратов не образуют, хотя и могут содержаться в незначительных количествах в газгидратах природного газа [1].

С увеличением молекулярной массы нормальных углеводородов в составе их гидратов увеличивается и число молекул воды. Так, например, в моле газового гидрата метана содержится 6 молей воды, а в моле газового гидрата пропана – 17. Таким образом, в 1 кг газового гидрата метана содержится 129 г метана, а в 1 кг газового гидрата пропана – 143 г. Низшая теплота сгорания метана составляет 50100 кДж/кг, пропана – 46450 кДж/кг, т.е. на 7% ниже. Таким образом, при сгорании выделившегося из 1 кг газгидрата метана газа метана будет получено примерно столько же тепла, сколько при сгорании выделившегося из газгидрата пропана газа пропана. По плотности газгидрат метана и газгидрат пропана мало отличаются (910 кг/м^3 и 883 кг/м^3 соответственно), при температуре 0°C и давлении разложения). Таким образом, газгидрат метана и газгидрат пропана по массовой и объёмной теплотам сгорания отличаются незначительно.

Природные гидраты углеводородных газов – газгидраты природного газа, который состоит, в основном, из метана. В северных районах России, где большие наземные залежи газгидратов, природный газ основных месторождений содержит в своем составе 98–99% об. метана [1].

Природные гидраты углеводородных газов – газгидраты природного газа, который состоит, в основном, из метана. В северных районах России, где большие наземные залежи газгидратов, природный газ основных месторождений содержит в своем составе 98–99% об. метана [1].

Принимая во внимание, что природные газгидраты – это гидраты природного газа и что гидраты других углеводородных газов по энергетическим характеристикам (массовой и объёмной теплотам сгорания) несильно отличаются, было принято решение в качестве оптимального газгидрата-энергоносителя при анализе эффективности применения газового гидрата в качестве энергоносителя ЛА рассматривать газовый гидрат метана.

Эффективность применения газовых гидратов и энергоносителей на их основе (газгидрата метана) в топливных системах (ТС) ЛА рассматривалась на примере среднего транспортного самолёта Ил-76ТД-90 с двигателями ПС-90А-76 [2].

Проведены сравнительные исследования лётно-технических характеристик (ЛТХ) этого самолёта на авиакеросине ТС-1, сжиженном природном газе (СПГ) и ГГ. Основные показатели качества этих топлив приведены в табл. 1. [2, 3].

Общий вид самолёта Ил-76ТД-90 представлен на рис. 1, а. При использовании керосина ТС-1 все топливо размещается в кессонных баках крыла (см. рис. 1, а). На рис. 1, б показано размещение криогенного топлива на самолёте Ил-76ТД-90. Для использования криогенного топлива и газогидратного топлива самолёт Ил-76ТД-90 должен быть оснащён внешним топливным баком (ТБ), расположенным над фюзеляжем, который увеличивает лобовое сопротивление и массу планера.

В докладе рассматривается задача модернизации ЛА и СУ при условии постоянства взлетной массы.

Поэтому вопросы выбора параметров криогенного топливного бака (КТБ) носили частный исследовательский характер. Так, например, отдельно от самолёта оптимизировался диаметр топливного бака с целью максимизации массы СПГ находящегося в баке при заданных значениях длины КТБ (28 м), массы 1 м^2 теплоизоляции ($1 \text{ м}^2 = 20,1 \text{ кг}$) и конструкции КТБ,

а также известной сумме масс криогенной топливной системы ЛА, КТБ и СПГ. Конструкция и компоновка ТС самолёта на СПГ достаточно подробно изучалась и прорабатывалась. К примеру, установлено, что дополнительное увеличение массы топливной системы происходит только за счёт КТБ. Масса агрегатов, обеспечивающих подачу топлива в двигатель, находится на уровне с массой керосиновых авиационных систем [3, 4].

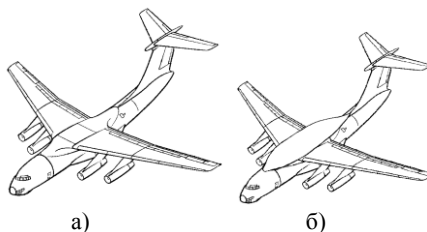


Рисунок 1. Общий вид самолета при использовании ТС-1 (а), СПГ и ГГ (б)

Таблица 1

Основные показатели топлив				
Наименование показателя	Топливо	ТС-1	СПГ	ГГ метана
Плотность, кг/м ³		775	424	910
Массовая низшая теплота сгорания, МДж/кг		42,9	50	5,89
Объёмная низшая теплота сгорания, МДж/м ³		33170	21200	5380

Газгидрат должен находиться на борту самолёта при температуре ниже минус 29°С. Низкую температуру необходимо поддерживать. Это требует установки теплозащитного бака. Для обеспечения длительного хранения ГГ в теплоизолированном баке без стравливания метана он должен заправляться при температуре значительно ниже минус 30°С.

Принципиальные схемы топливных систем ЛА на ГГ (рис. 2 и 3).

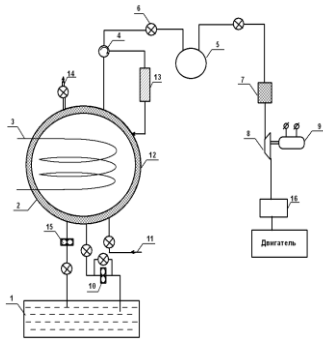


Рисунок 2. Принципиальная схема ТС на ГГ: 1 – ёмкость для воды; 2 – реактор; 3 – обогреватель; 4 – сепаратор; 5 – ресивер; 6 – кран; 7 – фильтр; 8 – турбодетандер; 9 – электрогенератор; 10 – водяной насос высокого давления; 11 – канал подвода холодного воздуха; 12 – теплоизоляция; 13 – шнековый насос; 14 – предохранительный клапан; 15 – водяная помпа; 16 – топливная автоматика.

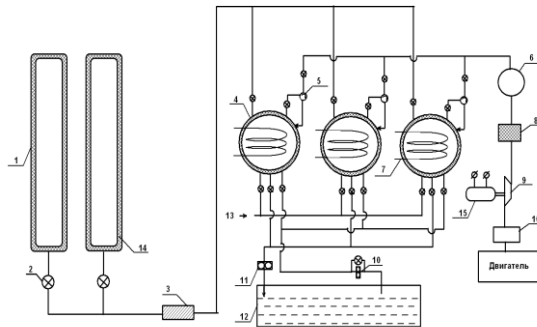


Рис. 3. Принципиальная схема ТС на ГГ: 1 – ёмкость для ГГ; 2 – кран; 3 – шнековый насос; 4 – реактор; 5 – сепаратор; 6 – ресивер; 7 – обогреватель; 8 – фильтр; 9 – турбодетандер; 10 – водяной насос высокого давления; 11 – водяная помпа; 12 – ёмкость для воды; 13 – канал подвода холодного воздуха; 14 – теплоизоляция; 15 – электрогенератор; 16 – топливная автоматика

По предварительным оценкам масса топливной системы на ГГ больше массы топливной системы на авиакеросине в 10 и более раз. Но, тем не менее, принималась она равной массе топливной системы на керосине.

Для расчёта ЛТХ самолёта использованы более 1500 исходных данных для имитационной математической модели (ИММ), которые заимствованы из технической документации на вышеупомянутый самолёт и двигатель [2].

В табл. 2 приведены данные по массам топлив и габаритам топливного бака для СПГ, ГГ и ТС-1, полученные при помощи ИММ.

Таблица 2

Параметры	Топливо		
	СПГ	ГГ	ТС-1
Масса топлива, кг	47700	49070	52000
Диаметр внешнего бака, м	2.26	1.58	-
Длина внешнего бака, м	28	28	-
Масса бака, кг	4300	2926	-
Масса газа в ГГ, кг	-	6380	-
Масса газа в ГГ в распоряжении СУ, кг	-	5398	-

В настоящем исследовании взлётная масса ЛА состоит из снаряженной массы планера, массы топлива и массы полезной нагрузки.

Расчет дальности полёта самолёта проводился для двух вариантов полезной

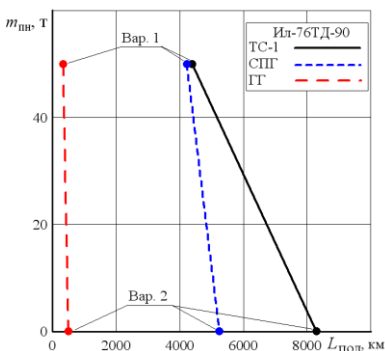


Рис. 4. Зависимость массы полезной нагрузки от дальности полёта Ил-76ТД-90

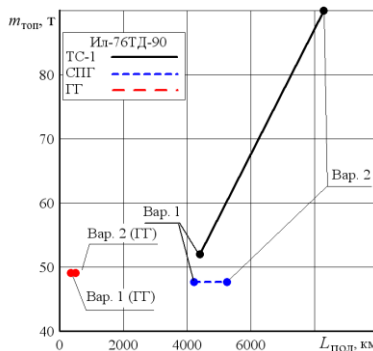


Рис. 5. Зависимость массы топлива от дальности полёта Ил-76ТД-90

нагрузки. Вариант 1 имеет максимальную полезную нагрузку при максимальной взлётной массе. Вариант 2 – «перегоночный» – характеризуется максимальной заправкой топливом и отсутствием полезной нагрузки (рис. 4-6).

Перегоночный вариант в практике используется крайне редко, а полная загрузка ЛА случается часто. Масса природного газа на борту ЛА составляет 6380 кг. Часть этого топлива расходуется на газификацию ГГ и в результате в распоряжении СУ ЛА остается 5398 кг метана. Этого топлива хватает, чтобы Ил-76ТД-90 с 50 т полезной нагрузки (вариант 1) пролетел 340 км. На керосине ТС-1 полёт выполняется на расстояние 4400 км, а на криогенном метане – на 4200 км.

Таким образом заправленный ГГ метана ЛА с максимальной массой полезной нагрузки и максимальным взлётным весом, даже без учёта добавочного веса от специальных баков и оборудования для ГГ имеет существенное, более чем 10 раз, уменьшение дальности полета по сравнению с полётом на авиакеросине. В тоже время, ЛА оснащенные криогенным топливным баком с СПГ совершит полёт практически на ту же дальность что и ЛА на авиакеросине.

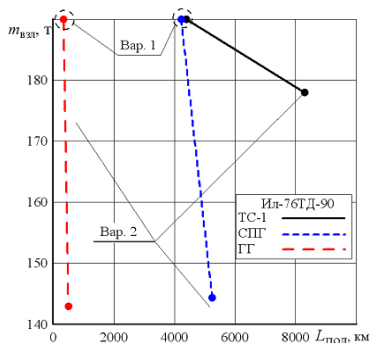


Рис. 6. Зависимость взлётной массы от дальности полёта Ил-76ТД-90

Литература:

1. Дубовкин Н. Ф., Яновский Л. С., Харин А. А., Шевченко И. В., Верховоломов В. К., Суриков Е. В. Топлива для воздушно-реактивных двигателей, М., : «МАТИ»- Российский государственный технологический университет им. К.Э. Циолковского, 2001. – 443 с.
2. Веб-ресурс Авиационного комплекса им. С. В. Ильюшина – <http://www.ilyushin.org/>
3. Бык С. Ш., Макогон Ю. Ф., Фомина В. И. «Газовые гидраты», М., Химия, 1980 г.
4. Бык С. Ш., Фомина В. И. «Газовые гидраты», М., издательство ВИНТИ, 1970 г. – С. 126.

Kinav E., Baykara S. Z.,
Yildiz Technical University, Turkey

A NEW MODEL FOR CHARGING EVS WITH CURRENT FUEL INFRASTRUCTURE – SELF CHARGING ELECTRIC VEHICLE CONFIGURATION FED BY STATIONARY OUTBOARD FUEL

Recently, huge incentives have been allocated for the accommodation of electric vehicles. But despite the incentives, desired volumes of electric vehicle production and sales are still far from being reached. Although there are more than one reason for this situation, the most important one is the lack of well established electric vehicle charging stations widely spread in sufficient quantities, that are ready for use wherever and whenever customers need them. Options are far less especially for customers who need to use fast charging stations instead of slow charging ones at home or office garages

taking 6– 8 hours. Logically, the basic reason for insufficient charging infrastructure is unwillingness to invest in such expensive technology, as the number of electric vehicles on the roads are still very low for a viable business option. On the other hand, the number of electric cars is not likely to increase unless charging infrastructure is sufficient. This chicken and egg dilemma is rather inhibiting for fast charging stations that are more expensive.

Current situation seriously slows down the electrification of transportation system while proceeding from infancy period to mass production stage. For starting a viable EV system, a model that can use the currently available fuel infrastructure is needed during the transition period.

The purpose of the present work is to create a new pure electric vehicle configuration which does not necessarily need an EV charging station and which can be charged at any currently available fuel station. To enable an electric vehicle charge itself by an onboard internal combustion engine-generator while being refueled from an outboard fuel source (for example at a dispenser in a CNG – LPG – gasoline station). Once the number of electric vehicles on the road reaches a sufficient level so as to make the charging stations a viable business by themselves, investors will need much less government incentives.

It is a fact that besides all the advantages and ease the use of energy brings to our lives, it is also damaging the natural environment. Global warming and greenhouse gas effect are the main reasons for this damage. Emissions of CO₂ are assumed to constitute 50% of the greenhouse gas effect. According to many scientists, there is a relation between rise of CO₂ amount in the atmosphere and global warming and next century will face 2–4°C temperature rise (IPCC, 2001).

At the end of 1980-s, as environmental issues became more clear, emission regulations have become available for land vehicles [1]. In 2009, transportation accounted for approximately 20% of global primary energy use and one quarter of all energy-related carbon dioxide (CO₂) emissions [2].

Electric Vehicle Initiative (EVI), a multi-government policy forum dedicated to accelerating the introduction and adoption of electric vehicles worldwide, aims to reach the target of 20 million EVs on the road by 2020 [3]. International Energy Agency's Improvement scenario also contains the same figures from EVI which takes current 200.000 EVs worldwide as a base and improves CO₂ emissions by 10 gigatons (Gts) by 2050 [4, 5].

Despite the government incentives, desired volumes of electric vehicle production and sales are still far from being reached as of today. But would investors be willing to commercialize EV charging infrastructure and invest without waiting for any government subsidies if 20% of the current annual 60 million car production was electric vehicles today? Assumed answer for this, especially for DC fast charging systems was, definitely yes. Question that we had in mind in order to make this a reality was "how can we let the customers freely charge their EVs today, without major charging infrastructure installed throughout the country". Answer to this question was the driver for starting our present work, to enable the current fuel infrastructure that is already established for conventional fueled vehicles.

Main aim of the present work is to find a viable solution for inadequate charging infrastructure for electric vehicles and enabling them to be charged at any fuel station

while vehicle is running on the road and battery is about to be depleted. By doing so, range anxiety issue will be overcome and one of the biggest problems prohibiting the sales of battery electric vehicles (BEV) will be solved. This way, electric vehicle users can access to readily available charging infrastructure spread all over the world. It is at highest importance not to make huge infrastructure investments during the infancy period of BEVs and accelerate the transition into mass production stage.

Creating a new electric vehicle configuration which can charge itself by an onboard generator, is the solution present work brings for the lack of charging infrastructure. This new configuration can be placed in between pure electric and hybrid electric vehicle (range extender) configurations in many ways.

Pure electric vehicles or battery electric vehicles as seen on Fig.1, have a battery pack for storing the required energy and an electric motor for traction of the vehicle. When the battery is depleted and there is no energy for traction, it has to be charged in an electric vehicle charging station. This station can be a charging point established in a house – office garage, as well as a public charging station. Usually, slow charging systems are used where electric vehicle can be parked for long durations, such as house – office garages. Use of slow charging stations are much cheaper than the fast charging stations and give opportunity for BEV users not to lose time for charging during a busy day by charging overnight while they are sleeping. Those BEV users who have the possibility to charge at house – office, although scarce, can also use the publicly available fast charging stations for charging their vehicles in 15–30 min in between a trip.

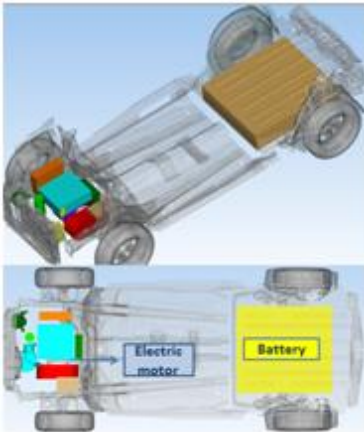


Fig. 1. Battery Electric Vehicle component layout

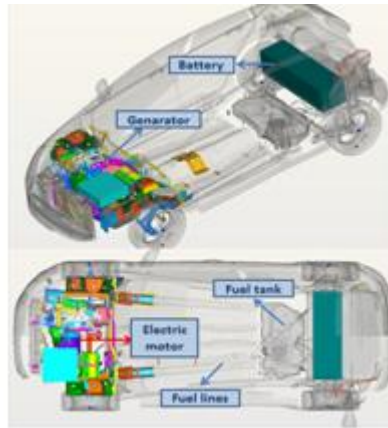


Fig. 2. Hybrid Electric Vehicle component layout

Studies show that the foremost reasons BEVs are still not able to reach the desired sales volumes are lack of charging infrastructure and range anxiety caused by the fact that users can not charge their vehicles anywhere they want to drive. This requires planned journeys rather than unplanned as people are used to today. At the same time

increased battery capacity due to lack of frequent charging opportunity adds significant cost on the vehicle initial cost. As BEVs are already not able to benefit the many cost reduction items associated with mass production, any add-ons to initial cost determines one of the most important decision factors for customers during vehicle selection.

Hybrid electric vehicle (HEV) configuration contains, in addition to electric motor and battery, an ICE and a fuel system is required to keep charging the battery on the road without vehicle having to stop (Fig. 2). When the battery is depleted in serial hybrid vehicles, vehicle does not have to stop for charging and ICE can operate at a designed operation point to produce electricity for charging the battery. This way, unlike BEVs, lack of charging infrastructure and range anxiety are no longer a big problem for customers while deciding about buying a HEV, or currently named as range extended vehicles (REV).

Vehicle in Fig. 2 is the subject of the present work, which can be named as outboard fueled electric vehicle. It is categorized between pure EV and hybrid EV by combining both of their advantages.

Difference from any pure electric vehicle configuration is that not only can the battery be charged from the grid but also the ICE-generator can fast charge the battery while fuel being fed from an outboard source. Engine operates at its single most efficient design point and is enabled to be more efficient than an ICE vehicle using the same ICE for traction purpose (especially in city cycles, where EVs are mostly driven). Because there is no energy source (fuel) stored onboard the vehicle, it is a pure electric vehicle, not a hybrid electric vehicle. This specification makes it a new electric vehicle configuration in between battery electric vehicles and hybrid electric vehicles.

In this new configuration, fuel is fed to the ICE-generator from an external source through a fuel regulator system and there is no fuel tank on the vehicle that will store fuel while the vehicle is running on the road. External fuel source can be a fuel dispenser in a gas station, a fuel tank, a fuel truck, etc. Fuel regulator regulates the fuel pressure and flow, to enable the ICE-generator to operate efficiently. This configuration provides electric vehicle users the advantage of a hybrid vehicle by not being dependent on charging infrastructure while away from home / office charging facility but also combines together with the advantages of pure electric vehicles. Due to the fact that there is no fuel storage inside the vehicle, lack of fuel, fuel tank, fuel lines, chassis parts that are designed and assembled to provide safety gives possibility to manufacture more simple, lighter weight and eventually cheaper vehicle than a hybrid electric vehicle. It also enables to delete safety tests and counter measures for fuel safety issue, further reducing the design and product development initial costs.

It can be used just like an EV and can be charged from city electricity at home or office. As the vehicle is driven, each kilometre brings the charge to depletion. Eventhough EV users try plan their journeys according to the charge status and range, there are always risks to travel more then planned or use more energy per distance traveled because of weather conditions, road conditions, driving habits, confort and entertainment accessories of the vehicle, etc. These are usually the main drivers of range anxiety as well. As there are insufficient charging opportunities available everywhere and anytime, EV users do not have the luxury of using the infrastructure they have with their current ICE vehicle. Unlike other EV users, new configuration EV users will not have any range anxiety because there are many already established fuel stations all

around the city and highways which can be used to power the ICE-generator on the vehicle, just like any ICE vehicle on the road today. LPG, CNG or any other fuel can be utilized to generate electricity in the vehicle and charge the vehicle during the short time at the fuel station.

As in hybrid electric vehicles, fuel is to be used to charge the depleted batteries but unlike them, there is no fuel stored on the vehicle. Since there is no fuel and fuel systems on the vehicle, not only that vehicle is enabled to be lighter weight (around 50 kg. due) and more energy efficient but also there is no need for any fuel related safety precautions and associated safety tests. Moreover, since the vehicle is not a hybrid electric vehicle requiring complex control systems, medium scale companies can be able to commercialize such vehicles as well. This may even speed up the transition phase because medium scale companies are usually faster to act.

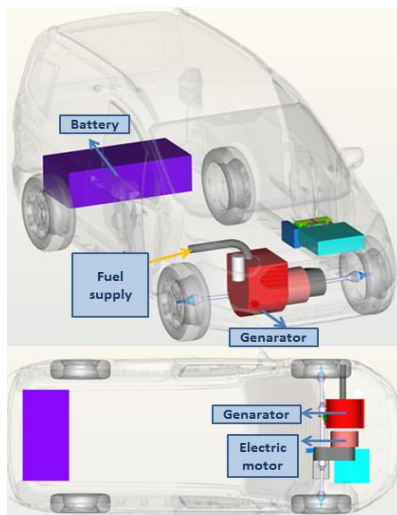


Fig. 3. Outboard fuel fed electric vehicle component layout

When we are driving our vehicles today, for most of the time, we are driving in urban areas. There are congestions, traffic lights, pedestrians, etc. that we have to pay attention and keep pushing gas and brake. As a result of this, we do not have the luxury to drive at a single speed, unlike in highways. Since the internal combustion engine of the vehicle operates at many different operation points which are mostly out of the most efficient design area, we can not achieve the best mileage. In the current work, since ICE-generator is used at its most efficient design area, it operates around 25–30% more fuel efficient. Result of this is around 4–5% higher mileage of the vehicle in urban area against any comparable conventional vehicle with same ICE and fuel.

Advantages over pure electric vehicles:

- no range anxiety;
- ability to charge at any fuel station during emergency;

- as there will be no range anxiety and users will be able to charge at fuel stations, battery sizes can be kept at minimum by considering the daily journey ranges in each part of the world.
- since 40–50% of the vehicle cost is battery itself, reducing the size of the battery will greatly influence the total price of the vehicle.
- to be used anywhere around the world with established fuel infrastructure (8500 LPG and 12500 gasoline stations already established in Turkey).

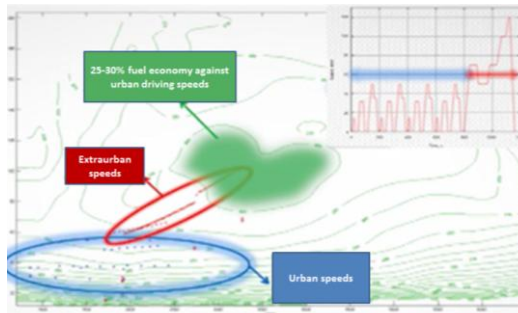


Fig. 4. Exemple of an ICE operating at different operation points with different specific fuel consumption (g/kWh) (BSFC – Brake Specific Fuel Consumption)

Disadvantages over pure electric vehicles:

- add on weight of the ICE-generator causes lower energy efficiency (~5km less range against a similar BEV) .

Advantages over hybrid electric vehicles:

- higher energy efficient design due to deleted weight of the fuel, fuel systems and chassis parts used for fuel related safety of the vehicle.
- shorter design duration and no design limitations arising from fuel systems.
- no product development tests related with fuel systems
- in real world designs, hybrid vehicles are usually not benefitting from use of clean fuels such as LPG, CNG, hydrogen due to the fact that their storage tanks are larger then gasoline tanks in comparison. But since new design concept EV does not store the fuel on the vehicle, there are many options to use whichever fuel user wants without compromising vehicle volume.
- empty area left from fuel tank, fuel lines and chasis parts to accomodate-secure them can be used for more useful reasons for marketing advantage.
- complex hybrid electric vehicle control systems are not needed and medium scale companies can also commercialize such vehicles.
- ICE-generator operating at one single design point optimized for energy efficiency and fuel consumption enabling the same vehicle and ICE to be more fuel efficient then its ICE version (~30% less fuel consumption without even changing any engine components). Engine components can also be optimized for a better efficiency at single operation point.

Disadvantages over hybrid electric vehicles:

- vehicle can not be driven without stopping on single charge as charging takes place inside a fuel station by use of an outboard fed fuel.

In the present work, we are proposing a system to ease and speed up the transition period for EVs. The growing number of land vehicles in the world and the fact that they are polluting the environment and harming people is the reason for drawing attention to them. Currently 97% of the fuels being used on land vehicles are petroleum based [5]. The proposed technique is to facilitate the transition to electric vehicle utilization in daily life. Even though the EV technology is currently available, and there is need to reach a higher share in the market for being able to observe the advantages it will contribute. The proposed technique is strongly believed to be worthwhile since there are not enough fast charging stations available wherever and whenever users need them on the roads.

References:

1. M. Şahin, "Hidrojen Enerji Teknolojileri" Anıl Matbaacılık, 2006, Ankara.
2. OECD/IEA, Energy Technology Perspectives 2010, ISBN 978 92-64-08597-8, Paris, (2010).
3. 'Global EV Outlook – Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020', April 2013.
4. EV City Casebook 2012– A Look At The Global Electric Vehicle Movement .
5. http://www.iea.org/publications/globalevoutlook_2013.pdf
6. J. Romm, "The Car and Fuel of the Future", Energy Policy, 34(17): 2609-2614.119 .

Jacek Eliasz,

Західнопомеранський технологічний університет, Польща

Квашнівська Н. М., Балицький О. О.,

Львівський Національний університет ім. І. Франка, Україна

Грищенко С. А.,

Фізико-механічний інститут ім. Г.В.Карпенка НАН України, Україна

Поліщук Н. М.,

Луцький Національний технічний університет, Україна

ТВЕРДІ ШАРУВАТІ ІНТЕРКАЛЬОВАНІ ВОДНЕМ МАСТИЛА НА ОСНОВІ СЕЛЕНІДІВ ГАЛІЮ ТА ІНДІЮ

Особливості механічних характеристик сплавів на основі шаруватих селенідів індію та галію можна використовувати у двигунобудуванні для полегшення проковзування контактуючих пар, що працюють у водні (зокрема у водневих та двигунах на воденьвмісному пальному) [1–7].

Твердотільні шаруваті (графітоподібні) мастила на основі дисульфідну молібдену з додаванням індію або свинцю та модифіковані за допомогою твердотільних джерел кисню та водню самозмащувальні підшипникові матеріали [1, 2] мають певні недоліки, серед яких слід відзначити відсутність запобігання третьовій водневій, сульфідній, сірководневій корозії та корозійному розтріскуванню, неможливість інтенсивного поглинання водню, кисню, води (що є одним з факторів підвищеної працездатності твердих, насичених вологою, графітоподібних мастил), виникнення корозії тертя і швидкого зношування контактуючих у водні поверхонь (з викишуванням продуктів зношування

значних розмірів), що часто спостерігається в елементах конструкцій та деталях бабітових підшипників, що охолоджуються воднем.

До недоліків слід віднести й те, що отримання наночастинок дисульфиду молібдену передбачає тривалу обробку у газоподібному водні за підвищених температур (1053 К).

Змащувальна композиція на основі твердого мастила, що містить халькогенід (дисульфід молібдену) має недостатню здатність до багаторазового інтенсивного “поглинання-виділення” (з метою відведення з зони трибоконтакту водню) та запобігання тертьової водневої корозії (з підвищенням триботехнічних характеристик графітоподібних твердих мастил насиченням водою).

Тому перспективним є створення самоорганізованих композиційних матеріалів, в яких у процесі тертя інтенсифікується реакція насичення воднем з його локалізацією у міжшаровому просторі кристалічного шаруватого порошку і створення можливості багаторазового процесу “інтеркаляції-деінтеркаляції” (“накопичення-виділення”) з метою запобігання тертьової водневої корозії та підвищення триботехнічних характеристик шаруватих твердих мастил, використовуючи інтенсивне тепловідведення воднем із зони трибоконтакту.

Шарувате, інтеркальоване воднем, тверде мастило містить напівпровідниковий порошок на основі GaSe, легований свинцем (у кількості від 0,34 до 0,72 ат.) і воднем (у межах від 200 до 350 млн⁻¹) [6].

Порошок подрібнюють на планетарному млині, а контрольований процес інтеркалювання воднем здійснюють електролітично з 26% розчину H₂SO₄+0,25 г/л As₂O₃ з підбором оптимальних густин струму 0,5–3 А/м², або у газоподібному водні за температури 873 К та тиску 10 МПа.

Отриманий порошок додають (до 2 мас.%) до мастила типу И-20 (И-20А) з подальшим перемішуванням ультразвуковими коливаннями у ванні типу УЗВД-6 або Sonics VCX-500 (з частотами 0,18–0,6 МГц та потужністю до 3 кВт). Густина потужності, прикладеної до поверхні частинки в умовах кавітації при повній амплітуді 125 мкм, становить від 5 до 110 Вт/см².

Трибологічні властивості мастил з додатками порошоків (GaSe)_{0,9928}Pb_{0,0072} вивчали в різних умовах та схемах тертя, зокрема на стаціонарній лабораторній установці СМТ-1. Швидкість ковзання нижнього ролика складала 1480 об/хв, верхнього – 1240 об/хв (проковзування становило 15%). Нижній ролик (діаметром 42 мм) було виготовлено із сталі 38ХНЗМФА (твердістю 31 HRC), а верхній – зі сталі 60ХЗГ8Н8В (39 HRC). Лінійна швидкість верхнього ролика складала 2,3 м/с, нижнього – 3,1 м/с, ширина роликів становила 10 мм. Втрати маси зразків визначали зважуванням на аналітичній вазі RADWAG WAA 160 з точністю до 0,0001 г [7].

Процес інтеркалювання протонами з їхньою локалізацією у міжшаровому просторі кристалічного шаруватого порошку халькогеніду (зокрема селенідів галію або індію) створює можливість багаторазового процесу “інтеркаляції-деінтеркаляції” (“накопичення-виділення”) з метою запобігання тертьової водневої корозії та підвищення триботехнічних характеристик шаруватих твердих мастил, використовуючи інтенсивне тепловідведення воднем з зони трибоконтакту.

Крім того, за даними рентгенівського аналізу параметр кристалічної ґратки GaSe c зростає до 1,596 нм. Якщо різниця атомних радіусів галію та введеної металевої домішки (свинцю) не перевищує 15%, то переважаючим механізмом її втілення в ґратку GaSe є заміщення атомів галію в вузлах кристалічної ґратки. Але внаслідок значно більшої різниці атомних радіусів галію та введеної металевої домішки (свинцю), понад 22%, заміщення у вузлах решітки не відбувається і основним механізмом розчинення свинцю в моноселеніді галію слід вважати його локалізацію в міжшаровому просторі кристалу. Таким способом було отримане мастило з додатком дрібнокристалічного $(\text{GaSe})_{0,9928}\text{Pb}_{0,0072}$ (параметри ґратки: $a = 0,3755$, $c = 1,5959$ нм, міжплощинні відстані: $d_{002} = 0,797$, $d_{004} = 0,3985$, $d_{100} = 0,346$, $d_{101} = 0,3186$, $d_{102} = 0,301$, $d_{006} = 0,2656$, $d_{008} = 0,1992$ нм).

Якщо в процесі тертя в зоні контакту виникають тиски до 100 МПа, то фазових перетворень в моноселенідах галію та індію не відбувається. Одночасно встановлено, що водень впливає на параметри ґратки їх політипів, накопичуючись в міжшаровому просторі за рахунок інтеркаляції, а досягаючи певних концентрацій – і втіленням в шаровий простір.

Зміна концентрації водню призводить до нелінійного росту параметра кристалічної ґратки GaSe c до 1,594 нм. При інтеркалюванні воднем відбувається і ріст параметра кристалічної ґратки a (від 0,375 до 0,377 нм), що свідчить про часткове входження водню (на відміну від свинцю) (за механізмом “втілення”) в шаровий простір кристалу GaSe.

Висока теплоємність водню (29,83 Дж/мольК), низька густина (у 14 разів менша, ніж повітря) та вищий на 44% (у порівнянні з повітрям) коефіцієнт тепловіддачі з поверхні сприяють ефективному тепловідведенню з зони трибоконтакту.

Введення халькогенідних додатків галію або індію до мастила призводить до покращення трибологічних показників у порівнянні з аналогічними даними у разі використання графітових наповнювачів або порошків природного дисульфідну молібдену (ДМ-1, ТУ 48-19-133-75).

Якщо за базові показники прийняти трибологічні характеристики композицій з додаванням графітових наповнювачів або порошків природного дисульфідну молібдену, то покращення трибологічних показників змащувальної композиції на основі мастила И-20 з додатками інтеркальованого воднем $\text{H}_x(\text{GaSe})_{0,9928}\text{Pb}_{0,0072}$ більш суттєві.

За умов сухого тертя інтенсивність зношування за навантаження 20 кг для сталі 12Х18АГ18Ш становила 0,146 грам на 1000 метрів шляху (г/1000 м.шл.), а для сталі 38ХН3МФА – 0,173 г/1000 м.шл. (коефіцієнт тертя 0,92). Після введення порошку $\text{H}_2(\text{GaSe})_{0,9928}\text{Pb}_{0,0072}$ коефіцієнт тертя знизився до 0,123, а інтенсивність зношування сталі 12Х18АГ18Ш складала 0,0399 г/1000 м.шл., а сталі 38ХН3МФА – 0,00182 г/1000 м.шл. Тривалість випробувань складала 6 хв. Таким чином, введення порошку $\text{H}_2(\text{GaSe})_{0,9928}\text{Pb}_{0,0072}$ призводить до різкого зниження інтенсивності зношування сталей, що супроводжується плівкою утворенням [7].

При додаванні графіту в ту ж пару тертя коефіцієнт тертя склав 0,4, тобто збільшувався більш ніж у 3 рази порівняно із відповідним значенням при терті з порошком $\text{H}_2(\text{GaSe})_{0,9928}\text{Pb}_{0,0072}$.

За швидкості проковзування 1,1 м/с та приведеному тиску 10,5 кГ/см² коефіцієнт тертя для природного дисульфиду молібдену (MoS₂) становить 0,03, а для H₂(GaSe)_{0,9928}Pb_{0,0072} – 0,01.

При додаванні порошку H₂(GaSe)_{0,9928}Pb_{0,0072} в трибопару методом АСМ-мікроскопії аналізу на поверхні тертя сталей зафіксовано появу оксидних фаз, в першу чергу PbO та Ga₂O₃.

Відзначимо, що присутність кисню навколишньої атмосфери сприяє також утворенню оксидів In₂O₃ і Ga₂O₃. Лінії на зображенні, що утворились після тертя, свідчать про складні фізико-хімічні та механічні процеси, що супроводжують процес тертя за участі нового шаруватого, інтеркальованого воднем, присадного матеріалу та утворення поверхнево-активних областей (розміром 30–40 нм), що адсорбують кисень (у водневому середовищі утворюються поверхнево активні молекули, здатні регулювати тертьову корозію).

Таким чином, після подачі в трибоспрямлення порошоків сплавів на основі GaSe та InSe різко знижується інтенсивність зношування досліджуваних сталей з утворенням на їх поверхні характерної плівки. Шаруватий дисульфід молібдену також нестійкий у вакуумі. Раніше в якості сухого компоненту змащення пропонувалися наступні диселеніди: CrSe₂, MoSe₂, WSe₂, VSe₂, NbSe₂, TaSe₂, TiSe₂, ZrSe₂, HfSe₂, ReSe₂, ThSe₂ і USe₂ [7].

Нові тверді мастила можна використовувати у вузлах пристроїв та механізмів водневої енергетики для полегшення проковзування контактуючих пар, що працюють у водні (зокрема у водневих двигунах та та двигунах на воденьвмісному паливі).

Література:

1. Stall R. A., Height B. Growth of oxide thin films using solid oxygen sources. – US patent № 4592927 from 3.06.1986. – 6 p.
2. Hu K. H., Wang J., Schraube S., Hu X.G., Stengler R. Tribological properties of MoS₂ nano-balls as filler in polyoxymethylene-based composite layer of three-layer self-lubrication bearing materials. – Wear, 2009, p. 1198–1207.
3. Niewczas A., Czerniec M., Ignaciuk P. Badania trwalosci elementow maszyn wspolpracujacych tatciowo. – Instytut Zastosowan Techniki: Lublin, 2000. – P. 110–113.
4. Любимин И.А., Курбатова М.В., Гриневич К.С., Куликов Л.М., Кёниг Н.Б., Аксельруд Л.Г., Давыдов В.Н. Трибологические свойства новых смазочных композиций с участием твердых наносмазок – нанокристаллических дисульфидов молибдена и вольфрама. – *Наносистемы, наноматериалы, нанотехнологии*, т. 7, вып.1, 2009, – С. 271–278.
5. Куліков Л.М., Кьоніг Н.Б. Спосіб отримання нанокристалічних порошоків дихалькогенідів молібдену. – Патент України №81588 від 6.03.2007 р. – Опубліковано: Бюлетень №1, 2008 р. 10.01.2008. – 6 с.
6. Балицький О. О., Вус О. Б., Елиаш Я. Шарувате інтеркальоване воднем тверде мастило. – Патент України на корисну модель № 59115 від 09.08.2010 р. – Опубліковано. – Бюл. № 9, 2011 р. 10.05.2011. – 2 с.
7. Балицкий А. А., Колесников В. А., Вус О. Б. Триботехнические свойства азотистых марганцевых сталей в условиях трения качения при добавлении в зону контакта порошков (GaSe)_xIn_{1-x}. – *Металлофизика и новейшие технологии*, 2010. – Т. 32. – № 5. – С. 685–695.

MODEL OF HYDROCARBONS TRANSPORT THROUGH THE POROUS GROUND MEDIA

Industry development stimulates the growth of request for products derived from rock oil. Unfortunately, many different kinds of harmful substances of varied constitution are included in these products, so they are the source of threat to the environment, especially because they may be transported from the surface of the ground to the surface of the underground waters [1]. Rock oil derived substances introduced into the ground are initially driven in perpendicular direction by dispersion forces through the ground aeration zone in which some amount of rock oil products is absorbed while other filters through the ground and often even reach the groundwaters mirror [2].

Transport of organic substances in the ground was analysed by several authors [3–8] but the problem of the mathematical description of this phenomenon is still opened. So the purpose of this paper is to present the method of analytic solution of the equation describing transport of organic substances being reduced to one direction.

1. Mathematical description of the hydrocarbons transport through the ground matrix.

Let us consider the parabolic partial differential equation of the form

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{\partial(vu)}{\partial z} \quad (1)$$

In order to solve the above equation we may use the well known method of solving the similar problem existing in the field of unsteady heat exchange. It is known that solution of the equation

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (2)$$

has the following form:

$$u(z,t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi t}} \exp\left(-\frac{z^2}{2 \cdot t}\right) \quad (3)$$

Let introduce an auxiliary function of the form:

$$\tilde{u}(z,t) = u(z, \alpha \cdot t) \quad (4)$$

It is easy to calculate that:

$$\frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} = \alpha \frac{\partial u(z, \alpha t)}{\partial t}, \quad \frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial z^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \quad (5)$$

Combining the Eqs. (2) and (5) we may get the formula:

$$\frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} = \frac{1}{2} \alpha \frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial z^2} \quad (6)$$

from which it is easy to show that the function:

$$\tilde{u}(z,t) = u(z, 2Dt) \quad (7)$$

performs the equation:

$$\frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial z^2} \quad (8)$$

which solution may be presented in the following form:

$$\tilde{u}(z,t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(\frac{-z^2}{4Dt}\right) \quad (9)$$

Let us check what the equation is additionally fulfilled by the another auxiliary function of the form:

$$u(z,t) = \tilde{u}(z-vt, t) \quad (10)$$

In a such case after combining equation (8) and (10) we obtain the following equation:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial \tilde{u}}{\partial t} - v \frac{\partial \tilde{u}}{\partial z} \quad (11)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \tilde{u}}{\partial z^2} - v \frac{\partial \tilde{u}}{\partial z} \quad (12)$$

and finally:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - v \frac{\partial u}{\partial z} \quad (13)$$

So, the function u described by the equation of the following form:

$$u = u(z-vt, 2Dt) = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left(\frac{-(z-vt)^2}{4Dt}\right) \quad (14)$$

is the searching solution of equation (1), for $v = \text{const}$.

2. Mathematical description of the hydrocarbons transport through the ground matrix with taking into account their mass decrement caused by the biochemical reaction.

Let us consider the equation of the form:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - \frac{\partial(vu)}{\partial z} - \alpha z \quad (15)$$

Searching for the solution of the above equation, being the developed form of equation (1), we may consider the following function:

$$\bar{u}(z,t) = u \cdot \exp(-\alpha t) \quad (16)$$

The derivative of this function in respect of t is described as follows:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -\alpha u \exp(-\alpha t) + \frac{\partial u}{\partial t} \exp(-\alpha t) \quad (17)$$

The above equations may be presented in the forms:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = -\alpha \bar{u} + \left(D \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} - v \frac{\partial u}{\partial z} \right) \exp(-\alpha t) \quad (18)$$

or

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} = D \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} - v \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \alpha \bar{u} \quad (19)$$

So, the function $\bar{u}(z, t)$ described by equation (16) is the searching solution of equation (15) which may be presented in one of the following forms:

$$\bar{u}(z, t) = \exp(-\alpha t) \cdot \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left[-\frac{(z-vt)^2}{4Dt}\right] \quad (20)$$

or

$$\bar{u}(z, t) = \frac{1}{\sqrt{4\pi Dt}} \exp\left[-\frac{(z-vt)^2}{4Dt} - \alpha t\right] \quad (21)$$

The function $\bar{u}(z, t)$ fulfils the following dependence

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \bar{u}(z, t) dz = \exp(-\alpha t) \quad (22)$$

It is possible for practical applications, assuming the constant value of the diffusion coefficients $D_i = \text{const}$, to present the solution of the partial differential equation

$$\frac{\partial C_i}{\partial t} = D_i \frac{\partial^2 C_i}{\partial z^2} - \frac{\partial v C_i}{\partial z} - \mu_i \cdot C_i \quad (23)$$

in the following form:

$$C_i(z, t) = \frac{C_{i0} S}{\sqrt{4 \cdot \pi \cdot D_i \cdot t}} \exp\left\{-\left[\frac{(z-v \cdot t)^2}{4 \cdot D_i \cdot t} + \mu_i \cdot t\right]\right\} \quad (24)$$

Parameters of the above equation may be determined using the regression model [9].

3. Description of the soil filter method

In order to verify results obtained from theoretical models the soil filter with dry matrix were constructed. This column-shaped filter with the inside diameter of 135 mm and the height of 2000 mm was made of polypropylene and is a segmented structure consisting of 18 cylindrical test cells, each of the height of 100 mm and the outside diameter of 137 mm. The gravel layer, of the height of 200 mm, located at the bottom of the soil filter holds up all the cylindrical test cells. The scheme of this filter is shown in Fig.1. The sand deposit was used as a model to simulate the penetration of petroleum contaminants from the soil surface towards underground waters.

The function of hydrocarbon concentration $C_i(z, t)$ described by eqn. (24), may be determined by measuring of the hydrocarbon concentration in each of the 18 segments of the column soil filter in relation to the assumed migration time. Distribution of the selected hydrocarbon concentrations in the soil filter was experimentally determined after 24, 48, 96, 192 and 384 hours (it means after 1, 2, 4, 8 and 16 days). For example, distribution of isooctane and *n*-hexadecane concentrations obtained using the soil filter method is respectively shown in fig. 2 and 3.

Comparison of the results calculated from equation (24) with those obtained from the soil filter method will make possible not only to determine unknown diffusion coefficients D_i but also to choose the most useful for calculation transport model as well.

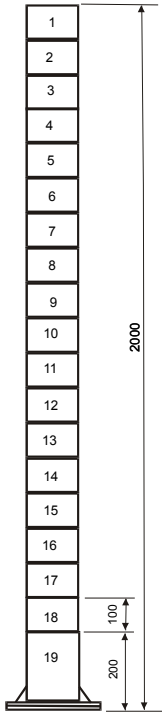


Fig. 1. Illustration of the soil filter method

The function $C_i(z, t)$, described by equation (24), being the solution of the mass balance equation (23), has to be determined in order to estimate the real threat of hydrocarbons being migrated through the ground especially in the perpendicular direction. Due to this function the time of hydrocarbons migration from the surface of the ground to the surface of the underground waters may be evaluated. Taking into account the convection term in equation (23) explains increase in velocity of hydrocarbons migration into orthogonal direction to the free surface of effluents.

Moreover, the last term of the right-hand side of equation (23) allows to consider the effect of microorganisms upon changes of hydrocarbons concentration in the soil. As hydrocarbons concentration in the system where their migration takes place is usually higher from that of biogenic elements (N, P) it may be assumed that the decomposition reactions of migrating hydrocarbons are of the first order [10]. The discrete function $C_i(z, t)$ may be experimentally determined by measuring the values of hydrocarbons concentrations in the soil filter in relation to the assumed migration time.

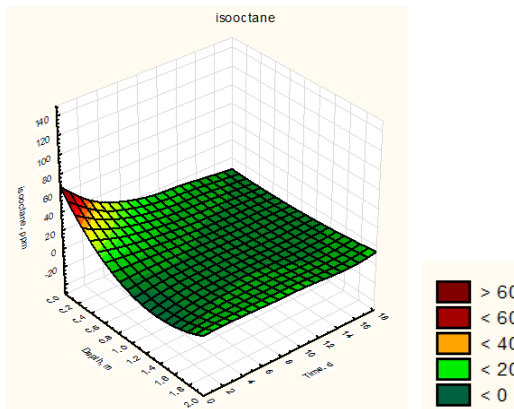


Fig. 2. Distribution of isooctane concentrations obtained in the soil filter

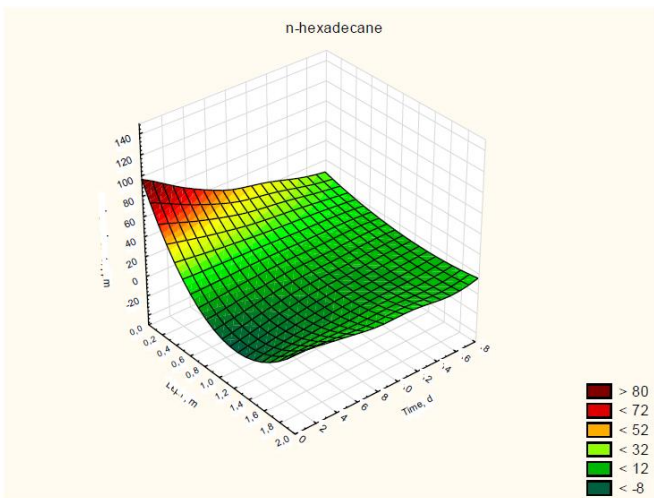


Fig. 3. Distribution of n-hexadecane concentrations obtained in the soil filter

Notation:

- μ_i - hydrocarbons' biodegradation coefficient, [s⁻¹]
- C_i - concentration of key component "i" in the matrix [kg·m⁻³]
- C_{i0} - initial concentration of key component "i" in the matrix, [kg·m⁻³]
- D_i - equivalent diffusion coefficient of key component "i" [m²·s⁻¹]
- i - a symbol standing for the first letter of the tested hydrocarbon ($i = b, t, x, h, o$)
- S - the maximum depth of hydrocarbon penetration through the ground, [m]
- T - migration time, [s]
- Z - direction of hydrocarbons' migration, [m].

References:

1. Gawdzik B., Gawdzik J.: Impact of pollution with oil derivatives on the natural environment and methods of their removal, *Ecological Chemistry and Engineering S* vol.18 No.3, 345– 357, (2011)
2. Garncarz W., Metoda oznaczenia zanieczyszczeń gruntów produktami naftowymi za pomocą chromatografu gazowego, *Gaz, Woda i Technika Sanitarna*, 4, (1984).
3. Maliszewska-Kordybach B., Biodegradacja wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych w glebach narażonych uprzednio na wpływ tych związków, *Archiwum Ochrony Środowiska*, 2, 139, (1991).

4. Kang S.H., Oulman S., Evaporation of petroleum products from contaminated soils, J. Environ. Eng., 5, 384, (1996).

5. Minta M., Niebezpieczne związki, Przegląd Komunalny, Gospodarka Komunalna i Ochrona Środowiska, 10, 24, (2000).

6. Bąkowski W., Bodzek D., Wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne w naturalnym środowisku człowieka – pochodzenie, występowanie, toksyczność, oszacowanie emisji w Polsce, Archiwum Ochrony Środowiska, 3, 197, (1988).

7. Hotz P., Carbonnelle P., Haufroid V., Tschopp A., Buchet J.P., Lauwerys R., Biological monitoring of vehicle mechanics and other workers exposed to low concentrations of benzene, Int. Arch. Occup. Environ. Health, 70, 29, (1997).

8. Nilsson R., Nordlinder R., Högstedt B., Karlsson A., Järholm B., Symptoms, lung and liver function, blood counts, and genotoxic effect in coastal tanker crews, Int. Arch. Occup. Environ. Health, 69, 392, (1997).

9. Infante P.F., Benzene and Leukemia. : The 0,1 ppm ACGIH Proposed Threshold Limit Value for Benzene, Appl. Occup. Environ. Hyg., 7, 253, (1992).

10. Żygadlo M., Gawdzik J.: Modelling the transport of petroleum products by soil filter method, Polish Journal of Environmental Studies vol. 19, No 4, 841-847, (2010)

Suyarkov Kyrill,

Ingenieuresellschaft GmbH, Germany

FUEL FILLING COMPLEX LOW COST

International Air Transport Association (IATA) says that “*Fuel supply reliability has a major impact on financial and operational viability of flights. Airport fuel infrastructure forms a vital part of the fuel supply chain. While at most airports the fuel facility appears to be adequate, some airports are perceived to have insufficient or excessive facilities. The knock-on effect of non-availability of jet fuel or even restrictions in availability is huge: consequential damages may arise from cancelled flights, diversions, payload limitations, tankering, and techstops for refuelling*”.

That's beyond all question that jet fuel supply operations shall be organised on a highest level of quality and reliability. In following sections of this report a number of solutions how it can be realised were highlighted. This approach will be discussed based on operation strategy of single low cost tank farm.

Transformation process model. There are two categories of inputs in any operation's processes; transformed and transforming resources. Tank farm' transformed resources are *jet fuel* itself, special *additives* on one hand and *capital/finance* on another hand. That “things” will be changed as a result of operation: fuel and additives will be received, tested, cleaned and dried, stored, tested again, cleaned and dried ones more and delivered to the fuelling tank car. Another transformed resource is money which should be invested in transforming resources: fix equipment and personnel.

Tank farm business model is designed to enable the operation to transform the inputs into outputs. Key outputs to satisfy customers are: *aircraft fuelling operations* as such and *paperwork* to be able to provide at all times a clear picture of all fuel transformations and quality control reports.

Market analysis. Aviation is a dynamic industry that continuously adapts to various market forces. Key market forces that impact it are fuel prices, economic growth and development, environmental regulations, infrastructure, market liberalization, airplane capabilities, other modes of transport, business models, and emerging markets. Each of these forces can have both positive and negative impacts on the industry.

Worldwide economic activity is the most powerful driver of commercial air transport growth and the resulting demand for airplanes. The global gross domestic product (GDP) is projected to grow 3,2% per year for the next 20 years, driving both air passenger traffic and air cargo traffic to average 5,0 % annual growth worldwide over the same period.

Low cost jet fuel tank farm business model has been developed for small airports and can supply relatively small fuelling operations. Major customer groups for such tank farm are airlines how operates a number of regional and single aisle jets.

Aircraft fleet by world region can be evaluated from the chart below:

Region	Regional jets				Single aisle jets			
	2012	Share of fleet	2032	Share of fleet	2012	Share of fleet	2032	Share of fleet
Asia Pacific	130	2%	420	3%	3,470	68%	10,350	69%
North America	1,710	21%	1,070	15%	3,760	51%	6,140	69%
Europe	350	8%	200	3%	3,160	72%	5,930	75%
Latin America	90	7%	210	6%	1,050	80%	3,150	84%
Middle East	60	5%	30	1%	500	45%	1,420	47%
CIS	200	21%	120	9%	680	57%	1,100	73%
Africa	120	20%	130	7%	420	60%	1,040	68%

This chart demonstrate that everywhere in the world a common fleet share of regional and single aisle aircrafts was 50% to 87% in 2012 and expected to be 48% to 90% in 2032.

In 1992, more than 70% of all traffic was carried by airlines in Europe or North America. By 2032, that proportion will shrink to 39%. Asia Pacific and Middle East airlines are becoming prominent in global aviation.

Following chart demonstrates a total jet fuel demand for passenger traffic by world regions.

Region	Revenue passenger-kilometres, bn		Jet fuel consumption, m Ton	
	Mean growth rate per year	2032	Mean growth rate per year	2032
Asia Pacific	7,9%	1,014,8	5%	156,7
North America	3,2%	524,9	0,2%	91,7
Europe	4,4%	451,1	1,2%	65,8
Latin America	5,2%	95,3	1,4%	23,5
Middle East	5,4%	80,9	2,1%	12,9
CIS	5,5%	34,0	1,7%	14,1
Africa	7,2%	53,2	3,9%	19,9

Low-cost carriers drive the strong demand for new, efficient single-aisle airplanes. Their share of the market is expected to grow from 14% to 20% by 2032.

All above mentioned figures demonstrate that the biggest sales opportunities and market growth rates can be expected on Asia Pacific markets, especially in China and South Asia.

Fuel is now the largest component of an airline's cost structure. Fuel costs have risen dramatically between 2004 and 2011 from 17% to 30% of operating costs. The cost structure of jet fuel today shows how dominant upstream costs are. Some 75% of in-plane jet costs, excluding any taxes, consist of the cost of crude oil. Refinery costs and profits represent 13% of the jet fuel price. Transportation, storage and logistics can add a further 8–12%. Taxes and royalties vary a lot, from zero up to the 27–34% paid on domestic jet fuel in Brazil, India and Japan.

Development of the operational strategy. According to Hill (1994), the basis for developing an operation strategy is a framework, consist of 5 steps. Corporate objectives and appropriate world market overview has been analysed in the previous chapters. In order to achieve these objectives certain steps shall be undertaken:

- Supply chain establishment: Due to the fact that described tank farm works as “open access” depot, all oil companies and/or traders who will be able to meet quality requirements can delivery fuel to this tank farm.
- Utilise a modern and high accuracy inventory of the fuel with interface to ERP system which will ensure effective business relationships with fuel owners and airlines.
- Highest product quality and operation safety standards shall be established and achieved by each tank farm in order to improve parent' company image and global market position.

Well trained and high motivated operation and management staff on one hand and state-of-the-art and properly maintained equipment on the other hand are factors that play a key role in effective and low-cost operation of the tank farm.

Operation's processes. Tank farm is an organisation that provides customers (generally airlines) with fuel handling services such as receiving, storage and distribution with continuous quality control operations (sampling and testing).

Tank farm operation processes can be described with the Four “V”s Model tool:

- *Volume* of services is low – tank farm with 300 m³ fuel capacity can serve small amount of regional and single aisle aircraft movements only. Repetition of services is high – these aircrafts have a small variety of fueling / defueling procedures. Each staff member shall provide a high grade of operative multitasking because of very low staff utilisation. Operation procedures shall be well defined and proper recorded. Unit costs are high: fuel is about 30% of overall costs for airlines.

- *Variety* of services is low – it is only one jet fuel grade with or without additive can be delivered to customers. Product is very well defined, any variations of the specification are not allowed. Fueling procedures are relatively complex and standardised: there are a number of limits and parameters that shall be fulfilled.

Aircrafts will be fuelled on the regular basis according to the flight schedule.

- A little *variation* within flight schedule is possible but, generally, fuel demand is pretty much predictable. Fuelling capacities can be extended after certain period of time because modular design of the technological modules. Each fuel farm shall be designed

for the estimated performance peaks. For unexpected fuel consumption peaks an additional amount of fueling tracks can cover an additional fuel demand.

- Visibility of fueling operations is high, aircraft captains are involved in the fuelling process and responsible for fuel quality delivered to their jets. Fuelling operations shall be finished exact during permitted time frames. Normally fuel is not stored at airport tank farm for a long time, only a settling time is critical and shall not be accelerated. Each airline is satisfied as long as it can get clean and dry fuel on specification fuel on time.

Maintenance strategy. Proper maintenance of the tank farm equipment has a significant impact on its operating costs particularly because unexpected breakdowns can be eliminated. Some of the common maintenance strategies are:

Strategy	Approach	Strong points	Weak points
FBM	Fix it when broke	- maximised equipment uptime; - short-term costs reducing effect; - no unnecessary repair costs	- Unplanned tank farm shutdown losses; - fuelling by reduced flow rates; - spare parts procurement at highest price; - reduced equipment life;
TBM	Scheduled maintenance	- maintenance can be done during lowest capacity utilisation; - spare part costs are predictable and can be optimised by on-time ordering; - high availability of tank farm is ensured	- can be expensive by replacement of well-working equipment; - repair work must be done by authorised personnel only; - necessary replacements can be postponed until scheduled routine interval will expire
CBM	Based on monitoring of critical working parameters	- costs optimisation by prediction of wear out failures; - replace “seal units” against latest models can provide filling operations with additional performance	- spare parts for critical and expensive equipment can be not available at time when replacement shall be done; - authorised personnel may be not available on a short notice

Maintenance strategy for the fuel tank farm should be based on:

- Investigation of the critical equipment;
- Risks evaluation for critical equipment;
- Planning and scheduling of maintenance procedures;
- Identifying “normal” wear parts and emergency spares
- Records and maintenance quality check completion.

Planned Maintenance of Critical Equipment. Planned (scheduled) maintenance of the critical equipment shall be undertaken in accordance with the maintenance schedule, to the required frequency by the operations manager or maintenance contractor in accordance with the manufacturer’s instructions.

The critical equipment demands particular care and attention and should be observed before and during its operation by routine visual inspection to ensure its general condition is sound with no visible damage to the body or components, to check the seal is in good condition and ensure no leakage occurs. If wear leakage or other defects are found the operations manager or maintenance contractor shall be advised to undertake immediate repairs or replacement in accordance with the manufacturer's instructions.

After the service and/or repairs have been completed the operations manager or maintenance contractor shall complete and sign off the appropriate document to provide a record that the required work has been undertaken and the unit is fit for purpose. Records about planned and proceeded maintenance procedures shall be kept based on check lists approved by equipment' manufacturers.

Future operation improvement. An improvement of the future operation performance can be achieved by further costs optimisation. A significant cost savings will be reached using an adapted mix of maintenance strategies that should be revised on the different stages of the tank farm live cycle. A monitoring of shutdowns, its causes and costs connected with can provide management with useful information for taking strategic decisions. Permanent costs monitoring by using ERP tools allows management observe trends and predict negative impact of market and operation changes.

Periodical process hazard & risk analysis can deliver to management an overview of strength and weaknesses of critical operations within a tank farm so that operation staff can be instructed how hidden hazards shall be minimised.

The environmental issues shall be also considered with a great care because any fuel spillages or fire accidents can cause huge losses or even destroy fuelling business at all. Installing and proper maintenance of high safety integrity level equipment is the best investment tank farm management could provide for improve process safety.

Automation and SCADA systems with an interface to inventory, logistic and contract management IT modules as well as to flight information services database can help operation staff to avoid operations which can damage an equipment or environment. As many monitoring tasks are performed manually, the risk of operator' errors increases, as does the time to realise that something has gone wrong; both can have a major impact on safety and the environment as well as quality performance. Using and regular upgrade of such systems should contribute tank farm operations to be more effective and to minimise time' and product' waste.

Automated processes are better able to monitor what's going on in the field to help improve the management of all activities. This includes having more visible and accurate information on the tank farm status, which can be done through instruments that send data back to the control room. Proper displaying of information about the status of the tank farm on the operator' panels avoids a situation where tank farm is "flying blind."

Finally, in addition to improving workflow and optimizing processes, automating tank farm and terminal operations management increases the accuracy of shift logs to help management ensure procedures are being properly followed and reported.

Strategic operational challenges. Thinking about the best solution for the operational improvement it is recommended to follow both philosophies – Total Quality Management (TQM) and just-in-time (lean) production. In the following section TQM

and Lean are compared with an intension to find the best ideas and principles from each approach and implement it into Low Cost Jet Fuel Tank Farm operation concept.

The discussion is done with following criteria:

- Quality of the products/services

It is therefore of fundamental importance that every responsible organization involved in aviation fuel manufacture, supply, storage, transport, testing and aircraft fuelling has such a system in place for managing quality, in order to maintain the aviation fuel specification and quality while in its custody and/or its control. These systems should ensure that:

- a) aviation fuel is manufactured to the latest issue of the relevant specification;
- b) facilities and equipment are maintained in good condition for the safe delivery of on-specification, clean and uncontaminated aviation fuel from refinery to aircraft;
- c) an auditable and documented record exists, confirming correct handling and testing of aviation fuel throughout the supply chain from refinery to aircraft;
- d) traceability is maintained to ensure that products are on-specification and fit-for-purpose on delivery to aircraft.

Going back to the lean – the main aspect of it is a just-in-time production. It is assumed that total costs shall be decreased due to the elimination of buffer time periods so that internal organisation problems can be highlighted and solved with minimum impact on the business. In case of aviation fuel tank farm there are practically no time buffer integrated into the process of receiving, storage and distribution of the jet fuel. Only an option of too long storage time of certain fuel batches could be minimised in order to save costs for recertification of these batches.

A significant part of TQM is a waste minimisation or, ideally, elimination. Due to the quality control standard procedures, defined in the Aviation Fuel Quality Control and Operating Standards (JIG, last issue) a fuel which has been used for quality control during receipt, storage and fueller loading procedures, shall be delivered to the recovery tank(s). After settling and quality check this product can be returned to the storage tanks.

- Quality Management

For the jet fuel tank farm it is preferred to apply for independent ISO ***** certification. However, a company certified according to ISO standards, cannot guarantee a high quality jet fuel and fuelling service automatically. But it is ensured that internal quality-relevant procedures are established and formalised.

From TQM perspective, a senior management shall be responsible for implementation of necessary structures and tools that will support the staff in ensuring fuelling services of high quality. Lean philosophy speaks about minimisation of the human factor influence on the process. Both ideas can be integrated in the jet fuel tank farm operation: a state-of-the-art equipment as well as integrated automation system will allow the staff to follow quality procedures defined in the Quality Manual as a central internal quality management document.

- Staff qualification improvement

The majority of accidents can be attributed to lack of attention to, or failure to carry out, or deviations from prescribed procedures. The training and indoctrination of all personnel at all levels in all of the operational tasks they are normally required to undertake, and the tasks they would be expected to perform in an emergency, is of prime importance in seeking to achieve "accident-free" operations.

New jet fuel tank farm staff must be thoroughly trained in all operations and procedures, which they will be called upon to perform in the course of their duties and in all actions to be taken in the event of an emergency. Existing personnel called upon to undertake new tasks must be similarly trained before undertaking the new task without supervision.

An employee training record must be maintained for every employee which indicates:

- a) for which tasks training has been given and the date of such training;
- b) the signature of the trainer;
- c) a "yes/no" assessment of whether the trainee demonstrated satisfactory understanding of the training;
- d) the signature of the trainee.

Follow-up job observation (with refresher training if it is found to be necessary) is to be undertaken by supervisory or training staff at a frequency determined by the Senior Manager based on his assessment of on-going operator performance. The dates and results of these follow-up observations are to be recorded on the operator's training record.

The learning aspects such as stimulating creativity and individual improvement (emphasized in TQM), and, on the other hand, a certain amount on routine standardized procedures which should be learned in teams (lean arguments) can be combined in order to improve operations at jet fuel tank farm.

- Customer requirements

The delivery of aviation fuel into customer's aircraft tanks is the last link in the chain of storage and handling. Customer's interests in this chain are clear defined and can be formulated as "reliable delivery of clean, dry, on-specification jet fuel for reasonable price". Customer focus is one of the characteristics of TQM. The lean concept does not really care about customer's needs so that it would recommend to follow TQM approach and to invest in the customers care improvement. The most important areas were product quality control, automation of handling procedures and equipment maintenance.

- Supplier requirements

The risk to the integrity of the fuel in relation to its inherent properties and from contaminants (water, particulate and microbiological material) can occur at any point in the supply chain from the point of manufacture to the final delivery to aircraft. An ability to provide at all times a complete history of all fuel movements and quality control reports from a refinery to the tank farm is an essential responsibility of suppliers.

The suppliers play a significant role in both TQM and lean philosophies. An establishment of long term mutual partnership with the supplier could improve the reliability and quality of the fuel delivered to the tank farm.

- Performance measurement / benchmarking

Jet fuel tank farm performance can be measured using internal and/or external bench marks. Comparison of levels of performance achieved within certain period between peer group organisations can be done based on numerical data (e.g. financial ratios) or non-numerical (e.g. awarding of certificates).

However, a purpose of performance measurement could be differ depended on the methods used by TQM and lean management. TQM measurements could help to

identify problems or to confirm certain suspicions, where lean approach could be used for set-up operation targets.

There are some areas where operation improvement could bring a competitive advantage for the jet fuel tank farm:

- Business globalisation: building of reliable and cost-effective global supply networks and sharing of high qualified staff experts can play an important role for the parent organisation;
- Environment responsibility: high energy efficiency and waste minimisation could bring a significant cost saving effect;
- Technological innovation: only state-of-the-art and completely automated jet fuel tank farm is unique so that it can compete successfully with other existing small and medium tank farm on the market.
- People management: top skilled, loyal and motivated staff with full acceptance of the highest level of product quality philosophy working more efficient and error free.

Low cost operations reducing costs and driving more value from the operation. In particular, inventory, process and condition monitoring of the jet fuel tank farm – implemented to comply with the HSE recommendations – are leading to significant cost savings and added value. These include a greater return on investment, an increased level of overall compliance, real-time visibility of plant operations, and empowered personnel to drive ongoing performance improvements.

All the solutions and recommendations presented in this paper have their own characteristics suitable for fuel farm with low cost operations structure. Generally they could be applied in any regions for small civil domestic and international airports.

A consequent follow of fuel quality management standards, risk management guidelines and safety and environment recommendations is joint mission of tank farm management and operating staff. This prevents crisis situations and also provides opportunities for more effective operations.

Last but not least, intensive communication with all stakeholders during the operation improvement process is strongly encouraged.

Rüfer A., Werner A., Reschetilowski W.,
Institute of Industrial Chemistry,
Dresden University of Technology, Germany

QUALITY BOOSTING OF DIESEL FUELS BY THE ISOMERIZATION OF N-PARAFFINS ON MESOPOROUS SUPPORT BASED CATALYSTS – DESIGN OF EXPERIMENTS IN COMBINATION WITH KINETIC MODELING

The isomerization of medium-chain paraffines to their mono-branched analogs improves the low-temperature characteristics of diesel fuel while retaining the high ignitibility required for diesel engines. The reaction is catalyzed by a bifunctional catalyst, which contains both an acidic and a hydrogenation/dehydrogenation function, and has already been extensively studied for the isomerization of paraffines, especially on metal-loaded zeolitic material [1, 2].

The current work deals with the investigation of the isomerization reaction on bifunctional catalysts based on mesoporous silica supports, which are modified systematically in a Design of Experiments (DoE) [3]: screened parameters include the calcination temperature, metal dispersion and surface acidity. The ambition of this work is to apply experimental design in connection with kinetic modeling to derive a detailed understanding of the individual reaction steps in the isomerization reaction of linear alkanes. The combination of experimental data drawn from both the model reaction of *n*-decane and the solid-state characterization of the specific catalysts provides the basis for in-depth scientific interpretation and optimization of the investigated process.

To fulfill the requirements of the experimental design, 18 different bifunctional catalysts were prepared. This included the synthesis of the porous, silica support material followed by post-synthetic alumination. Then the noble metal was incorporated by incipient-wetness technique and in the final step, dopant and second metal (if designated) were introduced simultaneously by incipient-wetness technique. A more detailed description of the applied procedures is provided in [3].

Surface area estimation of modified support materials was performed via nitrogen physisorption experiments on a Carlo Erba Sorptomatic 1990. Surface acidity was determined by temperature-programmed desorption of ammonia, and metal dispersion by CO pulse chemisorption on a Thermo TPDRO 1100, equipped with a thermoconductivity detector.

Catalytic testing was carried out in the gas phase using a tubular flow reactor with standardized process condition. The catalyst bed consisted of 1,00 g of catalyst powder, mixed with 3,0 g of comparable inert quartz breakage. H₂ flow was set to 10,0 l/h, liquid *n*-decane feed to 6,00 ml/h, and reaction pressure was fixed at 3,0 MPa. Temperature was monitored continuously by a thermocouple located directly in the catalyst bed. All catalyst samples were reduced in flowing H₂ (10 l/h) at 450°C (4h) directly prior to catalytic testing.

A new reaction scheme is presented (Fig. 1), which includes a reaction path of direct di-branching originating from the linear reactant, and validation thereof is provided via mechanistic considerations and kinetic modeling [4].

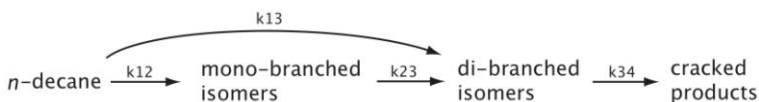


Fig. 1. Proposed reaction scheme of the isomerization of *n*-decane with reaction path of direct di-branching k_{13}

The determination of the corresponding rate constants via kinetic modeling (Fig. 2) provides precise insight concerning each individual reaction step, reaching from *n*-decane to the final cracking products.

The systematic approach with application of an experimental design (containing 8 individual catalyst samples) allows for the calculation of main- and interaction effects in terms of the calcination temperature, metal dispersion and acidity *on every individual rate constant*, rather than merely addressing selectivity for the overall process.

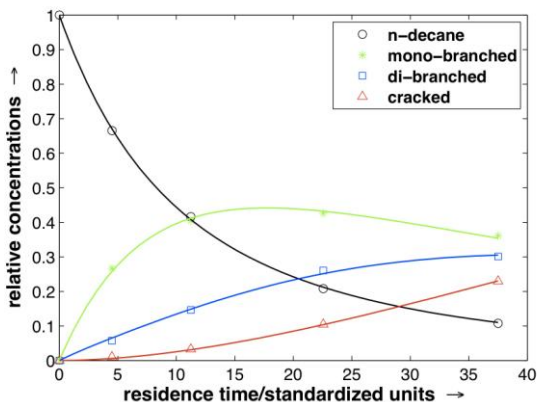


Fig. 2. Kinetic modeling of a reference catalyst sample for the experimental design

In conclusion, the influence of calcination temperature was found to be negligible, as opposed to metal dispersion and acidity. High dispersion increased the primary reaction rate to mono-branched products and, at the same time, decreased cracking tendency. Low acidity decreased all rate constants, but the cracking reaction was unexpectedly affected to a far greater extent. Therefore, selectivity issues concerning the generation of mono-branched isomers could be explained at considerably greater detail than before, due to the combination of the systematic DoE-approach and the application of kinetic modeling.

References:

1. J. Weitkamp, *Ind. Eng. Chem. Prod. Res. Dev.*, 21 (1982) 550–558.
2. V.M. Akhmedov, S.H. Al-Khowaiter, *Catal. Rev.*, 49 (2007) 33–139.
3. A. Rüfer, W. Reschetilowski, *Chem. Eng. Sci.*, 75 (2012) 364–375.
4. A. Rüfer, A. Werner, W. Reschetilowski, *Chem. Eng. Sci.*, 87 (2013) 160–172.

Боначівський Ю. С., Білокопитов Ю. В.,

Національний авіаційний університет, Україна

Поп Г. С., Донець О. Є., Железний Л. В.,

Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України, Україна

ОЛЕОХІМІЧНІ ПОВЕРХНЕВО-АКТИВНІ РЕЧОВИНИ З ПОЛІПШЕНИМИ ВЛАСТИВОСТЯМИ

Альтернативою синтетичним поверхнево-активним речовинам (ПАР) і технологічним системам на основі нафтової сировини усе частіше є речовини рослинного і тваринного походження. Вони безпечні, біорозкладувані і володіють

високими технологічними властивостями. Широкого розвитку цей напрям отримав у США, Канаді й країнах Західної Європи, де на основі олій організовано масштабне виробництво екологічно безпечних ПАР – базової основи численних дисперсних систем та різноманітних функціональних додатків до них.

Останніми роками з використанням ріпакової та соняшникової олій синтезовані численні ПАР та стабілізовані ними системи різноманітного застосування [1–3]. Проте, низька поверхнева активність і, відповідно, незадовільна емульгуюча дія використаних природних ПАР, зумовлює тривалий час приготування емульсії при невиправдано високих витратах реагентів (до 12%), а слабка структурованість утворених систем приводить до розділення фаз, що не дозволяє безпосередньо використовувати ці емульсії у тривалих технологічних процесах, наприклад, як бурові промивні рідини в умовах нестійких колекторів чи поверхнево-активних систем в процесах інтенсифікації та підвищення видобутку вуглеводневої сировини. З метою усунення цих недоліків ми зосередили свою увагу на олеохімічному синтезі ПАР комплексної дії.

У роботі для синтезу ПАР використано олії та фосфатидний концентрат (ФК), що відрізняються як за вмістом олеїнової і ерукової кислот, так і фосфатидів. Жирнокислотний склад їх приведено в табл. 1.

Таблиця 1
Жирнокислотний склад (%) дослідних зразків олій та ФК

Жирні кислоти Сп.п ₁ (С=C)	Соняшникової із вмістом олеїнової кислоти:			Ріпакової із вмістом ерукової кислоти:				ФК вироб ництва олій:	
	низьким ^а (зразок 1)	високим		низьким ^б (зразок 4)	середнім (зразок 5)	високим		соняш зразок 8	ріпак зразок 9
		(зразок 2)	(зразок 3)			зразок 6	зразок 7		
Пальмітинова, С _{16:0}	6,5	5,4	3,0	5,4	3,8	2,1	2,0	3,2	3,7
Гексадеценава, С _{16:1}	0,3	0,1	-	0,3	0,1	-	-	-	-
Стеаринова, С _{18:0}	4,7	1,6	4,1	2,0	1,6	2,0	1,0	5,2	2,4
Олеїнова, С _{18:1}	21,2	70,8	91,4	56,8	39,2	17,7	18,0	23,0	22,5
Лінолева, С _{18:2}	40,7	9,6	1,0	24,1	20,5	26,3	27,7	42,4	6,1
Ліноленова, С _{18:3}	23,2	7,2	0,5	9,8	9,1	8,0	-	26,2	4,8
Ейкозанова, С _{20:0}	0,7	0,6	-	0,4	-	-	-	-	-
Ейкозенова, С _{20:1}	2,3	2,0	-	0,9	10,7	2,3	-	-	4,5
Ерукова, С _{22:1}	0	2,1	-	0,1	14,9	41,3	51,0	-	56,0
Фосфоліпіди	0,4	0,6	-	0,2	0,1	0,3	0,3	47,4	51,0

^асоняшникова рафінована "Олейна", ^бріпакова рафінована "Російские семена"

Другим реагентом були аміни виробництва фірми "Барва" (м. Івано-Франківськ) з наступними характеристиками за кімнатної температури (20–22°C):

– β-(оксietил)етилендіамін $\text{HO}(\text{C}_2\text{H}_4)\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_4)\text{NH}_2$ – густина $d = 1196 \text{ кг/м}^3$, показник заломлення $n_D = 1,4865$;

– N,N'-біс(оксietил)-етилендіамін $\text{HO}(\text{C}_2\text{H}_4)\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_4)\text{NH}(\text{C}_2\text{H}_4)\text{OH}$ – температура плавлення $T_{\text{пл}} = 46,2^\circ\text{C}$, густина $d = 922 \text{ кг/м}^3$.

Трансамідування олій і ФК діамінами проводили у 4-х горлому реакторі, облаштованому зворотним холодильником, пропелерною мішалкою і термометрами для контролю за температурою в реакційній суміші за мольного співвідношення реагентів 1:(3,5–2,5) і температури 160–175°C протягом 4–6 год.

Після закінчення реакції утворену масу коричневого кольору з вираженим аміним запахом охолоджують до 60°C і розчиняють у гексані. Розчин

підігривають до кипіння і за інтенсивного перемішування добиваються практично повного розчинення. Охолоджений до 5–8°C розчин розділяється на дві фази – прозору вуглеводневу та пухкий об'ємний осад. Останній відділяють центрифугуванням при 8000 об/хв протягом 5–10 хв. Прозорий розчин декантують, а осад переносять на фільтр, відмивають невеликими порціями гексану і висушують у вакуумі за температури 60–75°C. Фільтрати об'єднують і відганяють гексан на водяній бані. Одержані аміноаміди ретельно промивають теплим ізопропанолом та діетиловим етером і висушують у вакуум-сушильній шафі до постійної маси. Будову синтезованих сполук, названих нами на базі олій Олеодіном, а на основі ФК – Фосфолідином, доведено елементним аналізом та спектральними методами.

З результатів досліджень виходить, що всі синтезовані продукти – тверді чи мастилоподібної консистенції коричневого кольору з густиною близько 936–970 кг/м³. Осаджена частина – пухка маса від білого до світло-жовтого кольору.

При інтерпретації ІЧ-спектрів цих сполук основна увага зосереджена на виявленні частот валентних коливань HO-, O=C-, H₂C-, H₃C- груп в молекулах вихідних тригліцеридів та появи характеристичних частот NC-, HN- груп в утворених органічних сполуках з амідними та амініними групами. Виявлено, що внаслідок трансамідування тригліцеридів діамінами, незалежно від природи і складу олій, інтенсивна смуга поглинання при 1740 см⁻¹, притаманна тригліцеридам, зникає. Натомість появились нові смуги валентних коливань O=C- груп (амід-I) при 1650 см⁻¹ та деформаційних коливань груп -NH (амід II) в області 1548 см⁻¹, що вказують на утворення переважно вторинних амідів [2].

Близький діапазон поглинання характерний і для NH₂ груп, смуги коливання яких перекриваються в області 1466 см⁻¹ з деформаційними коливаннями метиленових CH₂ груп. Водночас валентні коливання C-O та деформаційні коливання O-N груп високої інтенсивності в області 1056 і 1059 см⁻¹ вказують на присутність гідроксисполук типу спиртів.

Висока концентрація довгих вуглеводневих ланцюгів беззаперечно визначається смугами високої інтенсивності в області 2927–2928 та 2855–2856 см⁻¹, що характерні для валентних коливань C-H зв'язків метиленових та метильних груп вуглеводневих ланцюгів. Крім того, симетричні деформаційні коливання H₃C- груп постійно прописуються слабкими смугами при 1378 см⁻¹, а метиленових – в області 1466 см⁻¹.

Яскраво виражена в спектрах речовин на базі N,N'-біс-(оксиетил)-алкіламідоетиламінів широка смуга в області 3322–3332 см⁻¹, що відповідає валентним коливанням -OH гідроксисполук, свідчить про міжмолекулярну взаємодію між NH \cdots OH та OH \cdots OH з утворенням поліасоціатів, завдяки водневим зв'язкам. На це вказують і коливання валентних O=C- та деформаційних HO- груп високої інтенсивності в області 1056 і 1059 см⁻¹, а також смуги коливання асоційованих N-N груп в амінах і амідах, що перекриваються розглянутою широкою смугою [4].

Наявність вільних груп NH амінів і амідів та їх асоціатів з HO- групами реєструється і в області 3311, 3313 см⁻¹. Ширина і висока інтенсивність цієї смуги поглинання, ймовірно, вказує і на утворення поліасоціатів між гідроксильними групами основної сполуки та частково молекулами гліцерину, що утворюється

в процесі синтезу і повністю не видаляється з продуктів реакції. На нашу думку, саме цим можна пояснити певні розходження розрахованих і знайдених величин карбону і нітрогену.

З іншого боку, оскільки за результатами титрування лужні числа відрізняються від розрахованих, а в спектрах окремих сполук чітко фіксується смуга 1622 см^{-1} , що відповідає структурі імідозоліну, а, отже, поруч з амідопохідними утворюється і певна кількість цих речовин [5].

Таким чином, проведений елементний аналіз, потенціометричне титрування та ІЧ-спектри вказують на наявність у складі синтезованих продуктів на основі олій функціональних кисневмісних -ОН та О=C-N- груп, вторинних і третинних амінів, тобто, ці ПАР являють собою складну суміш ациклічних (гідроксо)амідоамінів та їх поліасоціатів, в тому числі із залишковим гліцерином та циклічними імідозолінами, що в лужних чи кислотних середовищах легко гідролізують до поверхнево-активних амідомінів. Проте, попередні дослідження показали, що завдяки однорідності утвореної суміші речовин і добрій розчинності їх у більшості вуглеводнів як нафтового походження, так і в біодизелі, в аспекті практичного використання ПАР є ефективними стабілізаторами, пом'якшувальними засобами для шкіри рук в миючих композиціях, солюбілізаторами води в неводних середовищах. Завдяки цим специфічним властивостям, низькій токсичності, підвищеному біорозкладанню при сумістимості з розчинами ПАР всіх типів, олеоПАР рекомендовані для використання в змащувально-холодильних рідинах для обробки металів і в чистячих засобах для зняття забруднень з рук.

Важливою особливістю є й те, що ефективність синтезованих сумішей як емульгаторів-стабілізаторів інвертних емульсій і мікроемульсій, інгібіторів корозії, бактерицидів, адгезивів та гідрофобізаторів виявилася вищою ніж окремих ПАР на базі індивідуальних кислот, що дозволяє спростити і здешевити виробництво цих продуктів, а головне – уникнути утворення побічних продуктів, що не мають практичного значення і забруднюють природне навколишнє середовище.

Мікроемульсійні наноструктури олеопродуктів і природних фосфоліпідів у розчинах, будучи нетоксичними і біосумісними, завдяки специфічній колоїдній структурі і високій солюбілізаційній смності знайдуть широке застосування і в медицині для створення препаратів пролонгованої дії з контрольованим вивільненням активних речовин, і в двигунах внутрішнього згорання у вигляді водно-паливних систем із вмістом води до 21% [5], і в синтезі ультрадисперсних речовин в мікроемульсіях як нанореакторах (наприклад, CaCO_3 з розміром частинок близько 10 нм і вузьким розподілом за дисперсністю – 5–20 нм), а також для створення технологічних систем і ліквідації газопроявів у свердловинах, чистящих композицій, детергентно-диспергувальних додатків до олів і пластичних мастил нового покоління.

Проведені дослідження довели важливість трансформації олій і фосфатидів амінами з утворенням поверхнево- і хімічно активних й добре суміщуваних з мінеральними матеріалами біоПАР. Всебічні випробування їх, як активних багатфункційних додатків до пластичних мастил показали високу антикорозійну та трибохімічну активність на поверхнях вузлів тертя із формуванням на них змащувально-захисних плівок необхідної товщини і стійкості за жорстких умов тертя.

Аналіз якості розроблених мастил показав, що:

1. Уведені нові добавки змінюють межу міцності вихідного мастила – реологічні характеристики та когезійна міцність послаблюються додаванням Фосфолідину, завдяки наявності фосфору.

2. Характер кривих залежності залишкового мастила на пластині від швидкості обертання робочого диску без і в присутності біододатків однозначно вказує на високу адгезію і когезійне руйнування контактів. Сили когезії у модельному мастилі зменшуються при уведенні до його складу додатків Олеодіну і Фосфолідину. Товщина адсорбційного шару зменшується в ряду модельне мастило > фосфолідін > олеодін > базова олива.

3. Аналіз перебігу окиснювальних перетворень у мастилах в умовах їх практичного застосування (модельний реактор роликів підшипника, атмосфера кисню, 150°C, 5 год) за змінами співвідношенням оптичної густини в області поглинання C=O-зв'язку (1700–1740 см⁻¹) мастила до (D_v^o) і після окиснення (D_v^i) за рівнянням $n = D_v^o/D_v^i$ показують, що найбільшу антиокислювальну дію проявляє Фосфолідін ($n = 0,90$). Оптична густина після окиснення зростає, тобто антиокислювальний ефект різко зменшується ($n = 0,13$).

4. Не дивлячись на утворення плівки на поверхні металу, Олеодін залишається індиферентним і не проявляє корозійної активності, тоді як Фосфолідін, як антиокислювальний агент, гальмує перебіг електрохімічних процесів і є ефективним інгібітором корозії. Утворені ним стабільні хемосорбційні плівки затрудняють міграцію іонів металу в об'єм мастила, що стимулює концентраційну анодну поляризацію і спричиняє виникнення під шаром мастила більш інтенсивного поляризаційного опору. Завдяки адгезії і утворенню міцної плівки Фосфолідін зменшує також доступ корозійних агентів до поверхні металу, послаблюючи його катодну корозію.

5. Аналіз мастил за сукупністю антифрикційних, противношувальних і антизадирих властивостей, що реалізуються в граничних шарах контакту мастила з поверхнею металу і є складною функцією їхнього складу, реологічних властивостей та змін в умовах експлуатації, показує, що вони пов'язані з об'ємною, поверхневою, адсорбційною та хемосорбційною дією компонентів мастил. Завдяки вмісту фосфору протизношувальні властивості мастил з цими додатками збільшуються на 50%. Ще більша ефективність їх як протизадирих додатків.

Література:

1. Поп Г. С. Поверхнево-активні речовини та композиційні системи на основі рослинних олій і фосфатидів / Г. С. Поп, Бодачівська Л.Ю., Вечерік Р.І. // Хім. пром-сть України.– 2008, №3(86). – С. 33–37.

2. Corma A., Iborra S., Vely A. Chemical Routes for the Transformation of Biomass into Chemicals // Chem. Rev.– 2007 – № 107.– P. 2411-2502.

3. Ковальов В.М. Альтернативний источник сырья для ПАВ/ В.Ковальов, С.Шкваренина, М.Кралик и др.// Хім. пром-сть України.– 2007, №3 (80).–С.10-13.

4. Беллами Л. Новые данные по ИК-спектрам сложных молекул.– Москва: Мир.– 1971.– 320 с.

5. Поп Г.С. Емульсії та мікроемульсії, стабілізовані олехімічними поверхнево-активними речовинами / Поп Г. С., Біленька В.І., Бодачівська Л. Ю // Катализ и нефтехимия. – 2012. – № 21. – С. 95–103.

СИНТЕЗ СУЛЬФУРВІСНИХ ПОХІДНИХ ЕТИЛОВИХ ЕСТЕРІВ ВИЩИХ ЖИРНИХ КИСЛОТ ОЛІЙ ТА ЇХ БУДОВА

Аналіз зростаючих потреб ринку мастильних матеріалів (ММ) за стійкого зростання цін на нафтопродукти, поруч з фактом неминучого виснаження покладів нафти, висуває пошук альтернативної сировини та розроблення на її основі нових матеріалів в ряд невідкладних завдань сучасності. Проблеми техніко-економічного характеру загострюються екологічними викликами – забрудненням навколишнього середовища викопною органічною сировиною та продуктами її переробки з повільним і тривалим біорозкладанням.

Відомою альтернативою нафтохімічним ММ є біологічно відтворювані й біорозкладувані продукти трансформації олій та чисельні екологічно безпечні композиційні системи з їх використанням як моторних, індустриальних, гідравлічних і трансмісійних олів, мастильно-холодильних рідин, пластичних мастил тощо [1, 2].

Велику групу альтернативних ММ становлять сульфурвісні похідні олій та естерів їх кислот, що за технологічними характеристиками переважають мастила, виготовлені на мінеральній сировині. Перш за все, через високу трибоактивність сульфідних груп вони забезпечують захист проти зварювання контактуючих поверхонь металів в екстремальних умовах експлуатації. Окрім того, сульфидування дозволяє покращити термоокисні характеристики вихідних олій чи естерів, внаслідок приєднання сульфуру за хімічно нестабільними ненасиченими зв'язками.

Серед багатьох відомих методів сульфидування найбільш вживаними є дія на органічні речовини елементним сульфуром, сірководнем, дитіохлоридом чи хлором з наступною взаємодією з сульфідом натрію. Сірководневий метод характеризується складністю апаратурного обладнання для забезпечення тиску 1,5–2,0 МПа, необхідністю застосування каталізаторів і тривалістю процесу – близько 6–7 год [3]. Сульфохлорування і хлорування – процеси двостадійні і вимагають як додаткових витрат на хлорування ненасичених зв'язків і заміщення хлору сульфідом натрію, так і наступної утилізації побічних продуктів реакції. Тому, найбільш поширеним способом сульфидування олій та естерів є безпосередня дія на них елементним порошкоподібним сульфуром. Цей метод вирізняється простотою проведення процесу без використання токсичних реагентів типу сірководню чи дитіохлориду.

Залишається відкритим питання вибору основного реагенту – олії чи естери? Олії мають кращі протизадірні властивості [1, 2], однак пряме їх сульфидування проходить за додаткового введення активаторів реакції та інгібіторів корозії, за високих температур – 180–200°C, протягом 1,5–2,5 год [4]. При цьому кількість хімічно зв'язаного сульфуру не перевищує 25% мас. У випадку естерів вищих жирних кислот (ВЖК) олій, зокрема метилових (Ме-ВЖК) кількість зв'язаного сульфуру вдається збільшити до 45% мас., проте за приведених жорстких умов

процес супроводжуються виділенням сірководню, що становить загрозу для навколишнього природного середовища [5,6].

Не зважаючи на широке практичне використання і постійне вдосконалення методу прямого сульфидування олефінових вуглеводнів, питання про структуру продуктів сульфидування олій та похідних ВЖК в залежності від кількості приєднаного сульфуру, умов проведення процесу, присутності активаторів та інших факторів досі залишається відкритим.

Виходячи з приведеного, метою нашої роботи була розробка екологоенерго- та ресурсозаощадливого способу одержання сульфурвмісних етилових естерів ВЖК, як додатків до мастильних композицій з покращеними експлуатаційним властивостями, та дослідження їх структури і властивостей.

Поставлена задача розв'язана нами шляхом сульфидування етилових естерів вищих жирних кислот (Ет-ВЖК) ріпакової та соняшникової олій елементарним сульфуром, за наступною схемою:

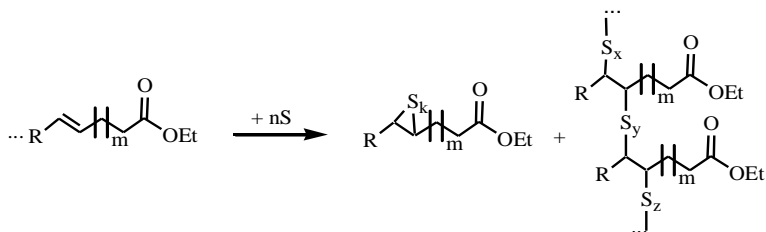


Рис. 1. Схема сульфидування Ет-ВЖК елементарним сульфуром: де *R* – залишки пальмітинової (–C₁₅H₃₁), стеаринової (–C₁₇H₃₅), олеїнової (–C₁₇H₃₃), лінолевої (–C₁₇H₃₁), ліноленової (–C₁₇H₂₉), ейкозенової (–C₁₉H₃₅) та ерукової (–C₂₁H₄₁) кислот; *Et* – C₂H₅; *n* = 1–50% мас. від загальної маси; *k* = *n* - (*x* + *y* + *z*); *m* = 12–18.

У реактор завантажували розрахункові кількості реагентів і плавно підвищували температуру до 130–150°C протягом 10–20 хв, з подальшим підвищенням температури до 160–165°C і витримкою за цих умов 20–30 хв. У результаті одержували сульфурвмісні естери (Етерол-S_n) із вмістом хімічно зв'язаного сульфуру *n* = 1–50% мас., практично з кількісними виходами.

Перебіг реакції сульфидування контролювали якісним визначенням вільного сульфуру в системі шляхом послідовного відбору проб і розчиненням їх у вуглеводнях. Оскільки сульфурвмісні естери добре розчинні, наприклад в гексані, пробу, в якій не відмічалось осадження сірки за кімнатної температури, приймали за час кінця реакції. До повного завершення процесу суміш витримували за встановлених оптимальних умов ще впродовж 5–10 хв [6]. Співвідношення вихідних реагентів, умови синтезу та виходи Етеролів-S_n зведені в табл. 1.

З метою дослідження властивостей та будови Етеролів-S_n у залежності від умов проведення сульфидування, в подальшому проведена серія синтезів за зміни тривалості (від 30–50 хв до 240 хв) та температури процесу (від 160–165 до 205–215°C).

Структуру сульфурвмісних естерів встановлювали ІЧ-спектральними дослідженнями, а інші властивості – загальновідомими стандартизованими методами.

Таблиця 1

Умови та результати синтезу сульфурвмісних етилових естерів ВЖК олій

№ з/п	Вихідні реагенти та умови сульфидування				Результати синтезу			
	Реагент		Кількість, S, мас. %	Температура, °С	Тривалість, хв	Вихід, % мас.	Вміст S, % мас.	В'язкість, мм ² /с (40°С)
	Назва	Кількість, мас. %						
1	Ріпакова олія	92,0	8,0	160–175 180–200	20–40 60–110	93	7,4	305,2
2	Me-ВЖК	87,0	13,0	160–165 175–180	10–20 30–45 30–45	95	12,4	43,13
3	Et-ВЖК	90,0	10,0	130–150 160–165	10–20 20–30	99	9,9	14,56
8	Et-ВЖК	85,0	15,0	130–150 160–165	10–20 20–30	98	14,7	39,34
4	Et-ВЖК	80,0	20,0	130–150 160–165	10–20 20–30	98	19,8	55,9
5	Et-ВЖК	70,0	30,0	130–150 160–165	10–20 20–30	97	29,1	93,87
6	Et-ВЖК	60,0	40,0	130–150 160–165	10–20 20–30	96	38,4	158,49
7	Et-ВЖК	50,0	50,0	130–150 160–165	10–20 20–30	91	45,7	281,83
9	Et-ВЖК	85,0	15,0	130–150 160–165	10–20 120–130	100	15,0	64,32
10	Et-ВЖК	85,0	15,0	130–150 170–175	10–20 20–30	97	14,6	28,64
11	Et-ВЖК	85,0	15,0	130–150 205–215	10–20 20–30	94	14,1	17,48

Аналіз приведених результатів показує, що запропонований спосіб переважає відомі методи [3–6] одержання сульфурвмісних похідних як олій, так і їх естерів. При зниженні температури, відповідно, на 20–40°С і 15–20°С, тривалість процесу зменшується з 80–150 хв для ріпакової олії (зразок 1) та 70–110 хв для Me-ВЖК (зразок 2) до 30–50 хв (зразки 3–7) за одночасного підвищення виходів Етеролів-S_n. Окрім технологічних переваг покращено екологічний аспект процесу, оскільки в процесі синтезу виділення сірководню не спостерігалося.

При інтерпретації ІЧ-спектрів першочергово було досліджено області пропускання вихідних естерів із зосередженням уваги на смугах, характерних для ненасичених сполук. У спектрі виявлено деформаційні коливання С–Н подвійного зв'язку (3040–3010 см⁻¹) та смуги слабкої інтенсивності при 1675 см⁻¹, притаманної R–CH=CH–R структури з транс положенням замісників.

Аналізуючи спектри сульфурованих естерів видно, що смуги невисокої інтенсивності характерні для подвійних зв'язків при 3040–3020 см⁻¹ та 1675 см⁻¹ зменшуються, натомість з'являються смуги в області 550–450 см⁻¹, що відповідають валентним коливанням S–S зв'язку. З цього можна зробити

висновок, що приєднання сульфуру в цілому відбувається, відповідно запропонованій схемі (рис. 1).

При дослідженні будови естерів з підвищенням кількості зв'язаного сульфуру виявилось, що в спектрах зразків Етерол-S₅ і Етерол-S₁₀ спостерігаються смуги при 967 см⁻¹, притаманні дизаміченим похідним алкенів. Це дозволяє припустити, що при даних концентраціях сірка реагує частково за α-метиленовою групою, з можливістю замикання у між- та внутрішньомолекулярні цикли зі збереженням ненасиченості.

Інша картина для Етеролів з підвищеним вмістом сульфуру. Починаючи від Етеролу-S₂₀ і вище спостерігається значне посилення інтенсивності поглинання при 800 см⁻¹. В літературних джерелах [8, 9] цю смугу приписують С-S зв'язку з характерною ознакою наявності в околі вуглеводневих ланцюгів. Дана інформація добре корелюється зі змінами в'язкості (рис. 2). На графіку залежності $\lg v = f(S_n)$,

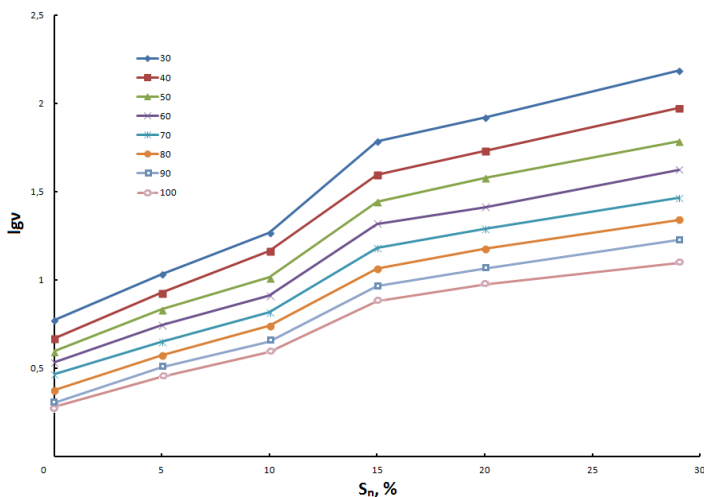


Рис. 2. Напівлогарифмічна залежність в'язкості ($\lg v$) від концентрації зв'язаної сірки (S_n) за температур 30–100°C.

спостерігається різке збільшення в'язкості починаючи з Етеролу-S₁₅. Виявилось, що інтенсивність смуги в області 750–720 см⁻¹, що відповідає маятниковим коливанням груп -CH₂- зменшується зі збільшенням вмісту сульфуру. Такі коливання метиленових груп відносяться до певного роду обертальних конформаційних рухів вуглеводневого ланцюга. Можна стверджувати, що зі зростанням кількості уведеного сульфуру, такі коливання зменшуються, а отже зростає міжмолекулярне зшивання молекул естерів.

Дослідженням ІЧ-спектрів зразків Етеролів-S₁₅ виявлено, що зі збільшенням тривалості реакції інтенсивність смуг пропускання в області 550–450 см⁻¹ (валентні S-S зв'язки) зростає, що можна пояснити збільшенням довжини сульфідних ланцюгів. Це твердження корелюється із симбатним зростанням в'язкості продуктів при збільшенні часу процесу.

Зростання температури сульфидування призводить, навпаки, до обриву сульфідних ланцюгів, що відображено на ІЧ-спектрі зниженням інтенсивності валентних коливань S–S. При цьому зростає інтенсивність смуги 800 см^{-1} , що відповідає коливанням C–S зв'язку, і зменшується інтенсивність смуги при 967 см^{-1} , притаманної дизаміщенним алкенам. Пояснення цьому бачимо у перегрупуванні довгих полісульфідних ланцюгів у більш короткі з переміщенням по довжині вуглеводневого ланцюга. Підтвердженням такої думки є зростання смуги, що відповідає коливанням C–S зв'язку, і зменшення в'язкості продуктів.

Етеролі-S_n добре розчиняються і змішуються з усіма відомими мінеральними оливами, а також мастильними композиціями різного призначення і функціональними присадками до них. Це дозволяє методом компаундування готувати мастильні матеріали різного типу і призначення – оливи моторні, трансмісійні, індустріальні, мастильно-холодильні рідини, пластичні мастила та ін. Сульфурвмісні естери мають покращені захисні властивості щодо чорних і кольорових металів. На чавуні, сталі ШХ-15 і міді, за вмісту сульфуру до 15% мас. не спостерігається навіть слідів корозії; при $n = 20\text{--}30\%$ мас. відмічається потемніння пластинок, а при $n = 35\text{--}46\%$ мас. пластинки вкриваються тонким чорним нашаруванням, що змивається свіжою оливою чи витирається без помітних змін поверхні. Відпадає необхідність додаткового введення інгібіторів корозії, як це має місце для сульфидованих похідних ріпакової олії чи метилових естерів. У композиціях з найбільш поширеними індустріальною I-20A та нафтовою 5360 оливами сульфурвмісні естери дають мастила з покращеними трибологічними характеристиками. Їх реологічні й експлуатаційні властивості перевищують відомі оливи-аналоги, зокрема, на базі метилових естерів.

Література:

1. Rudnick L. Lubricant Additives Chemistry and Application. Second Edition. – New York: CRC Press, 2010. – 777 p.
2. Поп Г.С. Мастильні матеріали з рослинних олій. – Хімічна пром-сть України. – 2006, – № 5. – С. 22–29.
3. Pat. 0656414A2 EU, C10M 135/02. Sulfurized fatty acid or ester and olefin mixtures, lubricants, and methods of making the same / The Lubrizol Corporation. – Publ. 07.06.1995.
4. Сіренко Г.О. Вплив каталізатора сульфидування на навантажувальну здатність мастильних матеріалів наноплівки ріпакової оливи на металевих поверхнях / Г.О. Сіренко, О.В. Кузишин, Б. Л. Литвин // Фізика і хімія твердого тіла. – 2009, № 1 (10). – С. 189–192.
5. Кравчук Г.Г. Синтез сіркоорганічних сполук на основі ефірів рослинних олій та їх властивості / Г.Г. Кравчук, Г.С. Поп, Л.О. Главаті // Катализ і нефтехімія. – 2002, № 9 (10). – С. 67–71.
6. Пат. 65753 України, C10M 177/00. Спосіб одержання базової оливи для мастильних композицій / Кириченко Л.М., Кириченко В.І., Свідерський В.П. – Опубл. 15.08.2005.
7. Пат. 87654 України, C10M101/04. Спосіб одержання базової оливи і поліфункціональних додатків для композицій мастильних матеріалів / Поп Г.С., Бодачівський Ю.С. та ін. – Опубл. 10.02.2014.
8. Наканиси К. Инфракрасные спектры и строение органических соединений. Пер. с англ. Куллетская Н. Б., Епштейн Л. М. – М.: Мир, 1965. – 220 с.
9. Silverstein R. Spectrometric Identification of Organic Compounds, 7th Edition. / R. Silverstein, F. Webster, D. Kiemle – Chichester: John Wiley&Sons, Inc, 2005.–502p.

СКЛАД, ВЛАСТИВОСТІ ТА СПОСОБИ ПЕРЕРОБЛЕННЯ ВАЖКИХ ВИСОКОСІРЧИСТИХ НАФТ

Протягом останніх десятиліть і в наш час більшість нафтопереробних заводів світу переробляють традиційні легкі нафти, запаси яких постійно зменшуються. З іншого боку, розвідані величезні запаси важкої (нетрадиційної) нафти, що зараз майже не розробляються. Тому найближчим часом нафтопереробна промисловість буде змушена переходити на переробку нетрадиційних низькоякісних нафт, одним з представників яких є важкі високосірчисті нафти. Родовища важких високосірчистих нафт з низьким вмістом світлих фракцій знаходяться в багатьох країнах світу (в Канаді, Мексиці, Іраку, Росії тощо). Українським аналогом нафт даного типу є орховицька нафта, що видобувається в невеликих кількостях на території Західної України і переробляється за спрощеною схемою.

Наша наукова робота є комплексним дослідженням важкої високосірчистої високосмолистої орховицької нафти, що включає вивчення основних властивостей нафти і виділених з неї фракцій з метою одержання товарних нафтопродуктів. Під час виконання роботи вперше детально вивчена характеристика важкої високосірчистої орховицької нафти, одержаних з неї дистилатних фракцій і залишку, та встановлено, що вміст сірки в орховицькій нафті в 15–30 разів, а вміст асфальтенів в 20–40 разів перевищує вміст сірки і асфальтенів в інших українських нафтах, що видобуваються в районі Прикарпаття та Дніпровсько-Донецької впадини. Показано, що на відміну від інших українських нафт, із збільшенням температур кипіння бензинових фракцій орховицької нафти вміст вуглецю в парафінових структурах підвищується. Встановлено, що в сірковмісних сполуках бензинових фракцій орховицької нафти переважає меркаптанова сірка, в дизельних фракціях – сульфідна сірка, а в оливних фракціях основна частина сірки входить до складу циклічних сполук.

Встановлено, що метод сумісного окиснення залишку орховицької нафти та 11–13% мас. важкої смоли піролізу за температури 250°C, об'ємній швидкості подачі повітря 2,5 год⁻¹ протягом 6 год дає можливість отримати дорожній бітум марки БНД 60/90 згідно ДСТУ 4044-2001. Крім цього, бітум БНД 60/90 можна отримати модифікацією вакуумного залишку орховицької нафти полімерними латексами Butonal NS 104 або Butonal NS 198 в кількості 2–3% мас. за температури 180°C протягом 2–6 год.

У кінцевому результаті нами запропоновано варіанти переробки важкої високосірчистої орховицької нафти на міні-НПЗ та нафтопереробному заводі високої продуктивності. Здійснено розрахунок матеріальних балансів технологічних установок заводу і зведеного матеріального балансу переробки нафти на НПЗ. Розроблений варіант переробки в подальшому може бути використаний не тільки для орховицької нафти, але і для подібних нафт інших родовищ.

ЕСТЕРИФІКАЦІЯ КАРБОНОВИХ КИСЛОТ ПАЛЬМОВОЇ ОЛІЇ У РЕАКТОРІ-АКТИВАТОРІ

Останнім часом усе більш широке поширення набувають альтернативні біопалива на основі рослинних олій (ріпакової, соєвої, соняшникової, арахісової, пальмової) та їх похідних. Можливість отримання альтернативних біодизельних палив з необхідними фізико-хімічними властивостями дозволить цілеспрямовано вдосконалювати робочі процеси дизелів і тим самим поліпшити їх екологічні та економічні показники.

Основним завданням було дослідження можливості естерифікації карбонівих кислот пальмової олії етанолом і метанолом у реакторі-активаторі з використанням обертового магнітного поля високої напруженості.

Синтез проводили за нормального атмосферного тиску у реакторі-активаторі з використанням обертового магнітного поля високої напруженості через що забезпечується інтенсивний масообмін між реагентами.

Кислоти пальмової олії попередньо підігрівали до розтоплення (60°C). Зважену кількість реагентів кислот пальмової олії, спирту (метанол чи абсолютний етанол – ВКД) та каталізатор п-толуолсульфокислота у вигляді гомогенного розчину завантажували до реактора, в якому реакційна суміш перебувала 7–8 с в умовах дії магнітного поля.

Після цього продукт вивантажували з реактора і залишали за кімнатній температурі. Попередніми дослідженнями було засвідчено, що за 4 год конверсія кислот в реакції естерифікації становила приблизно 90% (за зниженням кислотного числа). Продукти реакції переносили до ділільної лійки і залишали при кімнатній температурі для розділення. Продукт із непрозорого (каламутного) розчину поступово (протягом тижня) розділювався на три шари. У верхньому шарі, що становив 16–20% від всього продукту, містився каталізатор у вигляді чорного осаду. Найбільшим за об'ємом був середній шар (66–70%) – рідинна фракція без осаду. Нижній шар (1–5%) містив мазеподібний сіруватий осад. Решту становили втрати (9–13%).

Шари продуктів реакції розділяли та аналізували наявні там продукти. Осад відфільтровували і висушували (100°C). Ідентифікацію продуктів здійснювали за допомогою потенціометричного титрування (визначення кислотного числа), методів хімічного аналізу.

Препаративно одержували етилові та метилові естери кислот пальмової олії. Для синтезу використовували кислоти пальмової олії з кислотним числом 165 мг КОН/г.

Конверсія кислот і вихід естерів в умовах синтезу (7–8 с у магнітному полі та 4 год витримки поза реактором за кімнатної температури) аналогічні як у звичайному реакторі з перемішуванням протягом 5 год за температури близької до температури кипіння спиртів.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА ГЛИКОЛИЗА РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ И ПОЛУЧЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ БИОКОМПОНЕНТОВ ДЛЯ СОВРЕМЕННЫХ СМАЗЫВАЮЩИХ КОМПОЗИЦИЙ

Традиционные топлива и смазки отрасли со временем становятся малоэффективными и, естественно, нуждаются в перманентном обновлении на принципах новых источников сырья, методов и технологий, экобезопасности. Первоочередной задачей научно-технического прогресса в отрасли топливно-смазывающих материалов (ТСМ), которые по сути развиваются как оптимизированные композиции, есть создание своеобразного «банка» базовых материалов (компонентов, добавок и присадок) самого широкого за происхождением, строением и свойствами ассортимента. Важно, чтобы в составе такого «банка», кроме лучших образцов традиционных материалов (минеральных и синтетических) было бы все большее количество функционально-качественных, экологически безопасных и дешевых. Мировая практика инновационного развития материаловедения отрасли указывает на одно из рациональных направлений – комплексную, целенаправленную химико-технологическую переработку технических растительных (ТР) масел как альтернативного и возобновляемого сырья. Известно, что потенциал производства такого сырья: (рапсового масла – рапсола, соевого генетически модифицированного – соеола-гм) в Украине есть значительным, в то же время $\approx 85\%$ производимых ТР масел экспортируется.

Хотя попытки непосредственного использования ТР масел в отрасли и аргументированы рядом положительных аспектов, в частности, возобновляемостью сырья, экологической безопасностью и др., тем не менее они всегда носили ограниченный характер. Причина этого кроется в неблагоприятности для ТР масел определяющего фактора "строение триацилглицеринов масел – функциональные их свойства". Среди таких факторов наиболее существенными есть: а) с точки зрения строения молекул – наличие энергетически гиперактивных, с одной стороны, эстерной группы в положении 2 глицериновой компоненты молекул, а с другой – высокое содержание ненасыщенных ацильных компонент; б) с точки зрения функциональных свойств масел особенно в жестких условиях узлов трения – термоокислительная нестабильность молекул, большие молекулярные массы и неблагоприятная вязкостно-температурная зависимость. Известные отдельные случаи использования непереработанного рапсола реализовывались на уровне либо полидисперсных композиций с различными функциональными добавками, либо бинарных систем с присадками и т.д. Даже такие варианты использования ТР масел показали их целесообразность с точки зрения улучшения функциональных свойств, механических композиций.

Поиск альтернативного, более актуального и эффективного направления использования растительных масел должен опираться на обширный интернациональный опыт решения проблемы ресурсо- и энергосбережения,

в частности, на уровне биоматериалов и биоэнергетики. Однако, более рациональным подходом есть разработка простых, дешевых и эффективных с технико-экономической точки зрения методов химической модификации функционально несовершенной структуры молекул с целью получения базовых материалов нового типа – био-масел и био-масел-присадок улучшенных функциональных свойств.

Нами предложен метод модифицирования рапсола и его оптимизированных композиций с известным в отрасли рициновым маслом (рицолом, в пределах 5–20 % масс.) например, раприцола-20, который базируется на специфических реакциях каталитического алкоголиза. Причем особенностью такого алкоголиза есть его двухэтапность.

На первом этапе реализуют реакцию транс-алкоголиза рапсола или раприцола-20 глицерином по схеме так называемого глицеролиза и при условии щелочного (специального) катализа. При этом триглицериды ТР масел превращают с выходом 85–90% в промежуточный продукт многоцелевого использования – 2-гидрокси-1,3-диацилглицериновое (ОН-ДАГ) масло. Кроме использования ОН-ДАГ масла для переработки на втором этапе алкоголиза, на его основе можно синтезировать как био-присадки, например, SP-, SPN-, SPB-полиэлементных вариантов, так и био-масла-присадки полифункционального назначения. Важной особенностью ОН-ДАГ масел есть их высокая поверхностная (а поэтому и трибохимическая) активность в качестве эффективных мощных и депрессорных присадок к минеральным маслам.

На втором этапе осуществляют еще один вариант каталитической переэстерификации, теперь уже ОН-ДАГ масел простейшими (низкомолекулярными) гликолями, например, этилен-(эт)-гликолями, 1,3-пропандиолом, реже диэтилен-(диэт)-гликолем, называемого условно "гликолизом". В противоположность технологии переработки рапсола на биотопливо метанолизом – этанолизом, "гликолизную" технологию получения из ТР масел био-масел предложено осуществлять как высокотемпературный процесс с небольшим избытком гликолей и за условий двух типов эффективного катализа (щелочного или кислотного).

Био-масла ($M_{cp} > 435$) как товарный продукт представляют собой масляную композицию трех соединений: а) диэстера соответствующего гликоля и ВЖК, производных от ТР масел, общей формулы: $R'(R'')-C(O)-OCH_2-R-CH_2O-C(O)-R''(R')$, $M \geq 586$, содержанием $\approx 40\%$ масс.; б) гидрокси-моноэстера гликолей: $HO-CH_2-R-CH_2-O-C(O)-R'(R'')$, $M \geq 324$, содержанием $\approx 40\%$ масс.; в) 1-моноацил-2,3-диокси-глицерны $HO-CH_2-CH(OH)-CH_2-O-C(O)-R''(R')$, $M \approx 354$, содержанием $\approx 20\%$ масс.

С учетом своего био-происхождения био-масла соединяют в своей структуре фрагменты двух лучших типов синтетических масел (эстерных и полиалкилен-гликолевых), которые синергетически обуславливают лучшие их функциональные и эксплуатационные свойства. Они отлично совмещаются со всеми традиционными материалами отрасли, характеризуются высокой биоразлагаемостью (до 85%); имеют умеренную стоимость и благоприятные вязкостно-температурные зависимости. .

Некоторые функциональные свойства биомасел из рапсола – раприцола-20 и ет-гликоля условных названий "ет-глираприцол-20": плотность d_4^{20} , г/см³ – 0,887–0,892; температуры вспышки в открытом тигле – 230–235°C; застывания, не выше (минус 28) – (минус 32°C); вязкость кинематическая (ν), мм²/с: ν_{40} = 98–102; ν_{100} = 12–13,5; индекс вязкости 120–135; щелочное число, мг КОН/г, не менее 7,0–7,5; коксуемость, %, не менее 0,35–0,42; цвет. ед. ЦНТ, не более 2,5–3,0. Смазывающие свойства этих био-масел на ЧШМ при (20 ± 5)°C, P = 196 Н по ГОСТ 9490: индекс задира I_3 , не менее 37–40; нагрузка критическая $P_{кр}$ = 1100–1200 Н; диаметр пятен изнашивания шариков диаметром 12,7 мм сталь ШХ 15, HRC = 58–61 при 196 Н – 0,50–0,65.

Кириченко В. И., Кириченко В. В.,
Хмельницкий национальный университет, Украина

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ МЕТОДА «ДВОЙНОГО ЭСТЕРОЛИЗА» РАСТИТЕЛЬНЫХ МАСЕЛ С ПОЛУЧЕНИЕМ КАЧЕСТВЕННЫХ БИОКОМПОНЕНТОВ СОВРЕМЕННЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ ТОПЛИВ И СМАЗОК

Кризисное состояние отечественной отрасли топливно-смазывающих (ТСМ) материалов остро ставит вопрос всесторонней интенсификации научно-технического поиска эффективных путей решения многих отраслевых недостатков на принципах ресурсо- и энерго-сбережения и экологической безопасности. Актуальным направлением решения этой комплексной проблемы есть разработка рациональных методов и технологий переработки технических растительных (ТР) масел на биосинтетические материалы и энергоносители – компоненты высокой биоразлагаемости для оптимизированных композиционных топлив и смазок, альтернативных традиционным минеральным. Первоочередной задачей современного этапа развития как отрасли ТСМ, так и науки трибологии, есть создание своеобразного банка функционально и трибологически качественных компонентов отраслевого материаловедения (технических жидкостей, добавок, присадок и т.п.) самого широкого ассортимента. Важно, чтобы среди такого ассортимента, кроме лучших образцов традиционных материалов (минеральных, синтетических, полусинтетических), было бы все возрастающее количество экологически безопасных (в частности высокой биоразлагаемости), продуктов, получаемых из ТР масел на принципах ресурсо- и энергосберегающих технологий. Особое место среди материалов отрасли занимает группа технических жидкостей (из ТР масел-биожидкостей) – важных компонентов современных композиционных топлив и смазок.

Одним из перспективных направлений создания таких биожидкостных компонентов, как показывает анализ информации об инновационных разработках ведущих зарубежных компаний в этой отрасли, рассматривают методы и технологии целенаправленной химической модификации функционально не совершенных молекулярных структур возобновляемого, экологически безопасного сырья – ТР масел, в частности, рапсового (рапсола) и рисинового (рицола), а иногда и соевого генетически модифицированного (соеола-2м).

В основу исследования методов и технологий модифицирования рапсола (реже соеола-гм) или оптимизированных композиций рапсола с ризолом – так называемых компол'ов положена прогрессивная концепция технико-экономической эффективности и экологической безопасности как собственно процессов переработки ТР масел на биокомпоненты, так и использования новых материалов, на принципах: а) комплексности и безотходности технологий, модульности их построения; б) доступности и экобезопасности сырья и вспомогательных продуктов технологических процессов; в) научно-технического развития всего комплекса биоэнергетики из ТР масел: от методов и технологий их модифицирования и до рационального использования качественных материалов [3, 4].

Исходя из положений этой концепции, экспериментальный поиск позволил разработать рациональный и эффективный метод получения из ТР масел функционально качественных технических биожидкостей высокой биоразлагаемости. Такой метод основан на разновидности реакций трансэтерификации продуктов эстерного строения, а именно, реакции двойного обмена между сырьевыми для данной технологии эстерами (сложными эфирами): с одной стороны триацилглицеринами масел, а с другой – низкомолекулярными эстерами промышленного (крупнотоннажного) производства – алкил-ацетатами общей формулы $\text{CH}_3\text{-C(O)-OAlk}$. Разработаны технологические основы метода двойного обмена («эстеролиза»), подобраны два типа наиболее эффективных катализаторов, оптимизированы параметры процесса, предложенный перечень типового оборудования.

Главной особенностью этой технологи есть получение технической биожидкости как композиционного продукта с выходом $\approx 85\text{--}87\%$, состоящего из четырех компонентов: двух основных содержанием $\approx 86\text{--}88\%$ масс. и двух сопутствующих ($\approx 12\text{--}14\%$ масс.). Основными компонентами продукта есть:

1) алкил-эстеры высших жирных кислот (ВЖК) общей формулы $[\text{R(R')-CO-}]\text{-}(\text{OAlk})$ и общего названия «алкэст-ВЖК», где фрагмент $[\text{R(R')-CO-}]$ – ацилы ВЖК, производные от триацил-глицеринов масел $[\text{R(R')-C(O)-OCH}_2\text{-CH-}[\text{-O-C(O)-R(R')-CH}_2\text{-O-}[\text{-C(O)-R(R')}]$, а (Alk-O-) – алкильные остатки двух типов: а) в случае жидкостей для топлив: $-\text{OCH}_3$, $-\text{OC}_2\text{H}_5$, $M\ 294\text{--}308$; б) в случае компонентов для масел: $-\text{OCH}_2\text{CH}(\text{C}_2\text{H}_5)\text{-C}_4\text{H}_9$, $-\text{OC}_4\text{H}_9$ (*n*- или *изо*-), $M = 336\text{--}392$;

2) глицерил-триацетат $[\text{CH}_3\text{-C(O)-}]\text{-O-CH}_2\text{-CH-}[\text{-O-C(O)-CH}_3]\text{-CH}_2\text{-O-}[\text{-C(O)-CH}_3]$ (называемый еще триацетином), $M = 218$, $t_{\text{пл}} = \text{минус } 73^\circ\text{C}$, дипольный момент $\mu > 0$.

Сопутствующими компонентами в составе товарного продукта есть:

1) соответствующие алкил-ацетаты $\text{CH}_3\text{-C(O)-O-Alk}$ содержанием в массе продукта $6,0\text{--}6,5\%$, с температурой кристаллизации в пределах минус 98-- минус 76°C , присутствие которых обусловлено их $20\text{--}25\%$ избытком как сырья обратимой реакции двойного обмена с целью смещения ее равновесия вправо;

2) остаточное (после реакции) количество рапсола (соеола-гм или комполов) содержанием $5,0\text{--}6,0\%$ масс.

Особенности состава и свойств такого поликомпонентного продукта тесно связаны с рядом благоприятных технологических и функциональных факторов в частности:

- нет необходимости разделять и очищать продукт (после реакции и отделения катализатора) с выделением отдельных компонентов, которые синергетически усиливают функциональные показатели его качества (особенно температур кристаллизации, вспышки и др.);

- обеспечивается гомогенность продукта во всем интервале температур (минус 50°C);

- достигается высокая биоразлагаемость (до 85 %);

- продукт хорошо совмещается со всеми типами минеральных топлив: бензинами, дизельными и реактивными, т.е. он отлично компаундируется с ними в широком интервале содержания компонентов;

- показано, что такая техническая биожидкость может быть использована: а) как дизельное био-топливо (Био-ДТ) – компонент производства композиционных топлив, например, дизельных КДТ, реактивных КРТ; б) как присадки, в частности моющие, депрессорные, промутеры сгорания и др.; в) как компоненты промышленных растворителей.

Таблица

Влияние добавок новой биожидкости как дизельного биотоплива (Био-ДТ) на некоторые функциональные свойства композиционных дизтоплив, полученных компаундированием с минеральным дизтопливом

Наименование показателя	Значение показателей для 100% компонентов (Био-ДТ, Мин-ДТ), и композиций (КДТ) состава Био-ДТ:				
	Мин-ДТ				
	Био-ДТ	75 : 25	50 : 50	25:75	Мин-ДТ
Отношение С / Н	6,290	6,140	6,670	6,766	6,900
Отношение воздух / топливо, кг/кг	12,87	13,06	13,54	14,09	14,45
Плотность (20°C), г/см ³	0,87– 0,88	0,865– 0,867	0,858– 0,860	0,856– 0,858	0,850– 0,852
Вязкость ν_{20} , мм ² /с	7,50– 7,70	6,44– 6,70	5,04– 5,10	4,60– 4,62	3,00– 3,06
Температура вспышки в открытом тигле, °С	165– 175	125– 132	95– 100	87– 90	80– 85
Теплота сгорания min, кДж/кг · 10 ³	38,0– 39,0	37,2– 38,3	39,8– 40,2	40,5– 41,0	42,0– 43,0
Кислотность, мг КОН/ 100 см ³ , не больше	6,0– 6,5	5,8–6,2	5,6– 6,1	5,1– 5,7	5,0– 5,5
Цветность, ед. ЦНТ, не более	2,3	2,2	2,1	2,0	2,0
Коррозия на Cu-пластине при 100°C, $\tau = 3$ часа	Выдерживается				
Температура кристаллизации, °С	Минус 55	Минус 50	Минус 47	Минус 43	Минус 40

Результаты испытаний одного образца из серии новых технических биожидкостей в качестве био-компонента для приготовления композиций типа КДТ, которые представлены в таблице, подтверждают его практическое значение и перспективность.

ВПЛИВ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА НА БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Зміна клімату чинить серйозний вплив на біорізноманіття і тому необхідні невідкладні заходи щодо пом'якшення наслідків викидів парникових газів. Транспорт – такий сектор економіки, на який припадає значна частка викидів CO₂. З метою пом'якшення впливу викидів парникових газів і підвищення рівня енергобезпеки в останні роки зростає виробництво рідкого біопалива. Отримане з поновлюваних джерел біопаливо потенційно може бути більш-менш нейтральним з точки зору викидів вуглецю, оскільки теоретично викиди вуглецю під час спалювання біопалива компенсуватимуться вирощуванням рослин. При спалюванні рідкого біопалива викидається менше парникових газів, ніж при спалюванні звичайного органічного викопного палива [1–3]. Вихід палива, чистий енергетичний баланс, зниження викидів парникових газів і виробничі витрати залежать від виду використовуваної біомаси, засобів виробництва, місць виробництва та ринків.

Сталі біопалива для транспортних потреб є одним з найбільш ефективних рішень для скорочення викидів вуглецю. Загальний обсяг викидів парникових газів за життєвий цикл біопалива є значно нижчим, ніж при спалюванні викопного палива. Наприклад, група користувачів сталого авіаційного палива (SAFUG) вимагає від держав-членів при запровадженні в авіації сталого біопалива наступне: не витіснити і/або не конкурувати з продовольчими культурами та не викликати знеліснення; зводити до мінімуму вплив на біорізноманіття; виробляти паливо з істотно більш низьким рівнем викидів парникових газів протягом життєвого циклу, ніж для звичайного викопного палива; бути сертифікованими на вимоги екобезпеки стосовно ґрунтів, вод та використання енергії; забезпечувати позитивний соціально-економічний вплив.

Біоетанол і біодизельне паливо можуть використовуватися сучасними транспортними засобами або після змішування їх з дизельним паливом на основі бензину чи інших нафтопродуктів, або навіть у чистому вигляді, наприклад – в гібридних автомобілях. Основними видами біомаси, що використовується для виробництва біоетанолу, є цукровий очерет, кукурудзяне зерно і, поки ще на експериментальній основі, сировина другого покоління, в першу чергу – целюлозні матеріали, а рапсова і пальмова олія використовуються для виробництва біодизельного палива. Використання целюлозної сировини (скошена трава, побічні продукти лісового господарства та сільськогосподарського сектора) може дати більш високий показник виходу чистої енергії, а це сприяє подальшому зниженню викидів парникових газів, оскільки вони мають порівняно високий потенціал зв'язування вуглецю та їх отримання вимагає менших витрат енергії, ніж для нецелюлозних видів сировини [3, 4]. Водорості є ще одним видом біомаси, який розглядається у даний час на предмет використання для виробництва біопалива.

Широкомасштабне виробництво рідкого біопалива може сприяти зниженню викидів парникових газів і таким чином стане важливим додатковим непрямим

внеском у справу збереження біорізноманіття. Посадка рослин, призначених для виробництва енергетичної біомаси, може конкурувати з уже існуючими видами використання сільськогосподарських земель та/або може призвести до того, що для насаджень будуть використовуватися ділянки незайманого природного ландшафту, які слід зберігати. Тому широкомасштабне виробництво біопалива може зробити прямий несприятливий вплив на біорізноманіття через руйнування та фрагментацію місць проживання, включаючи, крім усього іншого, збільшення викидів парникових газів з деградованих поглиначів вуглецю, а також вирубку лісів, забруднення води та евтрофікацію і надмірну експлуатацію ресурсів, викликану земельними конфліктами та підвищенням цін на продукти харчування. Згідно з розрахунками, потрібно використовувати до 13% сільськогосподарських земель країн ЄС для досягнення поставлених цілей, щоб частка біопалива у загальному балансі енергії, яка споживається Європою, складала 5,75% [5].

Нові результати досліджень Європейської комісії підтверджують, що цілі ЄС стосовно впровадження біопалива прискорять процес зникнення (вимирання) рослин і тварин. ЄС прагне до припинення втрати біорізноманіття до 2020 року. В умовах, коли відсутні необхідні реформи, політика ЄС стосовно біопалив буде серйозно блокувати прагнення щодо збереження природи. Непрямі наслідки землекористування можуть перетворити 17000 км² природного середовища у площі для вирощування сировини для біопалива, якщо не захистити їх відповідно законодавством ЄС. Може мати місце тенденція, коли оброблювані землі на цих площах знизять біорізноманіття на 85%.

Конвенція про біологічне різноманіття (КБР) [6] є міжнародним юридично обов'язковим договором, три основні цілі якого полягають у збереженні біорізноманіття, невиснажному («сталому») використанні біорізноманіття та спільному отриманні на справедливій та рівній основі вигод, пов'язаних з використанням генетичних ресурсів. Невиснажне використання біорізноманіття означає використання природних ресурсів таким чином, коли Земля здатна їх відновлювати. Тобто, повинні забезпечуватися задоволення потреб як нинішнього, так і майбутніх поколінь. Завдяки цим трьом цілям КБР часто називають ключовим міжнародним документом для досягнення збалансованого розвитку.

Її фундаментальним завданням є стимулювання діяльності, що веде до створення екозбалансованого майбутнього. КБР розглядає біорізноманіття на всіх рівнях – на рівні екосистем, видів і генетичних ресурсів. Екосистеми, види і генетичні ресурси слід використовувати на благо людини, але так, щоб це не призводило до виснаження біорізноманіття. КБР також охоплює сферу біотехнології на основі Картахенського протоколу з біобезпеки [7]. Фактично КБР охоплює всі можливі області, прямо або побічно пов'язані з біорізноманіттям і з його роллю у розвитку, що простягаються від науки, політики і освіти до сільського господарства, комерційної діяльності і культури.

У рамках КБР розроблено принципи невиснажного використання, що пропонується застосовувати у галузях, що найбільш суттєво впливають на біорізноманіття, таких як сільське та лісове господарство, рибальство, туризм і водокористування. Наприклад, принцип запобігання («precautionary principle», [8]) передбачає, що в тих випадках, коли виникає загроза серйозного скорочення або втрати біорізноманіття, відсутність повної наукової впевненості не повинна

бути причиною для відстрочки заходів щодо запобігання або зведення до мінімуму такої загрози. У 2004 році Сторони КБР узгодили Аددіс-Абебські 14 принципів [9] та оперативні вказівки із невиснажного використання біорізноманіття, які відносяться до всіх областей та видів діяльності.

У 2010 р. Сторони КБР схвалили Стратегічний план [10] у галузі збереження та невиснажного використання біорізноманіття на 2011–2020 рр., що представляє собою програму, розраховану на 10 років, в рамках якої всі країни і суб'єкти діяльності будуть вживати заходів щодо збереження біорізноманіття та забезпечуваних ним вигод для людей. У рамках Стратегічного плану було прийнято 20 амбітних, але досяжних цільових завдань.

Уряди взяли на себе зобов'язання встановити національні цільові завдання на підтримку цільових завдань щодо збереження та невиснажного використання біорізноманіття. У національних стратегіях і планах дій щодо збереження біорізноманіття відображені способи, якими країна має намір здійснювати встановлені цілі КБР, і конкретні заходи, що вона має намір вживати.

П'ять стратегічних цілей КБР:

Стратегічна ціль А. Ведення боротьби з основними причинами втрати біорізноманіття шляхом включення тематики біорізноманіття у діяльність урядів і суспільства;

Стратегічна ціль В. Скорочення прямих навантажень на біорізноманіття і стимулювання невиснажного використання;

Стратегічна ціль С. Поліпшення стану біорізноманіття шляхом охорони екосистем, видів і генетичного різноманіття;

Стратегічна ціль Д. Збільшення обсягу вигод для всіх людей, що забезпечуються біорізноманіттям і екосистемними послугами;

Стратегічна ціль Е. Підвищення ефективності через громадське планування, управління знаннями та створення потенціалу.

Національна стратегія щодо збереження біорізноманіття повинна відображати концепцію країни в області біорізноманіття та широку політику і організаційні заходи, що країна здійснює для досягнення цілей Конвенції [6], а план дій включає конкретні заходи, які необхідно прийняти для виконання цільових завдань стратегії. Стратегія повинна включати амбітні, але досяжні і вимірювані національні цільові завдання, які розроблюються в рамках цільових завдань щодо збереження та невиснажного використання біорізноманіття. Стратегія і план дій розробляються кожною країною у відповідності з національними особливостями і можливостями. Міжнародне співтовариство єдине у розумінні того, що розвиток, передача, адаптація і поширення технологій, нарощування відповідного потенціалу відіграють ключову роль в досягненні збалансованого розвитку. Це розуміння відображене в ключових міжнародних політичних документах, таких як Декларація Ріо-де-Жанейро з довкілля і розвитку (1992), Порядок денний на ХХІ століття (1992) і Йоханнесбурзький план виконання рішень Всесвітнього саміту зі збалансованого розвитку (2002).

Використання земель природного комплексу, таких як водно-болотні угіддя та природні ліси для виробництва біопалива, є серйозною загрозою біорізноманіттю внаслідок втрати місць проживання, компонентів їх біорізноманіття та скорочення основних послуг, що забезпечуються екосистемами. Крім того, використання

земель природного комплексу може викликати додаткове збільшення викидів парникових газів з причини, наприклад, вирубки лісів і деградації природних сховищ вуглецю – торф'яних боліт та ґрунтів. Розширення сільськогосподарських угідь призведе до більш інтенсивного використання водних ресурсів і забруднення вод у зв'язку з процесами перетворення біомаси, що може також вести до втрати біорізноманіття. Попит на родючі сільськогосподарські землі для виробництва біопалива може привести до земельних конфліктів, а також до підвищення цін на продукти харчування, що вплине на корінні й місцеві громади та невеликі фермерські господарства, бо вони будуть змушені здобувати собі продукти харчування, використовуючи для цього ресурси дикої природи і/або розчищаючи додаткові земельні ділянки для ведення сільського господарства.

Біорізноманіття становить основу сільського господарства, воно забезпечує продуктивні ресурси та є сировиною для виробництва товарів. Біорізноманіття сільського господарства включає екосистеми, тварини, рослини і мікроорганізми, що відносяться до виробництва продовольства і ведення сільського господарства. Кожна рослина, тварина і мікроорганізм виконує свою роль в регулюванні основних екосистемних послуг, таких як збереження водних ресурсів, редукції відходів, кругообігу поживних речовин, запиленні, боротьбі із сільськогосподарськими шкідниками та хворобами, регулюванні клімату, боротьбі з ерозією і попередження повеней, уловлюванню вуглецю та багатьох інших.

На сьогодні день все ще досить рідко проводяться всеосяжні дослідження повного циклу виробництва біопалива, а саме від посадки рослин і до їх використання, включаючи оцінку соціально-економічних та екологічних наслідків. З метою сприяння прийняттю рішень на основі фактичних даних і застосуванню підходів на основі раціональної практики щодо виробництва біопалива, дуже важливо домогтися, щоб такі системні дослідження проводилися в рамках основних проєктів, а також сприяти обміну даними і накопиченню досвідом, використовуючи для цього відповідні кошти.

Існують варіанти сприяння розвитку сталого виробництва біопалива. Серед них найпоширенішими є наступні: а) застосування керівних принципів і стандартів, що лежать в основі екосистемного підходу; б) застосування керівних принципів, включаючи ті, що стосуються біорізноманіття, для оцінки екологічних наслідків та стратегічної оцінки впливу діяльності людини на довкілля; в) розроблення розумної структурної основи політики, спрямованої як на зниження впливу викидів парникових газів, так і на збереження та невиснажене використання біорізноманіття; і г) сприяння проведенню наукових досліджень, спрямованих на підвищення економічності та збільшення кількості енергетичної біомаси, і розроблення технологій виробництва із сировини другого покоління та інших матеріалів, наприклад, відходів. Держава повинна створити політичну основу для визначення варіантів виробництва рідкого біопалива, що сприятиме як пом'якшенню впливу викидів парникових газів, так і збереженню та невиснажному використанню біорізноманіття.

Вплив виробництва біопалива на біорізноманіття залежить від сировини, що використовується, практики організації управління, змін у землекористуванні і процесів отримання енергії. Хоча завдяки використанню біопалива можна домогтися зниження викидів парникових газів, тим не менш, є побоювання, що

наслідки вирубування лісів, змін у землекористуванні та втрати основних поглиначів вуглецю, таких як торф'яні угіддя, можуть у деяких випадках перевищити переваги, що отримуються в результаті використання енергії біопалива. Збільшення виробництва біопалива великою мірою залежить від участі урядів. Дуже важливо домогатися, щоб державна політика і відповідні системи стимулювання розроблялися таким чином, коли збільшення виробництва біопалива не тільки сприятиме зниженню обсягу викидів парникових газів, але також відповідатиме інтересам збереження і екозбалансованого використання біорізноманіття. Крім того, ймовірно, ще занадто рано говорити про розуміння всіх аспектів впливу виробництва біопалива на біорізноманіття, і тому доцільно було б привести у відповідність з національними вимогами і процедурами оцінку соціально-економічних та екобезпечних наслідків виробництва біопалива для великомасштабних проєктів на основі екосистемного підходу та оцінки життєвого циклу пропонованого виду діяльності/проєкту.

Література:

1. Perlack, R.D., Ranney, J.W. and Wright, L.L. 1992. Environmental emissions and socioeconomic considerations in the production, storage, and transportation of biomass energy feedstocks. Prepared for the U.S. Department of Energy. Oak Ridge National Laboratory: Oak Ridge, U.S.A. (Повний текст – електронний ресурс <http://www.ornl.gov/info/reports/1992/3445603664390.pdf>).
2. Kim, S. and Dale, B.E. 2005. Life cycle assessment of various cropping systems utilized for producing biofuels: bioethanol and biodiesel. *Biomass and Bioenergy* 29: 436–439.
3. GEF-STAP (Scientific and Technical Advisory Panel of the Global Environmental Facility). 2006. Report of the GEF-STAP workshop on liquid biofuels. United Nations Environment Programme-GEF. (Повний текст – електронний ресурс http://www.gefweb.org/Documents/council_documents/GEF_30/documents/C.30.Inf.9.Rev.1ReportoftheGEF-STAPWorkshoponLiquidBiofuels.pdf).
4. Farrell, A.E., Plevin, R.J., Turner, B.T., Jones, A.D., O'Hare, M. and Kammen, D.M. 2006. Ethanol can contribute to energy and environmental goals. *Science* 311: 506-508.
5. Biofuels Research Advisory Council. 2006. Biofuels in the European Union: a vision for 2030 and beyond. European Commission-Energy Research. (Повний текст – електронний ресурс http://ec.europa.eu/research/energy/pdf/draft_vision_report_en.pdf).
6. Конвенция о биологическом разнообразии. (Повний текст – електронний ресурс www.cbd.int/convention/convention.shtml).
7. Картахенский протокол по биобезопасности. (Повний текст – електронний ресурс www.cbd.int/biosafety/about.shtml).
8. Повний текст – електронний ресурс <http://www.precautionaryprinciple.eu/>.
9. Addis-абесские принципы и оперативные указания по устойчивому использованию биоразнообразия. (Полный текст – електронний ресурс www.cbd.int/sustainable/addis.shtml).
10. Strategic Plan for Biodiversity 2011-2020 (Повний текст – електронний ресурс <http://www.cbd.int/decision/cop/?id=12268>).

Ibraheem A.,
National Aviation University, Ukraine
Romanchuk V.,
NU “Lviv Polytechnic”, Ukraine

INNOVATIVE TECHNOLOGICAL SCHEME OF IRAQ OILS REFINING

It is known that oil is a fossil fuel of unique physical and chemical properties. Oil product share increases every year in chemical, food and building industry. The fuel-energy complex requirements constitute the main direction of oil operation.

Traditionally, depending on the obtained oil product properties, the rational, economically efficient oil refining ways are selected. Choice of oil refining direction and obtained oil products range is determined by physical and chemical oil properties, oil refining engineering development level and needs for marketable oil products within the specific economic region. There are three main ways of oil refining: 1) fuel; 2) fuel-oil; 3) petrochemical (complex). To define the most acceptable way for refining, oil classification is used. Nowadays, the most widespread classification is technological one. Its fundamentals include features important for oil refining technology or obtaining some product range.

In spite of prospective reduction of the oil share in total scope of energy carriers, absolute oil consumption (like other energy sources) will increase. Oil requires effective management as it is non-renewable natural resource. Oil refining processes efficiency improvement is one of the ways of this unique fossil fuel rational use.

Social and economic situation in Iraq, directly connected with oil, is the unique “indicator” of the state economic development. 9% of extracted oil is used in the country, while other part is exported abroad as crude oil or oil products. In 2012 Iraq exported \$94 billion worth 886.8 million barrels of crude oil. Even so, Iraq spent 30 billion dollars for oil products purchase during last ten years, but did not build any oil refining enterprise. Development of oil refining enterprises network and their modernization logically may be considered as a rational direction of economic development. This article is the logical continuation of our work evolution.

In our experiments subject of research is oil processing technology. Object of research – physical and chemical properties of oils of different fields. Research Methods – standard methods for determining the physical and chemical of quality indicators, the method of comparison, monographic method, feasibility analysis method. Determination of density was made by GOCT 3900 «Oil and oil products. Methods of density determination»; sulphur content – by GOCT 1437 «Dark oil products. Speeded method of sulphur determination»; water content – by GOCT 2477 «Oil and oil products. Method of water content determination»; content of mechanical impurities – by GOCT 6370 «Oil, oil products and additives. Method of mechanical impurities determination»; concentration of chloride salts – by GOCT 21534 «Oil. Methods of chloride salts determination»; output of fraction – by GOCT 11011 «Oil and oil products. Method of determination of fraction composition in apparatus APH-2».

Taking into account that light oil fractions (up to 350°C) are always used as fuels, oil refining ways are chosen depending on an oil group and subgroup. Principal

technological flowchart of AVD is chosen after refining way selection. When flowchart is chosen, content and characteristics of refined oil, range of obtained products and their quality requirements are taken into account. Detailed characteristics of investigated oils are represented in the following tables (physical and chemical properties, potential fractions content in oil, characteristics of raw material for catalytic cracking (350–450°C), characteristics of 200°C boiling fractions, characteristics of kerosene fraction (180–240°C), diesel fraction characteristics (240–350°C), basic and residual oils potential content).

Oil refining way is chosen taking into account oil marking. Based on previously conducted experimental results we composed the complex table of oils properties for their cipher determination (table 2).

Table 2

Properties determining Iraq oils ciphers

Index name	Value				
	Rumayla	Nakhran-Omar	Buzyrgan	Kircuck	Madzhnun
Sulfur content, mass %					
- in oil	1.30	0.73	1.54	1.69	1.30
- fraction (n.k.–180°C)	0.144	0.029	0.29	0.136	0.17
- fraction (180–360°C)	1.12	0.64	1.42	1.67	1.67
<i>Oil class:</i>	3	2	3	3	3
Up-to 350°C boiling fractions content, mass %	50.02	59.87	43.77	46.59	44.27
<i>Oil type:</i>	2	1	3	2	3
Water content, mass %	Absent	Absent	Absent	0.02	Absent
Mechanic impurities content, mass %	Absent	Absent	Absent	Absent	Absent
Chlorine salts concentration, mg dm ⁻³	14.06	23.01	17.52	21.16	19.22
<i>Oil group:</i>	1	1	1	1	1
Paraffins content in oil, mass %	3.4	3.0	2.7	2.8	1.4
Temperature, °C					
- Kerosene fraction crystallization temperature	minus 54	minus 59	minus 62	minus 48	minus 73
- Diesel fraction chilling point	minus 11	minus 12	minus 14	minus 11	minus 12
<i>Oil sort:</i>	2	2	2	2	1
Oil cipher:	3.2.1.2	2.1.1.2	3.3.1.2	3.2.1.2	3.3.1.1

On the base of the above ciphers (see table 2) one can affirm that Iraq oils are sulfureous, with the medium light distillates content (~53,0%). Therefore, they may be refined according to the fuel option.

3. Results and Discussion

Presented results were baseline data to substantiate flowsheet oil refining enterprise (ORE).

Based on these results, we were justified fuel variant ORE deep processing of oil.

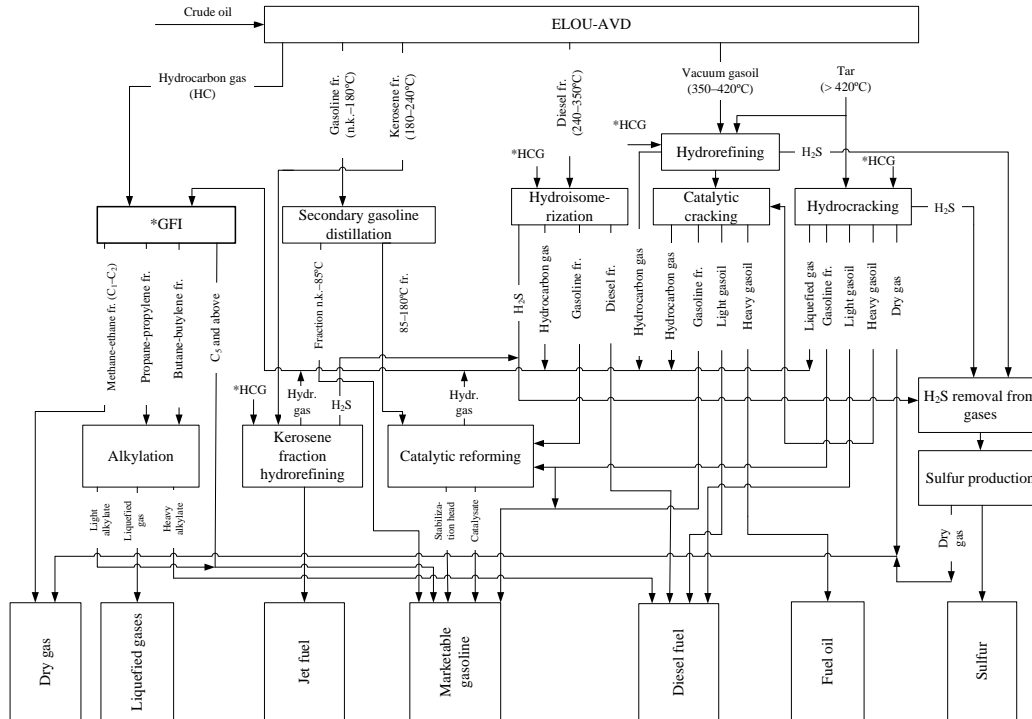
As it is known, in accordance with the fuel option, oil is mainly processed into motor and fuel oils. Fuel option of oil refining is differed by the least number of technological installations and low capital investments in case of same oil processing capacity of the factory. There is deep and mild oil refining according to the fuel option. Deep oil refining makes it possible to obtain the maximal outcome of high-quality aviation and automobile gasolines, winter and summer diesel fuels and jet fuels. For this case majority of specific secondary refining processes is foreseen, as a result of which high-quality light motor fuels are obtained from heavy oil fractions and residuals (tar). These processes include catalytic ones – catalytic cracking, catalytic reforming, hydrocracking and hydrotreating, and also thermal processes, such as coking. Artificial gases reprocessing in this case are directed to increase of high-quality gasolines and liquefied gas output.

Fuel option of investigated oils refining is economically efficient, as these oils contain insufficient amount of oil fractions [7, 9–11, 13]. On the assumption of oils cipher (table 2), we chose three-stage flowchart of atmospheric vacuum oil distillation (AVD) to obtain required end products. As the base of developed flowchart we took one of industrial AVD scheme with triple evaporation (fig. 1). According to scheme, oil passes three stages of previous dewatering. Dewatered and desalted oil is directed to the primary oil processing (POP) in AVD. Hydrocarbon gas produced in AVD, is directed to gas fractionation installation (GFI), where it is fractionated into dry (methane-ethane) and liquefied gases (propane, butane and isopentane fractions). Dry gas may be used as a household and industrial fuel. Liquefied gas is directed to liquefied hydrocarbon gases section.

Gasoline fraction (beginning of boiling – 180°C) is directed to secondary refining. It is divided into two parts. The first one is gasoline fraction (beginning of boiling – 85°C), usually directed to isomerization. We make a decision not to order this fraction to isomerization to prevent additional expenses, but we order this to marketable gasolines compounding section immediately (fig. 1). Second part of the gasoline fraction of 85–180°C boiling temperature range will be directed to catalytic reforming, where high-octane number gasoline will be obtained from it. Reforming gasoline is directed to “Marketable Gasolines” section, where it is mixed with the gasoline fraction of beginning of boiling – 85°C. Hydrocarbon gas is directed together with other gases into GFI.

Kerosene fraction (180–240°C) is directed to aviation kerosene production. Hydrotreating installation is foreseen for this process (Fig. 1).

Diesel fraction (240–350°C) also requires hydrotreating and pour point lowering, that is why we direct this fraction to hydromerization installation. Produced hydrocarbon gas is directed to GFI, and distillation gasoline is directed to catalytic cracking installation for octane number (ON) boost. Hydrotreated vacuum gasoil (350–420°C) and vacuum hydrocracking gasoil are directed to catalytic cracking resulting in hydrocarbon gas, gasoline, light and heavy gasoils. Light gasoil is used as a diesel fuel component, heavy one – as the fuel oil. Residuum (> 420°C) is directed to hydrocracking process, where hydrocarbon gas, gasoline, light and heavy gasoil may be obtained (Fig. 1).



* HCG – hydrogen-containing gas

Fig. 1. Principal flowchart of proposed ORE according to the fuel option

Saturated and unsaturated hydrocarbons C₃–C₄ are directed to alkylation installation. Produced hydrogen sulfide, resulting from gas cleaning, is directed to sulfur production installation.

On the base of these data, we calculate the refining depth (*G*), with the use of formula $G = (NP-TM-P)$, where NP and TM are the amounts of produced in ORE marketable oil products and residual oil respectively; *P* – refers to irretrievable losses, %.

Thus, $G = 2,07 + 1,94 + 48,30 + 4,00 + 39,02 + 2,49 - 2,49 - 1,46 = 93,87\%$.

Results of payback period and profitability of proposed ORE calculations are illustrated on table 1.

Table 1

Payback period and profitability of proposed ORE

Installations building equipment, catalysts, and reagents cost	4 303 750 thousand \$
Oil purchase costs	$5\,000\,000 \cdot 642 = 3\,210\,000\,000$ \$
Oil refining costs (20% raw material cost)	$3\,210\,000\,000 \cdot 0,2 = 642\,000\,000$ \$
Annual production cost (table 15)	5 127 284 850 \$
Annual production profit (<i>annual production cost</i>) – (<i>oil purchase costs</i>) – (<i>oil refining costs</i>)	$5\,127\,284\,850$ \$ – $3\,210\,000\,000$ \$ – $642\,000\,000$ \$ = $1\,275\,284\,850$ \$
ORE payback period (<i>complete ORE building cost</i>)/(<i>annual production profit</i>)	$4\,303\,750\,000 / 1\,275\,284\,850 = 3,37$ years
ORE profitability (<i>annual production profit/complete ORE building cost</i>) · 100%	$(1\,275\,284\,850 / 4\,303\,750\,000) \cdot 100\% = 29,6\%$

Thus, the results of work show that investigated Iraq oils contain medium amount of light fractions (~53,0%) and they are sulfurous and paraffin-containing. It was the reason of the fuel option refining choice, with the maximal light fractions outcome. Deep oil refining gives possibilities to obtain maximal outcome of high-quality aviation and automobile gasolines, winter and summer diesel fuels and jet fuels. Fuel oil outcome according to this option is minimized. Consequently, we provided for such a set of secondary refining processes, according to which high-quality motor oils (gasoline, diesel fuel, air-jet fuel) are produced from heavy oil fractions and tar residual. These include catalytic processes – catalytic cracking, catalytic reforming, hydrocracking and hydrotreating. Artificial gases reprocessing in his case is aimed at high-quality gasolines and liquefied gases outcome increase.

The key result of this work is the substantiation of the maximally efficient Iraq oil refining option with the choice of optimal refining installations number. Refining depth according to the proposed technological flowchart of ORE is about 94%.

Results of this work based on the previous research of oils and their fractions physical and chemical properties formulate significant reason for statement about economic efficiency of the fuel option of Iraq oils refining. It was confirmed by 3,5-year and 30% pay-back period and profitability respectively.

In addition, this work formulate required and sufficient conditions for further technological ORE flowcharts improvement.

КОМПРЕССИОННО-ВАКУУМНЫЙ МЕХАНИЗМ ТРЕНИЯ И ИЗНАШИВАНИЯ

Исходя из результатов экспериментальных исследований молекулярной физики граничного трения, эпитропные слои жидкой среды, которые образуются на лиофильных поверхностях твёрдых тел при их статическом сжатии, разрушить невозможно, вплоть до контактных напряжений упругости самых прочных сталей и даже алмаза. Следовательно, при трении адсорбированных на поверхностях граничных слоёв, их разрушение и изнашивание поверхностей связано с определённым физическим процессом возникновения условий деструкции молекул эпитропных приповерхностных жидко-кристаллических (ЭЖК) структур, что приводит к фрикционному взаимодействию практически сухих участков рабочих поверхностей трибосистем их адгезии и изнашиванию. В соответствии с выдвинутой гипотезой о компрессионно-вакуумной (КВ) природе трения, такие условия возникают в диффузорных участках трибоконтактов, где установлено возникновение и протекание процесса разрежения и вакуумирования среды. Как известно, именно вакуумирование является самым эффективным и широко используемым методом для очистки поверхностей твёрдых тел от молекул жидкой среды.

На рис.1 показана схема уменьшения максимальных контактных напряжений в поверхностях за счет наличия на них эпитропных ЭЖК-слоёв смазочной среды путем увеличения площади и соответствующего уменьшения и перераспределения контактных поверхностных напряжений в статических условиях сжатия.

В поперечном сечении контакт бесконечно длинного вала 1 с поверхностью неподвижного подшипника скольжения 2 находится в покое при атмосферном давлении окружающей среды $P_{oc}=0,1$ МПа. В среде воздуха под действием силы N_g поверхности упруго деформируются, создают линейный контакт A_aB_a с шириной b_a и в них возникают контактные напряжения σ_a , с распределением по Г. Герцу (рис.1). Когда лиофильные поверхности смочены смазочной средой и также сжаты силой N_g , то они упруго деформируются посредством одноосно сжатых эпитропных граничных слоев смазки, которые имеют некоторую толщину d . В этих слоях развивается давление, равное поверхностным напряжениям σ_d , оно уменьшает напряжение, возникающее в поверхностях на воздухе, и перераспределяется так же симметрично относительно оси приложенной нагрузки N_g , как и в поверхностях σ_a , что приводит к расширению контакта A_aB_a с шириной b_a до A_dB_d с шириной b_d . То есть сжатые поверхностями молекулярные ЭЖК-слои жидкости воспринимают лишь осевые сжимающие давления, а их толщина тем меньше, чем выше контактные напряжения. ЭЖК-слои, имеющие свойства кристаллической субстанции, при деформировании подчиняются закону Гука. При этом у кромок ЭЖК-контакта A_dB_d , контактные напряжения будут соответствовать давлению окружающей среды, например, атмосферному, а толщина граничных ЭЖК-слоёв будет максимальной и равной $2d$. Следовательно, контакт сжатых поверхностей с ЭЖК-слоями смазки A_dB_d представляет собой зазор, симметрично сужающийся от

кромки A_d и B_d до середины, где давление ЭЖК-слоёв и контактные напряжения поверхностей максимальны.

Взяв вышеприведенные начальные условия формирования упругого контакта поверхности, образующей цилиндр ролика и плоской грани параллелепипеда, которые разделены также упруго одноосно-напряженными двумя граничными ЭЖК-слоями толщиной d за основу, процесс трения скольжения вала, вращающегося вокруг своей оси в жидкой среде, с позиций КВ-гипотезы представляется следующим образом.

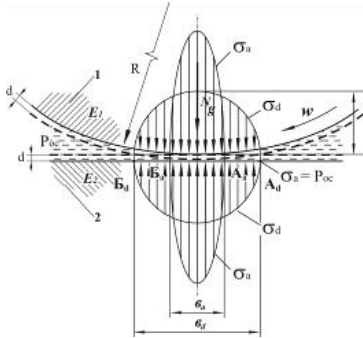


Рис. 1. Схема образования линейного контакта $A_d B_d$ шириной b_d поверхности, образующей цилиндр ролика 1 и поверхности плоской грани параллелепипеда 2 под действием осевой силы N_g и возникновение в них контактных напряжений σ_a на воздухе и его расширение до $A_d B_d$ с шириной b_d и соответствующим уменьшением контактных напряжений до σ_d с учетом наличия на поверхностях ЭЖК-слоёв толщиной d

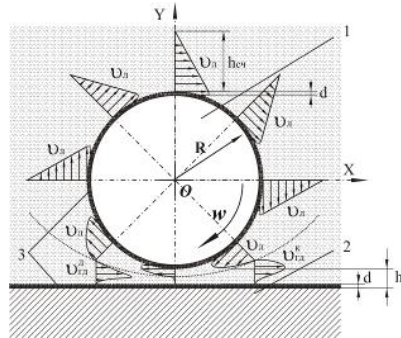


Рис. 2. Схема возникновения вторичных гидродинамических течений (конфузорного \vec{v}_{20}^k и диффузорного \vec{v}_{30}^k) в зазоре h между вращающимся роликом 1 и плоской гранью параллелепипеда 2 с ЭЖК-слоями 3 , толщиной d , над которыми на высоте h_{cx} структурно-чувствительные граничные слои жидкости имеют пренебрежимо малую скорость

Рассмотрим вращение вала 1 (рис. 2) вокруг своей оси со скоростью ω в жидкой среде в нормальных атмосферных условиях с давлением окружающей среды $P_{oc} = 0,1 \text{ МПа}$. В случае отсутствия какого-либо препятствия около поверхности образующей цилиндр вала, эпюры скоростей граничных слоёв смазочной среды будут иметь вид, характерный, например, Ньютоновской жидкости в виде прямоугольника (рис. 6). Максимальную линейную скорость \vec{v}_a будет развивать ЭЖК-слои, которые имеют некоторую толщину d , так как они характеризуются свойствами анизотропных кристаллических структур. В начале движения ЭЖК-слоёв начинается их трение по слоям покоящейся в объёме изотропной жидкости. Близлежащие к ЭЖК-слоям молекулы среды также начинают перемещаться, но с меньшей скоростью. По мере удаления сенсора давления от поверхности при определённой линейной скорости \vec{v}_d поверхности

вала (примем малые скорости до 0,5 м/с) на некотором расстоянии $h_{сч}$ движение молекул среды будет крайне мало, а датчики давления на этом расстоянии будут указывать на практическое отсутствие изменения давления и течения жидкости. То есть движущиеся с поверхностью структурно-чувствительные граничные слои смазки в бесконечном объеме жидкой среды характеризуются некоторой высотой эпюры скоростей. На этой высоте $h_{сч}$ по нормали к поверхности, образующей цилиндр вала, чувствительность сенсоров к движению фрагментов среды снижается до 1 мм вод. ст., и теоретически можно предположить, что на расстоянии $h_{сч}$ скорость движения молекул жидкой среды практически равна нулю. В наших экспериментах с помощью датчиков давления в среде моторных, гидравлических и других технических масел измеренная высота структурной чувствительности граничных слоёв среды $h_{сч}$ не превышала 2 мм. Это значит, что движение самых дальних слоёв масла от поверхности становилось не существенным уже на расстоянии до 1 мм при малых скоростях. На больших расстояниях от поверхности жидкость оставалась однофазной сплошной средой и без воздушной фазы.

При приближении препятствия к поверхности, образующей цилиндр вращающегося вала, в том числе и измерительного зонда, например, на плоской поверхности параллелепипеда, до расстояния меньше двух высот структурной чувствительности граничных слоёв среды $h_{сч}$ возникают вторичные течения среды (рис. 2). В сужающемся по направлению движения вала зазоре, то есть в конфузорной его области, происходит истечение среды из него в обратную движению вала сторону со скоростью \vec{v}_{20}^k . В расширяющейся части зазора, то есть в диффузорной области, происходит втекание жидкости в зазор со скоростью \vec{v}_{20}^d из объёма. Эти течения возникают в силу повышения давления в конфузорной области зазора, до зоны его минимальной величины, где оно резко уменьшается до атмосферного. После этого в диффузорной части зазора происходит соответствующее разрежение среды. Сжатие и разрежение среды, а также возникающие соответствующие вторичные течения из зазора и в зазор, направленные обратно вращению вала, приводят к росту потерь мощности электропривода, что подтверждается экспериментально.

Если продолжать перемещать плоскую преграду к ролику и приложить внешнюю нагрузку сжатия, то начнется контактное трение ЭЖК-слоёв вала с ЭЖК-слоями плоской поверхности. На рис. 3 представлена схема такого трения с распределением давлений в граничных слоях и возникновением контактных конфузорных и диффузорных течений, обратных направлению движения вала.

Перед входом вала в контакт в области CFAC, то есть в конфузорной части контакта ЭЖК-слоёв жидкой среды (от сечения AA до сечения OO), образуются вторичные гидравлические течения среды, направленные в сторону, обратную движению вала. Они вызваны компрессией набегающих адсорбированных на поверхности вала слоёв смазки, которые движутся вместе с ней в контакт с максимальной скоростью, равной линейной скорости скольжения \vec{v}_l вращающейся поверхности.

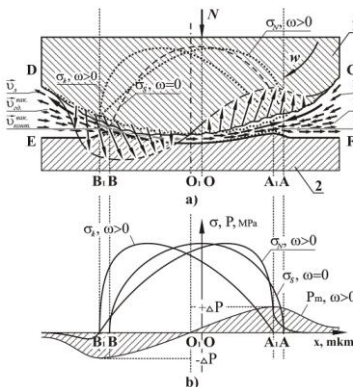


Рис. 3. Образование контактных вторичных компрессионных и вакуумных течений граничных слоёв смазки, направленных обратно скольжению. а) Схема гидродинамических процессов в трибосистеме скольжения «ролик 1 – подшипник 2» и смещение неподвижного контакта АОВ в направлении скольжения в зону А₁О₁В₁; б) распределение контактных напряжений в поверхностях трения σ_s без движения ($\omega = 0$); распределение давлений в граничных слоях смазки P_m при трении ($\omega > 0$); суммарное гидродинамическое давление граничной смазки и контактных напряжений, возникающих между контактирующими поверхностями σ_k при трении ($\omega > 0$); суммарное поле реактивных напряжений, действующих нормально только на поверхность движущегося ролика σ_R при трении ($\omega > 0$).

Первое обратное движению вала вторичное гидродинамическое течение возникает задолго до контакта. Оно образуется за счет упругих деформаций граничных слоёв, путем принудительного уплотнения молекул, то есть их сжатия в конфузурной приконтактной области CFAC, и направлено в обратную движению вала сторону со скоростью $\vec{v}_{20}^{сж}$, за счет геометрического сужения канала, как показано ранее на рис. 6. Экспериментально это наблюдается и фиксируется с помощью измерительного зонда давления при вращении вала вблизи (на некотором измеряемом расстоянии между валом и плоской поверхностью) как в жидкой, так и в газообразной среде.

Если, не останавливая вращение вала, приложить осевую нагрузку и создать упругий контакт АБ эпитропными слоями смазки (рис. 3), то в конфузурной части контакта АО возникнет второе дополнительное обратное течение молекул граничных слоёв от области минимального зазора ОО₁ и максимального одноосного давления сжатия, равного σ_{max} , до кромки входа вала в контакт АА₁, где давление превышает атмосферное на величину степени сжатия граничных слоёв в приконтактной конфузурной области CFAC.

Это вторичное контактное течение начинается из зоны входа ролика в контакт АА₁, то есть из самой кромки касания деталей с граничными слоями среды до зоны ОО₁ с максимальными контактными напряжениями σ_{max} , то есть из области минимального зазора граничных ЭЖК-слоёв смазки, и происходит принудительно. Оба течения обратной компрессионной струи ОА и набегающих адсорбированных слоёв смазки СА у самой передней кромки контакта А₁А входят практически в лобовое столкновение. То есть, происходит процесс, подобный известному в гидродинамике гидравлическому тарану, но в отличие от классического – однократного, гидротаран в случае подшипника скольжения непрерывен.

На выходе ролика из контакта по направлению скольжения в области ВВ₁ возбуждаются также два противоположных течения, но вакуумированием или

растяжением ЭЖК-слоёв. Одно из них представляет собой адсорбированные молекулярные слои на поверхностях, в том числе ролика, с остаточными фрагментами смазки в минимальном зазоре, которые движутся вместе с поверхностью ролика из области от минимального зазора OO_1 в область выхода его из контакта BB_1 со скоростью v_d . Этот граничный слой оказывается в расширяющемся диффузорном канале, проходя путь от зоны OO_1 до BB_1 , где по пути движения происходит разрежение среды, то есть вакуумирование. Второй поток формируется из молекул среды, находящихся вблизи зазора BB_1 в объёме с давлением окружающей среды $P_{атм.}$. У самой кромки выхода ролика из контакта с плоскостью BB_1 объёмные фрагменты среды устремляются из области B_1E в зону пониженного давления граничных слоёв BB_1 со скоростью $\vec{v}_{конт}^{сж}$, откуда поверхностью ролика выносятся разреженные фрагменты среды, которые, в свою очередь, пройдя путь от зоны OO_1 до BB_1 под действием отрицательного градиента давлений оказались в диффузорном канале.

Таким образом, показано, что гидродинамические эффекты трения в режиме граничной смазки обусловлены образованием областей, как с повышенным, так и с пониженным давлением в смазочном слое. Обоснованы перемещения зоны контакта трибосистемы скольжения, вызванные перераспределением давления в соответствующих конфузурной и диффузорной областях повышенного и пониженного давления контакта. Показано, что контактом двух смазанных поверхностей, сжатых с некоторой осевой силой, являются упруго деформированные эпитропные жидко-кристаллические слои жидкости. В ЭЖК-контакте смазочный слой в статических условиях нагружения ведёт себя как высокопрочное и высокоупругое твёрдое тело, а в условиях высоких контактных градиентов давлений и скоростей – как жидкость.

Представленный компрессионно-вакуумный механизм трения применим для каждого из трёх самостоятельных разделов трибологии – гидродинамического, эласто-гидродинамического трения, а также при трении в условиях граничной смазки, а использование этих сведений позволит по-новому подойти к решению проблем трения и изнашивания.

Костюник Р. Е., Аксёнов А. Ф., Шевченко Р. А., Радзиевский В. А.,
Национальный авиационный университет, Украина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ АГРЕГАТНОГО СОСТОЯНИЯ СМАЗОЧНОЙ СРЕДЫ И СКОРОСТИ СКОЛЬЖЕНИЯ В ПРОЦЕССЕ ТРЕНИЯ

Зависимость сил трения от скорости скольжения является одной из главных характеристик трибоконтакта. В трибологии её принято называть «характеристикой трения» и рекомендуется учитывать при конструировании трибосистем. Экспериментальные данные, полученные в различных лабораториях, свидетельствуют о вариациях силы трения при увеличении скорости скольжения в зависимости от условий. В одних случаях она практически не изменяется, в других – возрастает, в-третьих – уменьшается, а в условиях жидкостного трения при обильном смазывании контакта с увеличением скорости скольжения, как

правило, наблюдается увеличение коэффициента трения до некоторого максимального значения, после которого сила трения уменьшается. При достижении критической скорости сила трения начинает возрастать, вплоть до схватывания.

Влияние скорости скольжения v на изменение силы трения видно из диаграммы Герси-Штрибека (рис. 1), представляемой в виде зависимости коэффициента трения μ от характеристики подшипника, то есть от безразмерной величины $\lambda = \eta v/p$, где η – вязкость, p – осевая нагрузка. Эта характеристика по своей сути отражает толщину смазочного слоя. При значении $\lambda = \lambda^*$, соответствующем минимуму коэффициента трения μ , происходит переход от граничного трения к жидкостному. Кривая интенсивности изнашивания I показывает, что при $\lambda > \lambda^*$ контакт деталей размыкается, и износ теоретически исчезает.

Многочисленные экспериментальные данные об ЭГД-контакте со смазкой жидкими маслами свидетельствуют о нелинейной зависимости силы трения от скорости скольжения: в области малых и средних скоростей сила трения возрастает до максимума, а с дальнейшим повышением скорости она уменьшается. Такое изменение силы трения в ЭГД-теории противоречиво. При повышении скорости скольжения в несущем смазочном слое ЭГД-контакта давление возрастает, что приводит к увеличению его толщины, вязкости и силы трения. При увеличении скорости температура смазки повышается, толщина её слоя и несущая способность уменьшаются, чем и объясняют некоторое увеличение силы трения до максимума (рис. 2) и повышение силы трения в области средних скоростей скольжения (0,2–0,5 м/с).

Дальнейшее повышение скорости скольжения, исходя из ЭГД-теории, приводит к более интенсивному локальному росту температуры и понижению вязкости масла, чем и объясняют снижение силы трения. Однако такое видение экспериментально не подтверждается, так как объёмная температура масла увеличивается лишь на несколько градусов, а измерить гипотетически высокую локальную температуру в смазочном слое ЭГД-контакта (более 100°C) пока не удавалось.

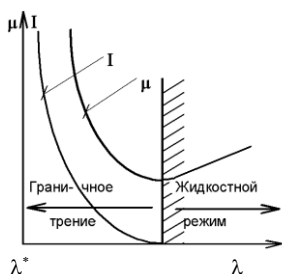


Рис. 1. Диаграмма Герси-Штрибека

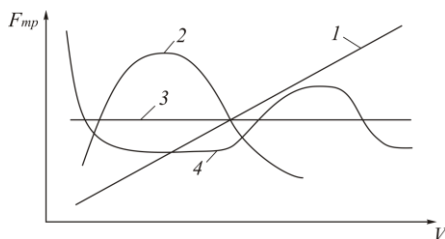


Рис. 2. Зависимость коэффициента трения μ от скорости скольжения v в моторных маслах: 1 – линия Н. П. Петрова; 2 – по Д. С. Кодниру; 3 – адгезионно-деформационная теория граничного трения; 4 – по Б. И. Костецкому

Эластогидродинамическая теория смазки базируется на ряде известных основных положений, характеризующихся ЭГД-контакт. На рис. 3 представлена зависимость давления p в смазочном слое толщиной h от расстояния по оси X относительно центра нагрузки O при движении плоской поверхности со скоростью V . Плоская подвижная поверхность с неподвижной поверхностью h_x образуют контакт протяженностью $[-aOa]$, где без трения возникают контактные напряжения p_n , при трении – p_x , и минимальная толщина смазочного слоя соответствует области выхода полуплоскости OX из контакта с поверхностью h_{min} .

Из основных положений ЭГД-теории смазки (рис.3) 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 при эксплуатации трибосистемы качения и скольжения изнашиваются, что объясняется неустойчивостью режима трения в пуско-остановочные периоды работы. В ряде случаев обильное смазывание ЭГД-контакта приводит к увеличению интенсивности износа поверхностей, их выкрашиванию или к термическому разрушению. Увеличение расхода смазочного материала для обеспечения более интенсивного теплоотвода от ЭГД-контакта оказалось малоэффективным и, как показала практика, становится причиной дополнительного теплообразования особенно при высоких скоростях качения или скольжения (больше 10 м/с).

Вопрос о нелинейности поведения силы трения с ростом скорости скольжения или качения в жидкой смазочной среде, не находит удовлетворительного объяснения с точки зрения ЭГД-теории и по сути остаётся открытым.

В данной работе сделана попытка объяснить нелинейность характеристики подшипников с позиций компрессионно-вакуумной гипотезы (КВ) о природе трения [9,10]. Исходя из КВ гипотезы, процессы, протекающие в эластогидродинамическом контакте, представляются несколько более сложными (рис. 4). 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). В диффузорной, расширяющейся области, при определенных скоростях возникает маслопаровоздушная фаза смазки и вторичные, обратные движению, течения из среды в контакт. Это происходит в соответствии с экспериментально-наблюдаемой закономерностью распределения давления в смазочном слое P_m , которое в конфузурной области выше, а в диффузорной ниже давления окружающей среды. При этом реактивные давления, возникающие на поверхности неподвижного криволинейного трибозлемента P_{Σ} , представляют собой сумму герцевских напряжений σ_r и давления в смазочном слое P_m , а контактные напряжения σ_k следует рассматривать, как разницу герцевских напряжений σ_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 конфузурной – поверхности раздвигаются граничными слоями с высоким давлением.

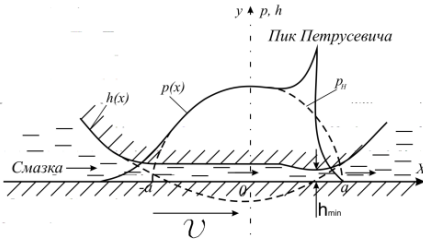


Рис 3. Зависимость давления p в смазочном слое толщиной h от расстояния (ось X) от центра нагрузки O при движении плоской поверхности со скоростью V в контакте с неподвижной поверхностью h_x протяженностью $[-aOa]$, где без трения возникают контактные напряжения p_n , при трении – p_x , а минимальная толщина смазочного слоя h_{min} .

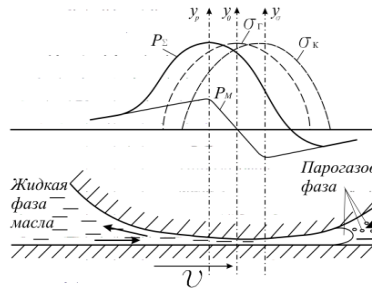


Рис. 4. Схема контактно-гидродинамических процессов с позиций компрессионно-вакуумной теории трения

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 конфузурной 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 ΔP_0 в слоях смазки от скорости скольжения через 1 мин после установления определенной скорости $v_{д}$, представлены на рис. 4. Аналогичные зависимости были получены при тех же скоростях, но через 10 мин трения.

Как видно из полученных зависимостей (рис. 4), при данных условиях трения в режиме жидкостной смазки с увеличением скорости сила трения возрастает от 0,1 до 0,6 мН, после чего наблюдается ее уменьшение. Давление в конфузурной 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. Объемная температура масла к концу серии испытаний повышалась на 4°С.

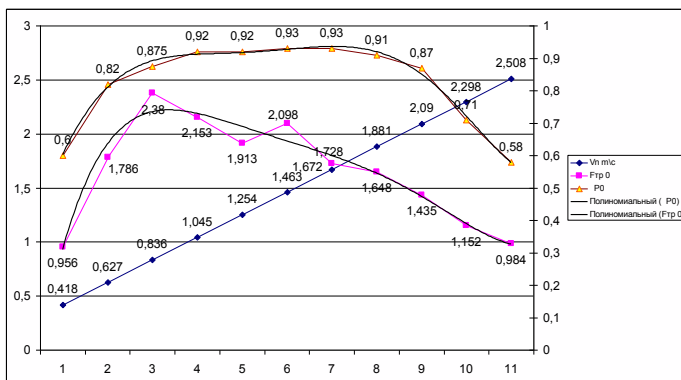


Рис. 4. Зависимость силы трения $F_{тр0}$ и избыточного давления ΔP_0 от скорости линейного скольжения $v_{л}$ через 1 мин после выхода на скоростной режим

Таким образом, использование масловоздушной смеси вместо гомогенной однофазной жидкой смазки достигается повышение эффективности трибосистем, что подтверждает основные положения компрессионно-вакуумной (КВ) гипотезы о природе трения. Это явление наблюдается при пуске холодных двигателей внутреннего сгорания (ДВС).

Бондарь В. С., Аксёнов А. Ф., Ковальчук Е. Г., Ибранмов Т. Т.,
 Национальный авиационный университет, Украина

ПРИБОРЫ ТРЕНИЯ С ОПТИЧЕСКИМ КАНАЛОМ СЪЕМА ИНФОРМАЦИИ О МЕХАНИЗМЕ ТРЕНИЯ СКОЛЬЖЕНИЯ

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 вычленил 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 с 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 с 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. Таким образом, в трибологии граничной смазки, также как и в других её разделах (эласто- и гидродинамические режимы трения), контактные течения граничных слоёв не рассматривались из-за отсутствия экспериментальных сведений о них.

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 гидродинамики 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. По сей день считается, что давление в смазочном слое в зоне контакта двух поверхностей полностью отражает и соответствует контактным напряжениям на поверхностях, рассчитываемым по Герцу и всегда выше атмосферного, что не совсем верно.

Новая компрессионно-вакуумная гипотеза природы трения в условиях граничной смазки опирается на экспериментальные данные, полученные при трении стальных поверхностей с наногеометрическим уровнем шероховатости, где выявлены контактные струйные течения смазки, направленные в обратную сторону скольжения, как и любая другая нуждается в дополнительных экспериментальных доказательствах.

Схема и внешний вид разработанной и изготовленной лабораторной машины трения скольжения АСБ-01 с физически прозрачными деталями модельной трибосистемы представлены на рис. 1.



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

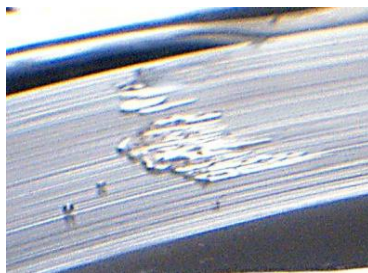
В качестве модели цапфы подшипника скольжения использовался плоский параллелепипед, изготовленный из органического стекла, каждая грань которого полировалась до полной прозрачности. Разновысотность неровностей нижней рабочей поверхности этого параллелепипеда после полировки не превышала 20 нм. В качестве 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. Подавляющее большинство исследовательских машин трения традиционно изготавливается так, чтобы зона контакта была полностью погружена в смазочную среду, которая своим объёмным 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.

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, которые приводят к дросселированию.

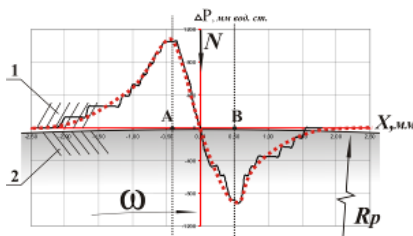


a)

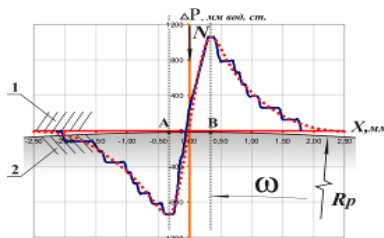


б)

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



a)



б)

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

a) вращение по часовой стрелке; *б)* вращение против часовой стрелки

Приборы трения АСБ-01 и АСБ-02 запатентованы. Они позволяют получать новую информацию о контактно-гидродинамических течениях в граничных слоях, трибокавитационных явлениях в диффузорной области контакта, вести постоянный мониторинг состояния премоного 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.

В свою очередь, это позволит создавать новые технологические приемы по повышению эффективности бесконтактных и контактных трибосистем скольжения, а также разрабатывать новые смазочные материалы и присадки к ним по критерию порога трибокавитации.

На базе исследований контактно-гидродинамических процессов на приборах АСБ-01 и АСБ-02 в научно-исследовательской лаборатории нанотриботехнологий НИЧ НАУ разработаны основные положения компрессионно-вакуумной гипотезы трения и трибокавитационного механизма изнашивания, которые находят свое подтверждение.

ФИЗИКА ПРОЦЕССА БЕСКОНТАКТНОЙ МАГНИТНО-ТУРБУЛЕНТНОЙ ОЧИСТКИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

В производстве и в техобслуживании трибосистемы качения подвергают очистке. Известны различные методы и технологий удаления загрязнений. С учетом конструктивных и 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.

С целью повышения эффективности существующих и разработки новых методов и технологий очистки узлов машин и механизмов в лаборатории нанотриботехнологий НАУ был проведен ряд исследований, направленных на построение основы физико-математической модели поведения частиц загрязнений и изучения влияния сил, действующих в процессе очистки на компоненты загрязнений рабочих поверхностей подшипника. В 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.

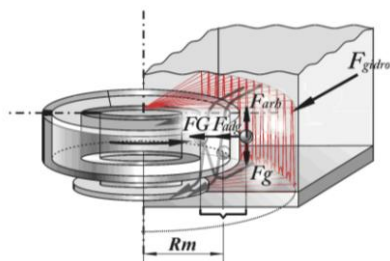


Рис. 1. Силы, действующие на частицу при очистке подшипника

С 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_{arb} , сила гидродинамического сопротивления F_{gidro} , сила адгезии F_{adg} , магнитная составляющая доменов F_m .

Гравитационные силы отражают взаимодействие двух тел с массами $m1$ и $m2$

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

где $\gamma = 6,67 \cdot 10^{-11} \left(\frac{\text{М}^3}{\text{кг} \cdot \text{с}^2} \right)$, r – расстояние между телами.

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

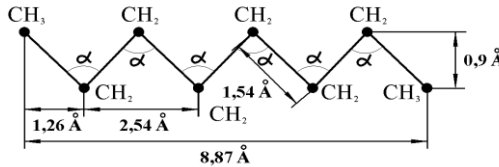


Рис.2. Структура молекулы керосина

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.

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

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

Силы гравитационного притяжения Земли, действующие на частицы загрязнения, определяются их размерами $F = mg_0$, и составляют в 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

$$F_x = 0,2 \cdot \pi \cdot d_u^2 \cdot \rho \cdot \Delta u^2 \quad (3),$$

где d_u – диаметр частицы, м; ρ – плотность жидкости, кг/м³; Δu – скорость потока жидкости относительно частицы, м/с.

В случае использовании в качестве моющей среды керосина при скорости потока $\Delta u = 1,2$ 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 изложенного выше, основной силой воздействующей на загрязнения в процессе очистки поверхности является гидродинамическая сила. Необходимо также учитывать, что с уменьшением размера фракций загрязнения требуется увеличение минимально достаточной для отрыва средней скорости потока. 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 Стокса

$$F_y = 3\pi\mu d_p v'_{oz} \quad (4)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости, $\text{м}^{-1}\cdot\text{кг}\cdot\text{с}^{-2}$; d_p – 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°C $\mu = 12,8$; $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$) при $\Delta u = 1,2$ м/с сила сопротивления подъему составит $1,5\cdot 10^{-5}-1,5\cdot 10^{-3}$ 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.

С учетом этого фактора гидродинамическая составляющая воздействующих сил примет вид

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

где \vec{F}_x и \vec{F}_y – векторные составляющие силы по осям x и y соответственно.

Сложный профиль сепаратора и принудительное вращение подвижных элементов трибосистемы качения в процессе очистки способствуют образованию турбулентных течений, вместе с тем существенно снижают скорость переноса жидкости на рабочих поверхностях дорожек и тел качения, что ограничивает применение для очистки трибосистем качения от микро- и субмикрзагрязнений гидродинамическое воздействие в качестве основного действующего фактора.

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 в значительной степени препятствует отрыву и удалению с из рабочих поверхностей частиц загрязнений ферромагнитной природы.

С учетом этого рассматриваемую систему можно представить совокупностей пар диполей (рис. 3).

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:

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

где μ_m – магнитная проницаемость материала.

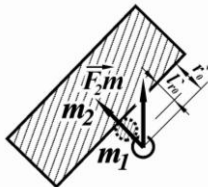


Рис. 3 Магнитное взаимодействие частицы загрязнения ферромагнитной природы с обоймой подшипника

Тогда намагниченность будет соответствовать

$$M_m = \frac{B}{\mu_0} - H = 7956,3 (A / M) \quad (7)$$

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

$$P = M_m \cdot V = ql \quad (8),$$

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 $2,9 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$.

**Iakovlieva A., Boichenko S., Vovk O., Martynova O.,
Lejda K., Kuszewski H.**

Rzeszow University of Technology, Poland

IMPACT OF RAPE OIL ETHYL ETHERS ADDITIVES ON SOME CHARACTERISTICS OF JET FUEL

Today oil is still traditional raw material for the production of aviation fuels. However, fuels obtained via processing of coal, oil-shales and natural gas became widespread in some countries. In addition, jet fuels derived from renewable resources such as biomass, vegetable oils, animal fats, oils, micro-and macroalgae, various agricultural residues, wood industry and others are actively developed and implemented.

In future use of raw materials of biological origin will solve the problem of dependence on non-renewable energy sources and minimize the impact on the environment.

Today, synthetic aviation kerosene derived from various biomass as well as synthetic paraffin kerosene obtained via hydrogenation of vegetable oils and animal fats are well known. Such alternative aviation fuels are of high quality, but getting into the environment, they cause adverse effects on the environment, similar to traditional oil-derived jet fuel.

Since the mid-1980s the technology of aviation biokerosene has been successfully developed. It's a mixture of traditional petroleum kerosene and biocomponents in certain concentrations. Today biokerosene is the most promising type of alternative jet fuel in Ukraine. Usually, the raw material for the production of biocomponents is different oily plants, the choice of which depends on the geographical and climatic conditions. For conditions of Ukraine the most promising and sustainable raw material is rape.

Biocomponents are a mixture of fatty acids esters obtained during etherification of plant oils or animal fats. Methyl or ethyl alcohols are used as etherification agents. For several reasons, the use of methanol is not justified. Today, most scientists tend to think about the feasibility of ethanol.

Considering the discussed material, biocomponents obtained via etherification of rapeseed oil by ethyl alcohol are used in this paper. The aim of this work is to study the influence of additives of biocomponents on physical and chemical characteristics of jet fuels.

Modern fuels for civil aviation should meet a number of requirements related to efficiency, reliability and durability of the aviation techniques as well as their environmental safety. Among the general technical requirements for fuels for gas turbine engines are the following:

- High level of volatility;
- Good low temperature properties;
- Chemical and thermal stability;
- Absence of negative impact on metal and non-metal parts of the engine fuel system, equipment for storage and transportation of fuel;
- Good lubricating properties;
- The optimal level of electrical conductivity;
- Absence of toxic components, impurities and additives, the minimum content of sulphur compounds.

All these properties are primarily determined by the origin and properties of raw materials used for fuels production, the method of basic fractions obtaining, the methods of purification and mixing, properties of the additives applied.

In this work, the research has been done using jet fuel of grade TC-1. This fuel is for subsonic aircrafts and supersonic with limited duration of flight. Quality of fuel TC-1 is defined by industry standard ГСТУ 320.00149943.011-99 "Fuel TC-1 for jet fuels. Specifications".

As already mentioned, the complex of requirements for jet fuels is determined by a number of properties. In this work properties of fuel TC-1 was investigated according to the number of physical-chemical parameters such as density, viscosity, freezing point and flash point.

In order to study the impact of bio-components on physical and chemical properties of jet fuel ethyl esters of rape oil, modified by vacuum fractionation were used. Properties of mixtures containing 10%, 20%, 30, 40% and 50% of biocomponents were investigated and compared with the characteristics of TC-1 fuel and standard requirements to fuel TC-1. Table 1 shows the results of the investigations of fuel TC-1 sample, biocomponent sample and requirements of standard to these parameters.

Table 1
Values of basic physical-chemical characteristics of jet fuel TC-1 and biocomponent

№	Characteristics	Norm according to standard	Sample of fuel TC-1	Bio-component
1	Density at temperature 20 °C, kg/m ³	Not less than 775	792	869
2	Kinematic viscosity at temperature 20 °C, mm ² /sec	Not less than 1,25	1,29	7,27
3	Freezing point, °C	Not higher than minus 55	minus 63	minus 18,5
4	Flash point, °C	Not lower than 28	39	186

Investigation of mixtures of biocomponents and jet fuel TC-1 density was carried out according to the standard method ГОСТ 3900-85 Oil and oil products. The method for determining density. The measurement results are presented at the fig. 1.

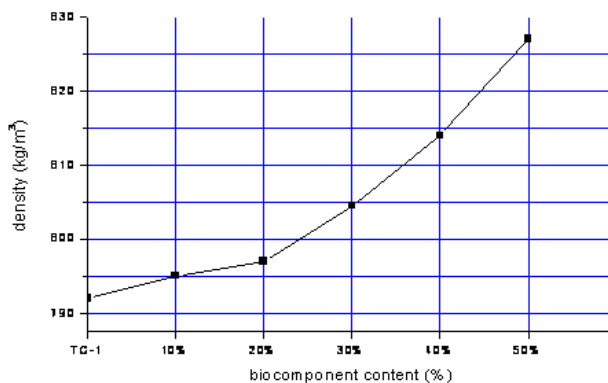


Fig. 1. Density of jet fuel TC-1 and its mixtures with biocomponents

Investigation of mixtures of biocomponents and jet fuel TC-1 viscosity was done according to the standard method ДСТУ ГОСТ 33-2003 (ISO 3104-94) Oil. Transparent and opaque liquids. Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity ((ГОСТ 33-2000/ISO 3104), IDT). The measurement results are shown at the fig. 2.

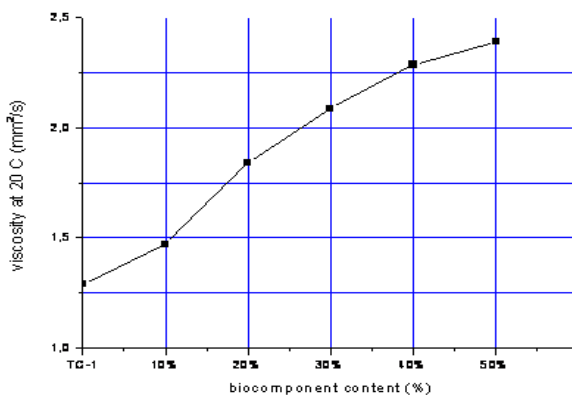


Fig. 2. Viscosity of jet fuel TC-1 and its mixtures with biocomponents

Investigation of the freezing point of mixed biofuels was done according to the standard method ГOCT 5066-91 (ISO 3013-74) Motor fuels. Methods for determining cloud point, freezing point (method B). The measurement results are shown at the fig. 3.

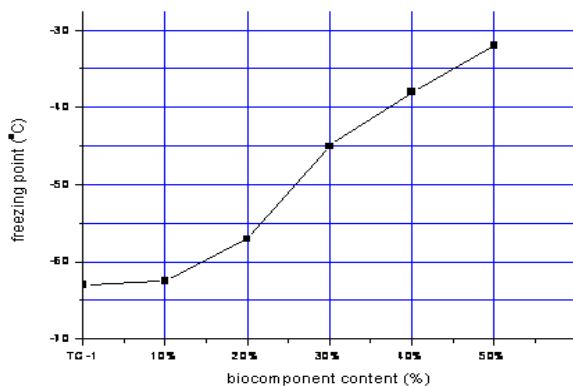


Fig. 3.

Freezing point of jet fuel TC-1 and its mixtures with biocomponents

Investigation of flash point of mixed biofuels was done according to the standard method ГOCT 6365-75 Oil products. The method for determining flash point in closed vessel. The measurement results are presented at the fig. 4.

Increasing of biocomponent content in jet fuel increases such physical-chemical properties of mixtures as density, viscosity, freezing point and flash point. The change of these characteristics is explained by the chemical structure of biological components. Crude oil jet fuels are composed of hydrocarbons with 5–16 carbon atoms in molecules.

Unlike them biocomponents are composed of a class of compounds that contain 15 to 20 carbon atoms in the molecule. As a result, molecules of biocomponents are much longer than most of kerosene and have bigger molecular weight. With increasing of biocomponents content in mixtures concentration of molecules with high molecular weight increases and thus physical-chemical properties of mixtures change.

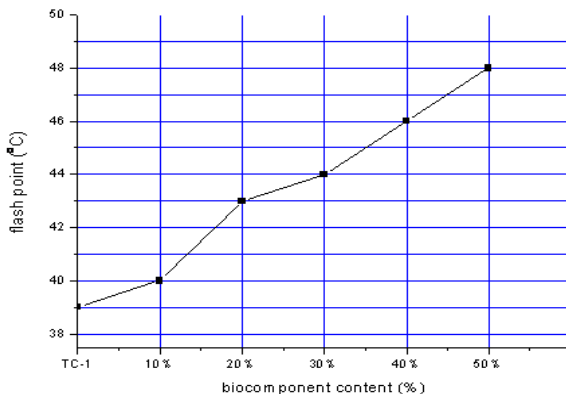


Fig. 4. Flash point of jet fuel TC-1 and its mixtures with biocomponents

Fig. 4. Flash

Кириченко В. И.,
Хмельницький національний університет, Україна
Бойченко С. В.,
Національний авіаційний університет, Україна

ХИММОТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПОЛУЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВ И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ВОЗОБНОВЛЯЕМОГО СЫРЬЯ

Согласно современному определению химмотологии, её основной научно-прикладной задачей является рациональное использование традиционных и альтернативных топлив, масел, смазок и технических жидкостей при эксплуатации техники. Мировая практика производства и применения экологически безопасных горюче-смазочных материалов (ГСМ) указывает на актуальность комплексной переработки технических растительных масел как альтернативного и возобновляемого сырья.

Опыт решения комплекса таких актуальных задач, как ресурсо- и энергосбережение, экологическая безопасность, инновационное обновление ассортимента ГСМ, убеждает в правильности ориентирования на поиск методов и технологий переработки возобновляемого сырья, в частности рапсового масла и особенно его композиций с рициновым (касторовым) маслом (оптимальное содержание рицинового масла в пределах 5–25% мас.).

Хотя рапсовое масло и композиционное масло на его основе рассматриваются как наиболее родственные, хотя бы по антифрикционным свойствам, традиционным смазывающим материалам, все же по функциональным свойствам и особенно по триботехническим показателям растительные масла отстоят от традиционных смазочных масел, что обусловлено спецификой их молекулярной структуры. Поэтому актуальной задачей является поиск простых и эффективных методов целенаправленного модифицирования структуры растительных масел с целью создания качественных и безопасных биосинтетических материалов – компонентов композиционных топлив и смазок. Оценить важность таких материалов для инновационного развития отрасли можно только с точки зрения материального анализа их характеристик с традиционными ГСМ.

Попытки непосредственного использования растительных масел и аргументация их преимуществ, в частности, возобновляемости, экологической безопасности и др., всегда носили ограниченный характер. Причина этого кроется в неблагоприятности для растительных масел определяющего фактора «строение триацилглицеринов – функциональные свойства». Под этим понимается наличие вторичного атома углерода глицерина и высокое содержание двойных связей. С точки зрения функциональных свойств исходных растительных масел, особенно в жестких условиях работы узлов трения, следует отметить термоокислительную нестабильность, большую молекулярную массу и в то же время удовлетворительную вязкостно-температурную характеристику.

Отдельные случаи использования непереработанного рапсового масла реализовывались на уровне либо полидисперсных композиций с различными функциональными добавками, либо бинарных систем с присадками и т. д. Даже такие варианты использования растительных масел показали их целесообразность с точки зрения улучшения функциональных свойств простых смесей. Режимы эксплуатации узлов трения современной техники становятся все более жесткими, постоянно возрастают требования к обеспечению долговечности, безопасности и эффективности её работы, что, в свою очередь, обуславливает возрастание требований к качеству смазывающих композиций (СК). Важным направлением улучшения функциональных, эксплуатационных характеристик СК является обеспечение необходимого уровня трибохимической активности базовых масел, которую принято оценивать, в том числе значениями дипольных моментов μ и диэлектрической проницаемости ϵ их молекул. Высокие значения μ и ϵ биоматериалов на основе растительных масел характеризуют уровень их поверхностной активности, обусловлены наличием в их молекулах полярных групп $-\text{OH}$, $-\text{CH}_2\text{O}-\text{CH}_2-$, $-\text{CH}=\text{CH}-$, $-\text{C}(\text{O})-\text{O}-\text{Alk}$ – и др. Именно трибохимическая активность способствует ускоренному формированию стабильных в жестких условиях трения смазывающих пленок между контактирующими поверхностями узлов трения.

Ознакомление с исследованиями методов модифицирования структуры растительных масел за рубежом (разработки известных исследовательских центров Lubrizol, Shell, Chevron, Mobil и др.) убедительно свидетельствует о масштабности научно-технического интереса к этой проблеме, адекватности оценки ее прикладного значения, а также об ожидаемой результативности исследований, в частности, в сфере производства авиационных ГСМ.

Причины несовершенства молекулярных структур растительных масел с точки зрения трибологических и трибохимических принципов обусловлены высокой реакционной способностью молекул в условиях эксплуатации масел. В молекулах растительных масел целесообразно условно выделить два структурных фрагмента повышенной реакционной способности:

- вторичный атом углерода глицерина, точнее, энергетически слабые химические связи вокруг него $-\text{CH}_2 \rightarrow \text{CH} \leftarrow \text{CH}_2-$;
- остатки жирных кислот, которые характеризуются высокой ненасыщенностью и поэтому легко вступают в химические взаимодействия, в том числе и нежелательные.

Необходимость целенаправленного модифицирования структуры растительных масел подтверждается практикой использования синтетических масел: полиалкиленгликолей, полиалкиленоксидов, эфиров двухатомных спиртов и высших жирных кислот (ВЖК), диэфиров двухосновных кислот. Для их получения используют одно- или многоатомные спирты с положением групп $-\text{OH}$ только при первичных атомах углерода.

Основная концепция данного направления исследований сводится к разработке системы методов и технологий комплексного химического модифицирования функционально несовершенной структуры растительных масел с целью создания более совершенных по эксплуатационным свойствам биосинтетических продуктов. Оптимальность фактора «строение – функциональные возможности» позволяет достичь необходимой поверхностной активности биомасел, которая оценивается очень высокими значениями гидрофильно-липофильного баланса (ГЛБ). Модифицирование молекул биоматериалов повышает их способность к химическим реакциям в смазывающем слое граничной пленки узлов трения, в частности к реакции олигомеризации, конденсации, комплексообразования и др..

Среди ряда известных и апробированных нами методов и технологических процессов модифицирования структуры растительных масел (рис. 1, п. 1–8) заслуживают особого внимания процессы первичной переработки масел: метанолиз, глицеролиз, гликолиз и переэтерификация (рандомизация), которые позволяют получать ряд полифункциональных промежуточных и целевых биопродуктов для смазочных и полимерных материалов, а также их композиций. В частности, метиловые эфиры ВЖК используются в качестве: биотоплив и промежуточных биопродуктов для дальнейшей переработки в разных отраслях промышленности.

Предложенные нами и экспериментально проверенные принципиально новые методы целенаправленного модифицирования растительных масел (см. рис. 1) должны послужить основой для разработки ряда технологических процессов получения биосинтетических биоразлагаемых материалов широкого ассортимента и функционального назначения. Экспериментально подтверждена не только эффективность разработанных методов модифицирования структуры масел, но и целесообразность и актуальность перехода от методов к технологиям и технологическим схемам наиболее перспективных процессов. В частности, представляют интерес:

- этанол- или/и диэтаноламидирование масел с получением этаноламидов ВЖК как поверхностно-активных биомасел, которые на следующем этапе можно оксиэтилировать с превращением в неионогенные био-ПАВ или биомономеры;
- каталитическая переэтерификация растительных масел с получением новых технических жидкостей сложноэфирной структуры;
- алкоголиз растительных масел с использованием изомерных первичных спиртов с температурой кипения выше 110°C с получением технических биожидкостей с температурой застывания ниже минус 25–минус 40°C;
- глицеролиз масел глицерином с получением биомасел типа 2-оксиацилоглицеринов как промежуточных продуктов для дальнейшей переработки в биомасла-присадки;
- «гликолиз» масел промышленно доступными гликолями, в частности этилен-, диэтилен-, неопентилгликолями с получением композиционных базовых биомасел.

Среди уже разработанных и внедренных в производство технологических процессов и следует отметить наиболее перспективные:

- переработка рапсового (реже соевого генномодифицированного) или других, в том числе низкокачественных растительных масел, в смазочно-охлаждающие технологические средства (СОТС) для обработки металлов;
- сульфидирование растительных масел, метиловых или этиловых эфиров ВЖК, а также глицеролизованных масел или композиционных масел с получением ряда биоприсадок полифункционального действия к смазочным композициям и СОТС.

Проведенные нами исследования показали, что наиболее рациональным направлением использования растительных масел является их комплексная переработка по схеме четырехмодульного проекта (рис. 2), который имеет ряд преимуществ:

- предусматривает использование растительных масел (рапсового, соевого) как индивидуальных масел и как композиционных масел по принципу замкнутого, безотходного цикла;
- обеспечивает выпуск широкого ассортимента промежуточных и целевых продуктов и его постоянное обновление и оптимизацию;
- обеспечивает мобильность и гибкость технологий в широких границах изменения номенклатуры продукции и производительности;
- технологии отличаются простотой, доступностью и однотипностью внедренных процессов, агрегатов, установок а, следовательно, требуют умеренных капиталовложений;
- возможность приблизить переработку растительных масел как к поставщикам масел, так и к потребителям продукции.

Следовательно, при условиях модульного проекта достигается практически полная взаимосвязь и безотходность, а следовательно, и экологическая безопасность всего цикла комплексной переработки масел.

Исследование функциональных свойств исходных масел и полученных из них биосинтетических материалов начинали с изучения самых важных их характеристик — вязкостно-температурных зависимостей. Экспериментально

полученные зависимости отображены графически в логарифмических координатах (рис. 3). Анализ рис. 3 дает возможность сравнить вязкостно-температурные свойства самих растительных масел (прямые 1, 2, 3), одной из композиций (прямая 4), а также ряда полученных биопродуктов. Полученные результаты доказывают, что и сами растительные масла, и их оптимизированные композиции, и производные характеризуются малыми углами наклона вязкостно-температурных прямых в сравнении с рапсовым маслом и сульфидированным до содержания серы 6% мас. рапсовым маслом (рапсолом-6S), а также с традиционными маслами. Учитывая возможность получения широкого ассортимента биомасел, биомасел-присадок и технических биожидкостей разной вязкости, становятся очевидными мотивы выбора нами именно растительных масел как сырья для получения смазочных биоматериалов.

Сульфидирование растворов рапсового (или соевого) масел в соответствующих технических жидкостях типа эфиров ВЖК (эст-ВЖК), позволяет получить новый тип биомасел — биомасла-присадки (S-, SP- или SPN-присадки), например, «рапсол-эст-ВЖК-*n*S» (где *n* — содержание сульфидной серы в пределах до 16% мас.) с более благоприятными вязкостно-температурными характеристиками и регулируемым содержанием химических элементов присадки. Триботехнические испытания масел и смазочных композиций на их основе проводили на четырехшариковой машине трения (ЧШМТ). Определяли диаметр пятен износа $d_{\text{изн}}$ шариков из стали ШХ15 при осевой нагрузке 200 Н, продолжительности испытания 4 ч при скорости 1440 мин⁻¹; критическую нагрузку $P_{\text{кр}}$, которая характеризует границы перехода от режима нормального износа к режиму поврежденности; нагрузку сваривания $P_{\text{св}}$, с достижением которой наступает катастрофическое разрушение смазочной пленки (режим заедания).

Антифрикционные свойства масел и смазочных композиций оценивали температурным методом по ГОСТ 23.221–84 на машине трения КТ-2. Испытание заключалось в ступенчатом повышении температуры от 20 до 350°C с одновременным измерением коэффициентов трения *f*. В качестве критериев температурной стойкости были выбраны: критическая температура $T_{\text{кр}}$ как минимальная объемная температура масла, при которой происходит резкое возрастание коэффициента трения за счет начала процесса физической десорбции с граничной пленки молекул ПАВ или биомасел; температура химической модификации $T_{\text{хм}}$, при которой заканчивается скачкообразное изменение коэффициента трения с переходом в режим плавного скольжения как результат соответствующих трибохимических реакций с образованием стабильных пленок.

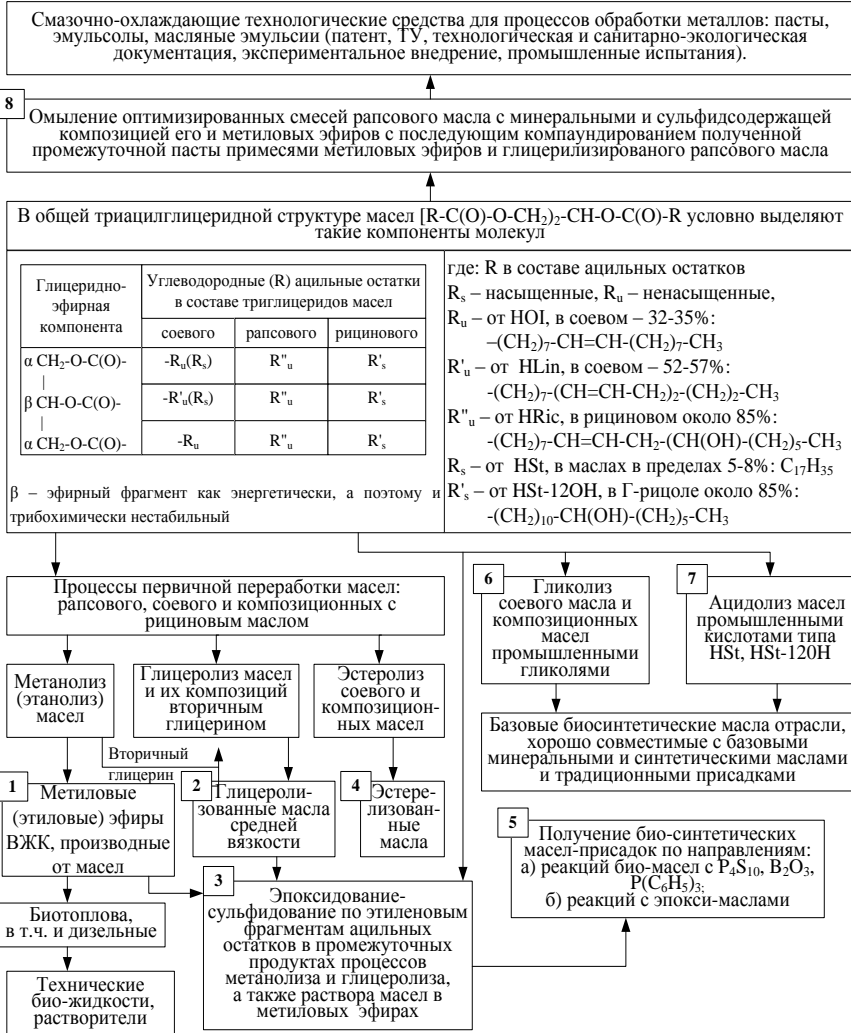


Рис. 1. Структурно-логическая схема наиболее целесообразных методов модифицирования структуры растительных масел с получением новых биосинтетических ГСМ

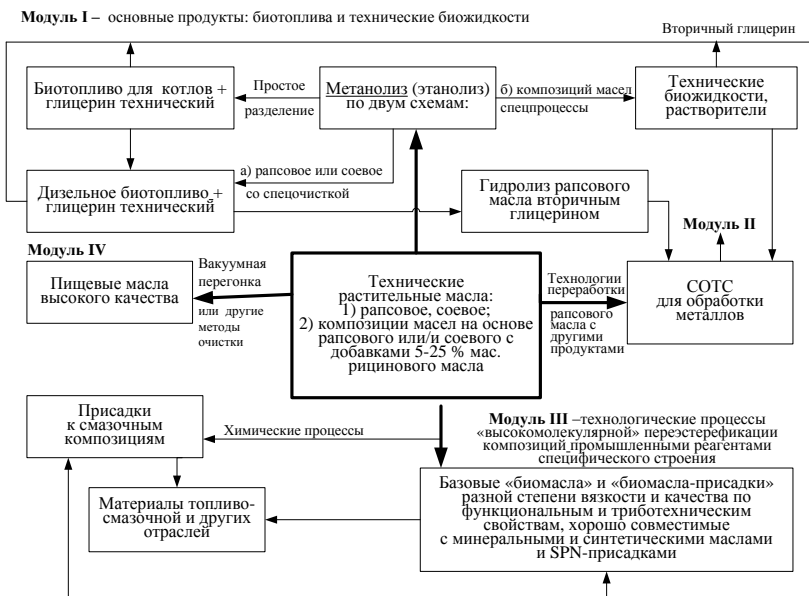


Рис. 2. Модель проекта комплексной переработки технических масел (рапсового, соевого, рисинового) в биоГСМ

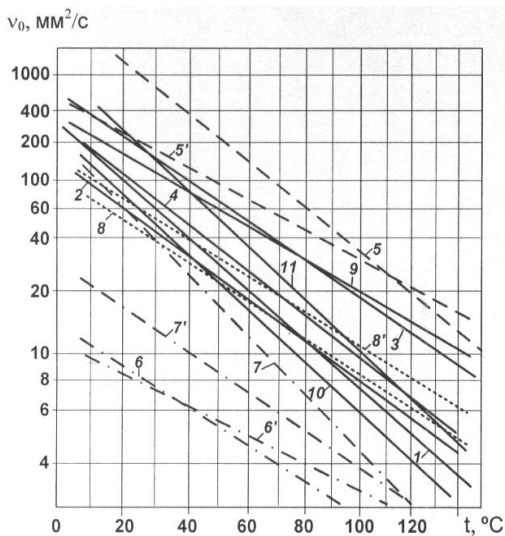


Рис. 3. Вязкостно-температурные характеристики масел: 1 – рапсового; 2 – соевого; 3 – рисинового; 4 – смеси рапсового с 20% мас. рисинового; 5, 5' – сульфидированных масел: рапсового-6S и соевого-6S; 6, 6' – сульфидированных метиловых эфиров жирных кислот рапсового и соевого масел; 7, 7' – глицеролизованных рапсового и соевого масел, предварительно сульфидированных до 6% мас. серы; 8, 8' – глицеролизованных масел соевого и смеси соевого с 20% мас. рисинового; 9 – производного диэтиленгликоля и смеси соевого с 20% мас. рисинового масла; 10 – И-20А (минеральное масло); 11 – ХС-40 (синтетическое масло)

Триботехнические испытания оптимизированных композиций минеральных масел И-20А, И-30А, И-40А, АУ и др. с новыми биомаслами, а также композиций, полученных химическим модифицированием композиций масел, убедительно доказали, что за счет хорошей совместимости обоих типов масел можно значительно улучшить трибохимические свойства и другие эксплуатационные показатели (рис. 4). При этом достигается сбалансированность эмульгирующей и диспергирующей функций биомасел по отношению к поверхности трения, что ведет к модифицированию её структуры благодаря достижению оптимального значения ГЛБ как трибохимической характеристики смазывающей среды. Пластифицирующая функция новых биомасел, также как композиций на их основе, проявляется в способности модифицированного поверхностного слоя контактирующих материалов к пластической деформации снижением сдвиговых усилий и обеспечением за счет этого необходимых противозадирных и противоизносных свойств.

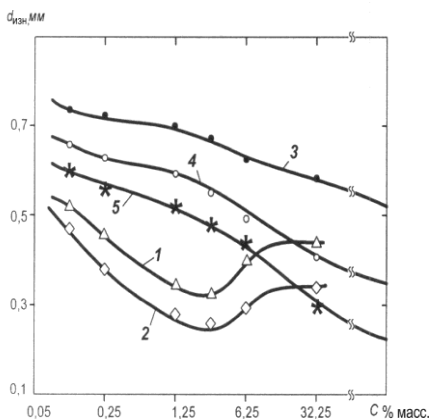


Рис. 4. Влияние на противоизносные свойства содержания биомасел в смазочных композициях (С, % мас.) на основе минерального масла И-20А:

1 – 12-гидроксистеариновой кислоты; 2 – рицинолевой кислоты; 3 – соевого + 20% мас. рицинового масла; 4 – глицеролизованной смеси соевого и рицинового масел; 5 – производного диэтиленгликоля и смеси соевого и рицинового масел

Если масляная среда проявляет достаточную химическую активность (как в случае созданных биомасел-присадок), и если масло содержит полярные функциональные группы, то такая среда легко поддается каталитическому влиянию атомов металла и его оксидной пленки как на активированных поверхностях трения, так и в объеме смазывающей пленки. В результате в масляной пленке протекают трибохимические процессы: сначала хемсорбция, а потом взаимодействие (реакции полимеризации или поликонденсации, комплексообразования и т. п.) с образованием высоковязких, коллоидно-стабильных олигомерных продуктов, а также соединений типа π -комплексов металлов на ювенильных металлических поверхностях узлов трения. Эти и другие

продукты способны участвовать в формировании на базе начальных граничных пленок энергетически стойких сервовитных или трибополимерных пленок, которые значительно улучшают триботехнические показатели работы узлов трения.

Также исследовали влияние поверхностной активности и полярности молекулярных структур масел на эксплуатационные свойства. Причем, важно было сравнить влияние этого фактора на процессы трения в двух аспектах: с одной стороны, известных поверхностно активных соединений, в частности, 12-гидроксистеариновой и риценолевой кислот, а с другой стороны — новых биомасел-присадок (см. рис. 4). Анализ рис. 4 подтверждает благоприятное влияние трибохимически активных кислот на противоизносные показатели смазывающих композиций как при их использовании отдельно (кривые 1, 2), так и в структуре нового биомасла – продукта глицеролиза смеси соевого и рицинового масла (кривая 5).

Нами был разработан двухэтапный метод глицеролиза-гликолиза рапсового масла и его смеси с рициновым с целью получения базовых биосинтетических материалов (масел, масел-присадок, технических жидкостей и т. п.).

На первом этапе проводят реакцию переэтерификации рапсового масла или его смеси с рициновым маслом глицерином по схеме так называемого глицеролиза при условии щелочного (специального) катализа. При этом триглицериды масел превращаются с выходом 85–90% в промежуточный продукт многоцелевого использования — 2-гидрокси-1,3-диацилглицериды (ОН-ДАГ) масло. Кроме использования ОН-ДАГ для переработки на втором этапе алкохолиза, на его основе можно синтезировать как биоприсадки, так и биомасла-присадки полифункционального назначения. Важной особенностью ОН-ДАГ является высокая поверхностная (а поэтому и трибохимическая) активность, определяющая возможность применения ОН-ДАГ в качестве эффективных моющих и депрессорных присадок к минеральным маслам.

На втором этапе осуществляют гликолиз – каталитическую переэтерификацию ОН-ДАГ низкомолекулярными гликолями, например, этиленгликолем, 1,3-пропандиолом, реже диэтиленгликолем, называемого условно «гликолизом». В отличие от метанолиза или этанолиза, гликолиз предложено осуществлять как высокотемпературный процесс с небольшим избытком гликоля в условиях щелочного или кислотного катализа.

Биомасла (средняя молекулярная масса M_{cp} выше 435) представляют собой композицию трех соединений:

- диэфира гликоля и ВЖК ($M_{cp} \geq 586$) — ~40% мас.;
- гидроксимоноэфира гликоля ($M_{cp} \geq 324$) — ~40% мас.;
- 1-моноацил-2,3-диоксиглицеринов ($M_{cp} \sim 354$) — ~20% мас.

Полученные биомасла сочетают в своей структуре фрагменты двух лучших типов синтетических масел (эфирных и полиалкиленгликолевых), которые синергетически обуславливают высокие функциональные и эксплуатационные свойства. Они отлично совместимы со всеми традиционными маслами, характеризуются высокой биоразлагаемостью (до 85%); имеют относительно невысокую стоимость и хорошие вязкостно-температурные свойства.

Некоторые функциональные свойства новых биомасел: композиции рапсовое + рициновое масло (биомасло 1) и производного этиленгликоля и этой композиции с условным названием «ет-глираприцол-20» (биомасло 2) представлены в табл. 1.

Таблица 1.

Наименвание показателя	Биомасло 1	Биомасло 2
Плотность при температуре 20°С, кг/м ³	887	892
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при температуре		
40°С	98	102
100°С	13,5	12,0
Индекс вязкости	120	135
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	7,0	7,5
Температура, °С		
вспышки в открытом тигле	230–235	235
застывания, не выше	Минус 32	Минус 28
Коксуемость, % не менее	0,42	0,35
Цвет, ед. ЦНТ, не более	3,0	1,5
Смазывающие свойства при (20±5)°С и нагрузке 196 Н (ГОСТ 9490)		
индекс задира, не менее	40	37
нагрузка критическая, Н	1100	1200
диаметр пятен износа шариков диаметром 12,7 мм из стали ШХ15, мм	0,65	0,50

Таким образом, в данной работе показано дальнейшее развитие теоретических основ химмотологии, непосредственно связанное со сферой производства и применения экологически безопасных биокomпонентов композиционных ГСМ. Полученные результаты убеждают в перспективности дальнейшего поиска методов и технологий целенаправленного модифицирования растительных масел как возобновляемого сырья с получением новых базовых биосинтетических продуктов – компонентов смазывающих композиций с традиционными смазочными материалами. Разработка и использование новых биоматериалов должны сопровождаться расширением трибологических исследований и триботехнических испытаний.

Смирнов Е. Н., Коленов С. А.,
Киевский национальный университет им. Тараса Шевченко, Украина
Стельмах А. У., Радзиевский В. А.,
Национальный авиационный университет, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРУЮЩЕГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ФАЗОВОГО МИКРОСКОПА

Эффективность современных машин во многом зависит от качества обработки рабочих поверхностей комплектующих деталей. К таким 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 верчения, 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 газоздушный 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 R_a , R_z , R_{\max} , S_m 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.

В качестве одного из возможных вариантов решения данной проблемы предлагается использование ЛСДФМП (рис.1).

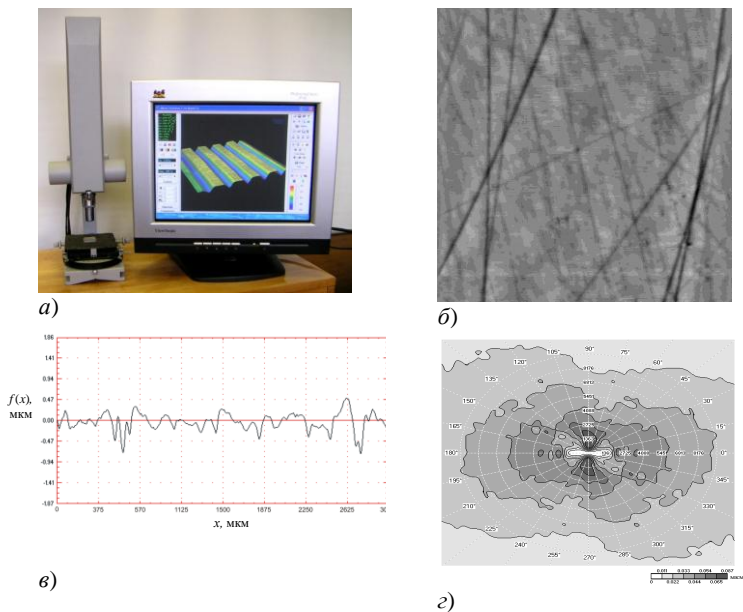


Рис. 1. Исследование шероховатости тестовой поверхности с параметром шероховатости R_a 0,15 мкм. а) Внешний вид микроскопа-профилометра ЛСДФМП, б) двумерное изображение рельефа тестовой поверхности, восстановленного из данных, полученных двумерным дифференциально-фазовым методом; в) профиль тестовой поверхности; г) двумерное распределение дисперсии тестовой поверхности по направлению для отдельных спектральных составляющих пространственного спектра поверхности (по радиусу – пространственные частоты в см^{-1})

В этом приборе предполагается реализация дифференциально-фазового метода исследований, обеспечивающего высокую чувствительность к изменению профиля поверхности по высоте (до 1 ангстрема) и хорошую виброзащищенность, в сочетании с использованием быстродействующих двухкоординатных акустооптических устройств управления лазерным излучением [1]. 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 в значительной степени зависит от способа её 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, контактная 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 объемного 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 потребительские – триботехнические 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 круглошлифовальном 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 контрообразцы 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).

Другие полированные контрообразцы подвергались шлифованию путём их вращения и 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 контрообразцы 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 круглошлифовальном 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°C. 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°C.

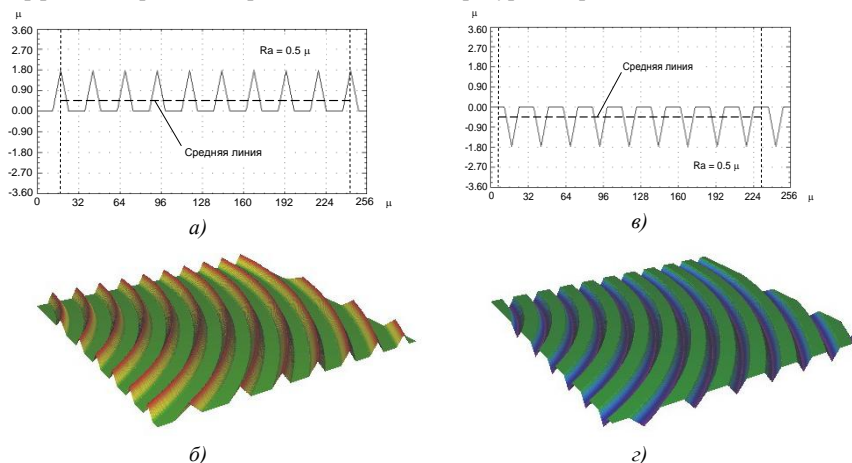


Рис. 2. Модельная поверхность, имеющая геометрию в форме выступов (профиль а) и её 3D вид (б), а также в форме впадин (в) и её 3D вид (г) с одинаковым параметром шероховатости $R_a = 0,5$ мкм

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 круглошлифованом 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).

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 бесконтактного лазерного сканирующего дифференциально-фазового акустооптического профилографа-профилометра ЛСДФМП позволило установить

принципиальную разницу состояния поверхностей, полученных различными технологическими приемами. На рис. 2, б и рис. 2, з (под профилограммами) показаны трехмерные изображения поверхностей контр-образцов, полученных на ЛСДФМП, которые свидетельствуют о том, что параметр шероховатости R_a не отражает фактического состояния поверхности принципиально, т.е. является несостоятельным. Кроме этого, качественно новая информация о пространственном состоянии поверхностей деталей машин, получаемая на микроскопе-профилометре ЛСДФМП позволит разрабатывать новые технологические приёмы 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.

Siedlecka S., Mądziel M.,
Rzeszow University of Technology, Poland

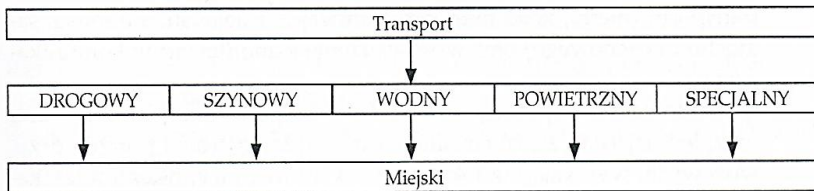
ŚRODKI PRZEWOZOWE TRANSPORTU MIEJSKIEGO

Działalność ludzka powiązana jest z nierozłączną koniecznością przemieszczania ładunków, osób i informacji. Przemieszczenie to determinuje możliwość zaspokajania ludzkich potrzeb. Realizowanie codziennych czynności, pojawienie się takich zjawisk jak koncentracja i specjalizacji produkcji, które dzielą sferę produkcji od sfery konsumpcji powodują, że przemieszczanie ludności, ładunków i informacji staje się procesem najbardziej istotnym z punktu widzenia możliwości funkcjonowania jednostek w społeczeństwie i gospodarce. Na terenie zurbanizowanym do przemieszczenia osób służy transport miejski, znany również pod pojęciem komunikacji miejskiej.

Pojęcie i zasięg działania transportu miejskiego. Dziedzina gospodarowania, jaką jest transport miejski stawia trudności w konkretnym zdefiniowaniu jego pojęcia. Prawo polskie w odniesieniu do definicji transportu miejskiego stosuje różnorakie określenia, między innymi takie jak: zbiorowa komunikacja komunalna, komunikacja komunalna, gminny transport zbiorowy, komunikacja miejska oraz lokalny transport zbiorowy [4].

Bazując na wyżej wymienionych regulacjach prawa polskiego oraz praktycznym zastosowaniom w gospodarce, termin transportu miejskiego można określić i zdefiniować jako:

- transport miejski (komunikacja miejska) to publiczny, regularny transport zbiorowy wykonywany na zlecenie samorządowego organizatora przewozu wyłącznie na terenie:
 - jednej gminy,
 - dwóch lub więcej gmin,
 - gmin, które tworzą międzygminny związek komunalny,
- samorządowy organizator transportu (zwany dalej organizatorem transportu) to jednostka związku międzygminnego lub gminy i samorządu wojewódzkiego lub samorządu wojewódzkiego i związku międzygminnego, która wykonuje zadania organizatorskie w relacji do transportu miejskiego (inaczej zwanego komunikacją miejską).



Rys. 1. Wyodrębnienie transportu miejskiego w ramach klasyfikacji pionowej transportu

Specjalne cechy zgłaszanych potrzeb transportowych oraz warunki, w których są one spełniane, prowadzą do sztucznego wyszczególnienia transportu miejskiego jako jednej z gałęzi w zakresie pionowej klasyfikacji transportu, mimo tego, że w jego zakresie eksploatowane są środki przewozowe przynależące do różnych gałęzi (rys.1). Transport miejski traktowany jako ekonomika gałęziowa wyodrębniona na podstawie kryterium drogi może być jedynie umowny.

Poziomy podział transportu, przyjmujący jako kryterium klasyfikacji rozgraniczenie jednostek terytorialnych (rynków, obszarów), oddziela transport lokalny (miejski), regionalny, krajowy, międzynarodowy. Klasyfikacja ta ma charakter względny. Transport miejski przekracza bowiem poza terytorium granic administracyjnych gminy (miasta) i swym zasięgiem działania obejmuje wszystkie terytoria funkcjonalnie połączone z głównym ośrodkiem miejskim. Rozwinięcie społeczno-gospodarcze poszczególnych terenów, nasilenie procesów urbanizacyjnych oraz zmiana stylu życia i zachowań społeczności wywiera istotny wpływ na kreowanie się i ustawiczne przeobrażanie połączeń transportowych pomiędzy strefami podmiejskimi i miastem.

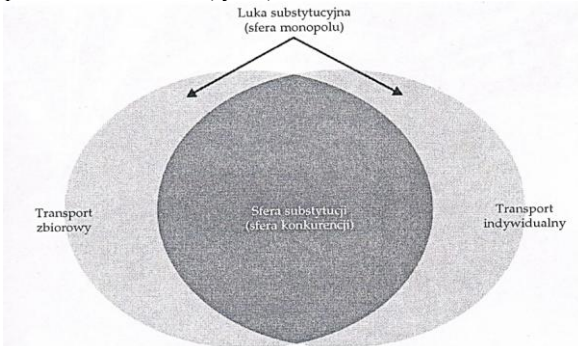
Czynniki te oddziałują także na tworzenie się gmin (zespołów miast), jak również na zmieniający się charakter struktur wewnętrznych terenów zurbanizowanych, podlegającym ciągłym przeobrażeniom. Zwiastunem przekształceń powiązanych ze sobą obszarów miejskich jest proces tworzenia aglomeracji. Specjalną formą aglomeracji jest konurbacja, która może być rozumiana jako zespół kilku pojedynczych miast, z których każde ma odrębne, niezależne, wyspecjalizowane funkcje, które czasem wzajemnie się uzupełniają. Działanie konurbacji polega na wspólnej sieci osadniczej lub innych urządzeniach miejskich [2]. Zespoły sprzężonych miast, obierając formę konurbacji bądź aglomeracji, wymagają skoordynowania działań zmierzających do zapewnienia właściwego poziomu transportu miejskiego. W zakresie tej koordynacji wymagane jest między innymi:

- projektowanie wspólnego dla zespołu miast układu linii uwzględniających rozróżnienie rozmieszczenia źródeł potrzeb przewozowych, wynikających z umiejscowienia zakładów pracy, placówek kulturalno-oświatowych, administracyjnych, osiedli mieszkaniowych, punktów handlowych, usługowych i innych,
 - sprecyzowanie zakresu współdziałania i rangi poszczególnych środków transportu (metra, kolei miejskiej, tramwaju, autobusu, trolejbusu, samochodu osobowego) oraz wdrożenie jednolitej taryfy komunikacyjnej,
 - zagwarantowanie ochrony środowiska naturalnego.
- Pod względem charakteru przewozów transport miejski można podzielić na:
- zbiorowy,

- indywidualny.

Elementarnym przedmiotem rozmyślań ekonomiki transportu miejskiego jest transport indywidualny przeciwstawiany transportowi zbiorowemu. Transport indywidualny cechuje się specyficznymi warunkami komunikacyjnymi oraz brakiem regularności. Przewozy indywidualne i zbiorowe są względem siebie komplementarne i substytucyjne. Odpowiednie ukształtowanie zadań i celów stawianych przed poszczególnymi rodzajami transportu zależy od poziomu życia mieszkańców danego miasta.

Zaznaczyć należy, że substytucyjność transportowania zbiorowego i indywidualnego ma charakter subiektywny, będący następstwem indywidualnej oceny cech (właściwości) usług przewozu indywidualnego i zbiorowego. Obszar substytucji pomiędzy obiema rodzajami przewozu nieustająco ewoluuje, zważywszy na różnicowanie usług przewozowych oraz zastosowania sprecyzowanej polityki transportowej przez władze miasta (rys. 2).



Rys. 2. Sfera substytucji oraz luka substytucyjna pomiędzy zbiorowym i indywidualnym transportem miejskim [3]

Zdolność zróżnicowania sfery substytucji pomiędzy transportem indywidualnym a zbiorowym powoduje pojawienie się luki substytucyjnej, określającej istnienie substytutów o niedoskonałym charakterze i pojawienie się struktury rynku usług transportowych w formie konkurencji monopolistycznej.

Transport miejski w konurbacjach i aglomeracjach miejskich często jest realizowany przez większą liczbę poszczególnych organizacyjnie przedsiębiorstw przewozowych: w Polsce poprzez jednostki organizacyjne tworzone przez gminy i będące ich własnością, prywatne przedsiębiorstwa transportowe oraz przedsiębiorstwa państwowe (PKS, PKP).

Środki transportu wykorzystywane w komunikacji miejskiej. Rozwiązania konstrukcyjne trolejbusów, autobusów, kolei i tramwajów uwarunkowują sposób ich wykorzystania. Wszystkie środki transportu spotykane w przewozach miejskich można podzielić na kilka kategorii w stosunku do sposobu ich wykorzystania, rodzaju energii używanej do napędzania oraz rodzaju tras, po których się poruszają.

Środki transportu miejskiego ze względu na sposób ich wykorzystania podzielić można na zbiorowe, grupowe i indywidualne. Niektóre z nich można zaklasyfikować do

kilku kategorii, w zależności od charakteru użytkowania w danym momencie. Ze względu na funkcjonalność można przyporządkować poszczególne środki przewozowe do transportu:

- indywidualnego (taksówka, samochód osobowy, rower, motocykl, motorower),
- grupowego (taksówka, samochód osobowy),
- zbiorowego (statek, kolej, tramwaj, metro, trolejbus, autobus).

Specjalne miejsce w obsłudze przewozowej miast zajmuje samochód osobowy, który zapewniając największą dostępność przestrzenną, jednocześnie jest istotnym źródłem powstawania kongestii w miastach. Samochód umożliwia transportowanie pasażerów

w relacjach drzwi-drzwi. Swobodne podróżowanie samochodów w miastach jest zapewnione do chwili, w której ograniczenia powodują zatłoczenie i zmniejszają atrakcyjność tego środka transportu.

Biorąc pod uwagę względy techniczne przyporządkować można środki transportu miejskiego do następujących kategorii:

- wodne napędzane silnikami elektrycznymi bądź spalinowymi,
- naziemne, użytkujące ulice i napędzane siłą mięśni ludzkich (rower),
- naziemne, użytkujące torowiska, niestanowiące integralnego elementu ulic, napędzane energią elektryczną dostarczaną z zewnątrz (kolej regionalna, miejska zwana skm),
- naziemne, użytkujące torowiska, stanowiące najczęściej integralny element ulic i napędzane energią elektryczną dostarczaną z zewnątrz (tramwaj),
- podziemne, użytkujące tunele i napędzane energią elektryczną (premetro, metro),
- nadziemne, użytkujące z torowiska umiejscowionego na wysokości nad powierzchnią terenu (kolej podwieszana),
- naziemne, użytkujące z ulic i napędzane silnikiem spalinowym i elektrycznym zasilanym energią elektryczną dostarczaną z zewnątrz bądź też zakumulowaną w pojeździe (trolejbus mający baterię akumulatorów o zwiększonej pojemności umożliwiającą przemieszczanie na krótkich odcinkach bez sieci trakcyjnej, trolejbus z dodatkowym silnikiem spalinowym),
- naziemne, użytkujące ulice i napędzane całkowicie energią elektryczną doprowadzoną z zewnątrz (trolejbus),
- naziemne, użytkujące ulice i napędzane tylko i wyłącznie silnikiem spalinowym (autobus, motorower, motocykl).

Rozwiązania techniczne w obszarze długości pojazdów pozwalają wyróżnić pojazdy jedno-, dwu- i wielozłonowe. Trolejbusy i autobusy pojawiają się najczęściej w postaci pojazdów dwuczłonowych (przegubowych) lub jednoczłonowych, wagony kolejowe pojawiają się najczęściej w postaci pojazdów wieloczłonowych, natomiast wagony tramwajowe tworzy się jako pojazdy jednoczłonowe, dwuczłonowe lub wieloczłonowe.

W zależności od potrzeb transportowych wagony można połączyć w składy.

Zróżnicowanie w konstrukcji wagonów umożliwia, dzięki ich budowie, szerokie wykorzystanie. Mogą być one [1]:

- nisko- lub wysokopodłogowe,

- jedno- lub dwusystemowe,
- jedno- lub dwupokładowe,
- jedno- lub dwukierunkowe,
- czynne lub bierne (z silnikiem lub bez),
- jedno- lub dwustronne (z drzwiami po obu lub jednej stronie wagonu),
- wąsko-, normalno- lub szerokotorowe.

Wysokość podłogi nad poziomem jezdni jest również kryterium klasyfikacji trolejbusów i autobusów. Aktualnie na świecie eksploatuje się autobusy (trolejbusy) niskopodłogowe (o wysokości podłogi do 35 cm nad jezdnią, z wyłączeniem stopni wejściowych), średniopodłogowe (od 36 do 75 cm nad jezdnią, z jednym lub dwoma stopniami wejściowymi) i wysokopodłogowe (o wysokości podłogi powyżej 75 cm nad poziomem jezdni, z dwoma stopniami wejściowymi [3]). Trolejbusy i autobusy mogą być również jedno- lub dwupokładowe (piętrowe). Pojazdy piętrowe oczywiście zapewniają zwiększenie pojemności dla pasażerów.



Rys. 4. Niskopodłogowy trolejbus Solaris Trollino 12T podróżujący na terenie miasta Gdyni

Pojazdy trolejbusowe i autobusowe podzielić można również ze względu na pojemność pasażerską na maxibusy, megabusy, standardowe, midibusy i minibusy (tabela 1). Ze względu na obowiązujące w Polsce prawo niemożliwe jest stosowanie w komunikacji miejskiej mikrobusów i samochodów osobowych (do 6 m długości i do 9 osób wraz z kierującym pojazdem).

W segmencie środków komunikacji miejskiej jakimi są autobusy oprócz klasycznego źródła napędu, czyli oleju napędowego, coraz częściej stosuje się również gaz LPG (Liquified Petroleum Gas) i CNG (Compressed Natural Gas), wodór i ogniwa paliwowe.

Ukształtowanie terenu, dostępna infrastruktura drogowa w aspekcie miasta to tylko niektóre cechy, które warunkują wykorzystane środki transportu komunikacji miejskiej. Biorąc pod uwagę miasta małe i średniej wielkości, w Polsce najczęściej użytkuje się z przewozu za pomocą autobusów i samochodów osobowych.

Tabela 1

Klasyfikacja trolejbusów i autobusów ze względu na pojemność pasażerską [2]

Typ pojazdu	Długość [m]
Minibus	do ok. 6 (od 10 miejsc siedzących wraz z kierowcą)
Midibus	ok. 9
Standardowy	ok. 12
Megabus	ok. 15
Maxibus	ok. 18

Zróznicowanie prędkości komunikacyjnej środków transportowych w zależności od zurbanizowania obszaru i pory doby nie zezwala na jednoznaczne postawienie równoważności samochodu osobowego pod względem prędkości komunikacyjnej w porównaniu do środków przewozu zbiorowego poruszających się po drogach bezkolizyjnych. Można o niej mówić jedynie w przypadku swobodnego ruchu drogowego. Natomiast o przewadze samochodu uwzględniającej prędkość komunikacyjną w stosunku do ulicznych środków przewozu zbiorowego można mówić dopóki nie wdroży się odpowiednich rozwiązań, które zapewnią im priorytet w ruchu na drodze.

References:

1. Cerny M.: Mały atlas mestskeopravy. Gradis Bohemia, Praga 2006.
2. Dziadek S.: Systemy transportowe ośrodków zurbanizowanych. PWN, Warszawa 1991
3. Gromadzki M.: Precyzyjna alokacja taboru elementem oferty przewozowej gdyńskiej komunikacji miejskiej. Autobusy. Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe, Gdańsk 2002.
4. Karasek S.: Zmiany w ustawie o transporcie drogowym dotyczące lokalnego transportu zbiorowego. Materiały konferencyjne Izby gospodarczej Komunikacji Miejskiej, IGKM, Kielce 2003.

Shtyka O. S., Sęk J.,

Lodz University of Technology, Poland

THE EFFECTIVENESS OF KEROSENE-WATER EMULSIONS REMOVAL USING POLYPROPYLENE SORBENTS WITH IMBIBITION PROMOTERS

Over a last few years contamination of the environment with oil and its emulsions has become a serious ecological problem. These contaminants cause a wide range of negative impacts, e.g. bioaccumulation in food chains, carcinogenic and mutagenic effects on living organisms, disrupt their biochemical or physiological activities, deterioration of the environmental quality in general. The mechanical removal of oil-derivatives from the environment by application of various sorbents is defined as a main

recovery method due to easy implementation, high efficiency, low-cost and ability to reuse of the sorbing material.

The purpose of this research work was investigation of the imbibition efficiency of synthetic porous media having a different structure imbibed with kerosene and its emulsions. The used media were “oil-in-water” emulsions consisting of kerosene and water with adding of nonionic surfactant. The dispersed phase concentrations (DPC) in emulsions were 10% and 20%.

The main properties of the emulsions and their basic components are shown in Table 1. The investigated emulsions exhibited the same properties as Newtonian liquids, because their viscosity was not depend on the shear rate as shown rheometric data.

Table 1

Properties of the prepared emulsions and their basic liquids at $T = 25,5^{\circ}\text{C}$

Type of medium	Density, [kg/m ³]	Viscosity, [mPas]
Emulsions:		
DPC of 10% (surfactant 2%)	0.898±0.002	1.214±0.002
DPC of 20% (surfactant 2%)	0.845±0.001	1.522±0.001
Basic liquids:		
Kerosene	0.762±0.003	1.685±0.003
Water+Rokacet O7	0.998 ±0.001	0.904±0.0012

The porous media were represented by six types of polypropylene sorbents which differed in structure. Three of them were the materials (marked here as “specific”) which were able to sorb oil-derivatives, and the other three (marked as “universal”) absorbed water and all other liquids (marked as “universal”).

The effectiveness of the porous medium imbibition with emulsions and kerosene was determined experimentally by submerging of a strip of the sample of each material into the liquid. A strip of porous material had a size of 20cm × 3.5 cm and the thickness of 0.19 cm. The square of contact area was equal to 7 cm². The process of imbibition was observed from the moment when the polypropylene material was put in contact with the investigated medium. Measurements were carried out till the process reached equilibrium and amount of the imbibed mass stopped to change.

Fig. 1 represents fragments of the materials which were imbibed with kerosene and emulsions.

The defined values of grammage and porosity of sorbents as well as results of the calculations of the imbibition process efficiency are represented in Table 2.

A parameter of the effectiveness of a material imbibition allowed to find how many times the mass of an absorbed liquid per one square centimeter is higher than the grammage of dry sorbent.

The effectiveness of imbibition was calculated according to such expression:

$$E_{im} = \frac{(m_{im}/h_{im} \times a)}{G_m},$$

where E_{im} – is the effectiveness of imbibition; m_{im} – is the mass of liquid imbibed by a material [g]; h_{im} – is the height of liquid front [cm]; a – is the width of a material strip [cm]; G_m – is the grammage of an investigated material.

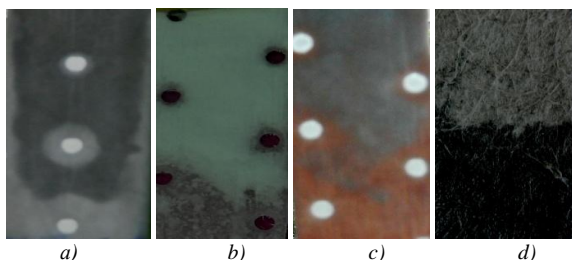


Fig. 1. The fragments of the investigated materials imbibed with: a) 20% emulsion (specific type with one row of promoter); b) kerosene (specific type with two rows of promoters); c) 10% emulsion (universal type with two rows of promoters); d) kerosene (universal type without promoters)

Table 2

The properties of the investigated polypropylene materials

Type of material	Grammage [g/cm ²]	Porosity average	Level of the imbibition process efficiency (E_{im})			
			kerosene [in time]	WRO7 [in time]	10% emulsion [in time]	20% emulsion [in time]
Specific 2P*	0.0212 ±0.0002	0.707	7.673	16.320	7.381	7.956
Specific 1P	0.0212 ±0.001	0.713	7.761	14.010	7.759	7.601
Specific 0P	0.009 ±0.0002	0.662	8.524	15.744	10.868	8.026
Universal 2P	0.0203 ±0.0014	0.735	6.630	7.205	6.559	7.844
Universal 1P	0.0203 ±0.0031	0.713	6.670	3.412	6.955	7.974
Universal 0P	0.009 ±0.0021	0.850	8.768	12.585	8.253	8.086

One can notice that defined process of efficiency was similar for 10% and 20% emulsions and kerosene practically for all sorbents as shown in Table 2. The significant differences in the sorption efficiency can be observed for water mixture with surfactant (denoted as WRO7) in the case of both groups of polypropylene strips (see Table 2).

The process of polypropylene sorbents imbibition with investigated media is represented in Fig. 2–4 as the values of dimensionless imbibed mass versus time.

The dimensionless masses were calculated as the ratio of $mass_{im}$ of the absorbed liquid to the maximal mass ($mass_{max}$) which was soaked into the sorbent strips.

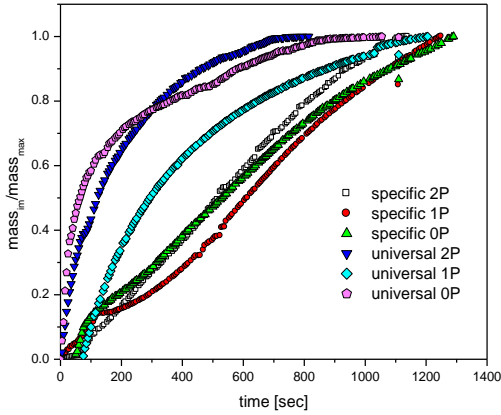


Fig. 2. Processes of the materials imbibition with 10% emulsion

One can find that in the case of 10% and 20% emulsions, all samples of “universal” type of the polypropylene sorbents were characterized by higher rate of the investigated media absorption, while strips of “specific” type had the higher value of imbibed mass.

According to the obtained results, in the case of kerosene investigation, the the sorbent “universal without promoters” exhibited the highest rate of imbibition in comparison with other samples, but in the same time had the lowest value of absorbed mass. The promoters caused enlarging of the mass of imbibed kerosene (see Fig. 4).

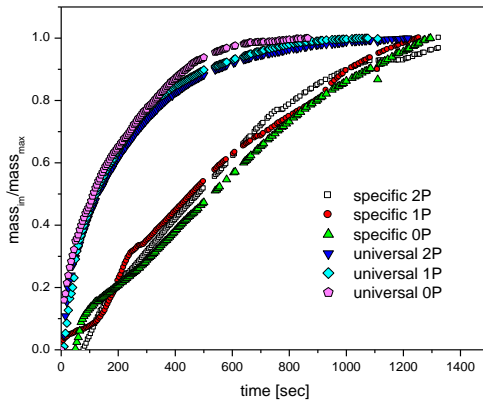


Fig. 3. Processes of the materials imbibition with 20% emulsion

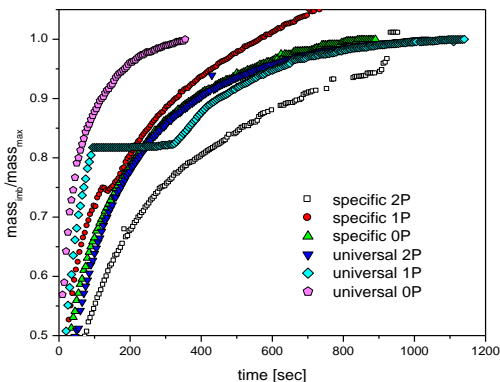


Fig. 4. Processes of the materials imbibition with kerosene

The efficiency of porous media imbibition with kerosene and its 10% and 20% emulsion with water was investigated experimentally. In accordance with the received results, modification of the sorbents structure with promoters of imbibition gave opportunity to increase volume of imbibed liquids and cause no effect on the rate of process. The concentration of the disperse phase of emulsion had non significant effect on the efficiency of the imbibition process.

Kuszewski H., Lejda K., Lew K.,
Rzeszow University of Technology, Poland

METODYKA OCENY WŁAŚCIWOŚCI SAMOZAPŁONOWYCH PALIW Z WYKORZYSTANIEM KOMORY SPALANIA O STAŁEJ OBJĘTOŚCI

Rozwój silników o zapłonie samoczynnym bezpośrednim wtryskiem paliwa wynika głównie uwarunkowań ekologicznych. Jednocześnie, coraz większa uwaga przywiązywana jest do jakości paliw, którymi zasilany jest silnik. Jednym z istotnych czynników determinujących emisję toksycznych składników spalin przez silniki o zapłonie samoczynnym jest skład chemiczny i właściwości paliwa. Wszelkie zanieczyszczenia oleju napędowego, w tym paliwami innej jakości, powodują zmianę parametrów paliwa i przez to mogą zakłócać przebieg procesu spalania, a tym samym przyczynić się do wzrostu emisji toksycznych składników spalin [4].

Jednym z istotnych parametrów paliw są jego właściwości samozapłonowe, które decydują o prawidłowym przebiegu procesu spalania, a tym samym emisji składników toksycznych w spalinach. Jako miarę skłonności paliwa do samozapłonu coraz częściej wykorzystuje się pochodną liczbę cetanową DCN (*Derived Cetane Number*). W tym zakresie, na szczególną uwagę zasługuje normatywna metoda oznaczania pochodnej liczby cetanowej (DCN), która determinowana jest przebiegiem spalania w komorze o stałej objętości [6].

Metodyka badań właściwości samozapłonowych. Przy określaniu zdolności paliwa do samozapłonu, kluczowe znaczenie ma oznaczenie liczby cetanowej paliwa. na szczególną uwagę zasługuje normatywna metoda oznaczania pochodnej liczby cetanowej (dcn – *derivedcetanenumber*), która determinowana jest przebiegiem spalania w komorze o stałej objętości [4,5,6].metoda ta opisuje sposób określenia ilościowego opóźnienia zapłonu przy pomocy komory spalania o stałej objętości, która została opracowana przy założeniu zapłonu samoczynnego z zastosowaniem bezpośredniego wtrysku paliwa do sprężonego powietrza. metoda może być zastosowana do paliw pochodzących z przeróbki ropy naftowej, łącznie z tymi, które zawierają fame. metodę można stosować również do średnich destylatów ropy naftowej i paliw, które nie pochodzą z przeróbki ropy naftowej.

W przedmiotowej metodzie, próbka analityczna paliwa, która poddawana jest testowi, wtryskiwana jest do ładunku sprężonego powietrza w komorze spalania o stałej objętości. Odpowiednie czujniki identyfikują początek wtrysku paliwa oraz początek spalania dla każdego cyklu z pojedynczym wtryskiem. Sekwencja testowa składa się z 15 wstępnych cykli spalania i następnie realizowane są kolejne 32 dalsze cykle testowe w celu określenia czasu opóźnienia zapłonu. Określona na podstawie 32 cykli średnia wartość opóźnienia zapłonu ID stanowi podstawę obliczenia pochodnej liczby cetanowej DCN według zależności [9]:

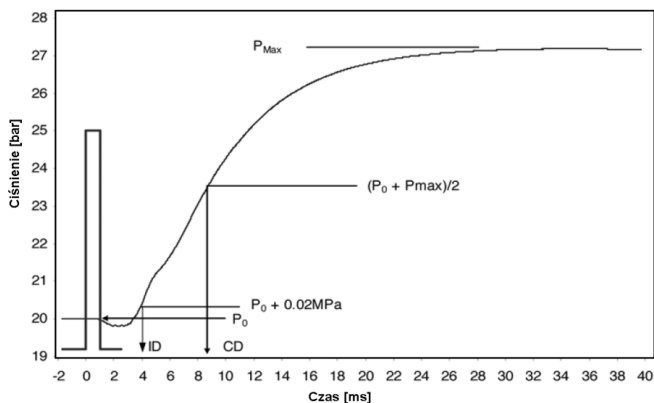
$$DCN = 4,460 + 186,6 / ID$$

Tak obliczona pochodna liczba cetanowa jest przybliżeniem LC oznaczonej według EN ISO 5165 z wykorzystaniem silnika testowego.

Oznaczenie okresu opóźnienia samozapłonu oraz pochodnej liczby cetanowej na podstawie spalania w komorze o stałej objętości precyzuje również amerykańska norma ASTM D7668 „*Standard Test Method for Determination of DerivedCetaneNumber(DCN) of Diesel FuelOils - IgnitionDelay and CombustionDelay Using a Constant Volume CombustionChamber Method*”. Metoda bazuje na spalaniu paliwa w komorze o stałej objętości z bezpośrednim wtryskiem paliwa do sprężonego, podgrzewanego powietrza syntetycznego. Sekwencja testowa składa się z 5 wstępnych cykli spalania. Ich celem jest m.in. oczyszczenie układu z paliwa wcześniej badanego. Następnie kolejno realizowanych jest 15 cykli testowych w celu określenia okresu opóźnienia samozapłonu. Określona na podstawie 15 cykli średnia wartość opóźnienia samozapłonu ID oraz czas przyrostu ciśnienia do wartości równej połowie przyrostu ciśnienia do wartości maksymalnej CD (rys. 1) w komorze stanowi podstawę obliczenia pochodnej liczby cetanowej DCN według zależności:

$$DCN = 11,162234 + 7 \cdot \frac{654674}{ID} + 171 \cdot \frac{880479}{CD} + \frac{-799,518995}{CD^2} + 2835 \cdot \frac{510270}{CD^3} + 15,147363 \cdot \frac{ID}{CD}$$

gdzie ID – czas jaki upłynął od pojawienia się sygnału sterującego wtryskiwaczem (zbrocze opadające impulsu) do momentu gdy ciśnienie w komorze wzrosło o 0,02 MPa powyżej ciśnienia początkowego P_0 (rys. 1), CD – czas jaki upłynął od pojawienia się sygnału sterującego wtryskiwaczem (zbrocze opadające impulsu) do momentu gdy ciśnienie w komorze uzyskało wartość równą połowie sumy ciśnienia początkowego P_0 w komorze i ciśnienia maksymalnego p_{max} w cyklu (rys. 1).



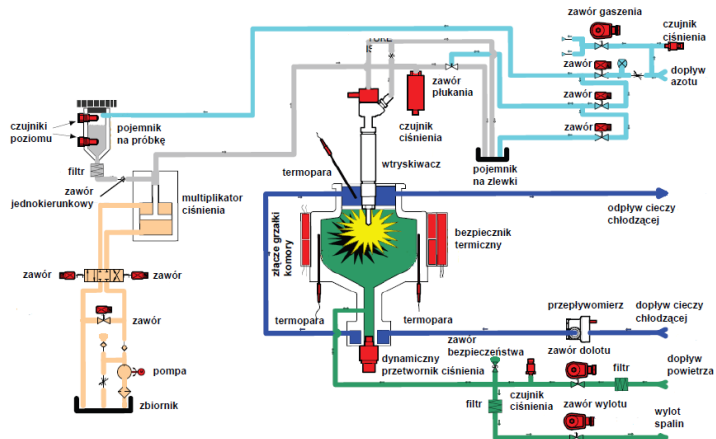
Rys. 1. Parametry służące określeniu pochodnej liczby cetanowej DCN [2,3,7]: ID –czasjaki upłynął od pojawienia się sygnału sterującego wtryskiwaczem (zbrocze opadające impulsu) do momentu, gdy ciśnienie w komorze wzrosło o 0,02 MPa powyżej ciśnienia początkowego p_0 ,

CD – czas jaki upłynął od pojawienia się sygnału sterującego wtryskiwaczem (zbrocze opadające impulsu) do momentu, gdy ciśnienie w komorze uzyskało wartość równą połowie sumy ciśnienia początkowego p_0 i ciśnienia maksymalnego p_{max} w komorze

Do określenia pochodnej liczby cetanowej według normy ASTM D7668 może posłużyć aparat CID 510 firmy Walter Herzog (rys. 2). Wtym urządzeniu zastosowano system wtryskowy typu CommonRail. Elektronicznie sterowany wtryskiwacz CR z rozpylaczem wielootworkowym może wtryskiwać do komory spalania paliwo pod ciśnieniem do 1500 bar [8,11]. Na rys. 3, 4 i 5 przedstawiono odpowiednio uproszczony schemat układu, hydraulicznego aparatu CID 510, schemat układu wtryskowego tego aparatu oraz widok jego komory spalania.

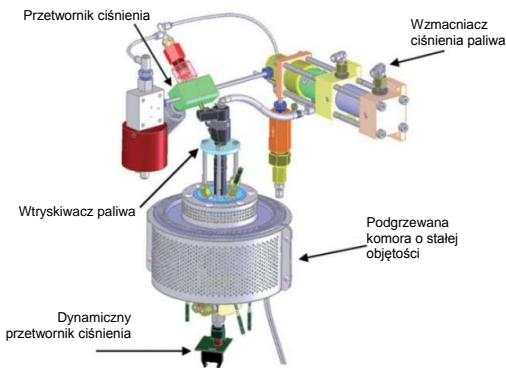


Rys. 2. Aparat do oznaczania pochodnej liczby cetanowej CID 510 firmy Walter Herzog [13]

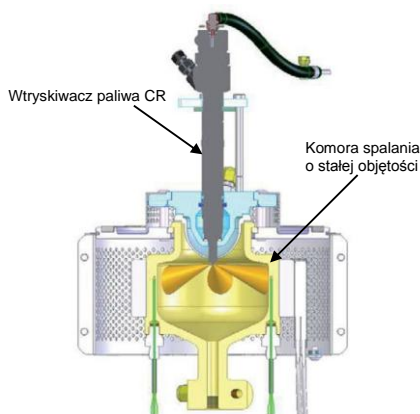


Rys. 3. Uproszczony schemat hydrauliczny aparatu CID 510 [2,11]

Do przeprowadzenia przykładowych badań mających na celu określenie właściwości samozapłonowych różnych paliw wykorzystano będący na wyposażeniu bazy laboratoryjnej Katedry Silników Spalinowych i Transportu Politechniki Rzeszowskiej aparat CID 510. Paliwa, które wybrano do analizy przedstawiono w tabeli 1. Wyniki pomiarów pochodnej liczby cetanowej DCN oraz okresu opóźnienia samozapłonu ID (por. rys. 2) dla poszczególnych paliw przedstawiono w tabeli 2. Ponadto w tabeli zawarte są także pozostałe charakterystyczne parametry pracy związane z funkcjonowaniem aparatu. Są to: parametr CD (por. rys. 2), czas trwania impulsu sterującego wtryskiwaczem t_{wtr} , początkowe ciśnienie w komorze spalania p_0 , przyrost ciśnienia spalania Δp_k , temperatura powietrza w komorze spalania t_k , ciśnienie wtrysku paliwa p_{wtr} (mierzone w akumulatorze ciśnienia) oraz temperatura cieczy chłodzącej wtryskiwacz t_{ch} . Wszystkie przedstawione parametry zawarte w tabeli stanowią wartości średnie z 15 cykli, które składają się na pojedynczy test.



Rys. 4. Schemat układu wtryskowego aparatu CID 510 [2,11]



Rys. 5. Schemat komory spalania aparatu CID 510 [2,11]

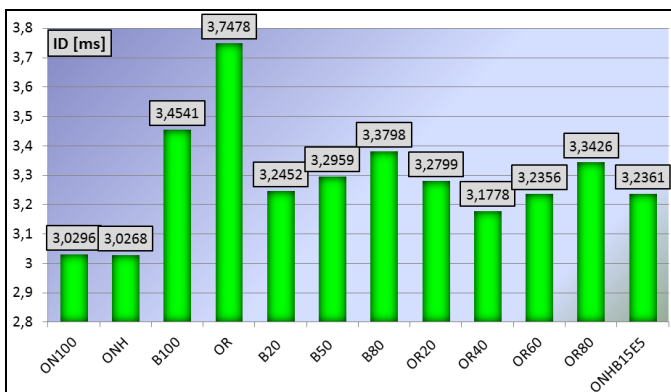
Dodatkowo, na rys. 6, 7 i 8 przedstawiono uzyskane wartości odpowiednio okresu opóźnienia samozapłonu ID, okresu opóźnienia spalania CD oraz pochodnej liczby cetanowej DCN.

Jak wynika z zaprezentowanych wyników, dodatek oleju rzepakowego do oleju napędowego skutkowało wydłużeniem okresu opóźnienia samozapłonu w stosunku do oleju napędowego, ale ogólnie niezależnie od udziału objętościowego OR uzyskane wartości DCN były zbliżone. Dla 20% udziału OR odnotowano blisko 5%-owe zmniejszenie wartości DCN w stosunku do ONH, natomiast największy udział OR w ONH spowodował spadek tej wartości o nieco powyżej 7%.

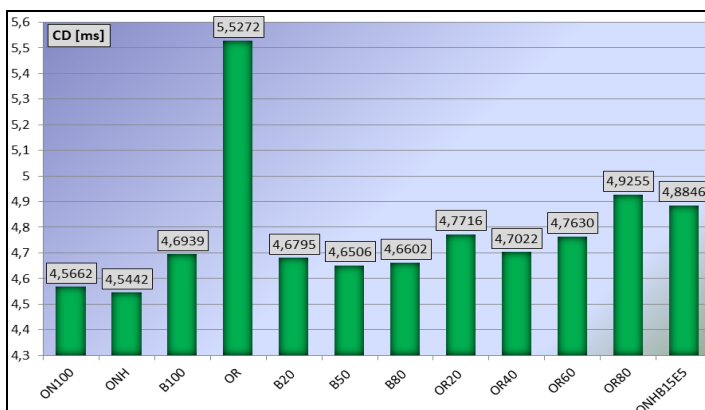
Tabela 2

Wyniki pomiarów pochodnej liczby cetanowej DCN, okresu opóźnienia zapłonu ID oraz odpowiadające im wartości charakterystycznych parametrów pracy aparatu CID 510

PALIWO	DCN	ID [ms]	CD [ms]	p_0 [bar]	t_k [°C]	Δp_k [bar]	t_{ch} [°C]	t_{wtr} [ms]	p_{wtr} [bar]
ON 100	52,82	3,0296	4,5662	19,95	586,76	21,00	50,03	2,5	999,17
ONH	53,10	3,03	4,54	20,23	586,8	21,00	51,0	2,5	1001,0
B100	52,27	3,4541	4,6939	20,06	586,80	19,01	50,85	2,5	990,10
B20	51,92	3,2452	4,6795	20,03	586,77	20,44	50,88	2,5	996,57
B50	52,40	3,2959	4,6506	19,97	586,78	19,89	50,88	2,5	989,49
B80	52,50	3,3798	4,6602	19,99	586,81	19,31	51,05	2,5	988,28
OR	45,59	3,75	5,53	19,94	586,7	14,41	50,6	2,5	999,1
OR20	50,50	3,29	4,78	19,97	586,7	20,23	50,5	2,5	996,8
OR40	51,06	3,18	4,70	19,98	586,7	19,28	51,0	2,5	994,8
OR60	50,56	3,24	4,76	19,91	586,7	17,87	51,1	2,5	1006,2
OR80	49,25	3,34	4,93	19,96	586,7	16,32	50,4	2,5	1000,4
ONHB15E5	49,57	3,2361	4,8846	19,95	586,68	20,58	50,83	2,5	1003,48



Rys. 6. Uzyskane dla poszczególnych paliw wartości parametru ID



Rys. 7. Uzyskane dla poszczególnych paliw wartości parametru CD

Analizując wartości DCN oraz parametrów ID i CD, widać korelację pomiędzy okresem opóźnienia samozapłonu ID i uzyskaną wartością DCN. Dla analizowanych paliw, skrócenie okresu opóźnienia samozapłonu ID skutkowało wzrostem wartości DCN. Co do wartości bezwzględnej, największą zmianę (wydłużenie) okresu opóźnienia samozapłonu, odnotowano w stosunku do paliwa ONH i OR. Tendencja zmian wartości parametru CD jest taka sama jak w przypadku parametru ID. Charakterystyczne jest, że dla mieszaniny zawierającej 40% OR odnotowano krótszy okres opóźnienia samozapłonu i w związku z tym większą wartość DCN, niż dla paliwa zawierającego 20% OR.

Zaprezentowane dane z testów różnych paliw potwierdzają funkcjonalność aparatu CID 510, który wykorzystując metodykę pomiaru DCN na podstawie spalania w komorze o stałej objętości, może być z powodzeniem wykorzystywany nawet do paliw o bardzo istotnie odmiennych właściwościach samozapłonowych w stosunku do typowego

oleju napędowego.



Rys. 8. Uzyskane dla poszczególnych paliw wartości pochodnej liczby cetanowej DCN

Oznaczanie właściwości samozapłonowych paliw jest jednym z podstawowych parametrów w aspekcie ich zastosowania do silnika o ZS.

Metoda silnikowa oznaczania LC jest droga i trudna do zastosowania. Wymaga bardzo drogiego w zakupie, eksploatacji i serwisowaniu silnika badawczego. Tańszym i znacznie mniej skomplikowanym sposobem oznaczania właściwości samozapłonowych paliw jest metoda polegająca na oznaczeniu pochodnej liczby cetanowej DCN poprzez spalanie w komorze o stałej objętości. Ten sposób oznaczenia pochodnej liczby cetanowej, który daje niemal identyczne wyniki, jak w przypadku metody silnikowej, jest znacznie łatwiejszy do przeprowadzenia.

Przeprowadzone w Katedrze Silników Spalinowych i Transportu badania DCN dla wybranych paliw zastępczych na aparacie CID 510 w pełni potwierdzają jego funkcjonalność.

References:

1. Baczewski K., Kaldoński T.: Paliwa do silników o zapłonie samoczynnym. WKiŁ, Warszawa 2004.
2. Cetane ID 510 Automacyjny aparat do oznaczania pochodnej liczby cetanowej. Materiały firmowe Inkom Instruments.
3. Jaworski A., Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A., Woś P.: Oznaczanie liczby cetanowej wybranych paliw na podstawie spalania w komorze o stałej objętości w aspekcie ich zastosowania w silniku o zmiennym stopniu sprężania VCR. Czasopismo Techniczne, zeszyt 8, rok 109 (2012), (Mechanika: 3-M/2012). Wyd. Politechniki Krakowskiej, Kraków 2012.
4. Jaworski A., Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A., Woś P.: Wpływ dodatku benzyny na właściwości samozapłonowe oleju napędowego. Silniki Spalinowe, 2013–SC–107, Bielsko Biała 2013.
5. Kuszewski H.: Metody oznaczania właściwości samozapłonowych paliw w aspekcie obowiązujących uregulowań normatywnych. Щорічний науково-виробничий журнал No 19 „Проектування, виробництво, та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів”, Видавництво „Логос”, Львів 2011.

6. Kuszewski H., Lejda K., Lew K.: Wpływ właściwości samozapłonowych paliw możliwych do zastosowania w autobusach miejskich na emisyjność spalin. Międzynarodowa Konferencja Naukowa w Kijowie, ВІСНИК №29, Kijów 2014

7. Lew K.: Opracowanie kryteriów doboru paliw do specyfiki napędów wykorzystywanych w komunikacji miejskiej. Rozprawa doktorska, Poznań 2014.

8. Norma ASTM D7668 „Standard Test Method for Determination of Derived Cetane Number (DCN) of Diesel Fuel Oils – Ignition Delay and Combustion Delay Using a Constant Volume Combustion Chamber Method”.

9. Norma PN-EN 15195 „Ciekłe przetwory naftowe. Oznaczanie opóźnienia zapłonu i pochodnej liczby cetanowej (DCN) paliw ze średnich destylatów przez ich spalanie w komorze o stałej objętości”.

10. Rozporządzenie Ministra Gospodarki z dnia 2 lutego 2012 r. zmieniające rozporządzenie w sprawie wymagań jakościowych dla paliw ciekłych (Dz.U.2012.136).

11. Service Manual – Cetane Number Analyzer CID510. Materiały firmowe firmy PAC (Petroleum Analyzer Company).

12. <http://www.paclp.com>.

13. <http://www.inkom.com.pl>.

Kuszewski H., Jaworski A., Ustrzycki A.,
Rzeszów University of Technology, Poland

THE STUDY OF SELECTED FUEL PROPERTIES IN ASPECT OF SELECTION THE PARAMETERS OF COMMON RAIL INJECTION SYSTEM

The development of diesel engines with direct injection, where mainly Common Rail systems are used is generally conditioned by the increasing ecological requirements. These considerations also decide about increasing the interest in alternative fuels. The use of alternative fuels to power internal combustion engine with Common Rail fuel injection system, taking into account its flexibility in shaping the injection timing, gives chance to further reduce the negative impact of the increasing number of cars driven by combustion engine on the environment. However, the use of alternative fuels, which properties differ from the properties of conventional fuels, requires proper adjustment of the injection system to the internal combustion engine to keep correct power and ecological performances of the engine [2,3,5,6,8]. Different values of the energy parameters of alternative fuels, as well as their viscosities and densities require a corresponding adjustment of the injection duration to deliver the equivalent energy with simultaneously keeping the required level of emissions of toxic components in exhaust gases [3,5]. Moreover, different fuel viscosity may influence on injector working due to the electro-hydraulic character of its work, where are used precise, calibrated holes of small dimensions to control the flow of fuel to achieve correct pressure distribution acting on the needle lift, and thus on entire injection process. Changing the fuel viscosity can cause changes in the flow rate through individual calibrated holes, and the pressure distribution above and below the needle may be different than assumed, what can affect on the changes in the injection process and thus changes the fuel delivery.

This article presents investigations of energetic parameters and the kinematic viscosity for selected fuels which can be used in diesel engines. There were diesel fuel without the bio-components (ON100), fuel B100 (esters of rapeseed oil) and fuel B7 and

B20, which are a mixture of rapeseed oil and diesel fuel in the appropriate volume ratios.

2. Measurements of fuel properties. Given the upward trend in the rise of fractions of biofuels in liquid fuels blend to power internal combustion engines to research standard diesel fuel without abiocomponents (ON100), fatty acid methyl esters of rapeseed oil (RME) (B100) and two blends of these fuels were selected. The first is the 93% v/v ON100 and 7% v/v B100 (B7), while the second is 80% v/v ON100 and 20% v/v B100 (B20).

The first step in measuring the parameters of fuels was to determine their calorific value. The tests of higher calorific value (HCV, gross calorific value) were performed using the measuring system with calorimeter IKA C200 (fig. 1). The lower calorific value (LCV, net calorific value) was calculated based on the HCV.

The measurements were conducted using isoperibol method, at filling the bomb calorimeter with oxygen at a pressure of 30 bar. The lower calorific value W_p is the difference between heat of combustion Q_s and the amount of heat needed to evaporate the water contained in the fuel and hydrogen resulting from the combustion of the fuel.

Table 1

Types of tested fuels		
Type of fuel	Fractions [% v/v]	
	Standard diesel fuel (without biocomponents)	Rapeseed Methyl Esters (RME)
	ON100	B100
B100	0	100
B7	93	7
B20	80	20
ON100	100	0



Fig. 1. Calorimeter system IKA C200

It can be described by the formula [7]:

$$W_p = Q_s - r \cdot m_w$$

where W_p – lower calorific value, kJ/kg; Q_s – higher calorific value (heat of combustion), kJ/kg_{fuel}; r – heat of evaporation of water at fiducial

temperature $\text{kJ/kg}_{\text{water}}$; m_w – the total mass of water formed by combustion of unit mass of fuel, $\text{kg}_{\text{water}}/\text{kg}_{\text{fuel}}$.

The lower calorific value W_p of tested fuel can be calculated using following formula:

$$W_p = Q_s - 24.42 \cdot (8.94 \cdot H_a - W_a)$$

where W_p – lower calorific value of tested fuel, kJ/kg ; H_a – percentage content of hydrogen in tested fuel, % m/m; W_a – percentage content of moisture in tested fuel % m/m (in analyzing cause $W_a = 0$).

The percentage content of hydrogen H_a in diesel fuel was calculated using formula [12]:

$$H_a = 0.001195 \cdot Q_s - 41.4$$

The table 2 presents measurement results of higher calorific values and calculated lower calorific values for selected fuels.

As we can see the lower calorific value of above 43 MJ/kg has a standard diesel fuel ON100 without biocomponents. With increasing of content of RME in fuel the energetic property of fuel decreases.

Table 2

Test results of higher and lower calorific value

Type of fuel	HCV (Q_s) [kJ/kg]	LCV (W_p) [kJ/kg]
B100	39889	37247
B7	45618	42680
B20	44852	41956
ON100	46008	43043

Therefore, the use of diesel fuel with biocomponents requires a longer duration of fuel injection. In this way, for a single injection the energy value of the fuel delivery can be the same as for injection of standard diesel fuel. In the Common Rails system, we can increase the fuel delivery not only by increasing the injection duration but also by increasing the pressure inside the fuel rail.

For the measurement of kinematic viscosity of fuels an automated apparatus 482 HVU Herzog, constructed on the basis of Ubbelohde's capillary was used (fig. 2). Viscometer is controlled by HLIS 32 software (fig. 3 and 4).

Technical specification of automated Ubbelohde capillary viscometer meets requirements of following standards [10]: PN-ISO 3105, ASTM D446 – 07 i IP71 (sec. 2) and allows the measurements based on standards: PN-EN ISO 3104, ASTM D 445, ASTM D 2270, IP 71 (sec.1) and DIN 51 562.

The value of kinematic viscosity is calculated from the measured flow time of the liquid from the equation [4,9,11]:

$$\nu = t \cdot C$$

where ν – kinematic viscosity, mm^2/s ; t – average time for the free flow of sample through the capillary (meniscus transition time from first to

second mark of the measuring chamber), s ; C – capillary constant, mm^2/s^2 .

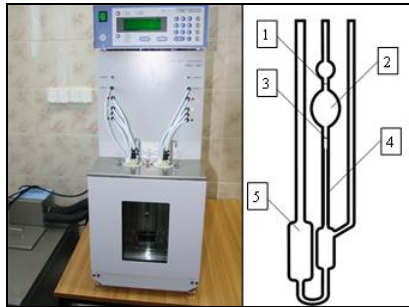


Fig. 2. Ubbelohde Viscometer Herzog HVU 482 and diagram of capillary [1], 1 – the upper level of the tested liquid at the beginning of the measurement; 2 – upper reservoir; 3 – the lower level of the tested liquid at the end of the measurement; 4 – calibrated capillary; 5 – lower reservoir

In accordance with the guidelines contained in the standard PN-EN ISO 3104, for each fuel two measurements of flow time are carried out. To calculate the viscosity the arithmetic mean of these two measurements was used. Viscosity measurements were carried out at 40°C .

3. As can be seen from table, the increase in the proportion of RME in the standard diesel fuel increases the kinematic viscosity. However, each of the fuels meets the appropriate standard requirements. Due to the small differences in viscosity values for the tested fuels, there is no need to take account of these changes in the configuration of the Common Rail injection system for the engine.

On the basis of measurements it can be drawn the following conclusions:

- fatty acid methyl esters of rapeseed oil have a much lower calorific value than standard diesel fuel without biocomponents,
- increase in the proportion of RME in diesel fuel reduces the lower calorific value,
- when powered diesel engine with fuels containing biocomponents it is necessary to modify the operating parameters of the Common Rail injection system,
- the kinematic viscosity of the RME is higher than the viscosity of standard diesel fuel,
- the change of the viscosity of diesel fuel containing biocomponents does not require interference with Common Rail injection system.

References:

1. Jaworski A., Kuszewski H.: Measurements and calculations of fuel kinematic viscosity with use of the HVU 482 device. Joint publication, entitled: „Systems and means of motor transport” TRANSPORT 2011, Rzeszow 2011.
2. Jaworski A., Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A., Woś P.: Analysis of the influence of injection pressure in common rail system on spray tip penetration of the selected alternative fuels. Combustion Engines, PTNSS–2013–SC–108, Polish Scientific Society of Combustion Engines, Bielsko Biala 2013.

3. Jaworski A., Kuszewski H., Ustrzycki A.: The study of spray tip penetration for diesel fuel and selected alternative fuels. Щорічний науково-виробничий журнал No 20 „Проектування, виробництво, та експлуатація автотранспортних засобів і поїздів”, Видавництво „Логос”, Lviv 2012.
4. Kuszewski H., Jaworski A., Ustrzycki A.: Determination of kinematic viscosity for selected alternative fuels used in motor transport. Науково-технічний збірник No 24 `2012, Вісник / Національного транспортного університету, Kiev 2012.
5. Kuszewski H., Lejda K., Ustrzycki A.: Determinants of the fuel dosage accuracy in a dispenser supply system Common Rail. Technical Transactions– Mechanics, Publication of Cracow University of Technology, v. 8-M/2008, volume 12 (105), Cracow 2008.
6. Lejda K., Ustrzycki A.: Effect of supply voltage on the dosage of fuel in injection system the Common Rail type. Journal of Polish CIMAC, Vol. 4, No. 2, 2009.
7. Ochęduszek S.: Termodynamika stosowana. WNT, Warsaw 1974.
8. Ustrzycki A., Jaworski A., Kuszewski H., Lejda K., Woś P.: The effect of using selected alternative fuels on fuel delivery at Common Rail System for diesel engine. Науково-технічний збірник No 24 `2012, Вісник / Національного транспортного університету, Kiev 2012.
9. Wilke J., Kryk H., Hartmann J., Wagner D.: Theory and Praxis of Capillary Viscometry. Schott-Geräte GmbH. Company materials.
10. Technical documentation of viscometer HVU 482. Inkom Instruments Co., Warsaw 2011.
11. PN-EN ISO 3104. Petroleum products. Transparent and opaque liquids. Determination of kinematic viscosity and calculation of dynamic viscosity.
12. PN-86/C-04062. Petroleum products. Determination of gross calorific value by the bomb calorimetric method and calculation of net calorific value.

Кравченко И. Ф., Колесник П. А., Единович А. Б.,
ГП «Ивченко-Прогресс», Украина
Стельмах А. У.,
Национальный авиационный университет, Украина

УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА РЕДУКТОРОВ ГТД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХФАЗНОЙ МАСЛОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ

Разработка, конструирование и организация производства новых серийных авиационных ЛА требует значительных материальных затрат. Поэтому при создании нового летательного аппарата всегда рассматривается возможность использования в его составе серийно выпускаемых агрегатов, которые хорошо зарекомендовали себя в эксплуатации и 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 ТВ3-117ВМА-СБМ1 и Д-436-148 на базе существующих ТВ3-117ВМА и Д-436.

Для обеспечения необходимого для подшипников качения роторов и редукторов ГТД и ВСУ теплового режима применяется система смазки и охлаждения с прокачкой десятков и сотен литров в минуту, в то время как для обеспечения смазки поверхностей трения без учета теплонапряженности требуются всего миллилитры. В работах указывается, что потери на трение в подшипниках с масловоздушным смазыванием смазкой масляным туманом существенно снижаются (до трех раз), хотя интенсивность теплоотвода в

воздушно-масляную фазу также уменьшается. Из этого следует, что охлаждающая жидкая (однофазная) среда в трибоконтакте, обеспечивая теплоотвод от него, в это же время является причиной увеличенного тепловыделения.

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 условий масляного голодания. Тем не менее, практика 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.

В 2007 г. 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. В работах представлены экспериментальные данные, которые 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. конфузурной, происходит повышение давления в граничных слоях смазки и возникновение вторичного течения, противоположного направлению вращения. 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.

Применительно к трению качения, гидродинамические процессы в граничных слоях протекают аналогично трению скольжения. На рис.1 показана схема возникновения области повышенного $+\Delta P$ и пониженного $-\Delta P$ давления в граничных слоях смазки (ось P_{oc}) и векторы вторичных течений смазки: компрессионных $v_{компр}$ и вакуумных $v_{вак.}$, направленных противоположно набегающим смазочным слоям при давлении окружающей среды равном атмосферному $P_{атм.}$ (пересечение осей x и P_{oc}) и распределение давлений смазочного слоя на поверхности ролика. Пунктиром показано распределение упругих контактных напряжений по Г.Герцу без смазки, в среде воздуха (зазор – условный).

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 с 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 контакт будет происходить разрежение прошедших через минимальный зазор слоёв 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.

Результаты лабораторных исследований, а также основные положения компрессионно-вакуумной гипотезы процесса трения были использованы при выборе режима подачи смазочного материала в роликовые подшипники спутников переднего редуктора двигателя ТВЗ-117ВМА-СБМ1, который является маршевым для самолетов Ан-140. Стендовые испытания опытных двигателей подтвердили необходимость доработки главного редуктора двигателя ТВЗ-117ВМА-СБМ1 с целью повышения его ресурса и надежности, так как наблюдалось повреждение осей подшипника-спутника по дефекту выкрашивания. После испытаний и разборки редукторов было установлено, что поверхность рабочего сектора качения роликов была значительно меньше (в 2 раза) расчетной. Конструкторами было принято решение уменьшить радиальный зазор подшипников спутников с 0,015–0,035 мм до 0,005–0,025 мм, что позволило уменьшить сектор бесконтактного торможения роликов смазкой и сепаратором в нерабочей и бесконтактной с осью области, где ролики находились в состоянии инерционного вращения. При этом подвод смазки оставался прежним – через те же 2 отверстия на беговой дорожке и с тем же расходом (рис. 2, а), то есть смазывание трибоконтактов осуществлялось более обильно, чем ранее – с большим зазором.

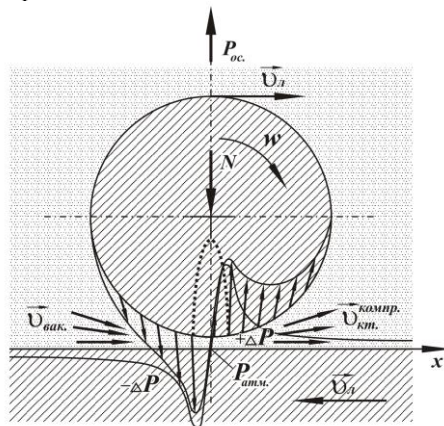


Рис. 1. Схематическое возникновение компрессионных и вакуумных гидродинамических процессов в граничных слоях смазки при трении качения ролика по кольцу

При стендовых испытаниях обнаружено, что выкрашивание поверхностей качения при прочих равных условиях и уменьшении зазора, происходит менее интенсивно, чем при больших зазорах. В ходе анализа результатов мнения специалистов относительно возникшей проблемы разделились: с позиций эластогидродинамической теории смазки требуется увеличить расход масла для более обильного смазывания и снижения теплонапряженности трибоконтактов путем более интенсивного отвода тепла. С позиций компрессионно-вакуумной гипотезы трения, необходимо снижать вязкость смазочной среды, например, путем перевода ее в двухфазное состояние.

Исходя из основных положений компрессионно-вакуумной гипотезы трения, аргументация использования масловоздушной смазочной среды в высокоскоростных редукторах заключалась в следующем. Основным источником выделения тепла является трение интенсивных набегающих граничных и вторичных течений смазочных слоев в конфузорных областях трибоконтактов. Для улучшения теплового режима зоны контакта необходимо отказаться от обильного смазывания и применить масловоздушную смесь, объемная вязкость и плотность которой существенно (на порядок) меньше, чем у базового масла. Использование двухфазной смазочной среды обеспечит уменьшение степени разрежения и снижение интенсивности трибокавитации, которая также является источником теплоты и причиной кавитационного разрушения поверхностей.

Проанализировав основные положения ЭГД-теории и компрессионно-вакуумной гипотезы трения, было принято решение в пользу последней и реализована смазка двухфазной средой подшипников сателлитов переднего редуктора двигателя ТВ3-117ВМА-СБМ1. Для этого была произведена конструкторская доработка (рис. 2, б) роликовых подшипников сателлитов, а именно: масло, с тем же расходом, подавалось не на дорожки качения, а через каналы на торцы роликов. При этом на больших частотах вращения роликов (4000 об/мин) образуется двухфазная смазочная среда в виде масловоздушной смеси.

Стендовые испытания на ОАО «Мотор Сич» проводились на двигателях с серийными номерами 317001 и 317013 в течение 2007–2009 гг. и подтверждают существенное повышение ресурса главных редукторов без признаков усталостного выкрашивания поверхностей качения осей сателлитов. Такая конструктивная доработка была внедрена на восьми двигателях ТВ3-117ВМА-СБМ1, которые в настоящее время находятся в эксплуатации. На протяжении более одного года при суммарной наработке более 5000 ч съемов редукторов по дефекту выкрашивания осей сателлита не происходило.

Использование масловоздушной смазывающей среды – эффективный путь снижения потерь на трение и теплонапряженности высокоскоростных трибосистем опор и редукторов ГТД. Экспериментально подтверждается, что трение набегающих граничных слоев смазки с движущейся поверхностью и слоев смазки вторичных течений, возникающих в диффузорной области контакта, а также кавитация в конфузорной являющаяся основными причинами разогрева высокоскоростных трибосистем с ЭГД-контактами. Выделению из смазочной среды масловоздушной фазы, наряду с барботажем, способствуют процессы разрежения смазки в диффузорных областях контакта, то есть трибокавитация,

когда степень разрежения достигает значений меньше давления насыщенных паров масла. Стендовые испытания ТВЗ-117ВМА-СБМ1 на ОАО «Мотор Сич» и ГП «Ивченко-Прогресс» показали, что при уменьшении зазоров в роликовом

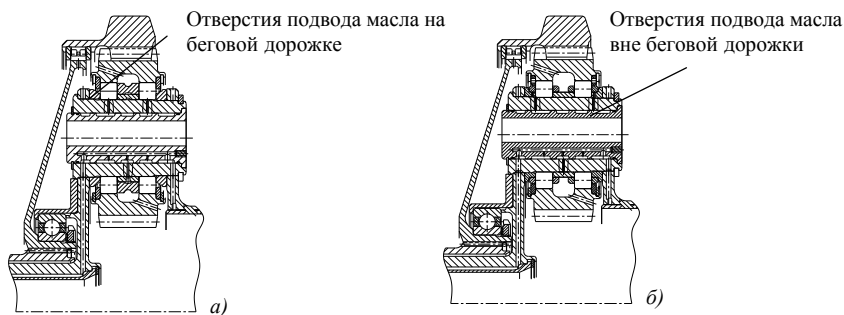


Рис. 2. Схема подвода смазки в подшипники главного редуктора двигателя ТВЗ-117ВМА-СБМ1: а) исходная конструкция; б) доработанная конструкция подшипника сателлита

подшипнике и при том же расходе масла на дорожках качения ресурс передних редукторов двигателя несколько увеличивался, однако выкрашивание не прекращалось. При использовании масловоздушной смазки, вместоструйной подачи масла на беговую дорожку признаков разрушения поверхностей обнаружено не было. Эксплуатация восьми двигателей с конструкторскими доработками по организации смазки масловоздушной смесью показала, что при увеличении ресурса осей сателлитов передних редукторов двигателей ТВЗ-117ВМА-СБМ1 более чем в 5 раз, признаки их выкрашивания не обнаружены, а редуктора работают надёжно и устойчиво. Приведенные результаты исследований подтверждают справедливость компрессионно-вакуумной гипотезы трения и трибокавитационного механизма изнашивания, свидетельствуют об их научно-технической состоятельности, в частности применительно к термонагруженным и высокоскоростным трибосистемам современных ГТД, а также перспективность их использования при проектировании трибосистем авиационного двигателестроения.

Волгин С. Н.,

ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», Россия

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПО УПРАВЛЕНИЮ КАЧЕСТВОМ МОТОРНЫХ ТОПЛИВ ПРИ ИХ РАЗРАБОТКЕ

При разработке способов использования технических средств автоматизации в процессе принятия решений все большее применение находят системы интеллектуальной поддержки принятия решений (ППР). Широкие возможности для создания таких систем предоставляет использование новых информационных технологий. Это направление научных исследований представляет единую концепцию, которая включает в себя три составные части: новую технологию

коммуникации на основе локальных и распределенных сетей ЭВМ; новую технологию обработки управленческой информации на основе ПЭВМ; новую технологию разработки систем поддержки принятия управленческих решений, использующую средства искусственного интеллекта.

До настоящего времени отсутствуют технологии разработки интеллектуальных систем ППР по обеспечению требуемого уровня качества топлива, функционирующих на существующей вычислительной базе. Разработка и внедрение интеллектуальных систем ППР, позволяющих значительно сократить время, необходимое для принятия решения, повысить их обоснованность, является одной из важных исследовательских задач в области химмотологии.

Для совершенствования процесса достижения требуемого уровня качества топлива при его разработке целесообразно использовать наиболее перспективные интеллектуальные системы, которые объединяются под названием экспертные системы. Главным преимуществом экспертных систем является их способность оперировать более полной информацией в той области управления, для которой они предназначены, так как лингвистический метод их построения позволяет учитывать и количественную и качественную (семантическую) информацию.

Для процесса принятия решения по обеспечению требуемого качества топлива преимущество экспертных систем заключается и в том, что такие системы позволяют учитывать кроме текущей информации, характеризующей происходящие изменения в системе «топливо – двигатель – эксплуатация» в конкретный момент управления, и так называемую базовую информацию, касающуюся наиболее принципиальных основополагающих сведений, которые должны быть учтены в процессе принятия решения.

Задача химмотологического обеспечения требуемого уровня качества топлива при его разработке включает следующие этапы:

- оценка возможных результатов применения в технике на основе информации об уровне эксплуатационных свойств разрабатываемого топлива, полученной при его испытаниях на модельных установках;
- определение какие из образцов топлива обеспечивают лучшие параметры работы техники в известных условиях эксплуатации;
- обоснование необходимых воздействий на топливо (регулирование базового состава, введение присадок) для достижения заданного уровня качества.

Основу выполнения данной задачи составляет разработка модельных установок, методов проведения испытаний и методик обработки результатов испытаний для установления взаимосвязи состава топлива с его свойствами, оценки реальных и потенциальных свойств топлива, получения прогнозных оценок свойств для конкретных условий применения.

При разработке модельных установок необходимо стремиться к реализации кибернетического подобия исследуемых процессов реальным, обеспечить возможность получения информации об уровне эксплуатационных свойств топлива во всем диапазоне условий определяющих факторов, оказывающих наибольшее влияние на скорость или результат процесса, высокую корреляцию результатов оценки свойств с результатами применения топлива в технике. Модельная установка должна представлять собой физическую модель объекта применения топлива, в котором протекает исследуемый процесс, обладать такими

же преобразующими свойствами, что и реальный объект, и воспроизводить весь диапазон условий превращения топлива по определяющим факторам. Испытания следует проводить с использованием теории планирования эксперимента, что значительно сократит их продолжительность и затраты.

Методика обработки результатов испытаний должна обеспечивать построение моделей химмотологического процесса в виде математических зависимостей скорости и/или результата процесса от определяющих факторов (условий протекания процесса, состава топлива).

Использование регрессионных моделей химмотологического процесса позволит рассчитывать интегральные оценки уровня эксплуатационных свойств топлива, характеризующие его потенциальную склонность к превращениям, а также определять параметры химмотологического процесса применительно к конкретным условиям.

Необходимо учитывать, что система «топливо – двигатель – эксплуатация» и её подсистемы являются сложными и вероятностными. Вероятностный характер подсистемы «топливо» обусловлен его составом и структурой. Вариации компонентного состава, структуры углеводородов, связей между ними определяются вариациями состава исходной нефти, колебаниями технологических режимов её переработки, условий хранения и транспортирования топлива. Значения параметров рабочего процесса, скоростные и нагрузочные режимы работы двигателя также имеют вероятностный характер. Поэтому параметры химмотологических процессов и показатели эксплуатационных свойств необходимо рассматривать как случайные величины. Закономерности химмотологических процессов проявляются на выборке большого числа наблюдений. Сходимость эффекта в каждом конкретном наблюдении может быть получена только с некоторым случайным отклонением от результатов предыдущих испытаний.

Учесть вероятностную природу реальных закономерностей в системе возможно на основе использования методов имитационного моделирования.

В целом, для снижения неопределенности ожидаемых результатов применения топлива в технике по результатам оценки его эксплуатационных свойств, повышения степени соответствия исследуемых химмотологических процессов в модельных и реальных условиях, улучшения характеристик топлива на основе дополнительного количества информации об уровне его свойств, получаемой по результатам испытаний, необходимо:

- разработать физические модели объектов применения топлива – модельные установки, позволяющие независимо задавать и варьировать определяющие факторы химмотологических процессов;
- провести на модельных установках с использованием теории планирования эксперимента испытания топлива, построить адекватные математические модели химмотологических процессов, оценить потенциальную способность топлива к проявлению эксплуатационных свойств при применении;
- выработать воздействия для достижения требуемого уровня качества топлива на основе взаимосвязи его состава со свойствами и результатами проявления свойств при применении;

- оценить эффективность осуществляемых воздействий на основе прогнозирования результатов применения топлива в технике и проведения натуральных испытаний.

Автоматизацию принятия решений на достижение требуемого уровня качества топлив целесообразно осуществлять на основе использования принципов искусственного интеллекта.

Под экспертными системами будем понимать такие интеллектуальные системы, которые способны в интеллектуальном диалоге с непрограммирующим пользователем – лицом, принимающим решение, на основе накопления и переработки специальных знаний и правил принятия решений проводить экспертизу, консультировать и давать рекомендации по выбору действий, распознавать ситуации, оценивать уровень эксплуатационных свойств топлива и обосновывать заключения при поиске решений неформализованных задач по его повышению.

Экспертная система должна включать: базу знаний (БЗ), блок логического вывода, подсистемы общения, объяснения, обновления и генерации знаний.

Через подсистему общения с экспертной системой связаны: конечный пользователь – непрограммирующий специалист, принимающий решение по обеспечению качества топлив; эксперт – ученый-химмотолог или опытный специалист-практик, обладающие знаниями в области управления качеством топлив; инженер по знаниям, владеющий языками описания знаний и оказывающий помощь эксперту в выявлении и структурировании знаний, выборе инструментального средства, определении способа представления знаний в инструментальном средстве и выборе стандартных функций, которые будут использоваться в вводимых правилах.

С экспертной системой на этапе наполнения знаний работают инженер по знаниям и эксперт, а на этапе эксплуатации – конечный пользователь.

Разработка экспертной системы включает следующие этапы:

- многоэтапное построение БЗ экспертной системы ППР на обеспечение качества топлива, схема которого базируется на иерархической системе моделей экспертных знаний;

- построение альтернативного графа (АГ) анализа качества топлива как основы моделей экспертных знаний (ЭЗ) структурных уровней формализации;

- построение продукционной модели БЗ экспертной системы ППР на основе АГ анализа качества горючего в терминах инструментальной системы проектирования экспертной системы.

База знаний предназначена для хранения долгосрочных данных, описывающих численные значения требований нормативных документов к показателям качества топлива; технологию анализа состояния топлива; модели взаимосвязей «состав – свойство»; химмотологические мероприятия по достижению требуемого уровня качества топлива.

Блок логического вывода, используя исходные данные из рабочей памяти о состоянии топлива, знания нормативных и руководящих документов и соответствующие правила анализа из базы знаний, формирует такую последовательность правил, которые, будучи примененными к исходным данным, приводят к решению задачи по обеспечению качества топлива.

Подсистема объяснения позволяет конечному пользователю убедиться в обоснованности выводов, полученных машиной. Её функционирование основано на объяснении того, как система получила решение задачи и какие знания она при этом использовала, что облегчает тестирование системы и повышает доверие к полученному результату.

Подсистема общения служит для организации общения между пользователем и системой. Она позволяет выдавать ответы на поставленные вопросы, сообщать пользователю знания и способы принятия решений, заложенные в экспертную систему, совершенствовать систему.

Подсистема генерации знаний предназначена для создания базы знаний в диалоговом режиме.

Подсистема обновления знаний обеспечивает удаление из базы знаний недостоверной, утратившей актуальность или устаревшей информации и ввод в нее новых знаний.

Результаты проведенного анализа сложности вычислительного аспекта предметной области оценки состояния качества топлива и выработки решений по обеспечению качества топлива (многообразие и динамичность изменения существующей номенклатуры марок топлива, условий его хранения, требований нормативных документов, присадок для повышения уровня эксплуатационных свойств и т.п.) позволяют сделать вывод о том, что реализация расчетно-логической системы (РЛС) сопряжена с созданием сложного программного комплекса, в архитектуру которого должны быть заложены принципы модульности, гибкости и иерархичности. Указанным требованиям в наиболее полной мере соответствуют интеллектуальные пакеты прикладных программ (ИППП) в составе интегрированной системы ППР.

Интеллектуальные пакеты прикладных программ позволяют конечному пользователю решать на ЭВМ задачи, давая их содержательное описание и определяя значения исходных данных без программирования процесса решения задачи.

В качестве ИППП для решения задач по обеспечению качества топлива использована система TK Solver, которая позволяет: описывать в интерактивном режиме сложные вычислительные модели на входном языке системы; накапливать описания в библиотеке моделей (БЗ системы); конструировать с использованием библиотечных моделей другие описания задач; автоматически генерировать и выполнять программы решения этих задач. В пакете TK Solver математическую модель предметной области строят в виде функциональной семантической сети. Такая модель и заложенные в систему методы работы с ней позволяют конечному пользователю на доступном ему входном языке решать задачи по их описаниям и значениям исходных данных. Рабочая программа автоматически синтезируется планировщиком из набора программных модулей.

Вывод. Для выработки решений на обеспечение требуемого уровня качества топлива предложено использовать метод ППР на основе искусственного интеллекта. Разработанная для этих целей интегрированная система ППР, включающая экспертную систему на основе инструментальной среды программирования, комплексированная с решателем вычислительных задач, позволяет повысить оперативность и обоснованность принимаемых решений на

основе автоматизованого багатоваріантного аналізу стану палива, способів його перекладу в нове стану. Представлений підхід може бути рекомендований для використання для розробки мастильних матеріалів і технічних рідин.

Червінський Т. І., Гураєвська Х. О.,
НУ «Львівська політехніка», Україна

КАРБАМІДНА РЕГЕНЕРАЦІЯ ВІДПРАЦЬОВАНИХ МОТОРНИХ ОЛИВ

Виробництва, пов'язані з нафтопереробкою, є одними з найбільш шкідливих для навколишнього середовища. Встановлено, що відпрацьовані оливи складають не менше 50% загальних забруднень нафтопродуктами. У зв'язку з тим, що значна частина відпрацьованих олив (ВО) потрапляє у довкілля, саме екологічні інтереси в регенерації та переробці відпрацьованих олив передбачаються в першу чергу.

Як відомо, нафтопродукти підлягають повільному біорозкладу, а ВО особливо стійкі до нього. Зокрема, ВО за нормальних умов повільно випаровуються, а високі адгезійні властивості сприяють затриманню їх у ґрунті. Внаслідок виливання у водойми ВО, утворюється нафтова плівка, яка перешкоджає контакту води із повітрям, значна її частина опускається на дно, утворюючи осади, які згубно діють на флору та фауну. У ВО ідентифіковано більше 140 видів концентрованих поліциклічних вуглеводнів, які утворюються внаслідок згоряння оливи, а також потрапляють туди із палива. Кількість цих канцерогенних сполук збільшується у міру експлуатації оливи.

У США вважають, що кваліфікована заміна оливи зменшує потрапляння її у довкілля, однак частина некваліфікованого обслуговування складає 10–15%. Для України проблема кваліфікованої заміни оливи є ще гострішою та на теперішній час відсутні дані про кількість утилізації ВО. Аналітичні експерти припускають, що утилізується не більше 20% ВО.

За умови правильної організації процесу регенерації, вартість регенованої оливи на 40–70% менша вартості свіжої оливи, отриманої з нафтової сировини. Кількість використання регенованої оливи в нашій країні безперервно зростає. Відповідно, для того щоб використовувати оливу, необхідно забезпечити виконання спеціальних вимог до неї та забезпечити повторне досягнення необхідних меж показників її якості. Таким чином, добре відлагоджений механізм рециклінгу зумовлює повернення оливи після регенерації у виробництво або сектор споживання у вигляді продуктів або вторинних напівпродуктів, що ліквідує екологічну загрозу, створювану внаслідок потрапляння ВО в навколишнє середовище та забезпечує реальну економію ресурсів.

У роботі вивчено можливість відновлення експлуатаційних властивостей відпрацьованих нафтових оливи у присутності сечовини. Вивчено вплив природи ВО, кількості сечовини й тривалості процесу на значення кислотного й лужного чисел, кінематичної в'язкості та індексу в'язкості. Показано, що за 140°C протягом 80 хв у присутності 5 % мас. сечовини досягається найменше значення

кислотного й лужного чисел. Встановлено, що в процесі хімічної регенерації у взаємодії з кислими продуктами старіння ВО приймають участь продукти термічного розкладу сечовини.

Запропонований метод хімічної регенерації ВО у присутності сечовини може бути використаний як самостійний процес, або проміжною ланкою технологічного циклу відновлення експлуатаційних властивостей відпрацьованих олив.

Червінський Т. І., Корчак Б. О.,
НУ «Львівська політехніка», Україна

ОКСИДАЦІЙНЕ ВІДНОВЛЕННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВІДПРАЦЬОВАНИХ НАФТОВИХ ОЛИВ

Відпрацьовані нафтові оливи (ВНО) є токсичними речовинами, мають низький ступінь біорозкладу (10–30%). Вони здатні накопичуватись у довкіллі та, рано чи пізно, можуть сприяти зрушенню екологічної рівноваги. Тому, відповідними рішеннями світової спільноти, відпрацьовані нафтопродукти віднесені до категорії небезпечних відходів. Згідно з прийнятими рішеннями вони підлягають обов'язковому збору та утилізації, а в окремих випадках – знищенню. Найбільш ефективним способом їх утилізації є регенерація – вторинне перероблення відпрацьованих олив з метою повного відновлення їх первинних техніко-експлуатаційних властивостей.

Актуальність питання регенерації ВМО полягає ще й в тому, що забезпеченість України своєю нафтою складає близько 8% та 90% паливно-мастильних матеріалів отримують тільки з нафти. Водночас відомо, що з 1 т нафти отримують близько 250 кг олив, а з 1 т відпрацьованих нафтових олив можна отримати 700–850 кг регенованого продукту. В Україні контроль за ВНО останніми роками ніким не здійснювався. Це призвело до того, що значною частиною ВНО сьогодні забруднюється довкілля, або ж їх використовують як товар тіншового сектору економіки.

Для відновлення експлуатаційних властивостей ВНО застосовують різноманітні технологічні операції, засновані на фізичних, хімічних і фізико-хімічних процесах та полягають в обробці ВНО з метою видалення з них продуктів старіння й забруднення. На сьогодні найбільш поширеним методом регенерації ВМО у світовій практиці є очищення із використанням концентрованої сульфатної кислоти. За цим методом отримують регеновані моторні оливи, але має місце утворення кислих залишків, що породжує нову проблему щодо їх утилізації.

У роботі вивчена можливість відновлення техніко-експлуатаційних властивостей відпрацьованих моторних олив, оксидативним методом. У процесі досліджень було вивчено вплив температури, тиску, витрати оксиданту й тривалості процесу на експлуатаційні властивості регенованої моторної оливи.

За встановлених оптимальних умов отримано регеновану нафтову оливу, що, після контактного доочищення, за своїми техніко-експлуатаційними властивостями може слугувати компонентом базових олив при одержання

товарних мастильних матеріалів, або як змащувальне середовище окремих технологічних процесів.

Діденко Н. О.,
Вінницький національний медичний університет, Україна
Ранський А. П., Гордієнко О. А., Євсєєва М. В.,
Вінницький національний технічний університет, Україна

ПОЛІФУНКЦІОНАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ТІОАМІДНИХ КОМПЛЕКСІВ У СКЛАДІ ІНДУСТРІАЛЬНИХ ОЛИВ

Раніше нами були проведені комплексні дослідження протизношувальних, антифрикційних, антикорозійних і антиокислювальних властивостей комплексних сполук деяких 3d-металів (переважно купруму (II), ніколу (II), кобальту (II) та цинку) на основі ароматичних та гетероциклічних лігандів. Для кращого розчинення зазначених координаційних сполук в базових індустриальних оливах до складу мастильних композицій додавали органічні розчинники (ДМФА, ДМСО та інші) з високим значенням діелектричної проникності. При цьому для більш економічного отримання комплексних сполук складу ML , $M(HL)X_2$, $M(HL)_2X_2$, $[M(HL)X_2]_2$ був досліджений їх прямиий синтез з використанням металевих порошоків кобальту та міді за деякими із наведених схем:

	(1)
	(2)

Склад та будову синтезованих сполук досліджували, відповідно, елементним аналізом та спектральними методами (ІЧ- та електронна спектроскопія, РСА).

Дослідження протизношувальних та антифрикційних властивостей синтезованих сполук проводили з використанням машини тертя, аналогічний СМЦ-2 з парою тертя "колодка – ролик" з швидкістю 1,5 м/с та шляхом тертя $5 \cdot 10^3$ м. Матеріал ролика – сталь 40Х, колодки – бронза БрАЖ 9-4. Коефіцієнт взаємного перекриття складав 0,13. Початкова шорсткість 0,30–0,62 мкм для сталюого зразка та 0,62–0,80 мкм – для бронзового. При проведених дослідженнях зношення фіксували ваговим методом на аналітичних вагах 2 класу точності типу ВЛА-200. Температуру в зоні тертя вимірювали хромель-копелевою термопарою, а силу тертя – за допомогою тензобалки.

Антикорозійні властивості синтезованих сполук досліджували з використанням водних розчинів сульфатної та хлоридної кислот заданої концентрації на зразках сталі Ст. 3 ваговим методом. Поверхню контрольних зразків (без інгібіторів корозії) та дослідних зразків (з інгібіторами корозії)

досліджували методом електронної мікроскопії і мікрорентгеноспектрального аналізу (растровий електронний мікроскоп-мікроаналізатор РЕММА-102-02).

Отримані результати дають підстави констатувати, що використання синтезованих координаційних тіоамідних сполук купруму (II) та кобальту (II, III) в кількості 0,05–3,0 % мас. надає індустріальній оливі комплекс поліфункціональних властивостей, зазначених вище.

Чернобасва Н. А.,

Національний авіаційний університет, Україна

КОНЦЕПЦІЯ СТВОРЕННЯ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ ТА МОНІТОРИНГУ ВТРАТ БЕНЗИНІВ ВНАСЛІДОК ВИПАРОВУВАННЯ З РГС

Запобігання втратам нафтопродуктів – один з найважливіших способів економії паливно-енергетичних ресурсів. Усуненням втрат на різних стадіях перероблення нафти та доставки кінцевих продуктів до споживачів можна отримати до 20% економії ресурсів. Підвищення ефективності використання резервуарних парків нафтобаз потребує обліку та прогнозування втрат. Особливу увагу потрібно приділити резервуарам горизонтальним сталевим через їх широке розповсюдження та невеликий об'єм (від 3 до 200 м³). Це може бути досягнуто вдосконаленням методів аналізу та управління технологічними параметрами нафтобаз. Тому розроблення сучасних моделей та алгоритмів на основі перспективних методів моніторингу та управління технологічними процесами є актуальним науково-прикладним завданням.

Для досягнення поставленої мети мають бути вирішені наступні завдання:

- всебічне вивчення проблеми втрат бензинів з РГС;
- оцінка РГС як джерела забруднення навколишнього середовища;
- визначення факторів, що впливають на величину втрат легких вуглеводнів з бензинів в РГС;
- розроблення методики оцінки та прогнозування величини втрат у залежності від значущих факторів;
- розроблення методу та алгоритму прогнозування втрат бензинів під час виконання технологічних операцій;
- розроблення інструментальних засобів, що будуть реалізовувати методику та алгоритм прогнозування втрат.

Насьогодні резервуари обладнують датчиками температури, тиску, автоматичними рівнемірами, датчиками густини та інше. Це надає можливість безперервно контролювати параметри нафтопродукту. Але ці засоби автоматизації використовуються для реєстрації параметрів виконання операцій відпуску або приймання нафтопродукту. Дані про стан нафтопродукту, що збираються цими датчиками, можуть накопичуватися системою та використовуватися для прогнозування величини втрат. Також це дозволить визначити найбільш значущі фактори та взаємозв'язки між ними.

Як відомо, величина втрат бензину від випаровування залежить від дії багатьох факторів. Можна виділити чотири основні групи факторів, що суттєво впливають на випаровування легких вуглеводнів під час протікання технологічних процесів:

- економічні;
- екологічні;
- технічні;
- технологічні.

На даному етапі розвитку науки та техніки висновок про раціональність та доцільність використання засобів запобігання втратам, методів прогнозування втрат, їх моніторингу, буде прийматися саме спираючись на результати аналізу економічних факторів. У випадку негативного економічного ефекту малоімовірно, що буде прийняте рішення про використання засобів зменшення втрат, тощо. З цього випливає, що одними з основних аспектів, що потрібно розглядати, є ефективність та собівартість. Наприклад, навіть при високій ефективності адсорбційні системи уловлювання легких фракцій не знаходять розповсюдженого використання через високу собівартість.

Велику роль відіграють технічні фактори. Питома величина втрат від «великих дихань» збільшується разом із зменшенням вмісту резервуару. Питомі середні втрати складають 1,42 кг/м³ у середній кліматичній зоні. Ці дані можуть різнитися у залежності від марки досліджуваного бензину, умов зберігання та кліматичної зони, де проводилися дослідження. Також велику роль відіграє технічна справність елементів обладнання.

Технологічними вважаються ті фактори, що впливають на роботу резервуару або є характеристиками нафтопродукту (у нашому випадку – бензину).

До екологічних факторів, які впливають мають вплив на величину втрат від випаровування, потрібно виділити гранично допустиму концентрацію легких вуглеводнів у місці розташування резервуару. Насьогодні, в Україні немає норм викидів забруднюючих речовин у атмосферу на об'єктах нафтопродукто забезпечення, а, саме тому, недооцінено шкідливий вплив цих втрат на навколишнє середовище. Особливістю цього виду забруднення є те, що викиди сконцентровано на висоті 2–3 м над землею – це є робоча зона, тобто фактично має місце прямий негативний вплив на здоров'я персоналу нафтобаз. Також ситуація загострюється тим, що кількість об'єктів, що займаються розповсюдженням бензину має постійну тенденцію до зростання. Станом на сьогодні в країні функціонує понад 8000 АЗС і ця кількість постійно зростає. Ситуація загострюється тим, що обладнання на цих об'єктах, у більшості випадків застріле, а самі АЗС не обладнані ніякими засобами зменшення втрат.

Результати досліджень по цій темі мають дати логічно закінчену методику прогнозування та скорочення втрат легких вуглеводнів на основі аналізу взаємозв'язку факторів, що діють на систему. Основою для цього може стати експлуатаційна інформація, що може збиратися засобами автоматизації. Це є найбільш прийнятним варіантом через те, що виконання планованого експерименту в умовах нафтобази або АЗС неможливе через особливості їх функціонування.

Практична реалізація цих досліджень дозволить розробити нові заходи з оцінки промислової та екологічної безпеки горизонтальних резервуарів. Це, в

свою чергу, дать можливість розробити та встановити в нашій країні норми викидів легких вуглеводнів у повітря, що у подальшому спонукатиме до модернізації діючого обладнання та встановлення технологічних засобів зменшення втрат.

Цыганков С. П., Новак А. Г.,
Институт пищевой биотехнологии и геномики НАН Украины,
Ландарь И. А., Криволапов А. Н.,
ООО «Корон-Агро», Украина

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ САМООБЕСПЕЧЕНИЕ ЗАВОДА ПО ПРОИЗВОДСТВУ БИОЭТАНОЛА

Производство альтернативных топливных компонентов для транспортного сектора Украины является одной из наиболее актуальных задач. Страна подготовлена к созданию индустрии топливного этанола, или, как его называют – биоэтанол. Помимо наметившейся реконструкции под производство биоэтанола ряда старых спиртовых заводов, в Черкасской области строится современный биоэтанольный завод годовой производительностью 105 тыс. тонн. Суточная переработка сырья (зерна кукурузы) на нем достигает 1000 тонн при работе 350 суток в году. На этом заводе будет использоваться классическая технология «сухого помола» с переработкой барды в кормовой продукт – DDGS (Distillers Dried Grains with Solubles).

Собственное потребление энергоносителей этим предприятием включает природный газ для производства 40 т технологического пара, и еще 1700 нм³/час природного газа, который используется для концентрирования и сушки DDGS. Таким образом, потребление тепловой энергии составляет ГДж на производство 1 т собственно биоэтанола плюс 4,5 ГДж на производство тонны DDGS. Часовое потребление тепловой энергии – 160 ГДж (мощность 44 МВт).

Постоянное повышение цен на природный газ может привести к тому, что в структуре себестоимости продукции затраты на энергообеспечение достигнут уровня, который сделает производство биоэтанола нерентабельным. В связи с этим рассматриваются возможности использования барды в качестве источника энергии для хотя бы частичного покрытия потребностей предприятия.

Принимая во внимание, что в состав **БВС8** входят все вещества кукурузного зерна, кроме ферментированного в этанол крахмала, его сжигание в твердопливных котлах для получения технологического пара представляется оправданным.

Вторая рассматриваемая возможность – использование барды для биологической конверсии в биогаз, и хотя бы частичная замена последним потребляемого предприятием природного газа.

Рассмотрим первую концепцию – прямое сжигание БВС8. Его элементный состав и теплотворная способность зависит от используемого сырья. Учитывая, что в час производится 12,7 тонн этого продукта с теплотворной способностью 18 МДж/кг, его сжигание даст 228 ГДж/час теплоты, что в 1,4 раза превышает часовое потребление предприятия. **БВС8** можно не сушить до 7–10%-й влажности, а сжигать продукт с влажностью до 45%.

Использование ЭООЗ в качестве топлива имеет ряд особенностей. Главные из них следующие:

- высокий выход золы – в 5 раз больше, чем при сжигании древесины;
- низкая температура плавления золы;
- высокая эмиссия NO*;
- высокая эмиссия хлоридов и соединений серы;
- инкрустация внутренних поверхностей котлов стеклоподобными отложениями.

Необходимо оборудование для борьбы с выбросами оксидов азота и серы, защиты котлов от коррозии соединениями серы и хлора, применения охлаждаемых водой колосников, специальных фильтров для снижения выбросов дыма и запахов. В сжигаемый продукт приходится вводить известь для повышения температуры плавления золы. Поэтому для сжигания DDGS потребуется установить на предприятии специальные котлы, принципиально отличающиеся от котлов на природном газе.

На мировом рынке имеются отвечающие перечисленным требованиям твердотопливные котлы, пригодные для сжигания биомассы, в том числе и DDGS. Но их мощность не превышает 1–3 МВт, и они используются на небольших спиртовых заводах.

Последнее достижение в этой области – котлы со сжиганием топлива в кипящем слое (Bubbling Fluidized Bed Boilers – BFBB), мощность которых соответствует теплотреблению крупных биоэтанольных заводов – 25 МВт и более. Такие котлы позволяют использовать при пуске завода альтернативное топливо – древесные и соломенные гранулы, а при эксплуатации – частично заменять ими DDGS.

Вторая концепция – получение биогаза из барды. Как известно, образующегося при ее метановой ферментации количества биогаза хватит, чтобы покрыть только 60–80% теплотребления предприятия. И это только гипотетически, если биогазовая установка будет работать 350 суток в году. На практике, в период пуска установки и в холодное время года биогаз недоступен. В это время барда в количестве около 130 м³ в час должна подаваться в промежуточный накопитель. Осадок из биогазовых реакторов (метантенков) должен подвергаться сгущению (центрифугированию) и размещаться в другом промежуточном накопителе, из которого его будут в соответствующее время года вносить на поля.

Грязная вода из метантенков в количестве 100–120 м³ в час с содержанием около 2% сухих веществ должна подвергаться очистке до норм сброса в открытые водоемы или до требований возврата в производство.

Для завода мощностью 105 тыс. тонн биоэтанола в год с утилизацией зерновой барды путем метановой ферментации потребуется:

- объём ферментаторов (метантенков) – 70 тыс. м³;
- ёмкости для промежуточного хранения барды и осадка (80 сут) – 250 тыс. м³;
- логистика для внесения удобрений (осадка метантенков) на площадь ~ 45 тыс. га ежегодно;
- сооружения (установки) для очистки сточной воды после метановой ферментации с содержанием загрязнений 20 г/л – 1000 тыс. м в год.

Под размещение промежуточных хранилищ, метантенков, сооружений для очистки воды, транспортных терминалов под вывоз осадка потребуется около 25 га площадей.

Биогаз будет доступен для обеспечения котельной только в течение 270 дней в году (теплый период), а в оставшийся период работы предприятие должно потреблять природный газ.

Если тратить энергию для поддержания метанового брожения зимой, то тепловой баланс предприятия, капитальные и эксплуатационные затраты будут далеко не в пользу метановой ферментации.

Можно рассматривать вариант использования для выработки биогаза только осветленной барды (**DS** – Distillers Solubles), сгущенной только до 12–14% сухих веществ (**CDS** – Condensed Distillers Solubles). В этом случае образовавшегося биогаза хватит, во-первых, на сгущение осветленной барды, во-вторых – на получение высушенного осадка барды **DDG** (Distillers Dried Grains). При этом потребуется:

- объём ферментаторов (метантенков) – ~ 10 тыс. м³;
- ёмкости для промежуточного хранения барды и осадка (80 сут) – 150 тыс. м³;
- логистика для внесения удобрений (осадка метантенков) на площадь ~ 25 тыс. га ежегодно;
- сооружения для очистки сточной воды после метановой ферментации с содержанием загрязнений 20 г/л – ~ 600 тыс. м³ в год.

Потребуется также оборудование для очистки биогаза от CO₂ и приведения его к нормам, допускающим сжигание в промышленных паровых котлах.

Таким образом, для завода биоэтанола, перерабатывающего зерно по схеме сухого помола, рациональным решением самообеспечения энергией является прямое сжигание отходов биомассы, а не конверсия её в биогаз. Сжигание концентрированной барды с влажностью не более 45% позволяет с избытком покрыть потребность предприятия в тепловой энергии. Для сжигания барды с получением технологического пара необходимо установить специальное котельное оборудование, позволяющее предотвратить чрезмерную эмиссию вредных выбросов.

Гайдай О. О., Кирпач К. О., Пилявський В. С., Полункін Є. В.,
Інститут біоорганічної хімії та нафтохімії НАН України

ВПЛИВ ВУГЛЕЦЕВИХ НАНОКЛАСТЕРІВ НА ЕКСПЛУАТАЦІЙНІ ВЛАСТИВОСТІ БІОЕТАНОЛЬНИХ ПАЛИВ

У зв'язку з виснаженням світових запасів нафти все гостріше стають питання щодо створення альтернативних видів моторного палива. Найбільш вагомим компонентом для створення таких палив є етанол. Швидке відтворення рослинної сировини, з якої отримують етанол, робить його перспективним сировинним джерелом для виробництва етанолвмісного моторного палива.

Якщо розглядати біоетанол з позиції вимог, що висуваються до автомобільного палива, то можна констатувати його придатність для цього, зокрема етиловий спирт є легколетючою рідиною, однорідний, має постійну

температуру кипіння, має високу антидетонаційну стійкість і досить високу теплотворну здатність. При цьому, етиловий спирт екологічно чистий, забезпечує повноту згорання і при горінні не утворює токсичних продуктів.

Для застосування композиційних палив в автотранспорті необхідне попереднє дослідження їх експлуатаційних властивостей. Окрім того, необхідні ефективні присадки, які знижують агресивний вплив кисневмісних сполук на конструкційні матеріали, неметалеві з'єднання та окремі елементи паливної системи, що підвищують фізико-хімічну стабільність палив з високим вмістом етанолу.

Відоме застосування екзополімерних фулеренів в якості присадок до паливно-мастильних матеріалів. Встановлено, що ці нанорозмірні об'єкти при введенні їх до палив і мастильних матеріалів проявляють антиокиснювальну дію, знижують коефіцієнт тертя, зменшують зношування і збільшують антизадирині властивості фрикційних вузлів. Однак, висока вартість фулеренів на сьогоднішній день не дозволяє говорити про економічну доцільність використання даних речовин як присадок до паливно-мастильних матеріалів (ПММ). За результатами попередніх досліджень було встановлено, що аналогічні властивості мають також багаточасткові вуглецеві кластери сферичної структури – оніони, одержання яких відпрацьовано в Україні.

Оніони складаються з багаточасткових частково замкнених графенових пластів мушлеподібної форми, на поверхні яких знаходяться замісники різної хімічної будови, у складі яких присутні гетероатоми, галогени та гетероциклічні основи. Нами була створена присадка до ПММ, що є сольватозолем, де у розчиннику дисперговані екзомодифіковані карбонові нанорозмірні сферичні кластери CNOs. Як розчинники застосовуються рідкі алкани нормальної та розгалуженої будови, циклічні вуглеводні, рідкі ароматичні вуглеводні, спирти, етери, естери, аліфатичні та ароматичні кетони, рідкі гетероциклічні сполуки, рідкі аліфатичні та ароматичні аміни, а також їх суміші.

Проведені раніше дослідження по створенню біоетанольних моторних палив з вмістом біоетанолу від 6 до 85% об. на базі вітчизняної сировини дали нам змогу визначити наступні недоліки при використанні етанолу як добавки до палива:

- збільшення корозійної агресивності таких біоетанольних палив;
- низький тиск насиченої пари палива, що створює труднощі при запуску двигуну в холодну пору року;
- незадовільні трибологічні характеристики палив.

З урахуванням цих недоліків біоетанольних палив нами було досліджено вплив нанорозмірних сферичних кластерів (оніонів) CNOs на експлуатаційні властивості цих палив.

Дослідження корозійної агресивності біопалив

Для проведення випробувань на корозійну активність біопалив було приготовлено 3 зразки палив: 1 – біопаливо Е-85 – базова рецептура; 2 – біопаливо Е-85П з додаванням присадки з вмістом екзомодифікованих карбонових нанорозмірних сферичних кластерів CNOs; 3 – ізооктан – зразок порівняння (еталонне паливо).

Для оцінки корозійного впливу біопалива Е-85 був використаний метод випробування на мідній пластинці згідно ГОСТ 6321 (ІСО 2160-85). Суть методу полягає у витримванні мідної пластинки у випробуваному паливі при підвищеній

температурі і фіксуванні зміни її зовнішнього вигляду, що характеризує корозійний вплив палива. Оцінку результатів випробування проводять візуально залежно від ступеня пошкодження мідної пластинки (рис. 1).

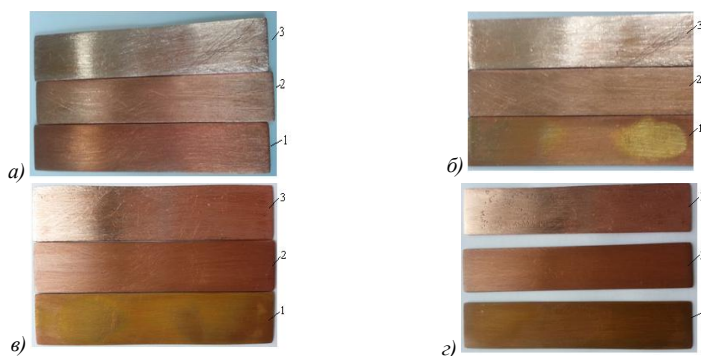


Рис. 1. Результати випробувань палив на корозійну агресивність: а) через 3 год; б) через 1 добу; в) через 2 доби; з) через 3 доби

Як видно з рис. 1, а мідна пластинка, що перебувала в біопаливі Е-85 (1) стала темно помаранчевого кольору з червонуватим відтінком у порівнянні з мідною пластинкою, що знаходилася в ізооктані (3). Ступінь корозії – 2. Мідна пластинка, що перебувала в біопаливі Е-85П (2) набула світло-оранжевого кольору, майже такого самого, що і свіжо відшліфована пластинка. Ступінь корозії – 1.

Для одержання більш значимих результатів нами були продовжені випробування вказаних палив на корозійну агресивність протягом трьох днів. Як видно з рис. 1 вже через 1 добу мідна пластинка, що знаходилася в біопаливі Е-85 (1) набула нерівномірного забарвлення темно-жовтого, червоного, коричневого відтінків; чітко видно плями золотистого кольору.

На третю добу випробування біопалив для Е-85 (1) явно виражене іржавіння всієї поверхні мідної пластинки. Пластинка набула латунно-жовтого кольору; характерне сильне потьмяніння; ступінь корозії – 3. Для біопалива Е-85П (2) мідна пластинка рівномірно темно-оранжевого кольору; характерне незначне потьмяніння; ступінь корозії – 1.

Таким чином, можна зробити висновок, що екзомодифіковані карбонові нанорозмірні сферичні кластери CNOs досить гарно сповільнюють корозію мідної пластин і не потребують додаткового введення до складу біопалива речовин – інгібіторів корозії.

Дослідження зміни тиску насиченої пари біопалив у присутності CNOs. Низький тиск насиченої пари та висока теплота випаровування етанолу роблять практично неможливим запуск двигунів на етанолі вже за температури нижче 10°C. Для покращення пускових якостей в спирти додають легкі вуглеводні, діетиловий або диметиловий етер, що забезпечує нормальний запуск двигуну при температурах навколишнього повітря до мінус 25°C.

Для точного визначення впливу вуглецевих нанокластерів на значення тиску насичених парів біопалива було вирішено взяти в якості базового палива Е-85 на

основі етилового спирту та товарного автомобільного бензину А-95 без будь-яких інших домішок.

Нами було встановлено, що при додаванні нанорозмірних кластерів CNOs спостерігається суттєве збільшення значення тиску насичених парів палива в часі. Це значення майже подвоюється і залишається стабільним протягом 6 місяців. Дане явище можна пояснити лише наявністю великих супрамолекулярних структур, що утворюються за рахунок міжмолекулярної взаємодії між центральною нанорозмірною (\varnothing 7–22 нм) частинкою CNOs та молекулами рідких компонентів палива. Зокрема, утворення водневих зв'язків між молекулами етанолу та CNOs призводить до створення доменів розміром \approx 400 нм. Ці домени складаються з наночастки розміром \approx 20 нм та $16 \cdot 10^9$ молекул етанолу, що підтверджено даними фотонної кореляційної спектроскопії на приладі «Malvern Zetasizer-3».

Підтвердженням цього є також результати газохроматографічного аналізу газової фази палива. При додаванні до складу палива нановуглецевих кластерів CNOs спостерігається суттєве зниження концентрації етанолу в газовій фазі та збільшення концентрації компонентів, не здатних до утворення водневих зв'язків, наприклад, пентану.

Дослідження трибологічних характеристик біопалив. Відомо, що довговічність і надійність машин і механізмів в значній мірі залежать від протизносних і антифрикційних властивостей ПММ. Експериментально доведено, що їх експлуатаційні властивості в часі, як у реальних вузлах тертя, так і на модельних зразках в лабораторній установці тертя, залежать від властивостей вторинних структур, що утворюються в процесі тертя на їх робочих поверхнях, і від властивостей ПММ, що також змінюються в часі, внаслідок їх взаємодії з поверхнями тертя.

У літературі відсутні дані щодо впливу різних нановуглецевих присадок на мастильні властивості моторних палив. Це обумовлено поганою розчинністю нанорозмірних частинок в малов'язких рідинах.

Нами були синтезовані і відібрані наноприсадки з підвищеною розчинністю у вуглеводневому паливі та перспективному моторному паливі на основі етанолу.

Випробування впливу синтезованих наноприсадок на протизадирні властивості моторних палив проводили за методикою ASTM D2783 на чотирьохкульковій машині тертя за показником критичного навантаження. Цей показник являє собою максимальне значення осьового навантаження, до якого не виникає металевого контакту і задирів при терті ковзання стандартизованих металевих кульок зі сталі ШХ15 (мікротвердість 64–66 HRC, параметр жорсткості $R_a < 0,25$ мкм).

Умови випробувань – частота обертання верхнього навантаженого кульки відносно трьох нерухомих нижніх кульок дорівнює 1500 хв^{-1} , час випробувань при кожному навантаженні – 10 с. Результати випробувань протизадирних властивостей вуглецевих наноприсадок наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Вплив модифікованих присадок на несучу здатність різних середовищ

№	Дисперсійне середовище	Несуча здатність середовища без присадки $P_{к, Н}$	Несуча здатність середовища з присадкою $P_{к, Н}$	Коефіцієнт збільшення несучої здатності
1	Етанол	50	120	2,4
2	Е-85	80	100	1,25
3	Бензиловий спирт	320	320	1
4	Хлорбензол	650	750	1,15

Для дослідження протизносних властивостей було проведено визначення ступеня зношування пар тертя зануреного паливного насосу на трьох типах палива:

I – бензин високоякісний очищений нафтовий Аі-95;

II – біопаливо Е-85 (базова рецептура);

III – біопаливо Е-85П з додаванням нанорозмірних сферичних кластерів CNOs.

Оцінку швидкості зношуваності занурених паливних насосів проводили за такої характеристики насосів, як динаміка зміни робочого тиску на виході паливного насоса залежно від часу випробувань. Випробування паливного насосу проводили протягом 80 год. Після відпрацювання установкою терміну в 80 год було проведено демонтаж електричного паливного насосу для перевірки зносу поверхонь тертя. Ґрунтуючись на отриманих даних про динаміку зміни робочого тиску на виході паливного насоса залежно від часу випробувань можна стверджувати, що з паливом III паливний насос марки WEBER FP 464-038 зношується менше ніж насос WEBER FP 464-038 з високоякісним очищеним нафтовим бензином I.

Подальші випробування палив на протизносні та антифрикційні властивості були проведені за методом НАУ «Визначення протизносних та антифрикційних властивостей на приборі тертя АСК-01» (випробування проводились в лабораторії нанотриботехнології НАУ). Суть методу полягає в оцінці якості проб дослідних зразків ПММ за їх протизносними і антифрикційними властивостями на інформаційно-вимірювальному комплексі НАУ-01, в умовах тертя максимально наближених до реальних умов роботи механізму і конкретного трибовузла.

Для визначення характеру зношування бронзової втулки підшипників ковзання вищевказаних паливних насосів були проведені дослідження на растровому електронному мікроскопі РЕМ-106И.

Порівнюючи характер зношування бронзової втулки на трьох видах палива, можна сказати, що до найбільшому зношування схильна втулка підшипника ковзання, що працює на біопаливі Е-85 без додавання присадок. При порівнянні ступеня зношування втулок, що працюють на традиційному автомобільному бензині А-95 і біопаливі Е-85П можна сказати, що при роботі на біопаливі спостерігається менше вивив, відсутні порізи, що свідчить про протікання процесів з більш м'яким характером зношування; поверхня втулки більш рівномірна, що, можливо, викликається «залікуванням» пошкоджень поверхні.

Таким чином, введення до складу біоетанольних палив вуглецевих нанокластерів CNOs дозволяє не лише покращити екологічні показники бензину, а й вирішити проблему корозійної агресивності, низької випаровуваності а також незадовільних трибологічних характеристик біопалив.

**Sergii Boichenko,
Kazimierz Lejda,**

Rzeszow University of Technology, Poland

THE PROBLEMS EFFICIENCY OF USE OF FUELS IN INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Today humanity has reached the level, when it possesses huge scientific & technical potential. However it still doesn't manage to use this potential economically and rationally. Processes of fuel use still faces problem of highly effective fuel burning with production of maximum useful energy. Argument for this is the modern state of energy efficiency, and fuel efficiency in particular, efficiency factor of internal combustion engines. Fuel consumption by car engine is determined by its energy efficiency, in other words, quantity of heat produced during combustion of 1 kg of fuel. It was calculated, that today only 12% of energy produced during fuel combustion is used for car movement. Today about 10 ton of fossil fuels per capita is extracted during one year. And only 1% (100 kg) is efficient. All the rest pollute atmosphere, soils and water bodies. Efficiency of fuel use can be shown as energy balance of a car (table 1).

Table 1

Energy balance of a car	
Energy of combusted fuel (100%)	
12%	88%
2,4% – rolling resistance	42% – cooling system
3,2% – air resistance	22% – exhaust gases
6,4% – inertial forces	13% – friction in engine
	9% – friction in transmission
	2% – engine accessory drive

Today efficiency factor of modern gasoline engines is about 35–36%, diesel engines – 42–44%, gas engines – 38–45% (table 2).

Table 2

Efficiency factor of some engines

Wat heat engine	~ 2,8%
Internal combustion engine	~ 20–40%
Steam turbine	~ 35–46%
Diesel engine	~ 44%
Jet engine	~ 47%

Total efficiency factor of engine is divided into main constituents:

- **fuel efficiency.** It shows what quantity of fuel that was efficiently burned in engine and was turned into the volume of power gas of high temperature and pressure, and what part of fuel was not burned and was emitted as unburned hydrocarbons, carbonized particles (soot, smoke, fly ash, etc). Nowadays only 75% of fuel is completely burned and transformed into heat in existing engines. Two-stroke engines provide even less amount of completely burned fuel;

- **thermal efficiency factor.** It shows what amount of heat, produced after fuel burning is transformed into useful work and what amount is uselessly wasted in environment. Let us consider that piston engine has 30% efficiency factor on average. Then 70% of produced heat is emitted uselessly into environment through cooling system and together with exhaust gases;

- **mechanical efficiency factor.** It shows what quantity of mechanical work is transformed into torque force at the main axle and transmitted to the consumer, and what amount is uselessly wasted for friction or used for other driving supplementary mechanisms of the engine (fig. 1).

The above arguments suggest that mankind has a significant amount of energy from the point of view of the opportunities and the need to improve the technical means, when the source of energy is products of oil refining.

The current state of natural resources and the environment causes change of point of view on the future economic development and technological progress and evaluate it considering environmental priorities, environmental risks and state of environmental safety. Rapid industrialization and urbanization together with quick development of transport infrastructure, strengthening of other impacts on environment have disturbed the life cycle of substances, natural metabolic energy processes and regeneration mechanisms in the biosphere. As a result progressive destruction has begun. Air, water and soil are polluted, landscape and biological diversity are depleted; these facts cause negative effect on living organisms and humans.

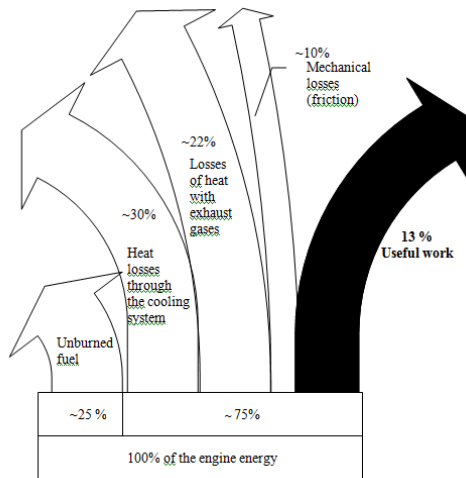


Fig. 1. Energy balance of internal combustion engine

In order to eliminate this danger, existing environmental management practices should be revised, production and economic activities and environmental systems should be radically restructured, taking into account social and economic needs of society and the biosphere opportunities.

According to the forecasts of the World Energy Council, energy consumption will raise on 55% till 2020. According to the data of Organization of the Petroleum Exporting Countries, oil takes more than one third in word balance (table 3).

Despite the fact that in the future share of crude oil in total primary energy consumption will be reduced in absolute terms, oil consumption (as well as other energy sources) will only increase. Being an exhaustible and non-renewable natural resource, crude oil requires its rational use. Even Mendeleev paid attention to the rational use of raw materials: «Oil is not a fuel, you can heat by assignats».

Growth in use of natural resources, their depletion and degradation necessitated development and implementation of strategies and tactics for sustainable environmental management and continuous monitoring of changes in the natural and anthropogenic processes for the integrated management of natural resources and environment.

There are no alternatives to environmental management, which is based on considering laws of nature and forming of safe conditions of human life and living organisms. Therefore, humanity has already generated and implemented strategy and tactics of natural resources use, ensuring systematic (integrated) management of natural resources and their rational use, protection from pollution and depletion. It also applies constant monitoring of natural and anthropogenic processes changes in environmental systems.

Table 3

World energy balance
(OPEC forecast, data of World Oil Outlook 2010, p. 48)

Name of energy source	Volume, mln m BOE per day				Part, %			
	2008	2010	2020	2030	2008	2010	2020	2030
Oil	80,9	80,4	89,9	97,6	35,7	35,0	32,7	30,2
Coal	64,8	66,2	80,1	92,1	28,6	28,8	29,2	28,5
Gas	51,4	52,1	64,5	79,1	22,7	22,7	23,5	24,5
Nuclear energy	14,4	14,7	16,9	20,7	6,3	6,4	6,2	6,4
Hydroenergy	5,5	5,8	7,3	9,0	2,4	2,5	2,7	2,8
Biofuel	8,6	9,2	12,9	17,5	3,8	4,0	4,7	5,4
Other renewable energy sources	1,3	1,5	3,2	6,8	0,6	0,7	1,2	2,1
Total:	226,8	229,9	274,8	322,9	100,0	100,0	100,0	100,0

* Per unit of fuel (coal equivalent) accepted the calorific value of 1 kg of coal = 29,3 MJ or 7000 kcal. The International Energy Agency (IEA) has adopted a unit of oil equivalent, usually abbreviated as TOE (born Tonne of oil equivalent). One tonne of oil equivalent is equal to 41.868 GJ or 11.63MW•h
It is also used barrel of oil equivalent (BOE). Ratio: 1 toe = 7,11, 7,33 or 7,4 boe

ВЗАЄМОЗАМІНЮВАНІСТЬ ГАЗІВ ТА ВПЛИВ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГАЗУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ РОБОТИ ГАЗОВИХ ПРИЛАДІВ

Сучасний розвиток світової економіки стимулює ефективне та економне використання природного газу в економіці. Частка енергетичного ресурсу в одиниці продукції в передових країнах світу зменшується, а обладнання, що використовує природний газ стає більш ефективним та споживає природний газ із стабільними значеннями енергетичних показників. Особливо це питання актуальне для споживачів України, які використовують в тому числі в побуті, високоефективне імпортне обладнання. Існуюча система газопостачання, побудована на старих радянських підходах, не гарантує постійності значень показників якості газу. Це приводить до неефективного його використання, особливо при спалюванні на пальниках без регулювання подачі первинного повітря.

З іншої сторони очевидно, що при згоранні на газовому устаткуванні одиниці об'єму природного газу різної калорійності повинна виділятися різна кількість теплоти. Тому розрахунки за спожитий природний газ необхідно проводити не за об'ємними, а за якісними (енергетичними) показниками.

На сьогодні в Україні зроблено перші кроки до переходу на розрахунки за природний газ за вмістом енергії. З 2011 р. набрав чинності ДСТУ ISO 15112, що регламентує методи та порядок визначення енергії при комерційних розрахунках за спожитий газ. Проте реального впровадження зазначеного документу не проводиться, в зв'язку з відсутністю технічної можливості вимірювання фактичного значення теплоти згорання газу безпосередньо у кінцевих споживачів, або забезпечити незмінність її значення протягом звітного періоду.

Представлена робота має на меті розглянути аспекти застосування світових підходів щодо встановлення вимог до показників якості природного газу.

Газові прилади за своєю конструкцією розраховані на використання природного газу з певними характеристиками, що гарантує його ефективне та безпечне споживання. Тому гази вважають взаємозамінюваними, якщо вони забезпечують задовільну роботу газових приладів без необхідності додаткового налаштування. Газ-замінник повинен забезпечувати стабільне горіння з незначною зміною продуктивності для всіх типів пальників. Вимога задовільної роботи пальника полягає в тому, що незважаючи на деякі варіації складу газу, тепло, що підводиться, повинно залишатися постійним, а полум'я – стабільними. Слід зауважити, що стабільність полум'я і повнота згорання є функціями не тільки властивостей газу, але і конструкції пальника.

Найбільш достовірним методом оцінки взаємозамінюваності газів є випробування в лабораторних умовах газових приладів, які використовуються в певному регіоні, на газах-замінниках після початкового налаштування на еталонному газі.

Головним критерієм взаємозамінюваності, що приймають в умовах контрактів учасники європейського газового ринку і важливим засобом (мірою) оцінки ефективності горіння газу, є число Воббе:

$$W = \frac{H}{\sqrt{d}},$$

де H – теплота згорання газу; d – відносна густина газу.

При збільшенні числа Воббе швидкість надходження енергії до пальника зростає до тих пір, доки число Воббе не досягне значення, за якого кисень повітря не встигатиме повністю прореагувати з газом, тобто точки, при якій починається неповне згорання (утворення моно оксиду вуглецю (CO) або сажі).

При зменшенні числа Воббе швидкість надходження енергії до пальника зменшується. Тому, при низьких значеннях числа Воббе, деякі прилади, такі як проточні водонагрівачі, не працюють на номінальній потужності, оскільки кількості підведеного тепла недостатньо, щоб нагріти відповідну кількість води.

Також при низьких значеннях числа Воббе відбувається відрив полум'я.

Присвячується

20 -річчю

**УкрНДНЦ хімітології
і сертифікації ПММ і ТР**

ЗМІСТ

Гришин Н. Н. Химмотологии – 50 лет.....	3
Серёгин Е. П. К юбилею химмотологии.....	11
Бойченко С. В., Аксёнов А. Ф. Определяющая роль химмотологии.....	18
Gómez I., Sanchez-Blanco M. Development of aviation biofuels: lessons learnt from eu itaka project abstract.....	21
María del Mar de la Rica, Velarde C. Inclusion of biofuels and sustainability criteria on the eu regulation: eu fuel quality and renewable energy directives. application on aviation.....	25
Данилов А. М. Российский рынок присадок к топливам.....	28
Любинин И. А. Роль смазки в решении трибологических проблем при эксплуатации оборудования и техники.....	30
Топільницький П. І., Романчук В. В. Проблеми та перспективи нафтогазової промисловості України.....	32
Бутько В. С., Шарипова А. Р. Эксплуатационная устойчивость гидравлического регулятора давления систем питания воздушных судов.....	33
Федина В. П., Зозуля С. В. Оцінка впливу рівня забрудненості мастильних матеріалів на хімотологічну надійність трибосистем.....	37
Федина В. П., Бабкін С. М., Ткаченко В. Г. Можливості відновлення змащувальної здатності відпрацьованих мінеральних мастильних матеріалів і технічних рідин.....	40
Стельмах А. В., Шмаров В. Н., Костюник Р. Е., Шевченко Р. А. Программно-аппаратный комплекс управления и контроля процесса трибологических испытаний.....	43
Шмаров В. Н., Стельмах А. В., Костюник Р. Е., Бондарь В. С. Автоматизированная измерительно-испытательная система исследования компрессионно-вакуумных процессов трения скольжения.....	48
Шмаров В. Н., Стельмах А. В., Кушев А. В., Коба В. П. Универсальный программно-аппаратный комплекс контроля и управления приёмо-сдаточными испытаниями двигателя внутреннего сгорания.....	52
Кушев А. В., Аксёнов А. Ф., Стельмах Д. А., Колесник П. А. ЭГД-задача с учетом динамических процессов в граничных слоях трибосистем.....	57
Стельмах А. У., Бадир К. К., Ибраимов Т. Т., Стельмах Д. А. Сравнительный анализ эластогидродинамической и компрессионно-вакуумной гипотез трения.....	61
Стельмах А. У., Кравченко И. Ф., Колесник П. А., Единович А. Б. Влияние фазового состояния смазки на эффективность трибосистем с ЭГД-контактом.....	66
Стельмах А. У., Ибраимов Т. Т., Коба В. П., Ковальчук Е. Г. Приборы и методики исследования динамических процессов в граничных слоях смазки в трибоконтакте.....	71
Никитин А. Г. Директива ICAO DOC 9977. Авиационная промышленность. причины, вопросы, проблемы.....	73

Кузнєцова О. Я., Нетреба Ж. М., Кліш І. К. Стабільність гідравлічної рідин «гідронікойл» FH-51 під час тривалого використання.....	82
Кузнєцова О. Я. Нормативно-технологічне забезпечення контролю якості гідравлічних рідин у сучасних умовах.....	84
Вдовенко С. В. Методи зниження втрат вуглеводнів під час переробки нафти на НПЗ.....	86
Алієва О. Р., Матвєєва О. Л. Методи очищення нафтовмісних стічних вод.....	87
Трофімов І. Л., Верягіна Л. С. Проблеми зачищення резервуарів.....	90
Черняк Л. М. Втрати автомобільних бензинів від випаровування. Екологічний та економічний аспекти.....	93
Шкільнюк І. О., Фесак Т. О. Проблеми чистоти та мікробіологічного забруднення в сфері авіапаливозабезпечення.....	94
Захматов В. Д., Кряжич О. О. Відповідність моделі управління імпульсними засобами багатопланового захисту системним потребам нафтохімічних підприємств при забезпеченні вибухопожежної безпеки... ..	96
Марчук В. Є., Морозов В. І., Морозова І. В. Магнітні процеси дискретних ділянок трибосистеми в умовах граничного мащення.....	99
Азаренкова А. О., Харченко В. П., Аксьонов О. Ф. Бойченко С. В. Екологічні властивості біоетанольного палива для безпілотної авіації.....	104
Федорів Г. В., Білик Т. І. Екологічно безпечні технології очищення забруднених нафтопродуктами територій.....	107
Четверик Г. О., Карпенко В. І. Температура в реакторі біогазової установки як основний технологічний параметр процесу виробництва біогазу.....	111
Пузік С. О., Гвоздецький А. В. Фактори, що впливають на регенерацію внутрішньої поверхні гравітаційного очисника інерційного типу (ГОІТ)..	117
Готун Е. В., Склярський Д. В., Туз Н. Д. Напорні характеристики авіаційного топливного насоса ЭЦНГР-5А при нестабільних параметрах бортової електричної мережі.....	119
Пашко Т. Є., Красільнікова Н. Л. Дослідження впливу тривалості, температури реакції та природи розчинника на процес естерифікації кислот пальмової олії етиловим спиртом.....	125
Курбатова М. В. Вплив компонентного складу на властивості бентонітових мастил.....	126
Кобиланський Є. В., Кравець К. О., Волошинець В. А., Ішук Ю. Л. Утворення високолузних та надлузних наносистем під час карбонатації.....	130
Велігорська Ю. В., Папейкін О. О., Венгер І. О., Железний Л. В. Структура та властивості високотемпературних олеомастил.....	131
Харченко Н. О., Будзинська І. А., Красільнікова Н. Л., Кочірко Б. Ф., Сахацький І. І., Пшеничка О. В. Питання стандартизації альтернативних рідинних палив.....	133
Білякович О.М., Богайська К.В., Данилейко О.В., Дмитриченко М.Ф., Савчук А. М., Туриця Ю. О. Аналіз якісного стану олів в умовах тривалої експлуатації агрегатів трансмісії спецмашин аеропортів.....	136

Вайганг Г. О., Матейчик В. П., Смешек М., Римарчук К. В. Обґрунтування вибору методів моніторингу забруднення придорожного середовища транспортними потоками	141
Гаврилюк Р. Б., Максимов В. Г. Забруднення геологічного середовища вуглеводневими паливами в результаті діяльності аеропортів (на прикладі аеропорту «Бориспіль»).....	148
Пушак А. П., Пушак В. А.,Топільницький П. І., Романчук В. В. Використання присадок для покращення експлуатаційних властивостей палив на основі зріджених газів.....	152
Zakhmatov V. D.,Sverdin S.S., Sherback N.V. Technology of pulse, large scale pulverization of the sorbets for fast and effective cleaning of oil spill on the water surface of sea, river, lak.....	154
Tertyshnaya O. V., Roienko K. V., Kalinichenko O. O., Snizhko L. O. Estimation of oil mixture components compatibility by oscillator methodology.....	158
Шевченко О. Б., Алексєєв В. С., Каменєва В. М. Вплив низькотемпературного компоненту на властивості сумішевого дизельного палива.....	163
Лещинська А. Л., Безовська М. С., Зеленько Ю. В. Сучасні розробки у сфері утилізації мастильно-охолоджуючих рідин.....	164
Сабан І. І., Гринишин О. Б. Вуглеводневі мастильні рідини для формування скловиробів.....	166
Гринишин О. Б., Абд Ал-Амері М. Ш. Склад, властивості і напрями переробки важких високосірчистих нафт.....	167
Гринишин О. Б., Братичак М. М., Фридер І. В.,Хлібшин Ю. Я., Нагурський А. О. Використання відходів та побічних продуктів нафтопереробки для виробництва бітумів.....	168
Приходько А. В.,Топільницький П. І, Романчук В. В. Покращення експлуатаційних характеристик дизельних палив присадками компанії INFINEUM.....	169
Пиш'єв С. В., Гриценко Ю. Б., Коваль Т. М. Покращення адгезійних властивостей нафтових бітумів.....	170
Чайка О. Г., Топільницький П. І., Чайка І. А., Романчук В. В. Аналіз методів очищення відходів регенерації моторних олив біологічним методом.....	172
Топільницький П. І, Романчук В. В., Застосування присадок для покращення експлуатаційних характеристик дизельних палив.....	174
Топільницький П. І., Романчук В. В.,Бойченко С. В.Пушак А. П., Пушак В. А. Покращення експлуатаційних властивостей палив на основі зріджених газів.....	176
Голич Ю. В., Бойченко С. В., Топільницький П. І., Романчук В. В. Визначення фізико-хімічних властивостей та ефективності деемульгаторів на основі оксидів етилену та пропілену.....	177
Гордієнко О.А. Поліфункціональні властивості тіоамідних комплексів у складі індустріальних олив.....	179
Панченко Т. І. Гетерометалеві координаційні сполуки як добавки до	

індустріальних олиив.....	180
Тітов Т. С., Сидорчук Ю. Ю., Жуйко К. К. Дослідження протизношувальних властивостей дитіокарбаматів металів як продуктів реакційної переробки сіркоуглецю коксохімічних виробництв.....	181
Челядин Л. І. Зменшення сульфурвуглеводнів у дизельній фракції за контактування з вуглеводнемінеральними матеріалами викидів в атмосферу.....	185
Варбанец Р. А., Ивановский В. Г., Александровская Н. И., Кучеренко Ю. Н. Испытания работы дизеля 4Ч17.5/24 с присадкой к маслу «Multi-Tech Conditioner».....	190
Zbikovsky E. Decrease of bed influence on environment after solid fuel processing.....	194
Бумага О. Д., Крахін С. В., Цюман М. П. Фізико-хімічні властивості метановмісних газових палив та їх вплив на паливну економічність та енергетичні показники газового двигуна.....	197
Бабкин В. И., Яновский Л. С., Молоканов А. А., Ежов В. М. Исследование вспениваемости авиационных масел.....	202
Бабкин В. И., Яновский Л. С., Разносчиков В. В., Бырдина А. А., Кондакова В. М. Создание нового поколения масла для маслосистем перспективных авиационных газотурбинных двигателей.....	206
Бабкин В. И., Яновский Л. С., Ежов В. М., Молоканов А. А., Бырдина А. А. Методология формирования новых рецептур авиационных ГСМ.....	209
Бабкин В. И., Яновский Л. С., Варламова Н. И., Разносчиков В. В., Попов И. М., Демская И. А. Оценка эффективности применения гидрата природного газа в составе летательного аппарата.....	215
Křivá E., Baykara S. Z. A new model for charging evs with current fuel infrastructure – self charging electric vehicle configuration fed by stationary outboard fuel.....	219
Jacek Eliaz, Квашнівська Н. М., Балицький О. О., Грищенко С. А., Поліщук Н. М. Тверді шаруваті інтеркальовані воднем мастила на основі селенідів галію та індію.....	225
Gawdzik A., Gawdzik A., Gawdzik J., Gawdzik B., Model of hydrocarbons transport through the porous ground media.....	229
Suyarkov Kyrill, Fuel filling complex low cost.....	234
Rüfer A., Werner A., Reschetilowski W. Quality boosting of diesel fuels by the isomerization of n-paraffins on mesoporous support based catalysts – design of experiments in combination with kinetic modeling.....	241
Бодачівський Ю. С., Білокопитов Ю. В., Поп Г. С., Донець О. Є., Железний Л. В. Олеохімічні поверхнево-активні речовини з поліпшеними властивостями.....	243
Бодачівський Ю. С., Поп Г. С. Синтез сульфурвмісних похідних етилових естерів вищих жирних кислот олій та їх будова.....	248
Гринишин О. Б., Абд Ал-Амері М. Ш. Склад, властивості та способи перероблення важких високосірчистих нафт.....	253
Пашко Т. Є., Аксьонов О.Ф., Кочірко Б. Ф. Естерифікація карбонових.....	254

кислот пальмової олії у реакторі-активаторі.....	
Кириченко В. И., Кириченко В. В. Технологические основы метода гликолиза растительных масел и получение качественных биокomпонентов для современных смазывающих композиций.....	255
Кириченко В. И., Кириченко В. В. Технологические основы метода «двойного эстеролиза» растительных масел с получением качественных биокomпонентов современных композиционных топлив и смазок.....	257
Запорожець О. І., Мовчан Я. І. Вплив виробництва біопалива на біорізманіття.....	260
Ibraheem A., Romanchuk V. Innovative technological scheme of IRAQ OILS refining.....	265
Ибраимов Т. Т., Аксёнов А. Ф., Стельмах Д. А., Компрессионно-вакуумный механизм трения и изнашивания.....	270
Костюник Р. Е., Аксёнов А. Ф., Шевченко Р. А., Радзиевский В. А. Экспериментальное исследование закономерности взаимосвязи агрегатного состояния смазочной среды и скорости скольжения в процессе трения.....	274
Бондарь В. С., Аксёнов А. Ф., Ковальчук Е. Г., Ибраимов Т. Т. Приборы трения с оптическим каналом съема информации о механизме трения скольжения.....	278
Житницький А. Л., Стельмах А. У., Милосердов А. Б., Мурашкин Е.И. Физика процесса бесконтактной магнитно-турбулентной очистки подшипников качения.....	283
Iakovlieva A., Boichenko S., Vovk O., Martynova O., Lejda K., Kuszewski H. Impact of rape oil ethyl ethers additives on some characteristics of jet fuel.....	286
Кириченко В. И., Бойченко С. В. Химмотологические аспекты получения экологически безопасных компонентов топлив и смазочных материалов из возобновляемого сырья.....	290
Смирнов Е. Н., Коленов С. А., Стельмах А. У., Радзиевский В. А. Повышение эффективности трибологических исследований с применением лазерного сканирующего дифференциально-фазового микроскопа.....	299
Siedlecka S., Mądziel M., Środki przewozowe transportu miejskiego.....	304
Shtyka O. S., Sęk J., The effectiveness of kerosene-water emulsions removal using polypropylene sorbents with imbibition promoters.....	309
Kuszewski H., Lejda K., Lew K., Metodyka oceny właściwości samozapłonowych paliw z wykorzystaniem komory spalania o stałej objętości.....	313
Kuszewski H., Jaworski A., Ustrzycki A., The study of selected fuel properties in aspect of selection the parameters of common rail injection system.....	320
Кравченко И. Ф., Колесник П. А., Единович А. Б., Стельмах А. У. Увеличение ресурса редукторов ГТД с использованием двухфазной маслoвоздушной смеси.....	324
Волгин С. Н. Автоматизация поддержки принятия решений по.....	328

управленню качеством моторных топлив при их разработке.....	
Червінський Т. І., Гураєвська Х. О., Карбамідна регенерація відпрацьованих моторних олив.....	333
Червінський Т. І., Корчак Б. О., Оксидаційне відновлення експлуатаційних властивостей відпрацьованих нафтових олив.....	334
Діденко Н. О., Ранський А. П., Гордієнко О. А., Євсєєва М. В., Поліфункціональні властивості тіоамідних комплексів у складі індустріальних олив.....	335
Чернобаєва Н. А., Концепція створення методики прогнозування та моніторингу втрат бензинів внаслідок випаровування з РГС.....	336
Цыганков С. П., Новак А. Г., Ландарь И. А., Кроволапов А. Н., Энергетическое самообеспечение завода по производству биоэтанола...	338
Гайдай О. О., Кирпач К. О., Пилявський В. С., Полункін Є. В. Вплив вуглецевих нанокластерів на експлуатаційні властивості біоетанольних палив.....	340
Sergii Boichenko, Kazimierz Lejda, The problems efficiency of use of fuels in internal combustion engines.....	345
Андрійшин М. П., Домницький Р. А., Дехтярчук С. І., Едель А. В. Взаємозамінюваність газів та вплив фізико-хімічних показників газу на ефективність роботи газових приладів	348

Присвячується

20 -річчю

**УкрНДНЦ хімітології
і сертифікації ПММ і ТР**



Предприятие «ПАЛТЕХ», официальный представитель на Украине компании «INNOSPEC» – мирового лидера в производстве присадок к топливу, которая снабжает более 200 нефтеперерабатывающих заводов в 65 странах.

Предприятие поставляет в Украину присадки к нефтепродуктам, которые отвечают требованиям соответствующих спецификаций, особенно в условиях повышенных требований экологических стандартов и новых законов по охране окружающей среды.

Продукция компании «INNOSPEC» производится в соответствии с требованиями EN ISO 9001:2000, EN ISO 14001: 2004 и допущена ТК «Нафта-Стандарт», к применению на территории Украины.

На сегодняшний день клиентами «ПАЛТЕХ» являются более 60 предприятий, которые по достоинству оценили немецкое качество продукции и профессионализм сервисного обслуживания.

Предприятие предлагает к реализации широкий выбор присадок компании «INNOSPEC»: присадки для повышения октанового, цетанового чисел, различные стабилизаторы, присадки для улучшения электропроводимости, повышения смазывающей способности, вязкости, понижения низкотемпературных свойств, а также присадки для производства в Украине перспективных биотоплив, а именно:

октаноповышающие: экологически чистая присадка **PLUTOcen®**, повышающая октановое число в пределах от 4 до 8 ед.

цетаноповышающие: **CI-0801** улучшающая цетановое число и пусковые свойства дизельного топлива, поднимает цетановое число на 5- 6 ед.

антиоксидант AOF -29 используется для бензинов, авиатоплива, для контроля смолообразования, индукционного периода;

депрессорные: MINUS DK® , OFI-7650 (7660) позволяют снижать температуру застывания на 15-20°С, обеспечивают предельную морозостойкость.

диспергирующая: OFI-5200 улучшает хладотекучесть дизтоплива, снижает содержание парафинового осадка.

присадка OLI-5500 : улучшает смазывающую способность дизтоплива с низким содержанием серы.

присадки Stadis®450 и Stadis®425 улучшают электропроводимость топлива, снижают опасность электростатики, связанную со смешиванием и транспортировкой топлива.

ингибиторы коррозии: DCI-4A и DCI-6A препятствуют химическим реакциям, которые задействованы в окислении топлива. Эффективно останавливают коррозию в бензине, керосине, дизтопливе и др. дистиллятах;

стабилизаторы типа FOA: применяются для керосинов, бензинов, дизельного и печного топлив. Предотвращают засорение топливных фильтров, образование осадка в камере сгорания;

полифункциональные моющие присадки Otimise G2003, Otimise D3042 предотвращают нагарообразование в камере сгорания, на свечах, впускных и выпускных клапанов;

стабилизирующие присадки для биотоплив: BioStable 203, BioStable 403E применяется для защиты от образования смол и осадков в чистом биотопливе и смеси дизтоплива, которые содержат биокомпоненты на основе рапса, подсолнечного, пальмового и других растительных масел и жиров;

присадка OFI 1010 улучшает хладотекучесть биотоплива, снижает температуру застывания и предельной фильтрации биодизеля;

антикоррозионная присадка DCI-11 для обогащенных кислородом видов топлива;

стабилизатор Octapower (TM) CA 2200, DS 9100 обеспечивают эффективность сгорания мазута и печного топлива, увеличивает теплоотдачу на 20-30%, уменьшает нагарообразование, увеличивает межремонтный срок эксплуатации котелен и судовых двигателей на 50%

катализатор Octamar (TM) CP 3500 обеспечивает эффективность сгорания мазута и печного топлива, увеличивает теплоотдачу, уменьшает нагарообразования и другие.

Адрес официального представительства компании «INNOSPEC» в Украине – торговое предприятие «ПАЛТЕХ»:

03055, г. Киев, ул. Тбилисский переулок 4/10, оф. 502

тел. (044) 332-19-76, факс 502-62-50

моб. (067) 449-14-82

E-mail: palteh@ukr.net

О компании
«Image Oil Invest» – поставщик комплексных решений на рынке масел и смазочных материалов Украины. Работает на рынке с 1996 года.



Комплексное решение для бизнеса в сфере смазочных материалов, включает в себя:

- Полный ассортиментный ряд;
- Гарантия качества и оригинальности продукции;
- Поставка «в срок»;
- Технические консультации;
- Гибкая ценовая политика;
- Сеть торговых представительств

Материальная база компании позволяет осуществлять прием и хранение наливных масел и фасованных смазочных материалов, контроль над качеством (сертифицированная лаборатория) и доставку продукции клиентам по всей территории Украины.

Клиентами «Image Oil Invest» являются более 10 000 предприятий, в том числе:

Нефтегаз Украины (структурные подразделения Укртрансгаз и Укргаздобыча)
Министерство Обороны Украины
Индустриальный союз Донбасса (Днепродзержинский меткомбинат, Алчевский меткомбинат и т.д.)
Донецксталь
Укрречфлот
Украинское дунайское пароходство.

Ассортиментный портфель компании представлен:

Масла «БТР» (собственное производство);
«ZIC» (IOI эксклюзивный импортер и дистрибьютор в Украине);
ЛУКОЙЛ;
Смазки «Агринол»;
Автомобильные щетки «САР»;
Автокосметика «Kangaroo»;
Охлаждающие и тормозные жидкости «Тосол- Синтез».



Пользуясь случаем, ООО «Юкойл» выражает Вам свое уважение, и предлагает Вашему вниманию авиационные масла, смазки, технические жидкости.

Наше предприятие имеет многолетний опыт по работе со многими ведущими авиационными предприятиями, авиационными компаниями и аэропортами Украины.

Для компании «Юкойл» главным приоритетом является качество продукции, поэтому мы имеем прямые дистрибьюторские соглашения с такими известными компаниями как «NYCO» (Франция), «Solutia» (США), «Clariant» (Германия), а также имеем непосредственные контракты с другими производителями продукции, предлагаем своим клиентам комплексный подход в полном обеспечении авиационными топливами и смазочными материалами по самым низким ценам.

Также наши технические консультанты помогут Вам определить стоимость и местонахождение необходимой позиции, подобрать аналог продукции с сохранением эксплуатационных свойств или просто проконсультировать по любому интересующему Вас вопросу.

Если Вы не нашли на нашем сайте необходимый Вам продукт, попробуйте связаться с нами любым удобным для Вас способом. Ассортимент предлагаемой нами продукции невероятно высок, возможно, мы еще просто не успели разместить информацию о каком-либо продукте.

Мы бережем свою репутацию надежного партнера и настроены на долговременное и плодотворное сотрудничество.

А самое главное – мы гордимся тем, что большинство наших новых клиентов приходят к нам по рекомендации наших покупателей и деловых партнеров, которые пользуются услугами нашей организации. На наш взгляд, это лучшее доказательство нашего профессионализма и надежности.





- 🛡 **Индустриальные масла**
- 🛡 **Гидравлические масла**
- 🛡 **Трансмиссионные масла**
- 🛡 **Моторные масла**
- 🛡 **Турбинные масла**
- 🛡 **Компрессорные масла**
- 🛡 **Масла специального назначения**
- 🛡 **Пластичные смазки**

ООО "КСМ ПРОТЕК"

Пер. Западный, 3-Д,
г. Киев, 03067 Украина
тел. 044 5370348
www.ksmprotec.com

Нафтогазова галузь України

journal@naftogaz.net
www.naftogaz.com/naftogaz_galuz

У журналі широко висвітлюються такі основні рубрики:

- економіка та проблеми розвитку нафтогазового комплексу;
- геологія, пошуки та розвідка нафтових і газових родовищ;
- буріння свердловин;
- видобування вуглеводнів;
- транспортування та збереження нафти та газу;
- переробка нафти та газу;
- автоматизація та інформаційні технології;
- використання газу;
- нетрадиційні технології та енергоефективність;
- охорона праці та довкілля;
- підготовка кадрів;
- професіонали галузі.

Поштова адреса:

вул. Б. Хмельницького 6, м. Київ, 01001, Україна

Телефон: +380(44) 586-35-37

Факс: +380(44) 586-33-10

Web: www.naftogaz.com

Електронна пошта: ngu@naftogaz.com

Управління по зв'язках з громадськістю: press@naftogaz.com

6#2014

МИР НЕФТЕПРОДУКТОВ

ВЕСТНИК НЕФТЯНЫХ КОМПАНИЙ

WORLD of OIL PRODUCTS
The Oil Companies' Bulletin

ISSN 2071-5951

К 50-летию химмотологии...



16+



ПОДПИШИСЬ НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ
«Терминала: нефтяное обозрение»

oil@ukroil.com.ua



И ПОЛУЧИ В ПОДАРОК СПРАВОЧНИК НА ВЫБОР

- Толковый словарь-справочник «Терминология нефтяного рынка»
- «Нефтепродукты в Украине: настоящее и будущее»
- «Дизельное топливо: библиотека профессионала»

УСЛОВИЯ ПОДПИСКИ:
+ 38 044 234-6839
+ 38 067 401-3151



«НАФТОПРОДУКТЫ»
ПОДПИШИСЬ НА ЭЛЕКТРОННУЮ ВЕРСИЮ

oil@ukroil.com.ua



И ПОЛУЧИ В ПОДАРОК СПРАВОЧНИК НА ВЫБОР

- Толковый словарь-справочник «Терминология нефтяного рынка»
- «Нефтепродукты в Украине: настоящее и будущее»
- «Дизельное топливо: библиотека профессионала»

УСЛОВИЯ ПОДПИСКИ:
+ 38 044 234-6839
+ 38 067 401-3151

ISSN 0235-3482

ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИИ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ

Научно-технический журнал



«Лидер ТЭК'2007»

www.eir-ua.org

eir@ukr.net

1
2014



Химия и технология топлив и масел

Научно-технический журнал

Chemistry and Technology
of Fuels and Oils

Издается с 1956 года

Переводится на английский язык в США

Включен в системы цитирования

SCOPUS, ChemWeb, INSPEC,

Chemical Abstracts Service, SciSearch и др.

РУБРИКИ

Актуальные проблемы
Технология
Аппаратура
Экономика
Химмотология
Исследования
Методы анализа
Охрана труда
Экология
Обзоры
Краткие сообщения



Адрес редакции

119991, ГСНТ-1, Москва, В-296,
Ленинский просп., 65,
РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина,
редакция «ХТТМ»

Тел./факс: (499) 135-88-75

e-mail: htm@list.ru

Сайт www.nitu.ru



«АЛТ Україна» – одна з небагатьох компаній, що активно розвивається і представляє собою особливо надійну компанію на українському ринку лабораторного обладнання.

Компанія створена більше 6 років тому, але вже по праву займає місце провідного системного інтегратора і постачальника комплексних рішень для передових лабораторій, як вітчизняних, так і закордонних.

Завдяки багаторічній та плідній роботі команди професіоналів «АЛТ Україна» продовжує нарощувати потужності з метою закріплення в якості бездоганного лідера на ринку складного лабораторного та аналітичного обладнання.

Портфоліо компанії включає безліч успішних проектів для екологічної, криміналістичної та судової, аграрної та харчової, медичної та фармацевтичної, нафтохімічної та газопереробної, металургійної, хімічної, енергетичної, сільського господарства та інших галузей промисловості України.

Офіс компанії знаходиться в бізнес-частині ТРЦ «КОМОД», за адресою: Київ, вул. Луначарського, 4.

Телефон: +38 044 492-72-70 (багатоканальний).

Електронна адреса: info@alt.ua



Основной целью AERONEO является выработка единого подхода (который мы называем «интегрированным решением») к проблеме разборки воздушных судов, а также к процессу их утилизации (повторного использования материалов). Мы рассматриваем каждый из компонентов воздушного судна в качестве отдельного структурного элемента:

1. Стоимость компонентов воздушного судна (двигателей, вспомогательных силовых установок, шасси, навигационных инструментов);
2. Подсистемы воздушного судна (гидравлическая, электрическая, система кондиционирования);
3. Внутреннее оборудование салона воздушного судна (сиденья, кухня, боковые панели, туалеты, полки);
4. Основная структура воздушного судна (фюзеляж, крылья, органы управления полётом);
5. Окна пассажирского салона воздушного судна, а также их стоимость, учитывая: а) время, требующееся на их разборку; б) стоимость капитального ремонта, в сравнении с возможностью простого возврата их на рынок авиационных компонентов – для того чтобы, рассмотрев их по отдельности, найти возможность отправить на переработку около 95% от числа указанных компонентов.

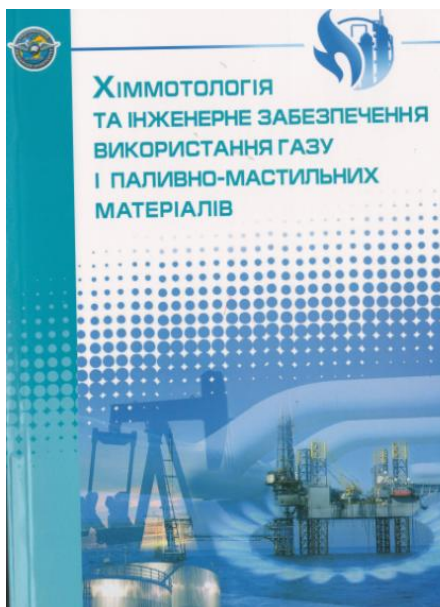
Мы планируем вовлечь в процесс разборки и вторичной переработки каждого воздушного судна соответствующие университеты и технические институты, для того чтобы в полной мере использовать накопленные ими знания и добиться максимальной эффективности переработки всех компонентов, используемых в каждой из частей воздушного судна, которые не могут быть отправлены на вторичную переработку в состоянии «как есть». Где только это представляется возможным, мы будем стараться отправлять компоненты на переработку или на капитальный ремонт, для того чтобы таким компонентам могло быть присвоено новое маркировочное обозначение, а именно – «EASA Form1», наличие которого предоставляет разработчику право повторного использования таких компонентов в составе воздушного судна.

Адрес: **Avenida da República n°6, 7° esq. 1050-019 Lisboa, Portugal**

Телефон: **+ 41 78 899 86 72 (Swiss), +38 099 528 88 38 (Ukraine)**

Fax : **+ 41 22 799 31 92**

Email: Postmaster@aeroneo.com





СУЧАСНИЙ УНІВЕРСИТЕТСЬКИЙ
ПІДРУЧНИК

Н. С. КУЛИК
А. Ф. АКСЕНОВ
Л. С. ЯНОВСКИЙ
С. В. БОЙЧЕНКО
А. И. ЗАПОРОЖЕЦ

АВИАЦИОННАЯ ХИММОТОЛОГИЯ

ТОПЛИВА ДЛЯ АВИАЦИОННЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ИНЖЕНЕРНЫЕ
ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

Наукове видання

Проблеми хімотології. Теорія та практика
раціонального використання традиційних
і альтернативних паливно-мастильних матеріалів

Монографія

Матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції.
6 – 10 жовтня, 2014 р.

*Автор (співавтори) несуть відповідальність за якість матеріалів.
Редакційна рада залишає за собою право
скорочувати та редагувати подані матеріали.*

Присвячується

20 -річчю

**УкрНДНЦ хімотології
і сертифікації ПММ і ТР**

Завідувач редакції Т. М. Забанова. Редактор Н. Я. Рихтік. Технічний редактор М.
М. Бушин. Дизайнер обкладинки О. С. Павленко.

Підписано до друку 31.08.2012. Формат 60x84/16. Папір офсетний. Друк
офсетний. Ум. Друк. Арк., 18,83. Тираж 120 прим. Вид. №112. Зам. №481.
Надруковано з готового оригінал макета.

Видавництво і друкарня «Астропринт». 65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 21
Тел.: (0482) 37-07-95, 37-1425, 33-07-17, (048) 7-855-855
www.astroprint.odessa.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1373 від 28.05.2003.р.