

А.Б. Григоров

И.С. Наглюк

**РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ
МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

Монография

Харьков

Издательство «Точка»

2013

ББК 30.82

Г83

УДК 629.017:665.66

ISBN 978-617-669-077-1

Рецензенты:

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, профессор кафедры «Колесные и гусеничные машины»;
(Национальный технический университет «ХПИ»);

А.Т. Лебедев, д-р техн. наук, профессор заведующий кафедрой «Тракторы и автомобили»;
(Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. Петра
Василенко);

Е.С. Венцель, д-р техн. наук, профессор заведующий кафедрой «Строительных и
дорожных машин» (Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет)

Григоров А. Б.

Г83 Рациональное использование моторных масел: монография / А.Б. Григоров, И.С. Наглюк.
– Харьков: НТУ «ХПИ», 2012. – 183 с.

Показаны пути рационального использования моторных масел, путем оперативного определения их качества в эксплуатации. Такой подход позволяет продлить срок эксплуатации моторных масел в 2-3 раза, относительно сроков рекомендуемых руководством по эксплуатации автомобильного транспорта.

Рассмотрены методы частичной или полной регенерации отработанных моторных масел, а также представлены современные направления их комплексной технологической переработки, направленные на получения дистиллятных топлив и базовых смазочных масел.

Предназначена для научных работников, преподавателей, аспирантов, магистров и студентов высших технических учебных заведений.

ББК 30.82

© А. Б. Григоров, И.С. Наглюк, авторы , 2013

©ФЛП Шевченко С.А., оформление, 2013

ISBN 978-617-669-077-1

© Издательство «Точка», 2013

Введение

Смазочные материалы впервые понадобились человеку около 6 тыс. лет назад, во времена изобретения колеса и других различных механизмов, которые нуждались в смазке. Однако вплоть до конца XIX века в качестве смазывающих материалов широко использовались растительные и животные жиры. Первое появление минеральных смазочных масел, получаемых из дегтей (сланцевого и каменноугольного) пришлось на 60-е года XIX века, и было обусловлено бурным развитием промышленности и транспорта, что привело к полному вытеснению растительных масел более дешевыми нефтяными маслами.

В России в 1876 г. в Балахне нефтепромышленником В. И. Рагозиным по идее Д. И. Менделеева впервые было осуществлено получение соляровых, веретенных, машинных и цилиндрических масел из мазута Бакинской нефти. К концу 1895 г. было произведено около 100 тыс. т нефтяных смазочных масел.

Нефтяные масла использовались в своем натуральном виде до середины 60-х годов XX века, пока для улучшения их эксплуатационных свойств и как следствие возможности их применения в новых типах двигателей, в них не начали вводить присадки. Это, с одной стороны, привело к увеличению в два и более раз сроков замены таких масел, с другой – значительно повысилась стоимость самих масел.

Сегодня залогом успешного развития экономики Украины является полное обеспечение потребностей в высококачественных смазочных материалах (в частности моторных масел) как за счет смазочных масел выпускаемых отечественной нефтеперерабатывающей промышленностью, так и за счет дорогостоящих смазочных масел импортного производства. В такой ситуации перед автотранспортными предприятиями (АТП), на долю которых приходится львиная доля в потреблении моторных масел, возникает проблема их рационального использования, что с одной стороны позволит повысить эксплуатационную надежность автомобильного парка, с другой – снизить затраты на закупку дорогостоящих масел.

Раздел 1 СТАРЕНИЕ МОТОРНОГО МАСЛА И ПЕРИОДИЧНОСТЬ ЕГО ЗАМЕНЫ

1.1. Мировое потребление и производство смазочных масел

Ежегодное мировое потребление смазочных масел в различных регионах, по данным «United Nations Statistics Division» можно представить в виде круговой диаграммы, приведенной на рис. 1.1.

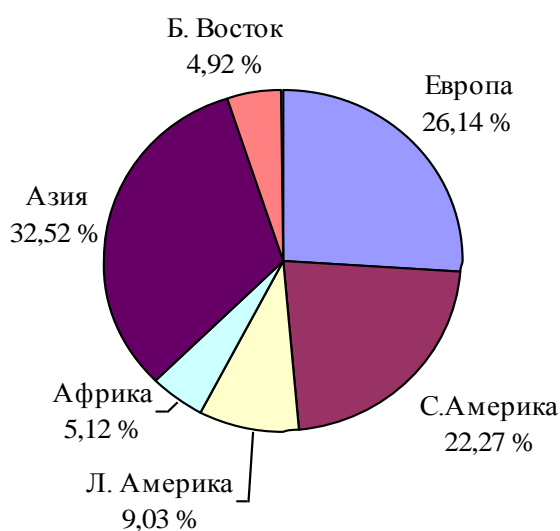


Рисунок 1.1 – Мировое потребление смазочных масел на душу населения по различным регионам

Следует отметить, что население Европы и С. Америки составляет только 17,18% всего населения мира, но на их долю приходится почти половина (48,4%) мирового потребления смазочных масел. В Азии проживает около 60% всего населения земли, а на их долю приходится лишь треть (32,52%) мирового потребления смазочных масел, что, несомненно, отражает уровень технического развития данного региона, по сравнению с Европой и С. Америкой.

За последние 25-30 лет потребление смазочных масел на душу населения снизилось на 34,0 %, что обусловлено существенным отставанием потребления смазочных масел от мирового роста народонаселения и численности автомобилей за этот период. Такое отставание частично обуславливает тот факт, что за этот период существенно увеличились сроки замены масел, ввиду их высокого уровня эксплуатационных свойств. При этом наряду с увеличением сроков замены масел существенно возрастает и их стоимость.

Сегодня более 50% смазочных масел, продаваемых в мире, теряются вследствие утечек при эксплуатации транспорта и проливов, при хранении и транспортировке, что, несомненно, ведет к загрязнению окружающей среды. Поэтому в последние годы многими фирмами разрабатываются экологически безвредные, полностью разлагаемые моторные масла, а также различные системы и средства очистки отработавших выхлопных газов.

Важными факторами в борьбе за снижение удельного расхода смазочных материалов являются экологические проблемы, возникающие при хранении отработанных материалов и постоянное удорожание технологий утилизации и регенерации отработанных масел.

С учетом мирового экономического кризиса, охватившего большую часть индустриально развитых стран мира можно сделать вывод, что в мировом потреблении смазочных материалов будет наблюдаться умеренный рост, составляющий на период с 2010 по 2015 г. около 0,5% в год [1].

В мире насчитывается около 1380 предприятий, производящих смазочные масла в разных объемах. К ним относятся как 180 нефтегазовых корпораций, основная деятельность которых заключается в разведке, добыче, подготовке и переработке нефти, а произведенные смазочные масла составляют лишь небольшую часть их продукции (например, транснациональная нефтегазовая компания Total; итальянская нефтегазовая компания Eni S.p.A.), так и 1200 независимых компаний-производителей смазочных масел занимающихся только производством и сбытом смазочных материалов (например, компания Oel-Brack AG; корпорация ExxonMobil).

На долю 1% мировых производителей товарных смазочных масел приходится более 60% глобальных продаж; соответственно, на долю остальных 99% - менее 40%. Входящими в первую десятку крупнейших мировых производителей смазочных материалов, являются следующие компании: Shell (Великобритания); Exxon Mobil (США); BP (Великобритания); Petrochina/Sinopec (Китай); Chevron (США); Лукойл (Россия); Fuchs (Германия); Nippon Oil (Япония); Valvoline (США); Idemitsu (Япония).

Независимые компании-производители смазочных масел, закупают сырье на открытом рынке и как правило, не имеют собственное производство базовых масел. Поставщиками синтетических базовых масел являются крупнейшие мировые химические корпорации, а минеральных базовых масел – нефтяные компании.

В зависимости от вида деятельности производители смазочных материалов инвестируют от 1 до 5% средств, вырученных от продаж своей продукции, в научные исследования и разработки, связанные с улучшением качества выпускаемой продукции.

На протяжении последних 30 лет в виду снижения прибыльности нефтепереработки в нефтехимической промышленности наблюдается тенденция к слияниям и поглощениям фирм и корпораций, что привело к появлению крупных структур по производству смазочных материалов.

Рассматривая ситуацию сложившуюся в странах СНГ отметим, что по данным BusinesStat, в 2010-2014 гг производство смазочных масел будет расти на 4,1-2,2% в год и к 2014 г достигнет 442,9 тыс т. Росту производства моторных масел способствуют стабильный рост автопарка в странах СНГ и более низкая цена по сравнению с импортной продукцией.

В 2010-2014 гг продажи смазочных масел будут расти вслед за растущим спросом в среднем на 5,6% в год. Динамика рынка моторных масел главным образом обусловлена изменением количественных и технологических параметров автопарков стран СНГ.

Основной объем продаж моторных масел приходится на Россию, доля которой в общих продажах СНГ в 2005-2009 гг колебалась от 65,8% до 60,7%. Средняя цена импорта моторных масел с 2005 по 2014 год увеличится почти в 2 раза: с 2,4 до 4,0 \$ за кг. Цены на моторные масла на внутренних рынках стран СНГ в последнее время растут из-за подорожания импортной продукции, номинированной в долларах США. Прогноз долей стран СНГ в стоимостном импорте моторных масел, 2012-2014 гг (%), приведен в табл. 1.1.

Таблица 1.1 – Прогноз долей стран СНГ в стоимостном импорте моторных масел, 2012-2014 гг (%) [1]

Страна	Года		
	2012	2013	2014
Азербайджан	6,99	7,05	7,01
Армения	0,57	0,61	0,65
Беларусь	23,63	22,34	21,95
Грузия	0,50	0,53	0,61
Казахстан	3,55	3,45	3,63
Кыргызстан	1,80	1,84	2,00
Молдова	0,97	0,91	0,94
Россия	43,29	43,15	41,95
Таджикистан	1,11	1,20	1,26
Туркменистан	0,64	0,71	0,78
Узбекистан	2,79	2,90	2,93
Украина	14,15	15,33	16,31
Итого	100	100	100

1.2. Характеристика некоторых марок моторных масел зарубежных производителей встречающихся на Украинском рынке

Украинский рынок смазочных материалов, в частности моторных масел, сегодня представлен в основном, маслами известных зарубежных торговых марок, ввиду чего, ниже представлена информация об основных торговых марках смазочных материалов зарубежных фирм – производителей.

76 LUBRICANTS. Торговая марка 76 LUBRICANTS принадлежит компании ConocoPhillips, крупному американскому поставщику смазочных материалов, образовавшегося в 2002 году. Ассортимент производимой продукции охватывает сектора от масел и смазок для легковых автомобилей и грузовиков до смазочных материалов для промышленного оборудования. Компания уделяет особое внимание экологическим вопросам производства, что, помимо внедрения стандартов безопасности и качества на предприятиях, обусловило появление линейки продуктов на основе регенерированного отработанного масла.

ADDINOL. Немецкий концерн ADDINOL Lube Oil GmbH – выпускает смазочные материалы с 1936 года. ADDINOL разрабатывает и производит на заводах в Германии и Европе моторные масла, удовлетворяющие высочайшим требованиям современных двигателей, и новейшие смазочные материалы промышленного назначения. Сегодня масла и смазки ADDINOL используются немецкой железной дорогой, почтовым ведомством, федеральными вооруженными силами и многими известными фирмами.

AGIP. Agip (Azienda Generale Italiana Petroli) – коммерческий бренд группы Eni S.p.A., итальянской нефтегазовой компании, основанной в 1926 году и работающей по полному циклу, включая исследования и разработку формул, добычу, транспортировку и переработку нефти и газа. Деятельность по продаже смазочных материалов и специальных жидкостей под брендом Agip компания Eni S.p.A. ведет более чем в 70 странах мира. Фирма выпускает около 650

наименований, произведенных по новейшим мировым технологиям (моторные и трансмиссионные масла, масла для морских судов и т.д).

ALPET. Смазные материалы ALPET производятся транснациональной Корпорацией Altinbas в городе Измир (Турция) с 2005 года, и полностью отвечают самым жестким требованиям API, ACEA и ведущих мировых производителей автомобилей и машиностроителей. В ассортименте широко представлены моторные масла для карбюраторных и дизельных двигателей легковых и грузовых автомобилей, трансмиссионные, промышленные и судовые масла, разнообразные смазки.

ARECA. Французское предприятие Durand Production, основанное в 1986 году и находящееся на севере Франции, в промышленной зоне города Арн (Harnes), специализируется на производстве высококачественных смазочных материалов в самом широком ассортименте, а также эксплуатационных жидкостей. Вся продукция выпускается в соответствии с европейскими нормами ACEA, ATIEL, SEC, ATC, регламентирующими процессы производства смазочных материалов и требования к их качеству. Автомобильные масла ARECA рекомендованы к применению ведущими европейскими производителями автомобилей Mercedes-Benz, Volkswagen, Volvo, MAN, Renault и другими. Моторные масла ARECA сертифицированы в Украине. Поставщиками базовых масел и присадок для производства являются ExxonMobil, BP-Castrol, Shell, Total, Chevron, Ethyl, Lubrizol.

BIZOL. Это один из самых молодых брендов немецкой компании Vita Trading GmbH. на рынке смазочных материалов и автохимии. Продукция торговой марки BIZOL начала разрабатываться в 1998 году. Компания выпускает: моторные, трансмиссионные, промышленные и прочие масла, смазки и автохимию. Производство этих продуктов сертифицировано по DIN EN ISO 9001:2000 и DIN EN ISO 14001, что гарантирует соответствие самым современным уровням качества. Смазочные материалы, а также присадки марки BIZOL производятся исключительно в Германии.

BP Lubricants. Подразделение BP Lubricants, занимается производством и маркетингом смазочных материалов. Еще в 1954 году, BP Lubricants первым представил на рынке всесезонное масло для двигателей BP Visco Static. В 1970 году компания BP получила Королевский Индустриальный Приз в Великобритании за разработку специальных смазочных материалов для ультразвуковых самолетов и создания процесса селективной гидрогенизации перегонки топлива. В 1981 году компания представила на рынок моторное масло с использованием технологии BP гидрокрекинга (НС) – первый продукт с высокими показателями экономии топлива на то время. Специалисты компании BP были пионерами в разработке первого биоразлагаемого масла для двухтактных двигателей. В ассортименте сегодня – более 500 наименований продукции.

CASTROL. Сегодня Castrol является признанным мировым лидером в области разработки смазочных материалов последнего поколения. Смазочные материалы Castrol поставляются компанией более чем в 130 стран. Новое поколение моторных масел Castrol EDGE объединяет в себе новейшие технологии защиты двигателя с улучшенными рабочими характеристиками. В маслах Castrol Magnatec используется уникальная молекулярная технология Intelligent Molecules. В 2000 году компания Castrol, имеющая свыше 150 дочерних компаний и работающая в 55 странах, вошла в состав корпорации BP. В Украине Castrol представлен с 1992 года.

CHAMPION. Свою историю торговая марка ведет с 1955 года, когда в Антверпене была создана фирма Champion, занявшаяся производством и продажей масел. После 21 года успешной работы было осуществлено изменение в структуре фирмы, таким образом, в 1976 году возникла компания Wolf Oil Corporation. Производство отвечает современным требованиям, сертифицировано по ISO 9002. Смазочные материалы Wolf Oil Corporation имеет допуски к применению большинства ведущих автопроизводителей.

CHEVRON. Корпорация Chevron основана в 1879 году в городе Пи-ко-Каньон, Калифорния. В 2001 году поглотила компанию Техасо, получив

наименование ChevronTexaco. В 2005 году вернулась к прежнему наименованию. В 2004 году компании исполнилось 125 лет. Она успешно работает в 180 странах мира. Сегодня она функционирует во всех направлениях мировой нефтегазовой промышленности. Марка CHEVRON – знаменитый бренд на американском рынке, который входит в пятерку качественных масел премиум-класса. Компания специализируется на профессиональной разработке масляных продуктов для грузовой техники и промышленности. Большинство продуктов производится на заводах Бельгии и США, на основе гидрокрекинга с жестким соблюдением всех требований американского и европейского рынка автотехники, сельхозтехники и промышленного оборудования.

COMMA. Компания Comma Oil & Chemicals Ltd была основана в 1965 году в Великобритании. Она производит десятки наименований высококачественных моторных, трансмиссионных и прочих масел и более 200 наименований химической продукции. Фактически Comma обладает полным спектром эксплуатационных жидкостей, применяющихся на мировом автомобильном рынке. Процесс добавки присадок на производстве контролируется компьютером. Практически все масла Comma имеют высшие классы качества по API и ACEA и одобрение ведущих мировых производителей. Comma имеет международный сертификат качества производства ISO 9002.

ELF. История группы ELF была начата после Второй мировой войны, когда правительством Франции было принято решение о создании поисково-разведывательных компаний для разведывания источников нефти и газа по всему миру и нефтеперерабатывающих заводов. Приобретя в конце 60-х две французские компании с их нефтеперерабатывающими предприятиями, широкой сетью розничной торговли, в 1976 г., после реорганизации структуры предприятия, была учреждена материнская компания группы ELF – Societe Nationale ELF Aquitaine. В 1999 состоялось объединение трех компаний: Total, Fina и ELF, и образовался один из крупнейших в мире концернов Total-FinaElf. Сегодня концерн имеет новое имя – Total, новый логотип и новый девиз: Trademark of energy. Total – транснациональная нефтегазовая компания,

действующая в более чем в 100 странах мира на пяти континентах. Компания осуществляет полный производственный цикл от добычи нефти и газа на принадлежащих ей месторождениях до получения конечных продуктов переработки (смазочных материалов, химических продуктов). Сегодня приоритетное направление компании – разработка наиболее экологически чистых видов горючего и топливо сберегающих смазочных материалов.

ESSO & MOBIL. Свою историю компания Esso (в США известна под именем Exxon) отсчитывает с 1870 г., когда Джон Д. Рокфеллер основал компанию Standard Oil. Начиная с 1950 г. филиалы компании в других странах получили название Es-so, по имени марки бензина высшего качества «S.O.» («Standard Oil»). В 1972 г. Standard была переименована в Exxon. В 1998 году Exxon и Mobil подписали соглашение, согласно которому они объединились в новую компанию, названную корпорацией ExxonMobil. Сегодня ExxonMobil Corp. – крупнейшая в мире нефтяная компания, производящая высококачественные моторные и индустриальные масла, бензин для автомобильной и керосин для авиационной промышленности, а также владеет нефтедобывающими платформами на суше и шельфовой зоне во многих странах мира. ExxonMobil Petroleum & Chemical, дочернее предприятие Exxon Mobil Corporation, является производителем моторных масел и смазочных материалов Mobil и Esso. Масла Esso & Mobil отвечают самым высоким мировым стандартам качества API, ACEA и требованиям производителей Mercedes-Benz, Toyota, Volvo, BMW, Audi, Volkswagen, Ford и др.

EUROL. Eurol BV – голландский производитель и поставщик высококачественных смазочных материалов и химической продукции. Профессионалы и частные потребители успешно используют продукцию EUROL уже более 30-ти лет. Основные направления деятельности компании сосредоточены в сфере автомобилестроения, мотоспорта и велоспорта, сельского хозяйства, промышленности и морского транспорта. Благодаря высоким технологиям и широкой инновационной деятельности Eurol BV занимает позиции лидера среди независимых производителей смазочных материалов в

Голландии. Самая современная лаборатория Euro1 BV разрабатывает смазочные материалы нового поколения в тесном сотрудничестве с производителями автомобилей и промышленного оборудования. Получено официальное признание ведущих мировых производителей двигателей и агрегатов трансмиссий.

FINA. Смазочные материалы Fina начинают свою историю с 20-х годов прошлого века. Своим основанием обязаны бельгийской финансовой компании Petrofina и Американской нефтяной компании Pure Oil. Fina Lubricants – это одна из самых крупных и известных европейских компаний по производству и продажам смазочных материалов. В настоящее время является подразделением крупнейшего нефтегазового концерна Total, занимающего 4-е место в мире по основным показателям: производство, резервы, мощности переработки, объем продаж продуктов переработки нефти. На сегодняшний день смазочные материалы FINA производятся на заводе в г. Эртвельде (Бельгия), который оснащен самым современным оборудованием для глубокой переработки нефти. Большое значение уделяется постоянной модернизации предприятия для обеспечения наивысшего уровня качества производимой продукции. Масла Fina отвечают самым высоким мировым стандартам качества API, ACEA и имеют допуски BMW, Daimler Chrysler, Volvo, VW, Porsche, MAN, MAACK и др.

GULF. Компания GULF (Голландия) основана в 1901 г, является крупным мировым производителем разных видов топлива и смазочных материалов. Производство аттестовано по стандартам ISO 9002, контроль качества выпускаемой продукции выполняется на основе единой системы стандартов. Благодаря такому подходу, продукты производства GULF рекомендуются самыми известными производителями (Volkswagen, DaimlerChrysler, BMW, Opel, Porsche, Ford, Volvo, Renault, Scania, MAN и т.д.). Бренд GULF широко известен в Европе и Азии. Сегодня компания имеет большую сеть представительств и филиалов в более чем 100 странах мира и нефтеперерабатывающие заводы на пяти континентах.

LIQUI MOLY. Фирма Liqui Moly основана в 1951 году в городе Ульм, на юге Германии. Она имеет собственный исследовательский центр, создающий в тесном сотрудничестве с Техническим университетом Берлина и фирмами-производителями автомобилей, новые виды продукции. Наличие своей лаборатории позволяет фирме не только вести самостоятельные разработки комплексов присадок, но и заниматься исследованиями, которые доступны не всем производителям. Особенно внимание уделяется взаимодействию присадок и готового масла с конструктивными материалами фирм-моторостроителей, взаимодействие присадок между собой и масляной основой. Сегодня на рынке моторных масел в Германии Liqui Moly прочно удерживается в числе лидеров, а на рынке присадок и автохимии Liqui Moly – европейский лидер. Вся продукция сертифицирована в соответствии с требованиями украинского законодательства в системе УкрСЕПРО.

MANNOL. Компания SCT-Vertriebs GmbH поставляет широкий ассортимент моторных, трансмиссионных и промышленных масел, автохимии, автокосметики и средств по уходу за автомобилем, дезодорирующих средств, наборов профессиональных инструментов, щеток стеклоочистителей, тормозных колодок, автомобильных свечей, лампочек и фильтров под торговыми марками MANNOL, SCT. Компания SCT-Vertriebs GmbH является представителем одного из крупнейших в Европе производителей смазочных материалов, входящего в концерн Champion Chemicals.

MIDLAND. Торговая марка Midland является маркой смазочных материалов Premium-класса. Масла производятся исключительно в Швейцарии компанией Oel-Brack AG. Компания производит смазочные материалы с 1859 года, с 1990 до 2004 г. – официальный производитель масел Quaker State для европейского рынка. Производимые масла поставляются на рынки Западной Европы, в Восточной Европе продукция Midland продается только в Украине компанией «Транс Ойл».

PENNASOL. Продукция немецкого нефтеперерабатывающего завода Mineralol Raffinerie Dollbergen GmbH (MRD) – смазочные материалы ТМ

PENNASOL. Завод MRD – высокотехнологичное нефтеперерабатывающее производство, находящееся в городе Долберген, недалеко от Ганновера. Продукция завода удерживает около 7% рынка автомобильных смазочных материалов Германии, примерно 25% продукции завода идет на экспорт. Эта качественная продукция давно пользуется популярностью не только в Германии, но и в Дании, Швеции, Голландии, Польше, Литве, Греции и других странах Европы и Азии. Качество производства на заводе MRD подтверждено международным сертификатом ISO 9001, продукция прошла полный лабораторный и санитарно-гигиенический контроль в Украине, получив соответствующий сертификат соответствия.

1.3. Характеристика некоторых марок моторных масел выпускаемых на территории Украины

TAU. Масла TAU - это высокотехнологичный продукт нового поколения, максимально адаптированный к требованиям отечественного автомобилиста и учитывающий специфику украинского потребительского рынка. По специальному заказу АО «Укртатнафта» фирма «INFINEUM» выступила разработчиком технологии, а также поставщиком пакетов присадок и большинства компонентов масел TAU. «Линейка» фасованных масел от «Укртатнафты» охватывает по восходящей весь спектр моторных масел основного спроса - от всесезонных минеральных масел для отечественных автомобилей до синтетических масел для автомобилей последних поколений.

WOG. Торговая марка WOG зарегистрирована в 2002 г. Право собственности принадлежит совместному украинско-английскому предприятию «Західна Нафтова Група» (West Oil Group), которое имеет собственную сеть современных АЗК (около 400 ед.). Сегодня ассортимент продукции с торговой маркой «WOG» насчитывает более 20 наименований масел и автохимии. Компания, с целью достижения оптимального ассортимента продукции, конкурентной цены и стабильно высокого качества, дополнительно размещает

заказы на производство продукции в Украине и за рубежом. В настоящее время продукция с торговой маркой WOG производится в Германии, Италии, Польше, Украине и России.

АЗМОЛ. Украинское открытое акционерное общество «Азовские смазки и масла» (ОАО «АЗМОЛ») - предприятие по производству масел и смазок. На рынке с 1937 года. 100 процентов акций принадлежит государству. ОАО «АЗМОЛ» - ведущее предприятие нефтехимической отрасли Украины. Объем производства АЗМОЛ -около 90 тысяч тонн (за 2007 год), ассортимент - более 350 наименований. ОАО «Азмол» работает в тесном контакте со многими научно-исследовательскими организациями. Главным партнером является Украинский институт «МАСМА». Для производства масел и других смазочных материалов используются пакеты присадок фирм Ethyl, Lubrizol, RohMax. Завод сертифицирован по международному стандарту качества ISO 9001. Предлагаемый компанией АЗМОЛ ассортимент высококачественных всесезонных масел серии AZMOL Plus может эффективно использоваться в самых различных современных автомобилях. Миссия компании: эксперт по смазочным материалам. Это подтверждается тем, что продукция ОАО «АЗМОЛ» получила одобрение не только потребителей в различных странах мира, но и признанных во всем мире организаций. АЗМОЛ является членом Национального института пластичных смазок (NLGI USA) и Европейского института пластичных смазок (ELGI).

АРИАН. Завод «Ариан» построен в г. Фастове в 1993 году. Разработка масел ведется в собственном научно-исследовательском центре с привлечением ведущих специалистов Украинского института «МАСМА» и института биоорганической химии и нефтехимии НАН Украины. Новые масла разрабатываются совместно с западноевропейскими фирмами «Адибис», «Шеврон» и др. На заводе «Ариан» производится более 200 наименований масел разного назначения. Завод «Ариан» - современное предприятие с гибкой модульной компоновкой, что разрешает в короткий срок (буквально - за одну рабочую смену) переналадить оборудование под производство новых видов

масел. Проектная мощность завода - 50 тыс. тонн масел в год. На заводе используется передовая технология изготовления масел, новейшее оснащение с компьютерными системами управления производством. Для производства масел используются глубокоочищенные сырьевые компоненты (нефтяные и синтетические базовые рафинаты), которые завод получает, согласно соглашениям и контрактам с химическими и нефтехимическими предприятиями и фирмами Украины, стран СНГ, Европы. Используются современные присадки, пакеты и полупакеты присадок, как российского и белорусского производства, так и производства ведущих фирм - мировых лидеров в производстве присадок - Chevron, Lubrizol, British Petroleum, Shell и др.

ЛЕОЛ. ООО «Лебединский нефтемаслозавод» - это современное передовое предприятие с развитой инфраструктурой, которая состоит из автоматизированных производственных цехов, складов для сырья и готовой продукции, аккредитованной в системе УкрСЕПРО, лаборатории качества, автотранспортного парка, автономного водо-, газо- и электроснабжения, а также развитой собственной системы сбыта по всей Украине. Основан «Лебединский нефтемаслозавод» в 1994 году, и уже через год была выпущена первая партия дизельного моторного масла М-10Г2к. Производство брендовых моторных масел под торговой маркой «Леол», фасованных в канистры, было начато в 1996 году. Компанией организовано совместное украинско-чешское предприятие «Леол-ЛР» по производству полиэтиленовых канистр. Для производства смазочных материалов используются базовые масла и присадки известных зарубежных фирм Великобритании, Германии, Словакии, России. Одно из последних достижений компании - выпуск современного моторного масла на основе базового масла гидрокрекинга - «ЛЕОЛ-Гидрокрекинг». Лебединский нефтемаслозавод является единственным из отечественных производителей смазочных материалов - действительным членом Украинской ассоциации качества. На предприятии работает система управления качеством в соответствии с европейским стандартом ISO 9001:2000.

ОПТИМАЛ. Продукция торговой марки «Оптимал» появилась на рынке Украины в 2000 г. Полностью соответствует ГОСТам и ТУ. Масла производятся на предприятии ООО «Нефтепродукт». В процессе производства используются многофункциональные пакеты присадок фирм Infineum и Lubrizol. В 2006 г. предприятие начало выпуск новых современных моторных масел «Оптимал Элит» 10W-40 (полусинтетическое) и «Оптимал Синтетик» 5W-40 (синтетическое), отвечающих требованиям API SL/CF.

СЛАВОЛ. Производитель масел «Славол» - Научно-производственное предприятие «Присадки» - работает на рынке Украины с 1991 года. Многолетнее последовательное сотрудничество с компаниями «Укртатнафта», Shell, Infineum, научно-исследовательскими институтами Украины и России позволило освоить технологию изготовления новых видов масел и успешно внедрить их в производство. Так, масла ТМ «Славол» производятся из высококачественных базовых компонентов с применением присадок Infineum и Shell Additives (Великобритания). При использовании моторных масел «Славол» двигатель не загрязняется, а наоборот, становится чище! Такой эффект достигается за счет запатентованной формулы моющей присадки, разработанной специально для обеспечения бесперебойной работы двигателей грузовиков, поставленных по крупному контракту в Китай.

ХАДО. Химический концерн ХАДО создан в 1991 году. Специализация - разработка и внедрение энерго- и ресурсосберегающих технологий, производство масел, смазок, автохимии. Концерн имеет научно-исследовательский центр с прекрасно оснащенными сертифицированными лабораториями (физико-химической, химмотологической, трибологической). Продукция концерна - технология безразборного ремонта машин узлов и механизмов -получила название «Технология Хадо». Изобретение атомарного ревитализанта позволило создать масло, которое не дает атомам металла покидать трущиеся поверхности. Эта работа получила признание со стороны серьезных западных партнеров, а ее результатом в 2004 стала совместная программа по выпуску масел Xado Atomic Oil.

1.4. Причины старения моторных масел при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания

Моторное масло представляет собой базовое масло (основа) и пакет вводимых присадок для улучшения свойств масла [2-6]. В процессе эксплуатации масла в двигателе внутреннего сгорания под действием повышенной температуры ускоряется процесс его старения, то есть происходит окисление, полимеризация, загрязнение базового масла и срабатывание находящихся в нем присадок [7-9].

Окисление и полимеризация молекул углеводородов в двигателе протекает как цепная реакция с участием свободных радикалов, которая зависит от строения углеводородов и условий, в которых происходит окисление. Установлено, что наиболее вредными продуктами окисления с точки зрения эксплуатации двигателя являются оксикислоты и асфальтены, так как они нерастворимы в масле и обладают значительной липкостью, что приводит к забиванию кольцевых канавок поршня и вызывает пригорание колец [9].

В процессе эксплуатации двигателя масло выполняет функции накопителя продуктов износа и загрязнений, образующихся при работе двигателя. К основным видам загрязнений масел в процессе их эксплуатации в двигателе можно отнести органические (углеводородные) и неорганические (продукты изнашивания трущихся деталей) [10]. Органические загрязнения состоят в основном из продуктов окисления масла и сажевых частиц. Сажевые частицы являются одним из основных продуктов неполного сгорания топлива в двигателе. Основная масса образующихся в камере сгорания сажевых частиц выбрасывается с отработавшими газами в атмосферу, однако некоторое их количество из-за нарушения уплотнительных функций колец и поршня в цилиндре, попадает с отработанными газами в картер двигателя, где вступает в контакт с маслом. Органические загрязнения, содержащиеся в масле, играют отрицательную роль для эксплуатации дизельного двигателя, а именно они

засоряют трубопроводы, масляные каналы и фильтры, нарушают температурный режим работы отдельных деталей и двигателя в целом. Вследствие забивания масляных каналов случаются перебои в подаче масла к отдельным местам смазки, поэтому износ трущихся деталей может возрасти в сотни раз, а в наиболее неблагоприятных случаях возможно заклинивание деталей и выход двигателя из строя [9,10]. Кроме того, частицы органических загрязнений способствуют загрязнению поршня и вызывают закоксовывание его колец, а также интенсифицируют образование осадка в картере двигателя [11].

Неорганические загрязнения масла представляют собой, как продукты механического износа трущихся деталей двигателя (железо, алюминий, медь, свинец, хром), так и твердые частицы, вносимые вместе с всасываемым воздухом (пыль, песок). Металлические продукты износа частично растворяются в масле, образуя соединения типа мыл, а частично остаются в виде нерастворимых коллоидных частиц. Увеличение концентрации неорганических загрязнений происходит также за счет распада металлосодержащих присадок, вводимых в масло. Содержание в масле неорганических загрязнений особенно вредно сказывается на изнашивании трущихся поверхностей деталей двигателя, и в первую очередь подшипников коленчатого вала [10, 12, 13].

Вода также является одним из видов загрязнения масла. Вредное действие воды заключается в том, что она способствует коагуляции диспергированных углеродистых частиц, в результате чего повышается осадкообразование в масле и увеличивается скорость загрязнения масла. Вода вызывает также гидролиз моющей присадки и таким образом вымывает ее из масла. При работе дизеля на обводненном масле происходит ускоренное снижение щелочности масла, следствием чего является повышенный износ. Присутствие воды усиливает также коррозию, особенно подшипниковых сплавов [13].

Потеря эффективности присадок в процессе работы масла в двигателе снижает его эксплуатационную надежность и возможный срок службы собственно масла. Срабатывание присадок, прежде всего, связано с расходом щелочного компонента на нейтрализацию кислых соединений, которые

образуются в результате окисления масляной основы и накопления органических и неорганических кислот. Сущность процесса нейтрализации состоит в том, что оксиды серы в присутствии воды образуют сернистую и серную кислоту, а также взаимодействуют с углеводородами масла и продуктами их окисления, образуя сульфоновые кислоты [9, 13]. При отсутствии или недостатке присадки (снижении щелочности масла) роль металла будет выполнять материал стенок втулки цилиндра или поршневых колец, т.е. будет иметь место возникновение коррозионного износа. Потеря эффективности присадки вызвана также и адсорбцией молекул присадки на поверхностях деталей двигателя и взвешенных частиц органического и неорганического происхождения, образующихся в масле в процессе работы двигателя.

1.5. Расход масла в двигателе

Расход масла в двигателе зависит от многих факторов, основными из которых и весьма взаимосвязанными являются техническое состояние двигателя и качество применяемого масла.

Штатный расход масла. В современных автомобильных двигателях считается нормальным расход масла порядка 0,1–0,3% от расхода топлива. Интересно, что для большегрузных дизелей этот параметр существенно больше – от 0,8 до 3,0%.

Это обуславливается, во-первых, тем, что масло в двигателе сгорает в цилиндрах, оставаясь на стенках цилиндра в виде тонкой пленки, тем самым обеспечивая гидродинамический режим трения. Образующаяся пленка сгорает вместе с топливной смесью.

Во-вторых, часть масла выносится на впуск двигателя через систему вентиляции картера. И чем больше износ мотора, тем больше давление картерных газов. Скорости их в системе вентиляции растут, и тем самым все большее количество масла увлекается с ними.

В третьих в автомобилях с турбированным мотором, где часть масла расходуется на смазывание турбокомпрессора. Однако этот расход является существенно меньшим, нежели, расход, обусловленный первой и второй причинами.

Следует учитывать, что параметры, приведенные в руководстве по эксплуатации автомобилей, характерные для нового двигателя, держатся только определенное время, после чего расход масла начинает повышаться.

Нештатный расход масла. Течь масла через сальники коленчатого вала, которая чаще всего связана со старением и изнашиванием материала сальника. Не смотря на то, что современные технические резины, используемые в производстве сальников, проходят обязательные тесты на совместимость с разными видами масел, в некоторых случаях на резину может негативно влиять, как само моторное масло, так и разные добавки в масло.

Течь через прокладку блока цилиндров – это уже аварийная ситуация, обычно вызванная либо неправильной затяжкой силовых болтов при сборке двигателя, либо его перегревом. Следы масла на внешних поверхностях блока двигателя обычно четко указывают на этот дефект. Происходит это ввиду перекоса нижней посадочной поверхности головки блока цилиндров, и прокладка не в состоянии уплотнить зоны масляных каналов, что особенно характерно для алюминиевых двигателей.

Течь через прокладку масляного фильтра тоже ситуация весьма распространенная. При замене фильтра рекомендуется смазать резиновое уплотняющее кольцо маслом, чтобы при заворачивании оно не смялось и надежно уплотняло фильтр. Однако попадаются фильтры, в которых это кольцо вовсе не держится в своей обойме. Вот такие фильтры при заворачивании и могут течь.

Течь через маслоотражательные колпачки клапанов двигателя. Это одна из наиболее распространенных причин резкого увеличения расхода масла. Колпачки, или сальники клапанов, в отличие от сальников коленчатого вала, расположены в зоне, высоких температур, – в верхней части головки блока

цилиндров, что приводит к преждевременной потере их эластичности, а вместе с этим и уплотняющей способности. Через направляющие втулки клапанов масло начинает течь либо на впуск и оттуда в цилиндры, образуя при этом отложения на внутренней поверхности впускных клапанов, либо сразу на выпуск. Также бывают ситуации, когда либо некачественный колпачок, либо просто плохо надетый на направляющую в процессе работы двигателя срывает с места.

Расход масла из-за износа маслосъемных поршневых колец является естественным и неизбежным процессом. Ввиду особого расположения маслосъемных колец, ниже компрессионных они подвергаются большим контактными давлениями, постоянно перемещаются и плохо смазываются, что приводит к их износу. Важнейшим конструктивным параметром, определяющим маслоограничивающую способность, является рабочая высота скребков маслосъемных колец. А она в процессе износа может меняться. Впрочем, есть специальные формы маслосъемных колец, в которых форма скребка сделана такой, чтобы высота режущей кромки не менялась в процессе износа.

Перегрев поршневых колец, особенно касающийся маслосъемных колец. Чтобы обеспечить нужное контактное давление, кольца обладают четко определенной собственной упругостью. А обеспечивается это давление термофиксацией самого кольца и усилием пружинного расширителя – ленточного или витого. А они, кстати, тоже термофиксированы. Как все термофиксированные детали, поршневые кольца имеют свой рабочий температурный диапазон. И перегрев для них становится критическим. Обычные маслосъемные кольца сохраняют свою работоспособность до температуры 180–200 °С. Впрочем, зарубежные фирмы-производители колец обычно имеют в своих каталогах и специальные кольца, ориентированные на работу в условиях возможного перегрева.

Отметим, что достаточно даже однократного серьезного перегрева двигателя, чтобы снизить упругость поршневых колец, и как следствие возрастет расход моторного масла.

Кстати, компрессионным кольцам отпуск упругости тоже не полезен. Это грозит крайне неприятным и малоизученным явлением – флаттером кольца, который можно рассматривать в качестве следующей причины резкого роста расхода масла.

Флаттер бывает осевой и радиальный. При резком снижении упругости кольцо на части режимов может входить в режим радиальных неконтролируемых высокочастотных колебаний, из-за чего резко падает уплотняющая способность лабиринта. При этом в камеру поступает большое количество масла. При осевом флаттере кольцо на некоторое время свободно застревает в канавке, совершая многократные перекидки от одного ее края к другому. При этом кольцо начинает работать как своеобразный насос, качая масло в камеру сгорания – проявляется так называемый насосный эффект, довольно изученное явление. Он есть и в нормальном режиме работы двигателя, но при возникновении осевого флаттера резко усиливается в результате чего, может наблюдаться масляный выхлоп двигателя.

Коксование поршневых колец также является причиной повышенного расхода масла на угар. Очевидно, что уплотняющая способность колец возможна только в подвижном их состоянии. При залегании или закоксовании колец наблюдается резкий рост расхода масла сопровождающийся существенным снижением компрессии, причем частенько, только по одному–двум цилиндрам. Коксование может быть следствием использования некачественного масла, у которого моющая способность либо изначально была слабо выражена, либо была потеряна в процессе длительной работы.

Разрушение межклапанных перемычек поршня – это очень распространенный термоусталостный дефект поршня, ведущий к нарушению условий работы поршневых колец и, как следствие, росту расхода масла на угар. Причем это может быть следствием не, только увеличения пропуска масла в цилиндры, но и ухудшения уплотнения камеры сгорания. Давление картерных газов увеличивается, и больше масла с картерными газами уносится через систему вентиляции двигателя.

Повышенный износ цилиндров. Как уже говорили ранее, угар масла тем больше, чем больше его поступает в цилиндр через систему кольцевого уплотнения поршня. А в уплотнении участвуют два узла – кольца и цилиндры. Изношенные рабочие поверхности цилиндров влияют на угар масла не меньше, чем состояние поршневых колец.

Износ цилиндров надо рассматривать в двух аспектах. Обычный, общепринятый – это рост его диаметра. Размер «ступеньки» в верхней части цилиндра – обычный диагностический признак, на основании которого проводится капитальный ремонт двигателя. Но есть и второй аспект износа – наличие на рабочей поверхности цилиндров различного рода царапин, сколов, следов микрозадиров. Каждая царапина работает как своеобразный масляный карман, накапливающий в себе дополнительное количество масла, оставляемое в цилиндре на растерзание тепловым потокам от горящего топлива. Вот расход масла и растет, причем совершенно неконтролируемым образом.

Коробление цилиндров – вследствие восприятия монтажных усилий, в частности, усилий затяжки анкерных шпилек. Под действием этих усилий они деформируются. Появляется овализация цилиндров, причем достаточно сложного профиля. И поршневые кольца в таком случае могут не справиться с уплотнением. Между рабочими поверхностями кольца и цилиндра появляются так называемые серповидные зазоры, уплотнить которые кольца не в силах.

Следующая группа причин связана непосредственно со свойствами моторного масла.

Высокая вязкость смазочного масла – чем выше вязкость, тем лучше смазываются поршневые кольца, тем больше толщина остаточной пленки масла, оставляемой поршневыми кольцами в цилиндре. Однако из-за увеличения толщины масляной пленки растет и угар масла. Особенно эта ситуация характерна для изношенных двигателей, где для поддержания необходимого давления в системе смазывания рекомендуется брать масло большей вязкости.

Некачественное моторное масло. Все современные, особенно синтетические, масла имеют свойство обеспечивать низкие потери на испарение

в камере сгорания. Это достигается и специальным групповым составом базовой основы, и особыми присадками, уменьшающими его испаряемость. В случае некачественного моторного масла заметно повышается его расход на угар.

Следующая группа причин высокого расхода масла связаны с регулировками и режимом эксплуатации двигателя.

Позднее сгорание в цилиндрах двигателя. Для того чтобы масло с поверхности цилиндров начало выгорать, его необходимо прогреть и испарить. Чем выше температуры в цилиндре, чем интенсивнее идет тепловой поток от газов в стенки, тем больше темп прогрева и испарения масляной пленки. Так вот, именно позднее сгорание вообще повышает температуры двигателя и одновременно приводит к увеличению расхода масла. Именно при позднем зажигании двигатель склонен к перегреву.

Неблагоприятные режимы эксплуатации двигателя. При больших скоростях движения поршня кольца гонят больше масла в камеру сгорания, да и высокие нагрузки дают хороший температурный фон, при котором угар масла будет неминуемо расти. В табл. 1.2 приведены причины повышенного расхода моторного масла и пути их устранения.

Таблица 1.2 – Причины повышенного расхода моторного масла и пути их устранения

Причина	Способ устранения
Течь через сальники коленчатого и распределительного валов.	Заменить изношенные сальники.
Течь через прокладку головки блока.	Проверить плоскости прилегания головки и блока. При необходимости - восстановить плоскость фрезерованием (шлифованием). Заменить прокладку. Затянуть болты (гайки) крепления головки в правильной последовательности.
Течь через прокладку масляного фильтра.	Дотянуть фильтр (руками). Заменить прокладку.
Течь через маслосъемные колпачки.	Заменить колпачки.
Износ маслосъемных поршневых колец.	Замена колец.
Перегрев поршневых колец.	Замена колец.

Продолжение табл. 1.2.

Закоксовывание поршневых колец.	Освободить кольца с помощью химических средств. Заменить масло.
Разрушение межкольцевых перемычек поршня.	Замена поршня.
Износ цилиндров.	Отремонтировать двигатель.
Деформация цилиндров (овализация и т.д.).	Затянуть болты (гайки) установленным моментом в правильной последовательности. Поменять кольца.
Высокая вязкость масла.	Заменить маслом рекомендованной вязкости.
Позднее сгорание топлива в цилиндрах.	Правильно выставить момент зажигания. Использовать только качественное топливо с требуемым октановым числом.
Неблагоприятные условия эксплуатации.	Не перегружать двигатель без крайней необходимости.

1.6. Обоснование рациональных срока замены моторных масел

Сегодня замену моторных масел в двигателе осуществляют в соответствии с руководством по эксплуатации автомобиля либо, с "Положением о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта", где периодичность замены моторного масла определяется с учетом коэффициентов корректирования нормативов в зависимости от условий эксплуатации (К1) и природно-климатических условий (К3).

Однако современные тенденции эксплуатации автобусов заключаются в увеличении их технического ресурса и интервалов проведения технического обслуживания. Реалии автомобилестроения таковы, что срок эксплуатации автобусов до капитального ремонта их двигателей составляет 100000 тыс. км.

Следует отметить, что за последние полвека, произошла революция в области обслуживания автомобильного транспорта. Если с 30 х годов по 90–е сроки замены моторных масел увеличивались с 3–5 тыс. до 7–10 тыс. км.,

то с 95 года по настоящее время появились автомобили, срок замены моторных масел, в двигателях которых составляет 20 тыс. км и более. Несмотря на то, что сейчас автобусы, эксплуатирующиеся в Украине способны отработать на одной заправке масла более 15-20 тыс. км, в руководствах по их эксплуатации замену моторного масла рекомендуется осуществлять через каждые 8-10 тыс. км. В течение этого срока производители автобусов гарантируют сохранение проектного ресурса двигателя при самых неблагоприятных режимах эксплуатации. Следует понимать, что указанный интервал замены моторного масла — это минимум, который гарантирует, производитель двигателя и нефтяная компания, производящая масло.

По данным, приведенным в работе [14] более половины общего количества неполадок возникающих в двигателях при эксплуатации автомобильного транспорта связано с качеством применяемого масла. Поэтому качество масла, является ключевым фактором, управление которым позволит значительно повысить эффективность эксплуатации автобусов, одновременно с этим повышая их эксплуатационную надежность.

Как было отмечено ранее, при эксплуатации в двигателе внутреннего сгорания масло стареет. Изучение кинетики старения масла позволило установить основную закономерность: стабилизацию, наступающую после первого неустановившегося периода относительно бурного течения процесса. По этой причине и срабатывание присадки наиболее интенсивно в первом периоде, когда она расходуется на нейтрализацию кислых продуктов, образующихся при работе двигателя и на адсорбцию на поверхностях деталей и взвешенных в масле частиц загрязнений. Поэтому вполне закономерно, что и щелочность масла во втором периоде стабилизируется. В процессе работы двигателя в периоде стабилизации старения масла способность базовой части образовывать отложения снижается в связи с тем, что наиболее активные молекулы уже вступили в соответствующие соединения и оставшаяся часть — менее реакционно-способна. В этом отношении качество масла улучшилось. Однако присадка в это время уже в значительной степени потеряла свою эффективность,

следствием чего является ухудшение качества масла. Важно выяснить соотношение этих противоположно действующих факторов. При этом необходимо учитывать степень форсирования двигателя и исходные физико-химические свойства масла. В двигателях высокой степени форсирования, работающих на правильно подобранных маслах со стабильными присадками, улучшение базовой части масла в периоде стабилизации может оказываться достаточным для обеспечения необходимых физико-химических свойств, при низкой или нулевой концентрации присадок. В этом случае применение масла без замены может быть длительным и практически бесменным. В форсированном двигателе интенсивное срабатывание присадок может оказать более значительное отрицательное влияние на физико-химические свойства масла, чем улучшение базовой части. В таких случаях необходимо производить частую замену масла. Действие этих факторов и степень их взаимного влияния не могут быть оценены количественно и поэтому установление рациональных сроков замены масла, может быть осуществлено в каждом конкретном случае только путем проведения периодического контроля качества работающих масел. Занижение этих сроков приводят к необоснованному его перерасходу, а увеличение большинством исследователей рассматриваются как опасное решение, которое в случае его реализации приводит к снижению эффективности эксплуатации автобусов. Обычно предполагают, что с увеличением срока замены масла ухудшается смазочное действие в связи с накоплением в масле продуктов старения и различных загрязнений, интенсивно накапливаются в двигателях различного рода отложения, усиливается срабатываемость присадок. Однако известны данные, из которых следует, что увеличение срока смены масла приводит к улучшению его физико-химических свойств. По мнению ряда исследователей [10, 13], мелкие абразивные частицы находящиеся в работающих маслах создают полирующий эффект трущихся деталей и тормозят их изнашивание. Также весьма полезны продукты окисления работающего масла, которые в силу своей полярной активности адсорбируются на поверхностях трения и оказывают противоизносное влияние. Необходимо отметить, что

установленные до последнего времени сроки замены масел мало обоснованы. Это объясняется отсутствием теории, поясняющей связь между старением масла во всех его проявлениях и интенсивностью процессов износа, лако- и нагарообразования и коррозии [9–15].

В настоящее время на основании результатов периодического контроля качества моторных масел могут быть предложены общие соображения, которые обосновывают целесообразность, в некоторых случаях, продлить срок замены масла, по сравнению со сроком указанными в руководстве по эксплуатации автобусов, в других – рекомендовать его снижение.

Таким образом, проведение периодического контроля качества позволит определить рациональные сроки замены масла в двигателе по его фактическому состоянию, тем самым существенно сокращать потребность в свежем масле, уменьшить время простоя транспорта, что в значительной мере повысит эффективность его эксплуатации.

Список литературы к 1 разделу

1. Официальный сайт. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://:businessstat.ru>.
2. Васильева Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы: [справочник] / Л.С. Васильева.– М.: Транспорт, 1987. – 347с.
3. Бойченко С. В. Моторные топлива и масла для современной техники / С. В. Бойченко. – К. : НАУ, 2005. – 216с. – (Труды / Национальный авиационный ун-т. НАН Украины).
4. Балтенас Р.К. Моторные масла: Производство. Свойства. Классификация. Применение: [справочник] / Р.К. Балтенас, А.С. Сафонов, А.И. Ушаков. – М.; СПб. : Альфа-Лаб, 2000. – 146 с
5. Кельдышев В. А. Топливо и смазочные материалы: [учебник для студ. высш. учебн. зав.] / В. А. Кельдышев. – Челябинск: ЧГАУ, 2004. – 315с.

6. Кузнецов А. В. Топливо и смазочные материалы: [справочник] / А.В. Кузнецов. – М.: Колос, 2004. – 198 с.
7. Дмитриева З.Т. К вопросу о старении моторных масел / З.Т. Дмитриева, В.Д. Огородников, В.А. Амедов // Нефтепереработка и нефтехимия. – 2003. – №5. – С. 23–26.
8. Остриков В.В. Смазочные материалы и изменение их свойств при эксплуатации сельскохозяйственной техники / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов. – Тамбов: ВНИИТиН, 2002. – 67 с.
9. Остриков В.В. Физико-химические процессы «старения» моторных масел и способы их замедления / В.В. Остриков, Н.Н. Тупотилов // Сборник докладов Рос. акад. с-х. наук. 2004. – №2. – С. 47–52.
10. Венцель С.В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – М.: «Техника», 1977. – 208с.
11. Старение моторных масел и их регенерация. Проблемы проектирования, испытаний, эксплуатации и маркетинга автотранспортной техники, двигателей внутреннего сгорания, строительных и дорожных машин, транспортно-технологических комплексов и вездеходов: материалы международной научно-технической конференции, 27-29 июня 2000г. Н. Новгород / Н.С. Севрюгина. – М.: Изд-во Нижегород. гос. техн. ун-та. 2000. – С. 280–281.
12. Резников В.Д. Расчет концентрации не растворимых загрязнений в работающем масле / В.Д. Резников, Э.Г. Синайский // Двигателестроение. – 1983. – №8. – С. 41–42.
13. Морозов Г.А. Очистка масел в дизелях / Г.А. Морозов, О.М. Арцимонов. – Л.: Машиностроение, 1971. – 192с.
14. Антропов Б.С. Диагностирование технического состояния дизеля / Б. С. Антропов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2006. – №11. – С. 48–49. – ISSN 0235–8573.
15. Исследование старения моторных масел в лабораторных условиях / [Виппер А. Б., Задко И.И., Ермолаев М.В., Олейник Ж.Я.]. – М.: Изд-во ЦНИИТЭнефтехим. 2001. – 19с.

Раздел 2

ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Качество моторного масла как чистого, так и работающего в каждый момент времени эксплуатации двигателя внутреннего сгорания характеризуется показателями, называемыми показателями качества масла (ПКМ).

Необходимость определения ПКМ возникает в следующих случаях: при определении эксплуатационных свойств масел, полученных из нового сырья или по новой технологии; при использовании масел с новыми присадками; при подборе масел для двигателей новой конструкции; при сертификации, проводимой с целью определения качества масла для отнесения его к тому или иному классу.

Кроме вышеперечисленных случаев, ПКМ могут применяться и при определении рациональных сроков смены моторных масел в двигателях, так как изменение значений этих показателей во времени относительно начальных характеризует собственно процесс старения масла. В общем случае ПКМ могут достигать предельно допустимых значений, при достижении которых, эксплуатация масла в двигателе должна быть немедленно прекращена, а само масло подлежит замене. На практике принято различать единичные и комплексные ПКМ [1-3].

2.1. Единичные показатели качества масел и методики их определения

Для идентификации и контроля качества чистых моторных масел принято определять следующие ПКМ, перечень которых регламентирован ДСТУ ():

- 1) **Цвет** – позволяет оценить качество и товарный вид моторного масла. Цвет масла зависит от глубины очистки базового масла и добавляемых в него присадок.

- 2) **Плотность** – характеризует сырье, в частности состав базового масла, из которого изготовлено товарное моторное масло и позволяет идентифицировать класс вязкости масла.
- 3) **Вязкость кинематическая (ДСТУ ГОСТ 33 (ISO3104))** – характеризует текучесть масла и позволяет оценить его способность обеспечивать гидродинамический режим трения главных узлов двигателя на всех температурных режимах его эксплуатации.
- 4) **Индекс вязкости** – эмпирический, безразмерный показатель, применяемый для оценки зависимости вязкости масла от температуры. Чем выше величина индекса вязкости, тем вязкость масла менее зависит от температуры.
- 5) **Зольность сульфатная** – позволяет определить количество металлосодержащих присадок в масле. При работе двигателя в результате сгорания масла на стенках цилиндров образуется зола, способна вызывать абразивный износ трущихся поверхностей.
- 6) **Температура вспышки (ГОСТ 26378.4)** – показатель, характеризующий фракционный состав базового масла и остаточное количество находящегося в нем растворителя после селективной очистки масла.
- 7) **Температура застывания** – показатель, позволяющий оценить нижний температурный предел использования масла.
- 8) **Общее щелочное число (TBN) (ГОСТ 11362)** – показатель, характеризующий общую щелочность масла, в частности щелочность обусловленную присадками (например, моюще-диспергирующими). Щелочность масла способствует нейтрализации кислых компонентов, накапливающихся в масле при его использовании.

- 9) **Массовая доля активных элементов** – показатель, характеризующий массовую долю бария, фосфора и цинка, являющихся активными элементами присадок.

Единичные ПКМ описывают преимущественно один из процессов, приводящих к старению масла. Однако между отдельными единичными показателями, существует функциональная связь. Многолетний практический опыт применения моторных масел позволил установить ряд показателей, в совокупности достаточно полно характеризующих работоспособность масла применительно к конкретным типам двигателей и условиям их работы. По мнению авторов работ [4-8] к ним относятся: кинематическая вязкость, общее щелочное число, общее кислотное число, температура вспышки, массовая доля воды и механических примесей; водородный показатель рН; содержание продуктов износа.

Общее кислотное число (TAN) (ГОСТ 11362) – показатель, характеризующий наличие кислотных компонентов масла, способных вызывать коррозию деталей двигателя.

Массовая доля воды и механических примесей – показатели, характеризующие количество загрязнений, накапливающихся в масле при эксплуатации двигателя.

Водородный показатель рН – характеризует в масле наличие сильных кислот (в частности, серной кислоты) в макрообъеме, способных интенсифицировать коррозионные процессы в двигателе.

Содержание продуктов износа (железа) – показатель, позволяющий оценить интенсивность изнашивания таких деталей двигателя как гильзы цилиндров, вставки гильз, поршневые кольца, поршневые пальцы, коленчатый и распределительный валы и так далее.

Далее приведены значения ПКМ масел, работающих в четырехтактных дизелях фирм Detroit Diesel, Caterpillar, Cummins (см. табл. 2.1) и сводная таблица ПКМ для автотракторных двигателей (см. табл. 2.2) при достижении которых необходима замена масла.

Таблица 2.1 – Значения ПКМ работавших моторных масел, при достижении которых необходима замена масла [9]

Показатели	Detroit Diesel	Caterpillar	Cummins
Вязкость при 100°С, мм ² /с:			
- увеличение, %, макс.	40	–	–
- снижение, %, макс.	15	–	–
Разбавление топливом, %, макс.	2,5	4,0	5,0
Температура вспышки, °С, снижение.	на 20	204	–
Содержание воды, %, макс.	0,3	0,5	0,2
Нерастворимые включения, растворитель-пентан, % масс.	1,0	–	–
Сажа, термогравиметрия, % мас., макс.	1,5	–	1,5
Содержание металлов, ppm, млн-1, макс.:			
- железо	150	100	–
- хром	–	25	–
- свинец	–	40	–
- медь	30	50	–
- олово	–	25	–
- алюминий	–	20	–
- кремний	–	20	15
- бор	–	20	25
- натрий	–	75	20
- калий	–	–	20

Таблица 2.2 – Значения ПКМ работающих в автотракторных двигателях при достижении которых необходима замена масла [9-13]

Показатели	Масла для карбюраторных двигателей	Масла для дизелей
Изменение вязкости, %		
увеличение	25	40
снижение	15	30
Содержание нерастворимого осадка, %, не более	1,0	3,0
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	0,5 – 2,0	1,0 – 3,0
Кислотное число, мг КОН/г, не более	2,5	3,0

Продолжение таблицы 2.2

Снижение температуры вспышки, °С не более	20	20
Коксуемость, %, не более	3,0	4,0
Содержание, %, не более топлива	0,8	0,8
воды	0,5	0,3
Водородный показатель рН	>5	>5

Однако следует отметить, что браковочное значение показателя кислотного числа объективно только в случае отсутствия воды в масле или содержания ее в незначительном количестве (следы). Присутствие воды в масле значительно усиливает реакционную способность кислоты и увеличивает значение общего кислотного числа. Повышенная скорость накопления в масле кислотных продуктов, чаще всего, указывает на неисправности в работе двигателя (прорыв газов, перегрев масла и т.д.)

Кислотность в маслах, содержащих щелочные присадки вне зависимости от ее величины, не является браковочным показателем до тех пор, пока масло будет содержать активные присадки, т.е. в пробах масла наряду с кислотностью будет определяться и щелочность. По такому принципу корпорацией Lubrizol [14] предложена, замена масел работающих в дорожных дизельных двигателях. Два различных дизельных масла были подвергнуты эксплуатационным испытаниям в дизельных грузовиках: одно с величиной щелочности, равной 7,5 мг КОН/г (см. рис. 2.1) и другое с величиной щелочности, равной 14,0 мг КОН/г (см. рис. 2.2).

Отбор проб производился периодически. Определение общих щелочных и кислотных чисел производился по методу ASTM D-4739; также анализировалось содержание частиц железа в масле.

Как показано на рис. 2.1–2.2 в обоих случаях, количество частиц износа в виде железа начало резко расти практически после того момента, когда кривые общего щелочного и общего кислотного числа пересеклись.

Момент, когда наступает равенство общего щелочного числа общему

кислотному числу, представляется наиболее подходящим для замены масел в дорожных дизельных двигателях.

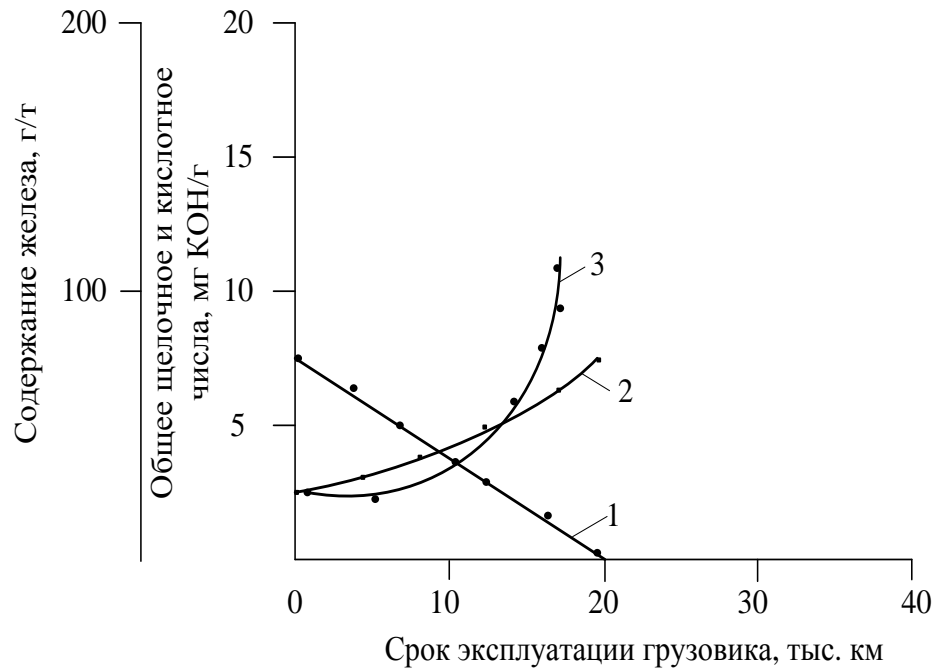


Рис. 2.1 – Изменение показателей свойств масла (ОЩЧ = 7,5 мг КОН/г) от срока его эксплуатации: 1– общее щелочное число; 2 – общее кислотное число; 3 – содержание железа

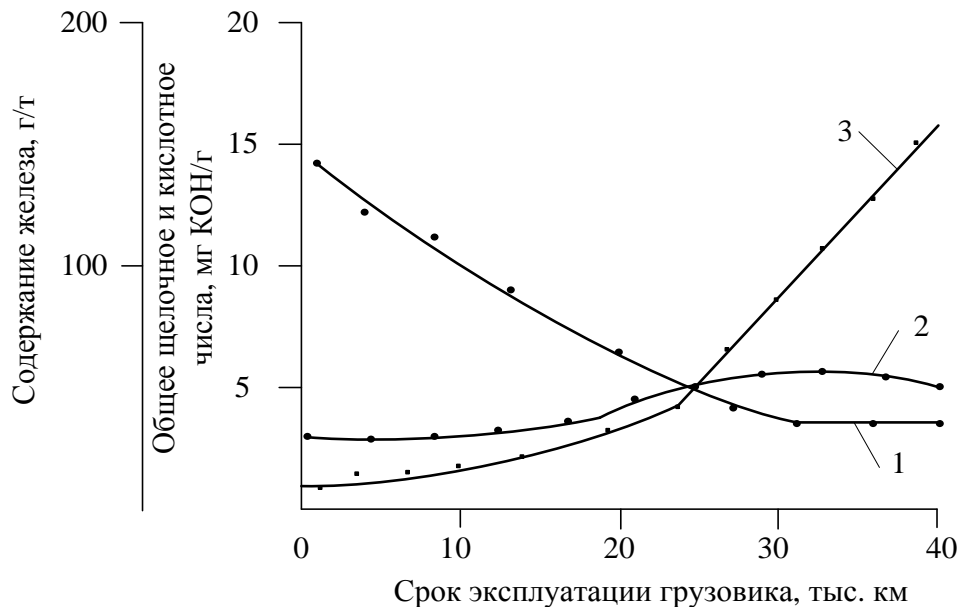


Рис. 2.2 – Изменение показателей свойств масла (ОЩЧ = 14,0 мг КОН/г) от срока его эксплуатации: 1– общее щелочное число; 2 – общее кислотное число; 3 – содержание железа

В некоторых случаях наряду с перечисленным выше единичным ПКМ, принято определять диспергирующую способность (метод капельной пробы), которая является наиболее простым методом контроля загрязнения масла в процессе его эксплуатации и способности масел их диспергировать.

Впервые этот метод был разработан рабочими компании Shell Oil [14] а его сущность заключается в нанесении на фильтровальную бумагу испытуемого масла, с последующей сушкой полученной капли при температуре 110 - 120⁰С в течение 3 ч. В высушенной капле различают центральное ядро масляного пятна и «зону диффузии», то есть наружное пятно, относительные размеры которого характеризуют диспергирующую способность масла, рассчитываемую по формуле [2]

$$ДС = 1 - \frac{d^2}{D^2}, \quad (2.1)$$

где d – диаметр центрального ядра масляного пятна в мм;

D – диаметр всего масляного пятна в мм.

Полученная величина является численным показателем диспергирующей способности работающего масла и выражается в условных единицах. Неудовлетворительными считаются диспергирующие свойства меньше 0,3 условные единицы. При этом необходима смена масла.

Проведенные исследования автором работы [7] позволили установить, что если температура получения хроматограмм не учитывается, то погрешность оценки фактических ДСС масел может составить до 80 % (см. рис. 2.3).

В последние годы на базе метода определения диспергирующей способности путем его усовершенствования был разработан метод Shell Areolar Photometry. Суть которого, состоит в оптическом измерении непрозрачности в нескольких областях нанесенного масляного пятна.

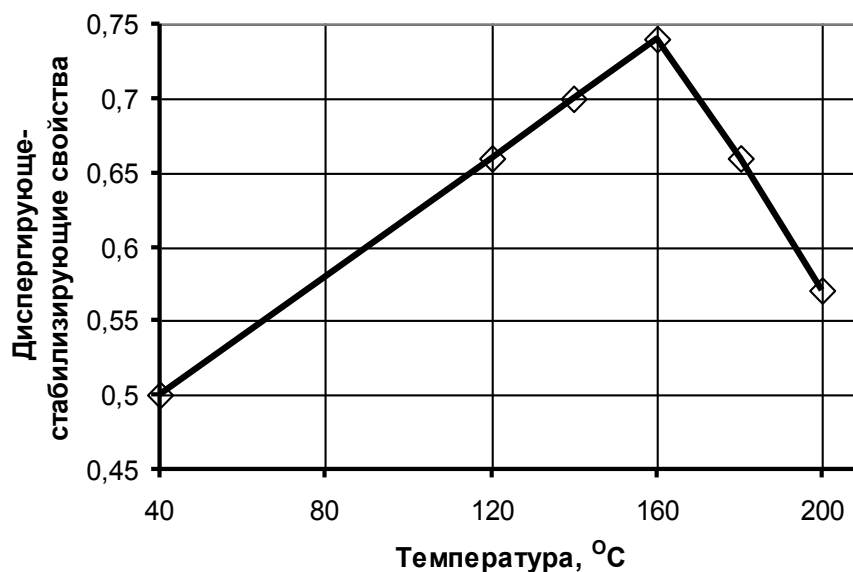


Рис. 2.3 – Зависимость активности диспергирующе-стабилизирующей присадки дизельных масел от температуры

Оценка непрозрачности производится измерением светового потока, пропускаемого через бумагу и нанесенные на нее загрязнения, посредством фоточувствительных резисторов, подсоединенных к измерительному прибору. Данный метод можно применять для определения нерастворимых продуктов, присутствующих в масле в концентрации от 0,2% до 3,5% (масс.). Метод поглощения света не позволяет напрямую определить содержание загрязнений, которые рассчитываются на основании показаний поглощения и стандартной калибровки прибора. Точность метода зависит от аккуратности калибровки.

Качественное состояние работавших моторных масел не может быть объективно оценено по одному или нескольким единичным ПКМ. Поэтому лабораторные испытания моторных масел проводят по всем, перечисленным выше единичным ПКМ.

2.2. Комплексные показатели качества масел

Комплексные ПКМ служат для более объективной и всесторонней оценки состояния работавшего масла. Они как наиболее информативные по сравнению с

единичными ПКМ представляют наибольший интерес для анализа качества масла и определения оптимальных сроков его смены. Ряд комплексных ПКМ построен по принципу комбинирования единичных или с использованием основных эксплуатационных характеристик двигателя.

Например, Л.А. Бронштейн, В.М. Школьников и др., при разработке системы оптимизации и прогнозирования функциональных свойств масел с присадками, предлагают воспользоваться обобщенным показателем качества масла, который представляет собой числовой параметр в условной шкале (баллы, проценты), отражающий уровень функционального свойства масла и содержащий свертку информации, получаемой при испытании масел с помощью лабораторных методов.

Свертка может быть выражена с помощью аддитивной или мультипликативной формулы [15]:

$$y = \sum_{i=1}^n k_i x_i, \quad (2.2)$$

$$y = \prod_{i=1}^n x_i^{k_i}, \quad (2.3)$$

где y – параметр, отражающий уровень функционального свойства;

n – количество методов, используемых для испытаний;

k_i – весовой коэффициент (ранг) i – го метода;

x_i – результат испытаний масла по i – му методу, выраженный в единицах условной шкалы.

Процедура разработки системы оценки качества масел с присадками при помощи обобщенных показателей состоит из следующих этапов: определения перечня функциональных свойств, отражающих качество масла; ранжирование функциональных свойств; определение перечня лабораторных методов и показателей оценки каждого функционального свойства то есть единичных ПКМ; ранжирование методов и показателей; перевод физической шкалы

показателей по каждому из методов в условную; определения алгоритма свертки информации; расчет обобщенных показателей качества масла и прогнозируемых параметров.

В результате оценки масла по разработанной системе получают набор показателей, отражающий уровень отдельных функциональных свойств. Используя формулы (2.2) и (2.3) и полагая, что x_i – уровень i – го функционального свойства, а k_i – ранг этого свойства, можно получить один обобщенный показатель, характеризующий качество масла в целом.

Для прогнозирования допустимой периодичности смены моторных масел в ДВС использовались браковочные нормы на информативные показатели качественного состояния моторных масел, например процесса образования высокотемпературных отложений [16]:

$$\tau_{\text{пр}} = n \sqrt{\frac{U_{\text{бр}}}{k}}, \quad (2.4)$$

где $\tau_{\text{пр}}$ – прогнозируемая периодичность смены масел, ч;

$U_{\text{бр}}$ – браковочное значение критерия моторного масла;

k – коэффициент, характеризующий исходный уровень состояния моторного масла;

n – коэффициент, характеризующий степень срабатывания моторного масла.

Г.П. Лышко, Г.Г. Левашов и др., предлагают осуществлять оценку состояния моторного масла по ОКП – обобщенному комплексному показателю K_{kn} , который состоит из суммы единичных диагностических показателей K_i . В результате уровень доверительности эксплуатационной оценки качества моторных масел, несомненно, повышается. Качественное состояние масла (в баллах) можно оценить по следующей формуле [17]:

$$K_{kn} = \sum_{i=1}^{i=n} K_i - T \cdot \alpha, \quad (2.5)$$

где K_i – показатель состояния моторного масла по i – му параметру, баллы;

n – число определяющих диагностических показателей;

T – наработка двигателя, моточас;

$\alpha = \sum_i^n \alpha_i$ – значение выбираемого диагностического показателя, который

представляет собой сумму коэффициентов интенсивности изменения диагностических показателей α_i в зависимости от наработки двигателя. Коэффициенты α_i рассчитывали на основе анализа 200 проб масла со сроком эксплуатации 240 – 260 моточасов. Чем больше количество баллов показателя ОКП, тем хуже качественное состояние масла.

В работе [18] предлагается прогнозировать склонность масла к образованию высокотемпературных отложений в двигателе внутреннего сгорания посредством безразмерного критерия оценки M :

$$M = \Delta \nu \cdot C\tau \frac{\Delta Ck}{C_{щ}}, \quad (2.6)$$

где $\Delta \nu$ – изменение кинематической вязкости;

$C\tau$ – количество нерастворимого осадка в масле;

ΔCk – прирост кислотного числа;

$C_{щ}$ – щелочное число масла.

Пригодность работающего дизельного масла к дальнейшему использованию авторы работы [19] предлагают определять по содержанию нерастворимых загрязнений, которые определяются по следующей формуле:

$$x = x_0 + \frac{100 \cdot U}{C_{cir}} \cdot \left[1 - \exp\left(-\frac{C_{cir} \cdot t}{V}\right) \right], \quad (2.7)$$

где x, x_0 – текущая и начальная концентрация загрязнений в масле, %;

U – разность скоростей поступления загрязнений в масло и их фильтрации,

кг/ч;

C_{cir} – расход масла на угар, кг/ч;

V – количество масла в системе смазки двигателя, кг;

t – время, ч.

Срок замены моторного масла по наработке S' и по пробегу S'' специальных автомобилей в работе [20] предложено оценить по следующим уточнённым формулам:

$$S' = W_{\text{пред}} - L_i \cdot K', \text{ м-час}, \quad (2.8)$$

или

$$S'' = L_{\text{пред}} - W_i \cdot K'', \text{ км}, \quad (2.9)$$

где $W_{\text{пред}}$ – предельная наработка до замены моторного масла;

$L_{\text{пред}}$ – предельный пробег до замены моторного масла;

L_i – пробег шасси автомобиля за i -й период, км;

W_i – наработка навесного оборудования за i -й период, м-час;

K' – коэффициент, учитывающий долю работы в транспортном режиме;

K'' – коэффициент, учитывающий долю работы в технологическом режиме.

Коэффициент K' определяется по следующей формуле:

$$K' = a' \cdot \frac{P_{\text{ш.ч.}}^{\text{км}}}{P_{\text{ш.ч.}}^{\text{м-ч}}} = 0,015 \cdot \left(\frac{4,56 \cdot e^{-2,05 \cdot 10^{-5} \cdot L_i}}{4,03 \cdot e^{-0,0011 \cdot W_i}} \right), \frac{\text{м-час}}{\text{км}}, \quad (2.10)$$

где $a' = \frac{W_{\text{пред}}}{L_{\text{пред}}}$ – коэффициент, учитывающий соотношение предельной наработки

к предельному пробегу, $\frac{\text{м-час}}{\text{км}}$;

$P_{\text{ш.ч.}}^{\text{км}}$ – значение щелочного числа, изменяющегося в зависимости от пробега шасси автомобиля;

$P_{щ.ч}^{M-ч}$ – значение щелочного числа, изменяющегося в зависимости от наработки навесного оборудования.

Коэффициент K'' рассчитывается по формуле:

$$K'' = a'' \cdot \frac{P_{щ.ч}^{M-ч}}{P_{щ.ч}^{KM}} = 66,6 \cdot \left(\frac{4,03 \cdot e^{-0,0011 \cdot W_i}}{4,56 \cdot e^{-2,05 \cdot 10^{-5} \cdot L_i}} \right), \frac{\text{км}}{\text{м} - \text{час}}, \quad (2.11)$$

где $a'' = \frac{L_{\text{пред}}}{W_{\text{пред}}}$ – коэффициент, учитывающий соотношение предельного пробега

к предельной наработке, $\frac{\text{км}}{\text{м} - \text{час}}$.

Продолжительность работы моторных масел в мобильной сельскохозяйственной технике с учетом изменения концентрации C нерастворимых примесей в масле, и его щелочности можно найти из выражений [21]:

$$t_i^c = \frac{1}{p} \ln \left[\frac{1}{C_0 - \frac{Q_c}{p}} \left(\frac{C_0 \cdot G_0^T + C_{\text{зал}} \cdot G_0^B}{G_0} + \frac{Q_c}{p} + C_{\text{зал}} \right) \right], \quad (2.12)$$

$$t_i^\eta = -\frac{1}{p} \ln \left[\frac{1}{\eta_0 - \frac{Q_\eta}{p}} \left(\frac{\eta_0 \cdot G_0^T + \eta_{\text{зал}} \cdot G_0^B}{G_0} + \frac{Q_\eta}{p} + \eta_{\text{зал}} \right) \right]. \quad (2.13)$$

где p – коэффициент, который зависит от скорости изменения объема масла в системе;

G_0 – количество масла в системе;

a – скорость нарастания загрязнений;

$\eta_0, \eta_{\text{ост}}$ – соответственно начальная и остаточная щелочность масла;

\mathcal{D} – скорость срабатывания щелочности;

Q_s – интенсивность очистки масла в двигателе;

Q_η – суммарная интенсивность удаления загрязнений и щелочности из системы смазки;

G_0^T и G_0^B – количество соответственно товарного и восстановленного масла в системе;

C_0 , $C_{\text{зап}}$ – соответственно начальная и измененная концентрация нерастворимых примесей в масле.

Следует отметить, что комплексные ПКМ построенные по принципу комбинирования единичных обладают рядом существенных недостатков, которые усложняют их практическое применение. При использовании показателей приведенных в работах [15, 17] возникает необходимость выбора и обоснования единичных показателей, отличающихся достаточной информативностью при их минимальном количестве.

Существенным недостатком методики приведенной в работе [19] является тот факт, что ее применение базируется на некоторых допущениях:

во-первых, принимается, что «угоревшее» масло непрерывно компенсируется доливкой свежего с той же скоростью, за счет чего количество масла в системе смазки сохраняется постоянным;

во-вторых, принимается, что загрязнения равномерно распределены во всем объеме работающего масла и расходуются с «угорающим» маслом, имеющим ту же концентрацию загрязнений.

У рассмотренных комплексных показателей качества отсутствуют обоснованные браковочные значения, при достижении которых эксплуатацию масла в двигателе необходимо прекратить.

Все комплексные ПКМ полностью не пригодны для оперативного определения качества масел в полевых условиях, условиях мастерских автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания. Это связано с трудоемкостью определения каждого единичного показателя

входящего в описанные выше методики и необходимости применения дорогостоящего стационарного оборудования для их определения.

Некоторые комплексные ПКМ формируются с использованием физических принципов, отличных от применяемых при оценке единичных показателей (в частности определение оптической плотности масла).

Например, авторы работы [22] предлагают осуществлять комплексную оценку качества масла с использованием оптической плотности на лабораторной установке высокотемпературного каталитического окисления. Испытуемое масло (100 г) заливают в стальные стаканы и при температуре 230⁰С в течении 3 ч перемешивают медными стержнями, вращающимися с частотой 6000 мин⁻¹.

В условиях испытания происходят процессы термодинамической деструкции и в меньшей степени окисления. Образующаяся в результате этих процессов дисперсная фаза коагулирует, что приводит к росту оптической плотности и вязкости масла. Рост этих параметров свидетельствует о накоплении предшественников нагарообразования (оптическая плотность) и степени окисления (вязкость).

В этом случае для оценки противонагарных и антиокислительных свойств используют обобщенный показатель масла (ОМП), вычисляемый по формуле:

$$\text{ОМП} = \Delta \nu_{40} \cdot D, \quad (2.14)$$

где $\Delta \nu_{40} = \left(\frac{\nu_2 - \nu_1}{\nu_1} \right) \cdot 100$ – прирост вязкости, %;

ν_1, ν_2 – вязкость масла при 40⁰С соответственно, до окисления и после него, мм²/с;

D – оптическая плотность масла после окисления (безразмерная величина).

Чем больше абсолютное значение показателя ОМП, тем лучше свойства масла. Для прогнозирования работоспособности моторного масла и оценки динамики изменения качества масел во времени τ в работе [23] применялся комплексный показатель (П):

$$П = \Delta C_k \frac{D}{C_{щ}}, \quad (2.15)$$

где ΔC_k – прирост кислотного числа;

D – оптическая плотность масла (безразмерная величина);

$C_{щ}$ – щелочное число масла.

Отметим, что комплексные ПКМ формируемые с использованием физических принципов (в частности определение оптической плотности масла) обладают такими же недостатками, как и комплексные ПКМ построенные по принципу комбинирования единичных показателей.

Они также не пригодны для оперативного определения качества масел в полевых условиях, условиях мастерских автотранспортных предприятий и станций технического обслуживания, по причине трудоемкостью определения каждого показателя входящего в их расчетные уравнения и необходимости применения дорогостоящего стационарного оборудования для их определения.

2.3. Электрофизические показатели качества моторных масел

Известно, что каждое моторное масло обладает определенными электрическими свойствами, мерой которых являются такие электрофизические показатели как тангенс угла диэлектрических потерь ($tg\delta$), удельное электрическое сопротивление (ρ_v), электропроводность (σ) и диэлектрическая проницаемость (ε).

В процессе эксплуатации в автомобильных двигателях происходит ухудшение свойств масел, в том числе и электрических что, несомненно, обуславливает изменение величин их электрофизических показателей. Поэтому в последние годы для определения качества моторных масел, стали широко применяться методики, основанные на использовании электрофизических показателей, перечисленных выше.

Эти методики по сравнению с методиками определения единичных и комплексных показателей обладают рядом значительных преимуществ, к которым относятся:

- 1) незначительные затраты времени на реализацию;
- 2) отсутствует необходимость применения дорогостоящих реактивов и стационарного лабораторного оборудования (вакуумных насосов, моторных установок, термостатов и т.д.);
- 3) минимальное число контролируемых показателей;
- 4) возможность применения в полевых условиях и условиях станций технического обслуживания (СТО) и автотранспортных предприятий (АТП).

В дальнейшем рассмотрим некоторые примеры применения электрофизических параметров, указанных выше, для определения качества работавших масел.

Для контроля технического состояния рабочей жидкости АМГ-10, применяемой в авиационных гидросистемах, предлагается использовать такие диэлектрические характеристики, как: диэлектрическая проницаемость, тангенс угла диэлектрических потерь и электропроводность [24]. Проведенные исследования показали, что различные образцы АМГ-10 имеют близкие, но отличные значения диэлектрической проницаемости. Установлено, что в процессе эксплуатации рабочей жидкости происходит возрастание величин ее диэлектрической проницаемости и электропроводность. Значение тангенса угла диэлектрических потерь, образцов АМГ-10, не находившихся в эксплуатации, характеризуется значениями $2 \div 3 \cdot 10^{-4}$. Образцы АМГ-10, находившиеся в эксплуатации до 300 часов, характеризовались повышенными значениями тангенса угла диэлектрических потерь $8 \div 10 \cdot 10^{-4}$.

Так, авторы [25] исследовали корреляцию между вязкостными и диэлектрическими характеристиками турбинных масел. При этом была исследована возможность использования для контроля вязкости масла метода диэлектрической спектроскопии. Этот метод основан на явлении медленно устанавливающейся ориентационной поляризации полярных молекул, которая

обуславливает диэлектрические потери, которые характеризуются тангенсом угла диэлектрических потерь ($tg\delta$).

Метод диэлектрической спектроскопии также применялся для определения кислотного числа и концентрации продуктов износа, трущихся деталей в отработанном масле [26].

С целью обеспечения надежности самосвалов, работающих на породных отвалах в работе [27] по величине электропроводности моторного и трансмиссионного масел определялась их загрязненность продуктами износа трущихся деталей. Полученные результаты исследования позволили разработать и тарировать бортовой диагностический прибор, который обеспечивает контроль состояния масла в картере силовых агрегатов во время эксплуатации автосамосвалов. В процессе исследования были установлены браковочные значения электропроводности масел: для моторного масла М-10-Г₂к — $6373,24 \cdot 10^{10}$, Ом⁻¹·м⁻¹; для трансмиссионного масла ТАП-15 — $5772,40 \cdot 10^{10}$, Ом⁻¹·м⁻¹.

Контроль степени загрязненности автомобильных масел в процессе эксплуатации, в работе [28] предлагается осуществлять на основании фундаментальных физических параметров – удельное объемное электрическое сопротивление и относительная диэлектрическая проницаемость. По величине диэлектрической проницаемости масла можно судить о том, от каких конкретных загрязнений можно избавиться в процессе фильтрации масел с использованием сильных электрических полей. Величина удельного электрического сопротивления автомобильного масла может служить одним из критериев оценки: электризуемости автомобильных масел и наличия антистатических присадок, содержания фактических или адсорбционных смол, термоокислительной стабильности, степени загрязненности, противоизносных свойствах масла.

Для прогнозирования оптимальных сроков эксплуатации моторных, осевых и промышленных масел предлагается использовать электропроводность [29]. Автором установлена математическая зависимость между содержанием в

масле металлических частиц износа трущихся деталей и электропроводностью масла:

$$\sigma = 6\pi \cdot 10^{-4} \varepsilon_0^{\frac{3}{2}} \varepsilon' \varphi_0 \sqrt{\frac{n_0}{2\rho \cdot a_0}} + \sigma_0 \cdot e^{bt}, \quad (2.16)$$

где ε_0 – диэлектрическая постоянная;

ε' – диэлектрическая проницаемость базового масла;

φ_0 – разность потенциала между частицами загрязнений и базовым маслом;

n_0 – концентрация носителей заряда (частиц загрязнений);

ρ – плотность материала частиц загрязнений масла;

a_0 – размер частиц загрязнений.

Браковочные значения электропроводности для моторного масла М-12-Г₁ – $530 \cdot 10^{10}$, Ом⁻¹м⁻¹; осевого Л-132 Ом⁻¹м⁻¹; индустриального И-Г-А-32–3,48 Ом⁻¹м⁻¹.

Е.В. Шатохина [30] предложила по значению удельного электрического сопротивления моторных масел определять их щелочное число:

$$\text{ЩЧ} = 14,59 - 0,04179 \cdot \rho_v, \quad (2.17)$$

где ρ_v – удельное электрическое сопротивление, Ом.

Рассматривая практическое применение такого электрофизического параметра, как диэлектрическая проницаемость (ε) следует отметить, что он по сравнению с другими электрофизическими параметрами обладает рядом существенных преимуществ.

Во-первых, измеряемая диэлектрическая проницаемость моторного масла является комплексной величиной, которая обусловлена наряду с поляризационными процессами, возникающими при наложении электрического поля на испытуемое масло, также и явлением сквозной проводимости за счет присадок различного функционального назначения [31–33].

Во-вторых, измеряемая диэлектрическая проницаемость моторных масел в гораздо меньшей степени зависимости от температуры, при которой производятся измерения, чем удельное электрическое сопротивление (ρ_v), электропроводность (σ) и тангенс угла диэлектрических потерь ($tg\delta$).

Использование параметра относительной диэлектрической проницаемости заложено в принципе действия диэлькометрического метода, определения содержания воды в топливах и маслах (ГОСТ 14203).

Для оценки, качества и степени отработки моторных масел в работе [34] предлагается использовать метод, основанный на комбинации измерений интегральной диэлектрической проницаемости, применении высокоэффективной жидкостной хроматографии (ВЭЖХ) и мультикорреляционной техники анализа – метода главных компонент.

Взаимосвязь между диэлектрической проницаемостью и параметрами нормально-фазной ВЭЖХ, описывается уравнением:

$$RTLn[(V_R^1/V_M)F] = A^{11} [[(\varepsilon - 1)/(\varepsilon + 1)](M/d)(1/T)]^{1/2}, \quad (2.18)$$

где V_R^1 – приведенный удерживаемый объем комплекса «сорбат – полярный модификатор»;

V_M – удерживаемый объем несорбируемого компонента;

A^{11} – константа;

ε – диэлектрическая проницаемость;

M – содержание полярного компонента, %;

F, T, d – параметры ВЭЖХ.

Из уравнения (2.18) следует, что чем больше диэлектрическая проницаемость компонента моторного масла, тем больше его удерживаемый объем в нормально-фазной ВЭЖХ. Таким образом, удерживание компонентов базовых масел, будет резко отличаться от удерживания присадок и продуктов окисления моторных масел. Также для реализации этого метода необходимо

выбрать компоненты моторного масла, в наибольшей степени влияющих на его диэлектрическую проницаемость, и определить корреляционные факторы. Тогда критерием отказа моторного масла может быть предполагаемое резкое изменение зависимости диэлектрической проницаемости от времени эксплуатации, зафиксированное в момент уменьшения коэффициентов корреляции факторов, полученных из хроматографических данных в двух последовательных опытах до величин, меньших 0,9.

Отметим, что для приведенных выше электрофизических показателей качества масел, кроме электропроводности рассмотренной в работе [29], отсутствуют научно-обоснованные браковочные значения, что является существенным недостатком при их практическом применении. Кроме того, для реализации метода приведенного в работе [34] необходимо использовать сложное дорогостоящее оборудование и широкий штат квалифицированных специалистов.

Список литературы к 2 разделу

1. Боженко М.В. Анализ информативности показателей состояния работавших дизельных масел / М.В. Боженко, В.Л. Лашхи, И.Г. Фукс // Химия и технология топлив и масел. – 1994 – № 4. – С. 10–11.
2. Морозов Г.А. Очистка масел в дизелях / Г.А. Морозов, О.М. Арцимонов. – Л.: Машиностроение, 1971. – 192с.
3. Резников В.Д. Химмотологические аспекты анализа работавших дизельных масел / В.Д. Резников, Э.М. Шипулина. – М.; ТМИИТ Нефтехим, 1982. – 59с.
4. Виппер А. Б. Анализ результатов испытаний масел в двигателе с учетом оценки их качества в лабораторных условиях / А. Б. Виппер, В. Л. Лашхи // Двигателестроение. – 1979. – №9. – С. 58–59.

5. Головин С.И. Оценка состояния двигателя по показателям моторного масла (Качество, надежность) / С. И. Головин, А. А. Жосан // Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2007. - № 4. – С. 52–53. – ISSN 0235–8573

6. Гуреев А. А. Химмотология: [учебник] / А. А. Гуреев, И. Г. Фукс, В. Л. Лашхи. – М.: Химия, 1986. – 368 с.

7. Гурьянов Ю.А. Экспресс-методы и средства диагностирования агрегатов машин по параметрам масла: автореф. дис. на соискание ученой степени доктора техн. наук: спец. 05.20.03. «Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве» / Ю.А. Гурьянов. – Ч., 2007. – 40 с.

8. Гурьянов, Ю. А. Показатели качества работающих моторных масел и методы их определения / Ю.А. Гурьянов // Автомобильная промышленность. – 2005. – №10. – С.20–23.

9. Караулов А.К. Автомобильные масла. Моторные и трансмиссионные. Ассортимент и применение: [справочник] / А. К. Караулов, Н. Н. Худолий. – К.: ООО "Журнал "Радуга", 2000. – 437с.

10. Гурьянов, Ю. А. Показатели качества работающих моторных масел и методы их определения / Ю.А. Гурьянов // Автомобильная промышленность. – 2005. – №10. – С.20–23.

11. Корнеев С.В. О работоспособности моторных масел / С.В. Корнеев // Двигателестроение. – 2004. – № 4. – С.36–38.

12. Резников В.Д. Химмотологические аспекты анализа работавших дизельных масел / В.Д. Резников, Э.М. Шипулина. – М.; ТМИИТ Нефтехим, 1982. – 59с.

13. Резников В.Д., Шипулина Э.М. Критерии работоспособности моторных масел / В.Д. Резников, Э.М. Шипулина //Химия и технология топлив и масел. – 1989. – № 9. – С. 24–29.

14. Периодичность замены дизельных масел: материалы второй международной конференции по проблемам разработки, производства и применения смазочных материалов 2-6 сентября, 1997 г. Бердянск / У. Гергель. – М.: Изд-во Бердянского гос. техн. ун-та. 1997. – 54 с.

15. Бронштейн Л.А. Оптимизация и прогнозирование свойств масел с присадками / Л.А. Бронштейн, В.М. Школьников //Химия и технология топлив и масел. – 1981 – № 11. – С. 50–53.

16. Золотов В.А. Научно-методические основы прогнозирования периодичности смены моторных масел в двигателях /В. А. Золотов //Трение, износ, смазка. - Т. №10, - 2008. - № 3. - С. 71-79.

17. Лышко Г.П. Оптимизация сроков замены моторных масел / Г.П. Лышко, Г.Г.Левашов //Химия и технология топлив и масел. – 1982 – № 11 С. 32–34.

18. Боженко М.В. Анализ информативности показателей состояния работавших дизельных масел / М.В. Боженко, В.Л. Лашхи, И.Г. Фукс // Химия и технология топлив и масел. – 1994 – № 4. – С. 10–11.

19. Резников В.Д. Расчет концентрации не растворимых загрязнений в работающем масле / В.Д. Резников, Э.Г. Синайский // Двигателестроение. – 1983. – №8. – С. 41–42.

20. Ефимов В.В. Совершенствование нормирования ресурса моторного масла для специальных автомобилей: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.22.10 «Эксплуатация автомобильного транспорта» / В.В. Ефимов. – Тюмень, 2006. – 18с.

21. Журавель Д. П. Підвищення ефективності використання мобільної сільсько-господарської техніки за рахунок продовження терміну служби моторних олив: автореф. дис. на здобуття наукового ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.11 «Машини й засоби механізації сільськогосподарського виробництва»/ Д. П. Журавель. – Київ, 2001. – 10 с.

22. Левин А.Я. Новые лабораторные методы оценки качества моторных масел / А.Я. Левин, Г.Л. Трофимовна, О.В. Иванова, Г.А. Будановская //Химия и технология топлив и масел. – 2006. –№ 2. – С. 50–51.

23. Лашхи В.Л. Нормирование показателей состояния работавших моторных масел / В.Л. Лашхи, Г.И. Шор, Н.И. Скиндер, О.З. Котельникова, Г.Г. Холостова, Л.В. Боренко, Ф.С. Гордиенко // Химия и технология топлив и масел. – 1983. – № 2. – С. 16–18.

24. Меньшиков А.П. Исследование метода диэлектрического анализа технического состояния рабочих жидкостей авиационных гидросистем/А.П. Меньшиков, С.Д. Сагай // Сборник трудов НАУ. - 1975. - С. 27-30.

25. Ханмамедов С.А. Связь диэлектрических и вязкостных характеристик турбинных смазочных масел / С.А. Ханмамедов, А.М. Бардецкий // Химия и технология топлив и масел. – 1988 – № 5. – С. 21–22.

26. Степанов А.В. Повышение надежности автосамосвалов, которые работают на породных отвалах: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.22.20 «Эксплуатация и ремонт средств транспорта» / А.В. Степанов. – Харьков, 2008. – 24 с.

27. Заренбин В. Г. Возможность применения кондуктометрического метода для контроля степени загрязнения автомобильных масел /В. Г. Заренбин, А. А. Лифинцев, Г. И. Забияка, Г. Г. Карасёв //Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ: ПДАБА, 2008. – № 1-2. – С. 26–30.

28. А. с. 1566291 СССР. МКNG 01. Способ определения качества смазочного масла / А.М. Бардецкий, С.А. Ханмамедов. - № 33/30; заявл 05.10.89; опубл. 23.05.90, Бюл. №19.

29. Бабенко А.О. Диагностика износа и долговечности деталей машин по электропроводности смазочного масла: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.02.02 «Машиноведение» / А.О. Бабенко. – Харьков, 2002. – 20с.

30. Шатохина Е.В. Устройство для экспресс-контроля качества масел / Е.В. Шатохина // Химия и технология топлив и масел. – 2007 – № 5. – С. 46–48.

31. Григоров А.Б. Диэлектрическая проницаемость, как комплексный показатель, характеризующий изменение качества моторных масел в процессии их эксплуатации / А.Б. Григоров, П.В. Карножицкий, С.А. Слободской // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2006. – №25. – С.169–175.

32. Григоров А.Б. Изменение диэлектрической проницаемости дизельных моторных масел в эксплуатации/ А.Б. Григоров, П.В. Карножицкий, И.С. Наглюк // Автомобильный транспорт. – 2007. – №20. – С. 95–97.

33. Григоров А.Б. Влияние загрязнений моторных масел в процессе эксплуатации на величину изменения их относительной диэлектрической проницаемости/ А.Б. Григоров // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2007. – №32. – С.133–138.

34. Сычев С.Н. Теоретическое обоснование контроля моторных масел электрическим методом (по значению диэлектрической проницаемости) / С.Н. Сычев, К.В. Подмастерьев, Е.В. Пахолкин //Контроль. Диагностика.- 2005 – №12. – С. 20–25.

Раздел 3

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАБОТАЮЩИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

3.1. Влияние на диэлектрическую проницаемость состава моторных масел

Моторные масла – это диэлектрики, представленные в виде многокомпонентных дисперсных систем, дисперсионной средой которых является базовое масло, а дисперсной фазой пакет присадок улучшающих эксплуатационные свойства масел [1].

При рассмотрении базового масла, следует отметить, что сегодня широко распространены минеральные базовые масла, получаемые при переработке нефти под вакуумом. Они представляют собой жидкие смеси высококипящих углеводородов ($t_{\text{кип}} = 300 - 600^{\circ}\text{C}$), в состав которых обычно входят не менее восьми - десяти основных компонентов [2].

В странах Европы и США наряду с нефтяными базовыми маслами для эксплуатации современных двигателей внутреннего сгорания в широком диапазоне температур и высоких нагрузках производят масла, полученные направленным синтезом – синтетические. Известно, что для производства синтетических базовых масел производители применяют полиолефины, полиэферы фосфорной и кремневой кислот [3].

В ряде случаев, прежде всего из экономических соображений, находят применение масла, полученные смешиванием минерального и синтетического базового масла в различных соотношениях – полусинтетические.

Диэлектрические свойства базовых масел легко объяснить с точки зрения электрокинетической теории, которая раскрывает механизм поведение полярных и неполярных молекул масла под воздействием внешнего электрического поля. Большинство молекул базовых масел нефтяного происхождения состоят из одинаковых атомов, связанных ковалентной связью с равномерным

распределением зарядов, что представляет собой неполярную связь. Однако если ковалентная связь соединяет не тождественные атомы, а атомы различных элементов, в случае с синтетическими маслами на основе полиэфиров у одного атома сосредотачивается избыток отрицательных зарядов, а у другого равный по величине избыток положительных зарядов. Такое распределение зарядов обуславливает полярную связь между молекулами синтетического базового масла. Полярность связи или вещества характеризуется дипольным моментом μ [1].

Наименьшим дипольным моментом обладает связь $C - H$ ($\mu = 0,2D$, $l/d = 0,04$). Такую связь можно считать неполярной, так как ее полярность составляет всего 0,04. Этим можно объяснить хорошие электроизоляционные свойства (не высокое значение диэлектрической проницаемости ϵ) базовых масел нефтяного происхождения и синтетических на основе поли- α -олефинов.

Теперь рассмотрим, связь между относительной диэлектрической проницаемостью ϵ' и поляризационными процессами, возникающими в базовом масле при воздействии на него внешнего электрического поля. Для этого, рассмотрим формулу Дебая для определения результирующей поляризации [1, 4]

$$P = \frac{\epsilon' - 1}{\epsilon' + 2} \cdot \frac{M}{\rho} = \frac{4\pi N}{3} \cdot \alpha + \frac{4\pi N}{3} \cdot \frac{\mu^2}{3kT}, \quad (3.1)$$

где P – результирующая поляризация;

ϵ' – диэлектрическая проницаемость базового масла;

M – молекулярный вес;

ρ – плотность;

k – постоянная Больцмана;

α – поляризуемость;

N – число Авогадро;

μ – постоянный дипольный момент;

T – абсолютная температура.

Под действием электрического поля (например, электрического поля в зазоре измерительной ячейки) в базовом масле происходят изменения, оказывающие обратное воздействие на внешнее электрическое поле. неполярные молекулы базового масла при отсутствии внешнего электрического поля электрически нейтральны. Только в результате смещения зарядов (деформационная поляризация $-\frac{4\pi N}{3} \cdot \alpha$) под действием электрического поля образуются небольшие индуцированные диполи, значение которых зависит от напряженности электрического поля. Такой процесс смещения связанных зарядов в масле вызывает появления поляризационных токов или токов смещения [1, 4-6].

Полярные молекулы базового масла стремятся повернуться (ориентационная поляризация $-\frac{4\pi N}{3} \cdot \frac{\mu^2}{3kT}$), так чтобы их оси (линии, соединяющие заряды) по направлению действия поля, созданного зарядом на электродах измерительной ячейки.

Благодаря такой ориентации молекул базовое масло поляризуется, то есть в нем образуются противоположные электрические полюса вследствие, возникновения поляризационных зарядов. Величина поляризационного заряда масла зависит от числа диполей в единице объема и от дипольного момента молекул. Чем больше дипольный момент молекул, тем больше поляризационный заряд.

Зависимость между поляризуемостью и ε выражается уравнением Клаузиуса – Мосотти [4]

$$\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2} = \frac{4\pi}{3} \cdot n\alpha, \quad (3.2)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость;

n – число молекул в единице объема;

α – поляризуемость, которая характеризует строение молекулы, показывая, насколько легко деформируется электронная оболочка.

Поляризационные заряды создают поле направленное противоположно полю, которое было создано зарядами на электродах измерительной ячейки до помещения масла. Чем сильнее ослабляется в результате этого первоначальное поле, тем больше ε базового масла.

Таким образом, на поляризацию базового масла α , следовательно, и величину его ε оказывают влияние следующие факторы, связанные непосредственно со строением вещества: дипольный момент молекул; количество диполей в единице объема масла; характер связи между молекулами [6, 7].

3.2. Диэлектрическая проницаемость моторных масел в эксплуатации

Многочисленные экспериментальные данные и литературные источники [8, 9] свидетельствуют о том, что при эксплуатации моторного масла происходит возрастание величины его диэлектрической проницаемости.

Такое увеличение диэлектрической проницаемости часто связывают с окислением углеводородов масла и наличием в нем частичек износа трущихся деталей и других загрязнений, которые имеют высокую удельную электропроводность.

Как известно, основным физическим свойством, по которому объединяют разнообразные по фазовому состоянию, физико-химическими свойствами и структурой вещества и относят их к диэлектрикам, является поляризация и практически отсутствующая электропроводность. Поскольку в дальнейшем будут рассматриваться процессы, в которых макроскопическое электрическое поле отсутствует, индукционный механизм поляризации не будет приниматься во внимание (по крайней мере, относительно молекул жидкой среды), речь будет идти о материалах, которые имеют собственные дипольные моменты молекул, то есть о полярных диэлектриках. Кроме того, нужно иметь в виду, что постоянный

дипольный момент полярных молекул имеет порядок величины $p_o \approx (10^{-29} - 10^{-30})$ Кл·м, в то время как приведенный (индукционный) дипольный момент имеет порядок $p_i \approx 10^{-34}$ Кл·м, то есть в среднем на четыре порядка меньше. Температурная зависимость диэлектрической проницаемости полярных диэлектриков при небольших электрических полях и температурах не ниже комнатной, выражается формулой [6]

$$\varepsilon = 1 + \frac{n_V p_o^2}{3\varepsilon_0 kT}, \quad (3.3)$$

где n_V – объемная концентрация полярных молекул;

p_o – величина дипольного момента молекулы;

ε_0 – диэлектрическая постоянная.

Приведенная формула в полной мере согласуется с экспериментальными данными для газов, но в указанных электрических полях и температурных условиях ей можно пользоваться также и для жидкостей, если жидкость является однородной и изотропной. Если же жидкость содержит примеси, как работающее моторное масло, то ее диэлектрическая проницаемость зависит от характера примесей и их концентрации. Зависимость диэлектрической проницаемости ε_ω диэлектрической среды (моторного масла), которая содержит примеси, от объемной концентрации n_V примесей довольно удовлетворительно описывается классическим уравнением, которое было получено Максвеллом [10]:

$$\varepsilon_\omega = \varepsilon \left(1 + \frac{3\omega}{\frac{\nu+2}{\nu-1} - \omega} \right), \quad (3.4)$$

где ν – отношение диэлектрической проницаемости дисперсной фазы ε'

(частичек загрязнений) к диэлектрической проницаемости дисперсной среды ε (чистого моторного масла) ($\nu = \frac{\varepsilon'}{\varepsilon}$);

ε – диэлектрическая проницаемость среды (моторного масла) без включений;

ω – относительная концентрация дисперсной фазы, что связанная с объемной концентрацией n_V и средним размером \bar{a} дисперсных частичек соотношением [10]

$$\omega = n_V \bar{a}^3 \quad (3.5)$$

При анализе влияния мелкодисперсных примесей на диэлектрическую проницаемость среды (моторного масла) нужно иметь в виду, что мелкодисперсные частички имеют на себе электрический заряд, величина которого в определенном интервале размеров пропорциональна размеру частичек, а знак зависит от природы материала частичек и окружающей среды [11].

Физический механизм возникновения заряда на таких частичках состоит в выравнивании электрохимических потенциалов двух сред, которые находятся в состоянии термодинамического равновесия. Он обеспечивается через адсорбцию субмикроскопическими частичками присутствующих в среде ионов, а также через термоэлектронную эмиссию, которая возникает при контактном взаимодействии частичек. Как известно из теории контактных явлений, при контакте двух сред, между которыми возможен обмен заряженными частичками, между ними возникает контактная разность потенциалов $\Delta\varphi$, которая связана с разностью их химических потенциалов $\Delta\mu$ соотношением $\Delta\varphi = \frac{\Delta\mu}{e}$ (e – заряд электрона). Эта разность потенциалов локализована в зоне контакта между средами на расстоянии, которое принято называть двойным электрическим слоем.

Химические потенциалы взаимодействующих сред зависят, как правило, от их температуры, массы и концентрации микроскопических частиц, которые составляют вещество, и так далее. Потенциал φ_D такого двойного электрического слоя называется *дебаевским* потенциалом (в физической химии его по обыкновению называют ξ -потенциалом). Он уменьшается с расстоянием r от заряженной зарядом q квазисферической частички по закону [6]

$$\varphi_D = \varphi_0 e^{-\frac{r}{\delta}}, \quad (3.6)$$

где φ_0 – потенциал выхода для материала частички;

δ – радиус дебаевского экранирования, который можно отождествлять с шириной двойного электрического слоя (за его пределами электрическое поле «основного» заряда является ничтожно малым).

С другой стороны, этот потенциал можно рассматривать как потенциал сферического заряда q в среде с диэлектрической проницаемостью ε , которая учитывает индуцированные заряды, то есть [6]

$$\varphi_D = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r}. \quad (3.7)$$

Из двух последних уравнений вытекает, что сферическая частичка радиусом \bar{a} , которая осуществляет обмен зарядами с окружающей средой, имеет электрический заряд величиной

$$q = 4\pi\varepsilon_0\varepsilon\varphi_0\bar{a} \cdot e^{-\frac{\bar{a}}{\delta}} \quad (3.8)$$

(при этом в обоих уравнениях нужно принять $r = \bar{a}$).

Как видно из этой формулы, при малых размерах частичек ($\bar{a} \ll \delta$) их заряд q почти линейно зависит от радиуса \bar{a} , а при больших размерах ($\bar{a} \gg \delta$) стремиться к нулю.

При установлении характера зависимости диэлектрической проницаемости от концентрации частичек примесей необходимо иметь в виду, что каждая заряженная частичка, которая окружена ионами противоположного знака, создает кластер, радиус которого равняется радиусу дебаевского экранирования. Такой кластер является аналогом неполярной молекулы, которая вследствие поляризации в электрическом поле приобретает дипольный момент $\vec{p} = \alpha \vec{E}$, где поляризованность $\alpha = \delta^3$.

Величина радиуса дебаевского экранирования [1, 6]

$$\delta = \frac{1}{2q} \sqrt{\frac{\epsilon_0 k T}{\pi n_V}}. \quad (3.9)$$

Диэлектрическая проницаемость, которая обусловлена этим механизмом, определяется из стандартного уравнения [1]:

$$\epsilon' = 1 + 4\pi n_V \alpha. \quad (3.10)$$

Тогда, учитывая уравнение (2.10) и (2.11), получим

$$\epsilon' = 1 + \frac{\pi}{2q^3 \sqrt{n_V}} \left(\frac{\epsilon_0 k T}{\pi} \right)^{3/2}, \quad (3.11)$$

С учетом этого уравнения выражение для величины ν в формуле (3.4) приобретает вид:

$$\nu = \frac{1}{\epsilon} \left[1 + \frac{\pi}{2q^3} \left(\frac{\epsilon_0 k T}{\pi} \right)^{3/2} \frac{1}{\sqrt{n_V}} \right]. \quad (3.12)$$

Подстановка уравнения (3.12) в (3.4) с учетом (3.8) и (3.9) в принципе позволяет с помощью числовых методов найти зависимость ε от n_V , но для качественной оценки этой зависимости можно задаться характерной для дисперсных частичек средней величиной заряда $\langle q \rangle \approx 10^{-18}$ Кл [12].

Тогда уравнение (3.5), которое выражает в явном виде зависимость $\varepsilon_\omega = f(n_V)$, можно представить в компактифицированном виде:

$$\frac{\varepsilon_\omega}{\varepsilon} = 1 + \frac{3}{\frac{1}{n_V \bar{a}^3} \frac{v(n_V) + 2}{v(n_V) - 1} - 1}, \quad (3.13)$$

где зависимость $v = v(n_V)$ определяется уравнением (3.12).

В зависимости от средней величины заряда $\langle q \rangle$ дисперсных частичек, которые находятся в определенных физико-химических условиях, величина v может быть как больше, так и меньше единицы. При $\langle q \rangle / 10^{-18}$ Кл $v > 1$, и зависимость $\varepsilon_\omega = f(n_V)$ есть возрастающей, а при $\langle q \rangle / 10^{-18}$ Кл эта зависимость может иметь максимум или насыщения в зоне больших концентраций [11].

Для вычисления диэлектрической проницаемости ε_ω по формуле (3.13) необходимо знать средний размер \bar{a} частичек примесей, который можно найти из функции распределения частичек примесей по размеру. По данными, приведенным в работе [10] распределение частичек примесей в топливе с достаточной точностью описывается функцией Нукияма – Танасавы, что имеет вид [11]

$$f(a) = \gamma a^2 \exp(-ba^\beta), \quad (3.14)$$

где γ , b и β – параметры функции распределения, которые определяются из эксперимента.

Средний размер частичек определяется по стандартной формуле, которая с учетом функции распределения (3.14) приобретает вид

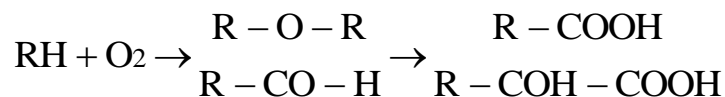
$$\bar{a} = \int_0^{a_{\max}} af(a)da = \gamma \int_0^{a_{\max}} a^3 e^{-b \cdot a^\beta} da, \quad (3.15)$$

В частности, средний размер примесей, которые содержатся в дизельном топливе, вычисленный по этой формуле [10], дает, в зависимости от вида горючего, величину (5 ÷ 10) мкм, что довольно хорошо согласуется с экспериментальными данными. Теоретическая кривая, $\varepsilon_\omega = f(\omega)$ рассчитанная по формуле (3.13) довольно хорошо согласуется с экспериментальной кривой полученной в работе [10] для дизельного топлива при различных условиях, при этом диэлектрическая проницаемость дизельного топлива, которое содержит дисперсные примеси, превышает диэлектрическую проницаемость чистого дизельного топлива и увеличивается с ростом относительной концентрации ω дисперсной фазы, стремясь к насыщению при $\omega \geq 0,3$.

Предположим, что диэлектрическая проницаемость моторного масла, которое содержит дисперсные примеси, также будет превышать диэлектрическую проницаемость чистого масла и увеличивается с ростом относительной концентрации ω дисперсной фазы, стремясь к насыщению при некоторой величине ω .

Кратко рассмотрим влияние окисления базового масла на его диэлектрическую проницаемость. Как следует из изложенного выше, окисление металлических примесей ведет к уменьшению их диэлектрической проницаемости. Но окисление непроводящих примесей и углеводородов базового масла может привести к противоположным результатам.

Несколько упрощенная схема химических реакций, протекающих при окислении углеводородов масла, может быть представлена следующим образом [13, 14]:



Первичные продукты окисления – низкомолекулярные кислоты и оксикислоты – являются растворимыми в масле соединениями. Промежуточными продуктами окисления являются альдегиды и оксикислоты, для которых характерно наличие карбонильной группы $\text{C} = \text{O}$. Карбонильная группа $\text{C} = \text{O}$ особенно склонна к поляризации, вследствие особой подвижности π – электронов. Подтверждением этому служит работа [7], в которой описана полярная активность продуктов старения моторных масел.

Для анализа процессов поляризации молекул воспользуемся понятием электронных облаков, которые соответствуют электронам в атомах и молекулах, с равномерно распределенным зарядом. Для неравномерного распределения заряда величина дипольного момента системы определяется уравнением [11]

$$\vec{p} = \iiint \rho(\vec{r}) \vec{r} dV, \quad (3.16)$$

где $\rho(\vec{r})$ – плотность электронного облака, которая является функцией координат и может быть как отрицательной (для электронов), так и положительной (для ядра) величиной.

В зависимости от типа симметрии электронного облака система с распределенным электронным зарядом может иметь или не иметь дипольный момент. Очевидно, что сферически симметричная система (то есть система, которая имеет центр симметрии) не может иметь дипольного момента.

При окислении таких молекул атом кислорода, который присоединяется к молекуле, поднимает ее сферическую симметрию, вследствие чего окисленная молекула приобретает дипольный момента.

Таким образом, в процессе окисления масла находящиеся в нем проводящие примеси уменьшают свою диэлектрическую проницаемость, в то время как основная молекула дисперсной системы (моторного масла) большей частью переходит в состояние с повышенной проницаемостью.

Для качественной оценки влияния проводящих примесей, накапливающихся в моторном масле при эксплуатации, на его диэлектрическую проницаемость, рассмотрим упрощенную модель системы, в которой частички имеют форму куба с ребром a (средний размер проводящих примесей) и расположенные в узлах прямоугольной регулярной решетки на расстоянии b одна от другой в каждом ряду (см. рис. 3.1).

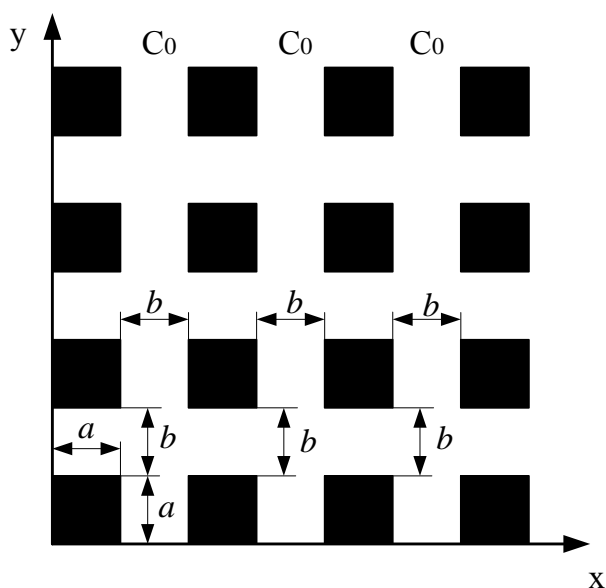


Рис. 3.1 – Модель диэлектрической среды (моторного масла) с равномерно распределенными проводящими примесями кубической формы

Каждой линейной цепочке вдоль осей δ , y , z соответствует эквивалентный круг последовательно соединенных конденсаторов емкостью

$$C_0 = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon a^2}{b}, \quad (3.17)$$

Тогда емкость одного линейного круга для каждой оси координат

$$C_{x(i)} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon a^2}{Nb}, \quad (3.18)$$

где N – количество проводящих примесей вдоль каждой оси ($N_x = N_y = N_z = N$).

Вычислим теперь результирующую емкость C_{xy} в плоскости $x - z$, считая, что обкладки «результирующего конденсатора» ориентированные перпендикулярно к оси y и содержат в себе определенный объем масла с примесями.

Поскольку в этом случае линейные круги соединяются параллельно, их результирующая емкость

$$C_{xy} = C_x \cdot N = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon a^2}{Nb} \cdot N = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon a^2}{b}, \quad (3.19)$$

Для трех мерной системы C_{xyz} имеем параллельное соединение N конденсаторов емкостью C_{xy} , то есть

$$C_{xyz} = C_{xy} \cdot N = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon a^2}{b} \cdot N. \quad (3.20)$$

С другой стороны, эту емкость можно рассматривать как ту, которая соответствует конденсатору общей площадью обкладок $N^2 a^2$ ($Na^2 \cdot N$) и длиной $N(a + b)$, то есть

$$C_{xyz} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon' \cdot N^2 a^2}{N(a + b)} = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon' a^2}{a + b} N, \quad (3.21)$$

где ε' – диэлектрическая проницаемость моторного масла с проводящими примесями.

Приравнявая уравнения (3.20) и (3.21) получим

$$\varepsilon' = \frac{a+b}{b} \varepsilon. \quad (3.22)$$

Для трехмерной структуры отношение линейных параметров a и b можно выразить через объемные параметры: V – общий объем моторного масла с проводящими примесями и V_0 – общий объем проводящих примесей.

Соотношение между этими параметрами имеет очевидный вид:

$$\left(\frac{a+b}{b}\right)^3 = \frac{V}{V-V_0}. \quad (3.23)$$

Учитывая это соотношение, и осуществляя некоторые преобразования формулу (3.22) можно подать в виде

$$\varepsilon' = \left(\frac{1}{1 - \frac{1}{3}\omega} \right) \varepsilon, \quad (3.24)$$

где ω – относительная концентрация проводящих примесей, которая определяется по формуле (3.5).

Из уравнения (3.24) следует, что с увеличением в работающем масле относительной массовой концентрации ω проводящей примеси будет наблюдаться возрастание величины параметра ε' масла, в частности при отсутствии проводящих примесей ($\omega \rightarrow 0$) $\varepsilon' = \varepsilon$, то есть диэлектрическая проницаемость моторного масла не изменяется.

Учитывая то факт, что для работающего масла $\varepsilon' > \varepsilon$, что объясняется накоплением в масле проводящих примесей то, для определения качества масла

при эксплуатации автомобильных двигателей воспользуемся параметром приращения диэлектрической проницаемости $\Delta\varepsilon$

$$\Delta\varepsilon = \varepsilon' - \varepsilon. \quad (3.25)$$

Представив относительную объемную концентрацию ω проводящей примеси как

$$\omega = \frac{\rho_{\text{м.}}}{\rho_{\text{п.п.}}} \omega_{\text{м}}, \quad (3.26)$$

где $\rho_{\text{м.}}$ – плотность моторного масла г/см³;

$\rho_{\text{п.п.}}$ – плотность проводящих примесей находящихся в масле г/см³;

$\omega_{\text{м}}$ – относительная массовая концентрация проводящей примеси.

Путем подстановки уравнения (3.24) в (3.25) с учетом (3.26) получаем конечное выражение, качественно описывающее влияние проводящих примесей на величину параметра $\Delta\varepsilon$ моторного масла

$$\Delta\varepsilon = \left[\left(\frac{1}{1 - \frac{1}{3} \frac{\rho_{\text{м.}}}{\rho_{\text{п.п.}}} \omega_{\text{м}}} \right) - 1 \right] \varepsilon. \quad (3.27)$$

3.3. Модель рациональных сроков замены моторных масел при эксплуатации техники

Для определения рационального срока замены масла при эксплуатации техники по параметру $\Delta\varepsilon$, примем допущение о том, что зависимость диэлектрической проницаемости ε моторного масла от срока эксплуатации техники $L_{\text{авт.}}$ можно представить, как прямую tg угла наклона которой будет

определяться интенсивностью изменения величины ε масла при эксплуатации техники.

Для расчета интенсивность изменения величины ε масла при эксплуатации техники воспользуемся формулой следующего вида

$$K = \frac{\Delta\varepsilon}{L_{\text{авт.}}}, \quad (3.28)$$

где $\Delta\varepsilon$ – измеренное или рассчитанное по уравнениям регрессии значение параметра приращения диэлектрической проницаемости масла;

$L_{\text{авт.}}$ – срок эксплуатации техники, после последней замены масла, км.

С другой стороны интенсивности изменения диагностического величины ε масла при эксплуатации техники можно представить как

$$K = \frac{\Delta\varepsilon^{3.М.}}{L_{\text{авт.}}^{3.М.}}, \quad (3.29)$$

где $\Delta\varepsilon^{3.М.}$ – величина параметра приращения диэлектрической проницаемости масла, характеризующая остаточный запас его физико-химических свойств до замены;

$L_{\text{авт.}}^{3.М.}$ – срок эксплуатации техники до замены масла (оптимальный срок замены масла), км.

Приравняв правые части уравнений (3.28) и (3.29) и, решая полученное уравнение, относительно $L_{\text{авт.}}^{3.М.}$ и сделав некоторые преобразования, получим модель определения рационального срока замены моторного масла при эксплуатации техники

$$L_{\text{авт.}}^{3.М.} = \frac{\left(\Delta\varepsilon^{\text{пред.}} - \Delta\varepsilon \right) L_{\text{авт.}}}{\Delta\varepsilon}, \quad (3.30)$$

где $\Delta\varepsilon^{\text{пред}}$ – предельное значение параметра приращения диэлектрической проницаемости масла, при достижении которого эксплуатацию техники целесообразно прекратить и осуществить замену масла.

Графическая интерпретация рассматриваемой модели, позволяющей определить рациональный срок замены моторного масла при эксплуатации техники, приведена на рис. 3.2.

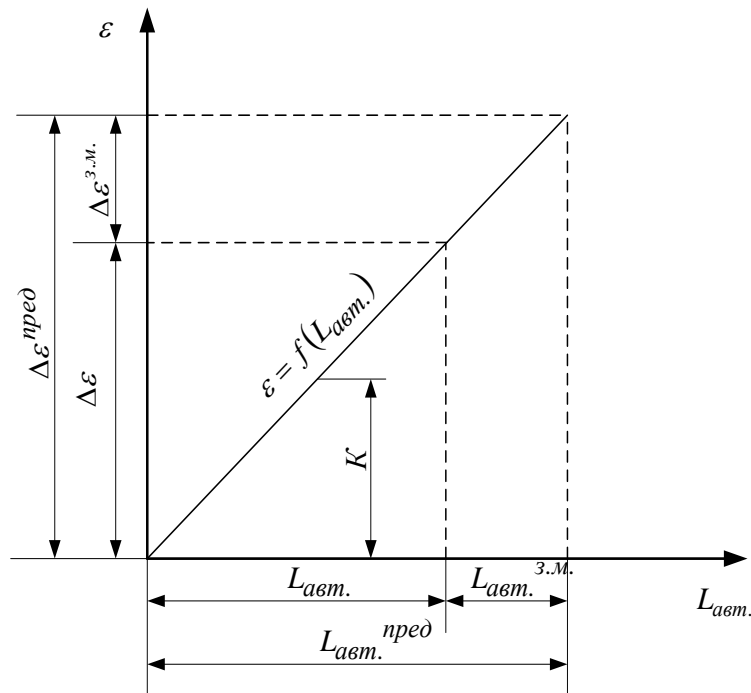


Рис. 3.2 – Зависимость величины диэлектрической проницаемости масла ε от срока эксплуатации техники

3.3. Характеристика методов измерения диэлектрической проницаемости

Среди большого числа методов измерений диэлектрической проницаемости наиболее часто используются следующие методы:

- 1) Электростатические – метод, основанный на законе Кулона и статический метод измерения емкости.
- 2) Методы измерения емкости на переменном токе – мостовой, резонансный, метод биений.

3) СВЧ – методы – метод стоячей волны, метод объемного резонатора.

При диэлектрических измерениях частота может находиться в диапазоне от 0 до 10^{12} Гц. Указанный частотный диапазон столь широк, что выбрать какой – либо универсальный метод, пригодный для измерения во всех областях спектра, не представляется возможным. При выборе метода в каждом конкретном случае решающим фактором является частота, на которой осуществляются измерения [4, 15].

3.4. Резонансный метод измерения диэлектрической проницаемости моторных масел

В методах прямого измерения диэлектрической проницаемости важно исключить неровности поверхности электродов измерительного конденсатора, обеспечить их параллельность и т. д. На результат измерения могут также оказывать влияние паразитные элементы измерительных устройств, а именно: емкость C_k , обусловленную наличием электрического поля не только в образце, но и между краями электродов и соединительными проводами; индуктивность L_k , связанную с наличием магнитного поля, окружающего измерительный конденсатор и соединительные провода.

Учитывая сказанное, в предложенной далее методике для определения величины диэлектрической проницаемости проб, отрицательное действие побочных факторов на результаты измерений снижено за счет сохранения постоянных условий, как при подготовке проб, так и при проведении измерений.

С этой целью принят резонансный метод прямого измерения диэлектрической проницаемости моторных масел. Резонансный метод характеризуется повышенной чувствительностью измерений и основан на измерении параметров колебательного контура при присоединении к нему конденсатора (измерительной ячейки), заполненного исследуемым маслом [16]. К преимуществам данного метода также можно отнести и довольно широкий

диапазон частот, на которых можно производить измерения диэлектрической проницаемости (от 10^2 до 10^8 Гц).

В качестве измерительной схемы применяется принцип Q – метра, то есть свойство последовательного колебательного контура, настроенного в резонанс, увеличивать напряжение E на емкости контура в Q раз по сравнению с ЭДС (e), вводимой в контур [16]. Измеритель добротности предназначен для измерения добротности Q катушек индуктивности и величины емкости C . Внешний вид измерителя добротности (Q –метр) типа Е4-4 приведены на рис. 3.3.



Рис. 3.3 – Внешний вид измерителя добротности (Q – метра) типа Е4–4

Относительная диэлектрическая проницаемость ε может быть определена, по средствам Q – метра, о формуле следующего вида [4, 16]:

$$\varepsilon = \frac{C}{C_0}. \quad (3.31)$$

где C_0 – емкость конденсатора пустой измерительной ячейки, pF;

C – емкость конденсатора измерительной ячейки при внесении в него исследуемого моторного масла, pF.

Для оценки точности применяемой методики измерения часто ставят специальную серию опытов, многократно повторяя анализ одной и той же

пробы. На проведение большой серии опытов требуется много времени, в течении которого может неконтролируемым образом измениться среднее значение результатов анализа. В этом случае значительно проще и удобнее определять ошибку воспроизводимости (погрешность измерений), по текущим измерениям [17].

Погрешность измерения относительной диэлектрической проницаемости моторных масел резонансным методом, составляет 0,0030.

3.5. Подготовка испытуемой пробы моторного масла

Определение диэлектрических свойств моторных масел может быть связано с некоторыми трудностями методологического характера и, прежде всего, с подготовкой проб.

Точность измерений истинных значений диэлектрической проницаемости моторных масел зависит от ряда условий, основные из которых связаны с подготовкой образцов, конструкциями измерительных ячеек и погрешностью применяемых методов измерения.

Существенное влияние на результаты измерения оказывает влажность масла, т.к. вода имеет большие численные значения диэлектрической проницаемости. Так же на точность определения диэлектрической проницаемости влияет и наличие механических примесей, которые, как и влага, могут попасть в пробы масла при хранении и транспортировке. Поэтому все образцы масла, которые, поступают для анализа, должны храниться в специальной герметично закрытой таре.

В тех случаях, когда измеряется диэлектрическая проницаемость проб масла, взятых непосредственно из двигателя автомобиля, предварительная подготовка пробы не требуется.

В случае испытания проб масел после их транспортировки или хранения на складе, необходимо перед определением диэлектрической проницаемости произвести предварительную их очистку от механических примесей и сушку.

Очистка от механических примесей может осуществляться путем центрифугирования или фильтрования пробы масла. Что касается сушки масла, то она проводится путем пропускания пробы через фильтрующую воронку типа ВФ ПОР-40 или ВФ ПОР-10 по ГОСТ 25336-82 диаметром 35 мм или посредством сушки в эксикаторе, в тонком слое (5-10 мм) над твердым осушителем.

3.6. Устройство ячейки для измерения диэлектрической проницаемости масел

Для измерения диэлектрической проницаемости масел в данной работе использовалась измерительная ячейка двухзажимного типа. Схематически ячейка изображена на рис. 3.4.

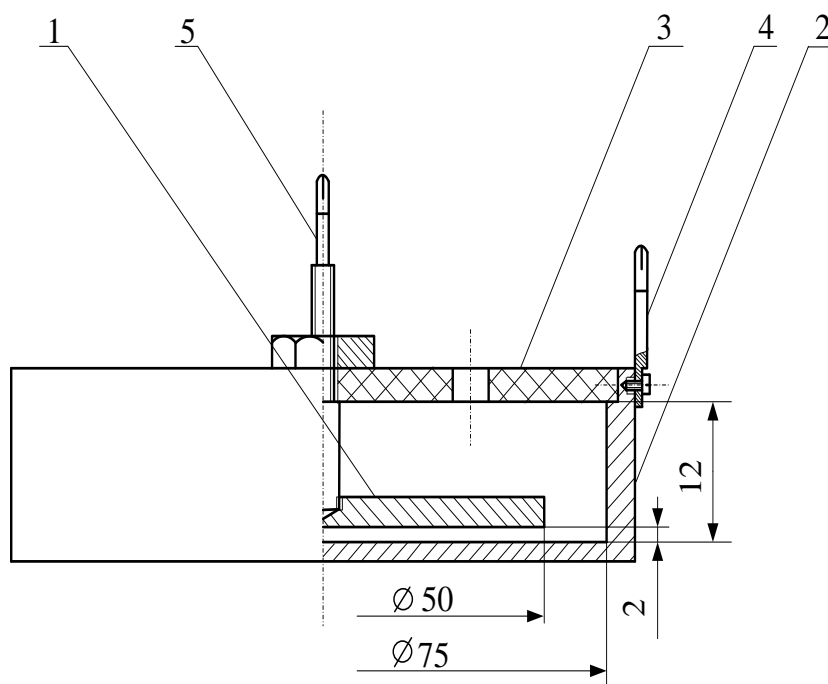


Рис. 3.4 – Схема плоской измерительной ячейки двухзажимного типа:
1 – измерительный электрод (внутренний); 2 – высоковольтный электрод (внешний); 3 – прокладка из твердого изоляционного материала с высоким электрическим сопротивлением; 4 – зажим измерительного электрода для соединения с электрической схемой; 5 – зажим высоковольтного электрода для соединения с электрической схемой; 6 – отверстие для термометра

В соответствии с ГОСТ [18] конструкция применяемой ячейки является удобной для ее разборки и тщательной очистки. Электроды сохраняют первоначальное положение относительно друг друга (то есть собственная емкость ячейки должна воспроизводиться с погрешностью не более $\pm 3\%$).

Материалы, применяемые при изготовлении ячейки, выдерживают требуемые температуры, и изменение последней не влияет на взаимное расположение электродов. Для изготовления электродов измерительной ячейки применялась нержавеющая сталь, устойчивая к коррозии, вызываемой промывочным составом, и не оказывающая каталитического влияния на окисление испытуемого моторного масла. Шероховатость рабочих поверхностей электродов по ГОСТ 2789–73 R_a не превышает 0,20 мкм на базовой длине $l = 0,25$ мм. Обязательным размером в конструкции измерительной ячейки является зазор между измерительным и высоковольтным электродами, который должен быть равен $(2 \pm 0,1)$ мм.

В качестве твердого электроизоляционного материала применялся фторопласт–4, который не адсорбирует испытуемые масла, а также промывочные составы и не оказывает влияние на результаты измерений.

Электроды измерительной ячейки имеют контактные зажимы, обеспечивающие надежное соединение электродов с соответствующими элементами схемы. Все соединения ячейки с измерительным прибором выполняются экранированным кабелем. При этом экран высоковольтного кабеля должен быть присоединен к заземленной клемме прибора.

Перед проведением измерений ячейка должна быть полностью демонтирована и все ее детали должны быть тщательно промыты растворителем (в качестве растворителя могут применяться петролейный эфир или толуол). Растворитель, используемый для очистки измерительной ячейки, должен быть технически чистым и храниться в стеклянных сосудах, защищенных от дневного света.

После промывки растворителями все детали ячейки ополаскивают ацетоном. Для удаления остатков ацетона и влаги детали ячейки сушат при

температуре 105 – 110⁰С в течение 1 – 1,5 ч. Если после сушки и охлаждения ячейку сразу не используют для измерения, ее хранят в эксикаторе с сухим воздухом.

После сушки детали измерительной ячейки следует довести до температуры, которая на 5 – 7⁰С выше комнатной, а затем смонтировать ячейку, избегая прикосновения незащищенными руками к рабочей поверхности электродов (например, производят эту операцию руками в чистых хлопчатобумажных или капроновых перчатках).

Собранную измерительную ячейку присоединяют к измерительной схеме и определяют емкость пустой ячейки C_0 . Одновременно с этим определяют и тангенс угла диэлектрических потерь пустой ячейки. При температуре от 15 до 35⁰С для ячейки двухзажимного типа измеренное значение тангенса угла диэлектрических потерь не должно превышать 0,0003. На основании этих измерений оценивают чистоту изоляционных прокладок ячейки. При больших значениях тангенса угла диэлектрических потерь ячейку следует разобрать и вновь тщательно промыть.

Чистую собранную ячейку нагревают до температуры, на 5 – 10⁰ превышающей заданную температуру измерения, и заполняют порцией предварительно нагретого масла ($\approx 30 \text{ см}^3$). Для промывки ячейки масло выливают и ячейку вновь заполняют маслом. Заполненную исследуемым маслом измерительную ячейку помещают в термостат, где поддерживается температура 30⁰С. После чего ячейку присоединяют к измерительной схеме и выдерживают в течение 10 – 15 мин., затем проводят измерение.

Формула для расчета диэлектрической проницаемости испытуемого моторного масла, имеет вид [18]

$$\varepsilon = \frac{C - C_{\text{п}}}{C_0 - C_{\text{п}}}. \quad (3.32)$$

где C – емкость ячейки заполненной испытуемым маслом, пФ;

C_0 – емкость пустой измерительной ячейки, пФ;

C_p – паразитная емкость ячейки, обусловленная наличием твердых, электроизоляционных прокладок, пустот, емкости проводов и т.д., пФ.

3.7. Влияние температуры и частоты измерений на диэлектрическую проницаемость моторных масел

Диэлектрическая проницаемость моторных масел зависит от температуры и частоты, при которой осуществляются измерения. Поэтому все измерения диэлектрической проницаемости моторных масел осуществлялись при фиксированной температуре и частоте.

На практике для определения влияния температуры на точность получаемых результатов измерения диэлектрической проницаемости широко применяются температурные коэффициенты диэлектрической проницаемости, которые позволяют учесть относительное изменение диэлектрической проницаемости, приходящееся на 1°C (для моторных масел температурный коэффициент, равен $-0,0016 \text{ 1 / }^{\circ}\text{C}$).

При повышении частоты измерения диэлектрической проницаемости моторных масел может наблюдаться или практическая независимость диэлектрической проницаемости от частоты или ее снижение. Исключением из этого правила может служить случай измерения диэлектрической проницаемости моторных масел на резонансной частоте, при которой возникает явление так называемой резонансной поляризации испытуемого моторного масла, что приводит к появлению максимумов в зависимостях $\varepsilon = f(\omega)$ [4, 6, 15].

Конструкция ячейки и измерительная схема прибора, используемые в данной работе для исследований, позволяют осуществлять измерения диэлектрической проницаемости моторных масел в частотном диапазоне от 50 до 110 кГц. Из приведенного выше, диапазона необходимо выбрать такую частоту измерения диэлектрической проницаемости свежих и отработанных масел, при которой величина параметра $\Delta\varepsilon$ для каждой пары отработанных масел будет достигать своих максимальных значений. Для этого на всех частотах

из диапазона 50 – 110 кГц была измерена диэлектрическая проницаемость масел, с последующим расчетом параметра $\Delta\varepsilon$.

Величина параметра $\Delta\varepsilon$ для исследуемых масел достигает своих максимальных значений при частоте измерения диэлектрической проницаемости, равной 80 кГц.

Список литературы к 3 разделу

1. Богородицкий Н.П. Электротехнические материалы / Н.П. Богородицкий, В.В. Пасынков, Б.М. Тареев. – Л.: «Энергия», 1977. – 352 с.
2. Фукс И. Г. Справочник по триботехнике. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения: [справочник] / И. Г. Фукс.; под ред. М. Хибды, А. В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, Варшава: ВКЛ, 1990. – Т. 2. – 416 с.
3. Караулов А.К. Автомобильные масла. Моторные и трансмиссионные. Ассортимент и применение: [справочник] / А. К. Караулов, Н. Н. Худолий. – К.: ООО "Журнал "Радуга", 2000. – 437с.
4. Надь Ш.Б. Диэлектрометрия / Ш.Б. Надь. – М.: Энергия, 1976. – 200с.
5. Духин С.С. Диэлектрические явления и двойной слой в дисперсных системах и поли электролитах / С.С. Духин, В.Н. Шилов. – К.: Издательство «Наукова думка», 1972. – 203с.
6. Тареев Б. М. Физика диэлектрических материалов / Б. М. Тареев. – М.: Энергия, 1973. – 328с.
7. Майофис И.М. Химия диэлектриков / И.М. Майофис. – М.: Высшая школа. – 1970. – 320с.
8. Идентификация горюче-смазочных материалов на объектах топливно-энергетического комплекса на основе электрофизических показателей: материалы международной научно-технической конференции, 20-25 июня 2002г. Санкт Петербург / С.В. Усиков, Л.К. Васильева, З.Д. Иванова. – М.: Академия прикладных исследований. – 2002. – С.325 – 332.

9. Сычев С.Н. Теоретическое обоснование контроля моторных масел электрическим методом (по значению диэлектрической проницаемости) / С.Н. Сычев, К.В. Подмастерьев, Е.В. Пахолкин // Контроль. Диагностика.– 2005 – №12. – С. 20–25.

10. Петрина Д.Я. О решении одной классической задачи электростатики с помощью вычислительной процедуры/ Д.Я. Петрина // Журнал вычислительной математики и математической физики. – 1984 (24), № 5, С. 709 – 721.

11. Грин Х. Аэрозоли – пыль, дымы и туманы. / Х. Грин, В. Лейн // (пер. с англ.)– Л.: Мир, 1969. – 356 с.

12. Березняков А.И. О корреляции между триботехническими и электрическими параметрами узла трения/ А.И. Березняков, Е.С. Венцель, А.М. Кравец // Трение и износ. – 2003. – № 1, С. 469 – 476.

13. Васильева Л.С. Методические указания по применению топлив смазочных материалов, рабочих и технических жидкостей для машин автомобильно-дорожного комплекса / Л.С. Васильева, В.И. Сидоров, В.В. Хилько. – М.: Изд. МАДИ, 1995. – 95 с.

14. Венцель С.В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – М.: «Техника», 1977. – 208с.

15. Эме Ф. Диэлектрические измерения для количественного анализа и определения химической структуры / Ф. Эме. – М.: Химия. , 1967. – 223с.

16. Григоров А.Б. Диэлектрическая проницаемость, как комплексный показатель, характеризующий изменение качества моторных масел в процессе их эксплуатации / А.Б. Григоров, П.В. Карножицкий, С.А. Слободской // Вестник национального технического университета «ХПИ». – 2006. – №25. – С.169–175.

17. Ахназарова С.Л. Оптимизация эксперимента в химии и химической технологии / С.Л. Ахназарова, В.В. Кафаров. – М.: Высш. Школа, 1978. – 319с.

18. Материалы. Электроизолирующие жидкости. Методы электрических испытаний: ГОСТ 6581 – 75. – [Действует от 1988-01-01]. – М.: Государственный комитет по стандартам СССР, 1975. – 23с.

Раздел 4

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАБОТАЮЩИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

4.1. Идентификация моторных масел

Современный рынок смазочных масел Украины представлен широким спектром моторных масел, выпускаемых зарубежными фирмами-производителями автомобильных смазочных материалов. Одной из основных классификаций предлагаемых моторных масел является классификация по кинематической вязкости, в основе которой лежит стандарт SAE J300, разработанный Американской ассоциацией автомобильных инженеров (SAE).

Нередко среди моторных масел встречается фальсификат с классом вязкости, не отвечающим требованиям, заявленным в нормативно-технической документации на них. Такое положение дел обуславливает необходимость разрабатывать методы и средства, позволяющие оперативно идентифицировать класс вязкости моторных масел с целью определения возможности их применения в определенных режимах эксплуатации и температурном интервале окружающей среды.

Для производства моторных масел SAE 5W-40 в основном применяют базовое масло, полученное направленным синтезом из поли- α -олефинов (ПАО) и сложных эфиров. Масла SAE 15W-40 состоят из базового масла, полученного переработкой нефти с последующей селективной очисткой выделенных фракций и их компаундированием [1].

Анализ современных тенденций развития методов идентификации нефтепродуктов показал, что особенно интенсивно развиваются методы, в основу которых положено использование хроматографических и спектроскопических методов анализа. Известен способ идентификации смазочных масел [2], суть которого состоит в измерении оптической плотности образца при заданной длине волны в инфракрасном диапазоне спектра. Далее

ведут расчет параметра, который характеризует близость величины оптической плотности образца, который анализируется, и стандартных образцов. В работе [3] предложена методика идентификации моторных масел методом распознавания образов на основе абсорбционных оптико-спектральных измерений с использованием серийного УВИ-спектрофотометра СФ-56.

Сущность идентификации моторных масел по критерию температурной стойкости заключается в термостатировании масел в течение 6 часов при атмосферном давлении и температуре до 300 °С с последующим измерением коэффициента поглощения светового потока, вязкости и летучести, по которым проводился расчет температурной стойкости [4].

Существенными недостатками предложенных методов идентификации в одних случаях являются дороговизна применяемого лабораторного оборудования и трудоемкость их реализации, в других малая информативность и достоверность получаемого результата. Например, на точность идентификации моторных масел методами, основанными на определении оптической плотности, существенное влияние оказывают состав и концентрация присадок.

Получить более объективные результаты идентификации моторных масел позволит использование их фракционного состава. В этом случае будет непосредственно исследоваться базовое масло, что позволит без особого труда установить его природу. А влияние присадок на результат идентификации в этом случае полностью исключается.

Для лабораторного исследования было взято по 20 образцов моторных масел разных классов вязкости, наиболее часто эксплуатируемых в наших климатических условиях: SAE 5W-40, SAE 10W-40 и SAE 15W-40. Для всех масел был определен фракционный состав посредством вакуумной перегонки при остаточном давлении 1–2 мм рт. ст. на лабораторной установке, приведенной на рис. 4.1.

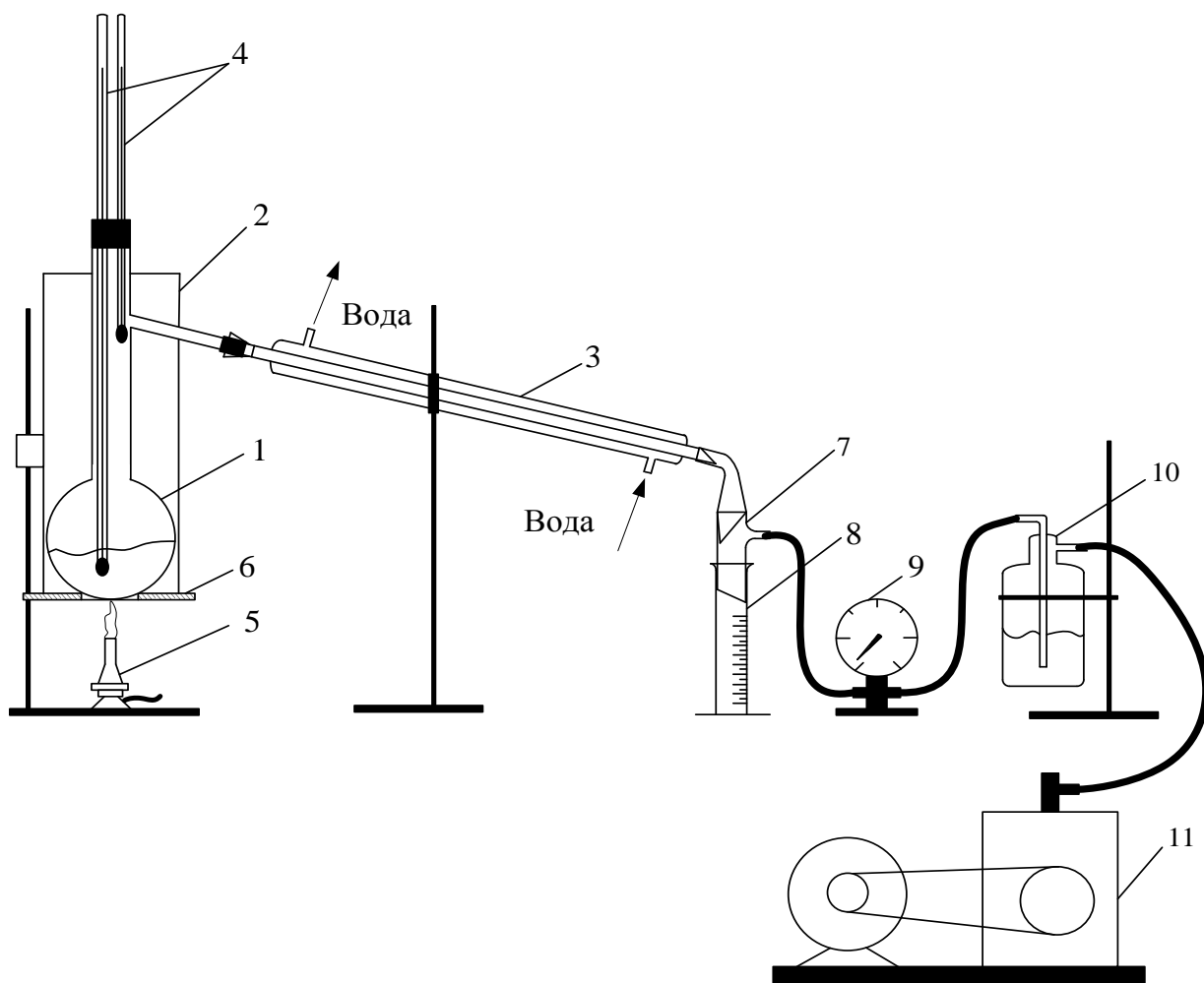


Рис.4.1 – Лабораторная установка вакуумной перегонки: 1– колба; 2–кожух; 3– холодильник; 4–термометры; 5–горелка; 6–асбестовая прокладка; 7–аллонж; 8– цилиндр; 9–вакуумметр; 10–очиститель; 11–вакуумный насос

Для каждого класса вязкости испытуемых масел рассчитываем средние значения температур и отгонов с последующим построением кривых фракционного состава, приведенного на рис. 4.2.

По кривым фракционного состава определяем, что наибольшее различие в температурах кипения испытуемых моторных масел приходится на точки, соответствующие 30% и 90% отгона. Эти точки также соответствуют выходу легкой (н.к.–420°С) и средней (420–490 °С) масляной фракции, из которых компаундированием получают моторные масла SAE 15W-40 [6]. Основным критерием при компаундировании масляных фракций является их

кинематическая вязкость. Очевидно, что легкая масляная фракция обладает гораздо меньшей вязкостью, нежели средняя, и поэтому в готовом базовом масле ее содержится почти в два раза меньше.

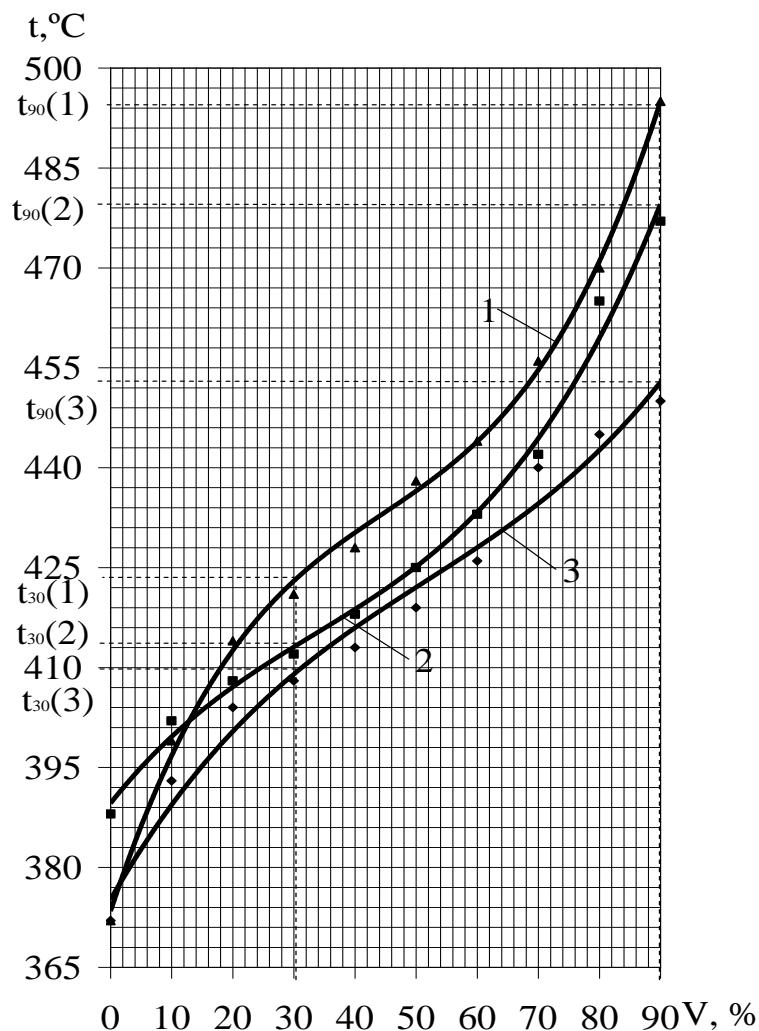


Рис. 4.2 – Кривые фракционного состава испытуемых моторных масел:

1– SAE 15W-40; 2– SAE 10W-40; 3– SAE 5W-40

Масла SAE 5W-40 характеризуются более узким фракционным составом (н.к.–460°C) по сравнению с маслами SAE 15W-40 ввиду получения при синтезе углеводородов, обладающих заданными вязкостно-температурными свойствами.

Масла SAE 10W-40 представлены смесью описанных выше базовых масел в зависимости от желаемых вязкостно-температурных свойств. Поэтому по фракционному составу они занимают промежуточное значение между маслами SAE 15W-40 и маслами SAE 5W-40.

В связи с этим в качестве идентификационного параметра для каждого класса вязкости моторных масел нами может быть предложен tg угла наклона прямых, проведенных через точки t_{30} и t_{90} (см. рис. 4.3).

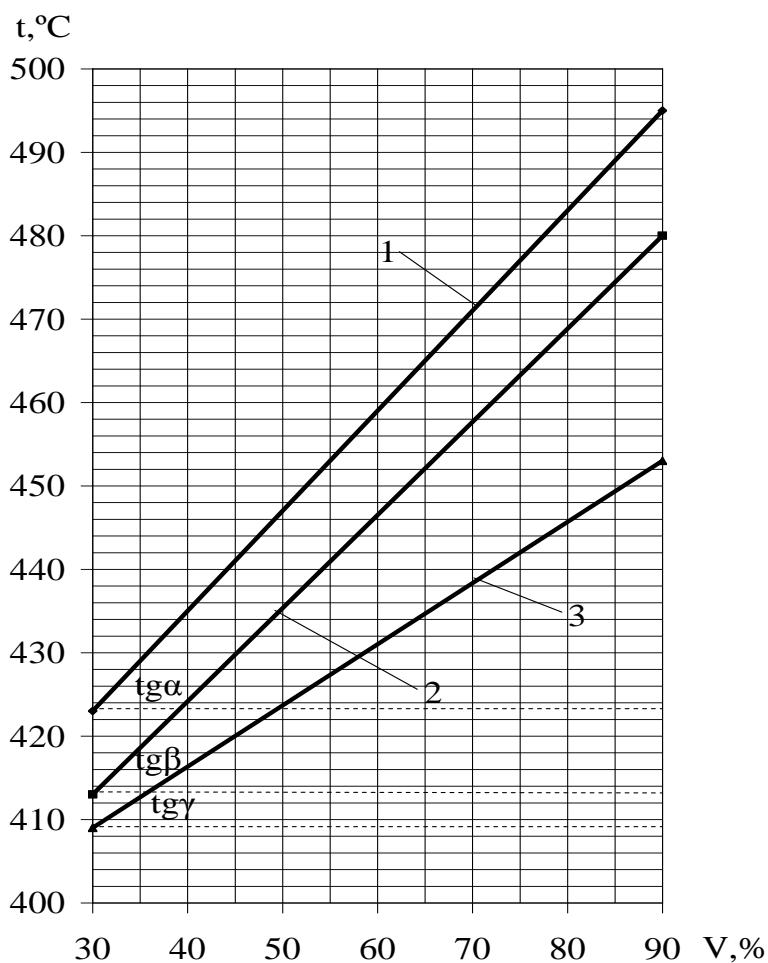


Рис. 4.3 – Лини для расчета параметра идентификации:
1– SAE 15W-40; 2– SAE 10W-40; 3– SAE 5W-40

Рассчитанное значение tg угла наклона прямых, проведенных через точки t_{30} и t_{90} , принимает следующие значения:

- для моторных масел SAE 15W-40, $\text{tg}\alpha=1,2$;
- для моторных масел SAE 10W-40, $\text{tg}\beta=1,1$;
- для моторных масел SAE 5W-40, $\text{tg}\gamma=0,73$.

Особый интерес представляет идентификация моторных масел по диэлектрической проницаемости, так как в этом случае уменьшается время проведения испытания и удешевляется сама процедура идентификации.

Для реализации данного метода идентификации испытанию подвергались 20 всесезонных минеральных, 20 всесезонных полусинтетических и 20 всесезонных синтетических дизельных моторных масел различных фирм изготовителей, наиболее часто встречающихся на Украинском рынке нефтепродуктов. Для этих масел каждого класса вязкости была измерена диэлектрическая проницаемость с последующим расчетом ее среднего значения (рис. 4.4 а).

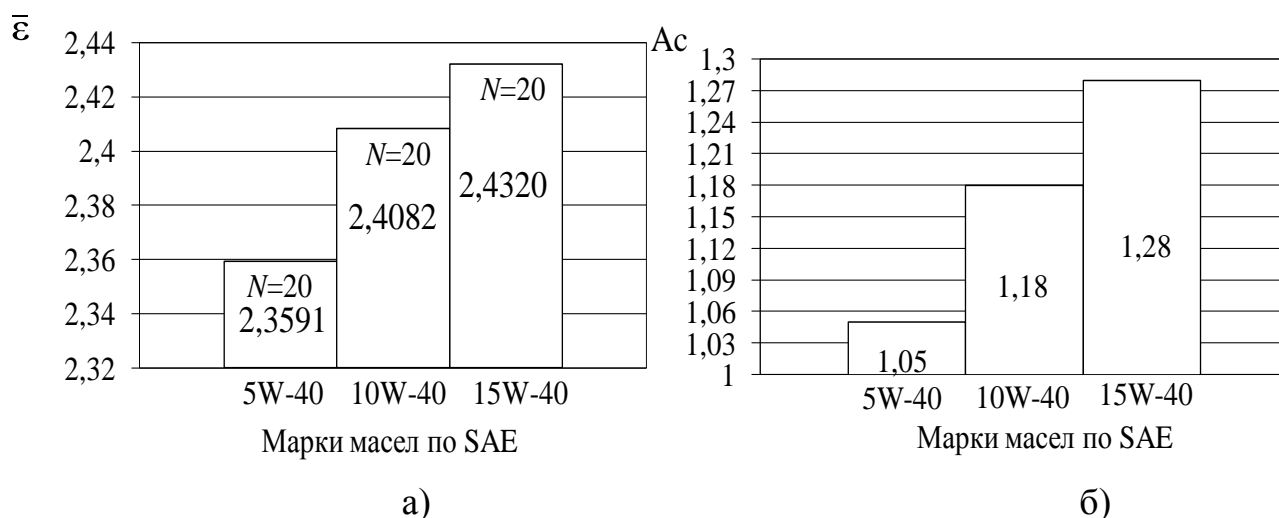


Рис. 4.4 – Средние значения диэлектрической проницаемости для масел различных классов вязкости по SAE (а) и сульфатной золы (б)

Очевидно, что наименьшим значением ϵ обладают масла с классом вязкости SAE 5W-40, наибольшим значением ϵ масла с классом вязкости SAE 15W-40. Это объясняется тем фактом, что для получения заданных свойств в масла с классом вязкости SAE 15W-40 добавляют существенное количество металлосодержащих присадок, количество которых характеризуется показателем сульфатной золы. В масле с классом вязкости SAE 5W-40 металлосодержащих присадок находится меньше чем в масле с классом вязкости SAE 10W-40 и SAE 15W-40 (см. рис. 4.4 б).

Таким образом, чем больше в масле содержится металлосодержащих присадок, количество которых характеризуется показателем сульфатной золы, тем выше величина его диэлектрической проницаемости.

Однако при применении метода идентификации моторных масел возникают некоторые погрешности, обусловленные тем, что компоненты, которые относятся к разным классам углеводородов и входят в состав разных марок моторных масел, могут иметь довольно близкие или одинаковые значения диэлектрической проницаемости.

В работе [5] предлагается для идентификации моторных масел наряду с их диэлектрической проницаемостью дополнительно определять плотность масла и его температуру вспышки, по полученным значениям рассчитывают идентификационный параметр:

$$\text{П} = b_0 + b_1 \cdot \varepsilon + b_2 \cdot \rho + b_3 \cdot t, \quad (4.1)$$

где П – идентификационный параметр моторных масел;

b_0, b_1, b_2, b_3 – коэффициенты уравнения регрессии;

ε – диэлектрическая проницаемость моторного масла;

ρ – плотность моторного масла, кг/м³;

t – температура вспышки моторного масла в открытом тигле, °С.

Использование в формуле для расчетов П вместе с диэлектрической проницаемостью плотности обусловлены наличием между этими показателями функциональной связи [6]. В каждой группе углеводородов при увеличении плотности наблюдается и увеличение диэлектрической проницаемости. Рассматривая плотность основных групп углеводородов, с которых составляется минеральные моторные масла, отметим, что более высокая плотность наблюдается у ароматических углеводородов, а более низкая у парафиновых [7, с. 283]. Нафтеновые углеводороды занимают промежуточное значение между ароматическими и парафиновыми углеводородами. Также на величину плотности масла влияют и смолисто-асфальтеновые вещества. Чем больше этих веществ находится в составе минерального масла, тем выше его плотность. Среди моторных масел разной природы наименьшим значением плотности обладают синтетические масла (SAE 5W-40), самым большим значением –

минеральные масла (SAE 15W-40). Полусинтетические моторные масла (SAE 10W-40) по величине плотности занимают промежуточное значение между синтетическими и минеральными маслами.

В общем случае температура вспышки моторных масел зависит от углеводородов, которые входят в состав масел, и используется как показатель, который характеризует их происхождение и фракционный состав [8, с.18]. Поэтому для получения более точных результатов идентификации моторных масел, вследствие использования большего количества показателей, которые в полной мере характеризуют углеводный состав масел, целесообразно дополнительно с диэлектрической проницаемостью и плотностью использовать и температуру вспышки.

В последствии по полученным данным, используя уравнение (4.1) рассчитывают ϵ с дальнейшим сравнением полученной величины ϵ со стандартным значением, которое отвечает определенной марке моторного масла.

4.2. Влияние различных загрязнений моторных масел на величину их диэлектрической проницаемости

Как было отмечено ранее, при эксплуатации автомобильного транспорта в составе масла появляются полярные продукты окисления и проводящие загрязнения, способствующие возрастанию величины параметра ϵ моторного масла. Однако выделить влияние того или иного фактора на величину параметра ϵ масла можно только в лабораторных условиях.

Исследование влияния различных загрязнений осуществлялось с использованием, так называемых, модельных сред. Эти среды, представляли собой не работавшие моторные масла ESSOLUB XT4 SAE 15W-40 (API CF-4), в которое в разных процентных концентрациях были добавлены разные виды загрязнений, наиболее часто встречающиеся в маслах при их эксплуатации автомобилей.

4.2.1. Влияние продуктов износа трущихся деталей

В процессе эксплуатации в составе масла накапливаются продукты износа трущихся деталей, которые представлены Fe, Al, Cu, Sn, Pb, Cr, Sb и их оксидами [9]. Моделирование влияния продуктов износа осуществлялось на примере введения в масла высокодисперсных частиц Fe и Al, полученных по методикам, описанным в работах [6, 7], а так же Fe₂O₃ ГОСТ 4173.

Исследование влияния оксида Fe₂O₃ на величину параметра Δε связано с тем, что по сведениям, приведенным в работе [12] при малых нагрузках двигателя внутреннего сгорания продукты сухого износа трущихся деталей состоят в основном из металлов Fe, а при больших нагрузках из оксида Fe₂O₃. Размер вводимых в масло частиц колебался в пределах от 2 до 10 мкм, что вполне соответствует размеру частиц, которые встречаются в реальных отработанных маслах [13, 14, 15]. Конечное содержание Fe и Fe₂O₃ ограничивалось значением 150 г/т, Al – 20 г/т [16].

Металлические частицы вводились в масла небольшими порциями и тщательно диспергировались по объему пробы ультразвуком частотой 20 – 50 кГц, в течение 2 – 3 ч. Такая трудоемкая подготовка модельной среды связана с необходимостью равномерного распределения частиц по измеряемому объему масла.

Зависимость диэлектрической проницаемости исследуемого масла от содержания в нем продуктов износа будет описываться линейными уравнениями регрессии вида

$$\varepsilon = 0,0031X_{Al} + 2,4049; \quad (4.2)$$

$$\varepsilon = 0,0004X_{Fe} + 2,4036; \quad (4.3)$$

$$\varepsilon = 0,0002X_{Fe_2O_3} + 2,4040. \quad (4.4)$$

где X_{Al} – концентрация продуктов износа в виде алюминия, г/т;

X_{Fe} – концентрация продуктов износа в виде железа, г/т;

$X_{\text{Fe}_2\text{O}_3}$ – концентрация продуктов износа в виде оксида железа, г/т.

Из исследованных продуктов износа трущихся деталей, попадающих в масло ESSOLUB XT4 SAE 15W-40(API CF-4) при их эксплуатации, на величину параметра ε значительное влияние оказывают Fe и Al. Причем, Al поскольку обладает большей электропроводностью по сравнению с Fe, что объясняет одинаковые значения величины $\Delta\varepsilon$ равные 0,0663, при браковочной концентрации в 7,5 раз меньшей, чем у Fe [16].

Такой продукт коррозионного износа, как Fe_2O_3 при попадании в масло приводит к незначительному увеличению величины ε масла ($\Delta\varepsilon = 0,0266$) из-за того, что в составе этого оксида содержится до 65% железа.

4.2.2. Влияние дизельного топлива и продуктов его неполного сгорания

Влияние топлива и продуктов его неполного сгорания изучалось на примере введение в масло дизельного топлив марок З – 0,20 (-25) и Л – 0,10 – 40, а также высокодисперсных частиц сажи. Сажевые частицы получали путем сжигания дизельного топлива в керосиновой лампе (ГОСТ 305). После чего, их добавляли в масла небольшими порциями с последующим диспергированием ультразвуком частотой 20–50 кГц, в течение 2–3ч. Согласно рекомендациям Detroit Diesel, максимальное их содержание в отработанном масле не должно превышать 1,5% [17].

Дизельное топливо вводилось в масло порциями при не прерывном перемешивании высоко оборотистой мешалкой в течение 3 ч. Причем, конечное содержание в модельных средах дизельного топлива соответствует мнению зарубежных фирм-производителей масел о том что, масло подлежит срочной замене при попадание в него более 7 % топлива [18].

Зависимость диэлектрической проницаемости исследуемого масла от содержания в нем дизельного топлива будет описываться квадратичным уравнениями регрессии, а содержания частиц сажи – линейным

$$\varepsilon = -0,0009X_{\text{дтл}}^2 + 0,0029X_{\text{дтл}} + 2,4047; \quad (4.5)$$

$$\varepsilon = -0,0011X_{\text{дтз}}^2 + 0,0027X_{\text{дтз}} + 2,4051; \quad (4.6)$$

$$\varepsilon = 0,0977X_{\text{с}} + 2,4039. \quad (4.7)$$

где $X_{\text{дтл}}$ – концентрация летнего дизельного топлива, % (об.);

$X_{\text{дтз}}$ – концентрация зимнего дизельного топлива, % (об.);

$X_{\text{с}}$ – концентрация продуктов неполного сгорания дизельного топлива, % (масс.).

Уравнения (4.5) и (4.6) показывают, что дизельное топливо независимо от марки, не оказывает никакого влияния на величину значения ε , а при достижении 7,0 % (об.) даже незначительно уменьшает это значение. Причем, при добавлении 7,0 % (об.) топлива марки Л–0,10–40 ($\Delta\varepsilon = -0,0265$), а при добавлении 7,0 % (об.) топлива марки З–0,20(-25) ($\Delta\varepsilon = -0,0331$). При содержании в маслах ESSOLUB XT4 SAE 15W-40(API CF-4) частиц сажи в количестве 1,5% (масс.), ($\Delta\varepsilon = 0,1480$).

4.2.3. Влияние частичек запыленности воздуха

Попадание в масло частичек запыленности моделировалось на примере высокодисперсных частиц Al_2O_3 и SiO_2 . Размер вводимых частиц колебался от 1 до 5 мкм, а максимальная концентрация ограничивалась на уровне 20 г/т [16]. Они вводились в масла небольшими порциями и тщательно диспергировались по объему пробу ультразвуком частотой 20 – 50 кГц в течение 3 ч.

Зависимость диэлектрической проницаемости исследуемого масла от содержания в нем частиц запыленности будет описываться линейными уравнениями регрессии вида

$$\varepsilon = 0,0023X_{\text{Al}_2\text{O}_3} + 2,4041; \quad (4.8)$$

$$\varepsilon = -0,0015X_{\text{SiO}_2} + 2,4057. \quad (4.9)$$

где $X_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ – концентрация глинозема, г/т;

X_{SiO_2} – концентрация оксида кремния, г/т.

Анализируя полученные уравнения, становится очевидным, что некоторое уменьшение величины ε масла ESSOLUB XT4 SAE 15W-40(API CF-4), наблюдается при попадании в него SiO_2 , концентрация которого равна 20 г/т ($\Delta\varepsilon = -0,0260$).

Попадание из окружающей среды Al_2O_3 несколько приводит к возрастанию величины ε масла, при концентрации в нем частиц равной 20 г/т ($\Delta\varepsilon = 0,0460$), что обусловлено высоким значением электропроводности оксидов алюминия.

4.2.4. Влияние охлаждающей жидкости

Для исследования влияния охлаждающей жидкости в масла вводился Тосол А-40 (ГОСТ 28084) и дистиллированная вода. Охлаждающая жидкость вводилась в концентрации до 1%, при тщательном перемешивании мешалкой в течение 3 ч.

Зависимость диэлектрической проницаемости исследуемого масла от содержания в нем охлаждающей жидкости в виде тосола будет описываться квадратичным уравнением регрессии, а содержание дистиллированной воды – линейными уравнениями вида

$$\varepsilon = 0,0493X_{\text{Тосол}}^2 + 0,0886X_{\text{Тосол}} + 2,4060; \quad (4.10)$$

$$\varepsilon = -0,1004X_{\text{H}_2\text{O}} + 2,4068. \quad (4.11)$$

где $X_{\text{Тосол}}$ – концентрация тосола А-40, % (масс.);

$X_{\text{H}_2\text{O}}$ – концентрация дистиллированной воды, % (масс.).

Полученные зависимости свидетельствуют о том что, при попадании в масла ESSOLUB XT4 SAE 15W-40(API CF-4) в процессе эксплуатации охлаждающей жидкости Тосол А-40 и воды приводит к возрастанию величины ε масел. Причем при добавлении охлаждающей жидкости Тосол А-40 в количестве равном 1 % (масс.) ($\Delta\varepsilon = 0,1405$), а воды в такой же концентрации – ($\Delta\varepsilon = 0,1020$).

4.2.5. Совместное влияние загрязнений различных видов на диэлектрическую проницаемость моторных масел

При эксплуатации моторных масел в двигателях внутреннего сгорания в них одновременно могут находиться несколько видов загрязнений. Причем появление в масле таких загрязнений, как продукты износа трущихся деталей (Fe) и неполного сгорания топлива (сажа) является неизбежным при любых условиях работы двигателя, в то время как попадание в масло частичек запыленности (SiO_2), воды, может рассматриваться как явление, специфичное для определенных условий эксплуатации [15]. Поэтому особый интерес представляет определение суммарного влияния всех этих видов загрязнений на изменение величины ε моторного масла.

Предположив, что между загрязнениями в масле отсутствуют химические взаимодействия масла, то получим линейное уравнение вида

$$\varepsilon = b_0 + b_1X_{\text{Fe}} + b_2X_{\text{C}} + b_3X_{\text{H}_2\text{O}} + b_4X_{\text{SiO}_2} , \quad (4.12)$$

где b_0 – свободный член уравнения регрессии;

b_1, b_2, b_3, b_4 – коэффициенты уравнения регрессии;

X_{Fe} – содержание в масле продуктов износа трущихся деталей двигателя, г/т;

X_{C} – содержание в масле продуктов неполного сгорания топлива (частиц сажи), %(масс.);

X_{H_2O} – содержание в масле воды, %(масс.);

X_{SiO_2} – содержание в масле частичек запыленности, г/т.

С учетом коэффициентов уравнения регрессии математическая модель суммарного влияния загрязнений масла на величину его ε примет следующий вид

- для дизельного моторного масла ESSOLUB XT4 SAE 15W-40(API CF-4)

$$\varepsilon = 2,4090 + 0,0005X_{Fe} + 0,0918X_C + 0,1022X_{H_2O} - 0,0013X_{SiO_2} , \quad (4.13)$$

- для дизельного моторного масла ТНК SAE 30(API CD)

$$\varepsilon = 2,4773 + 0,0005X_{Fe} + 0,0940X_C + 0,0884X_{H_2O} - 0,0015X_{SiO_2} . \quad (4.14)$$

Уравнения регрессии (4.13) и (4.14) существенно отличаются друг от друга только величиной свободного члена b_0 , который характеризует диэлектрические свойства исследуемых масел до введения в них загрязнений. Остальные коэффициенты, стоящие при изучаемых факторах являются практически равными, что свидетельствует об одинаковом суммарном влиянии рассмотренных загрязнений, попадающих в масла при эксплуатации, на величину их относительной диэлектрической проницаемости.

Рассматривая влияние загрязнений на параметр $\Delta\varepsilon$, предположим, что суммарное влияние рассмотренных загрязнений на величину параметра $\Delta\varepsilon$ описывается уравнением регрессии аналогичным уравнению (4.12), только без свободного члена b_0

$$\Delta\varepsilon = b_1X_{Fe} + b_2X_C + b_3X_{H_2O} + b_4X_{SiO_2} \quad (4.15)$$

Отсутствие свободного члена b_0 в приведенном уравнении линейной регрессии объясняется тем, что в исходном масле $X_{Fe} \rightarrow 0$, $X_C \rightarrow 0$,

$X_{H_2O} \rightarrow 0, X_{SiO_2} \rightarrow 0$, а в этом случае величина параметра $\Delta\varepsilon \rightarrow 0$ и свободный член b_0 является статистически не значимым.

Содержание в масле браковочного количества продуктов износа трущихся деталей X_{Fe} (150 г/т) и частиц сажи X_C (1,5 % (масс.)) оказывают на величину параметра $\Delta\varepsilon$ сильное влияние ($R > 0,75$). Содержание в масле браковочной концентрации воды X_{H_2O} (0,3 % (масс.)) и частичек запыленности X_{SiO_2} (20 г/т) - умеренное ($0,3 < R < 0,75$).

С учетом коэффициентов уравнения регрессии математическая модель суммарного влияния загрязнений масла на величину его $\Delta\varepsilon$ примет следующий вид

$$\Delta\varepsilon = 0,0005X_{Fe} + 0,0929X_C + 0,0953X_{H_2O} - 0,0014X_{SiO_2}, \quad (4.16)$$

Ошибка расчета диагностического параметра $\Delta\varepsilon$ по уравнению регрессии (4.16) составляет: $7,4 \div 8,7$ %. Отметим, что данное уравнение справедливо лишь в определенном интервале концентрации загрязнений: X_{Fe} (0–150 г/т); X_C (0–1,5 % (масс.)); X_{H_2O} (0–0,3 % (масс.)); X_{SiO_2} (0–20 г/т).

4.3. Изменение показателей качества моторных масел при эксплуатации

Исследования проводились на 47 автобусах «Богдан»–А091, оснащенных четырехтактным дизельным двигателем 4HG1 фирмы ISUZU (Япония) и 31 автобусе ПАЗ - 4234, оснащенных четырехтактным дизельным двигателем Д–245.9Е2 с турбонадувом и промежуточным охлаждением наддуваемого воздуха.

В соответствии с рекомендациями руководств по эксплуатации автобусов в двигателях автобусов «Богдан»–А091 эксплуатировалось минеральное всесезонное масло ESSOLUB XT401 SAE 15W-40(API CF-4), а в двигателях автобусов ПАЗ–4234 – минеральное масло SAE 30(API CD). Смена

эксплуатировавшихся масел осуществлялась при сроке эксплуатации автобусов, равном 10 тыс. км и 8 тыс. км, соответственно.

Пробы масла из двигателей исследуемых автобусов отбирались в соответствии с рекомендациями, приведенными в работах [9, 19, 21], с интервалом 5–6 тыс. км, через отверстие масломерной линейки в течение 10 минут после остановки двигателя.

Для оценки работоспособности масел в отобранных пробах определяли кинематическую вязкость по ДСТУ ГОСТ 33 (ISO3104), щелочное и кислотное числа по ГОСТ 11362, температура вспышки по ГОСТ 26378.4, содержание воды по ГОСТ 2477, коксуемостью по Конрадсону ГОСТ 19932(ISO3104), водородный показатель pH, диспергирующую способность (метод капельной пробы). Также в отобранных пробах масла наряду с показателями качества, приведенными выше, определяли величину приращения относительной диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon$.

Дизельное масло считалось не работоспособным, в случае если значения контролируемых параметров достигнет величин приведенных в табл. 4.1.

Проведенные исследования показали, что при рекомендуемом руководством по эксплуатации сроке замены моторных масел, который равен 10 тыс. км и 8 тыс. км, соответственно, приведенные выше показатели качества масел при штатном режиме эксплуатации автобусов практически не изменялись относительно первоначальных значений, что свидетельствует о большом исходном потенциале физико-химических и эксплуатационных свойств масел.

Лишь при сроке эксплуатации автобуса, равном 16 тыс. км, значительно выросла величина кислотного числа, браковочных значений достигли такие показатели качества, как коксуемость, содержание воды и продуктов износа трущихся деталей в виде железа (см. табл. 4.1). Изменение остальных показателей относительно их первоначальных значений было незначительным или находилось в области допустимых значений.

Таблица 4.1 – Значение показателей качества обработанных масел

Показатели качества	Предельное значение	ESSOLUB XT401 SAE 15W-40(API CF-4)	ТНК SAE 30 (API CD)
Кинематическая вязкость при 100 ⁰ С, мм ² /с, %:			
увеличение	25	10	5
снижение	15	2	2
Температура вспышки, ⁰ С			
снижение	20	3 – 10	2 – 10
Содержание воды, % (масс.)	0,3	0,03 – 0,31	0,10 – 0,31
Щелочное число, мг КОН/г	4,0	5,58 – 6,40	5,51 – 6,00
Кислотное число, мг КОН/г	4,0	1,05 – 3,84	0,95 – 3,84
Водородный показатель рН	>5	6,95 – 7,47	6,73 – 7,05
Коксуемость, % (масс.)	4,0	2,00 – 4,30	2,05 – 4,45
Содержание железа, г/т [9]	150	80 – 150	80 – 150

Графики изменения коксуемости, содержания воды, содержания железа, щелочного и кислотного чисел масел в зависимости от срока эксплуатации автобусов «Богдан»–А091 и ПАЗ–4234 приведены на рис. 4.5–4.8.

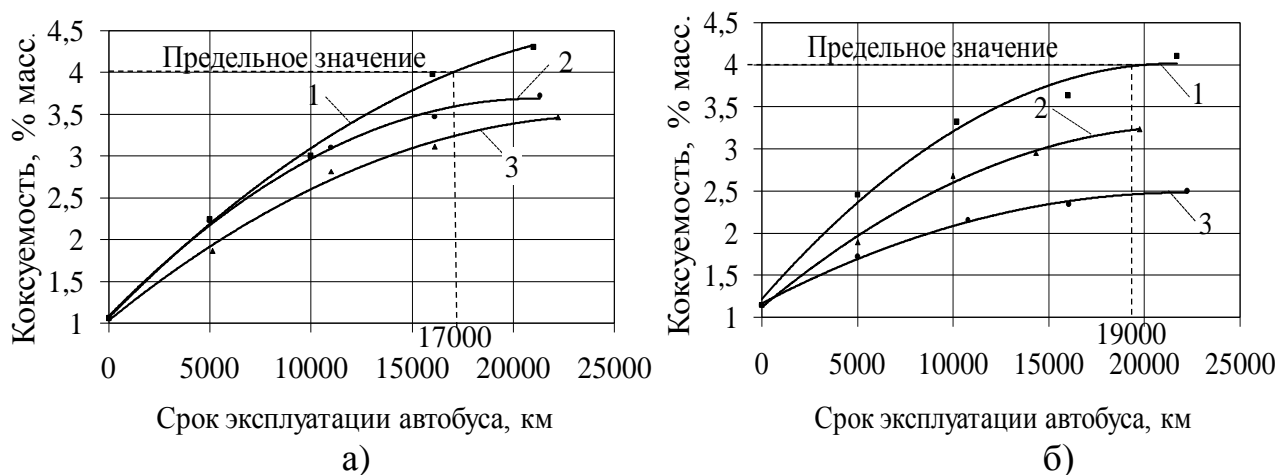


Рис. 4.5 – Изменение коксуемости масла в зависимости от срока эксплуатации автобусов (а) «Богдан» - А091 (1–02008; 2–25785; 3–01600) и (б) ПАЗ-4234 (1–01975; 2–01966; 3–01983).

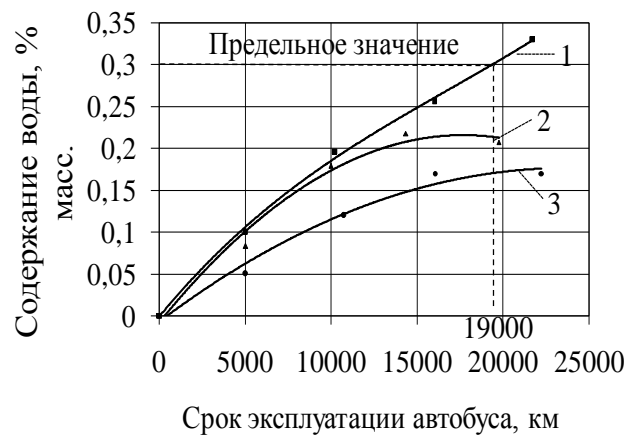
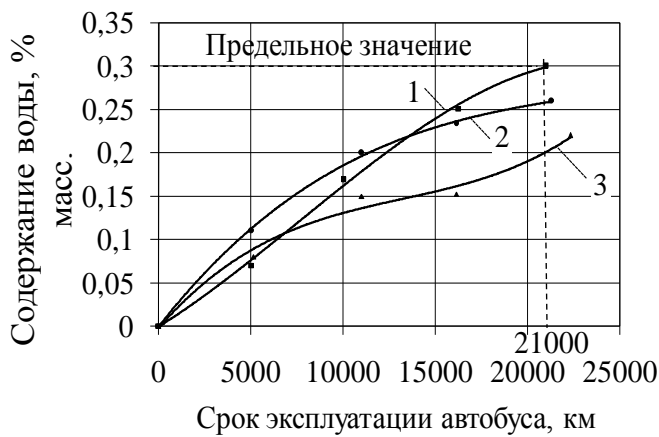


Рис. 4.6 – Изменение содержания в масле воды в зависимости от срока эксплуатации автобусов (а) «Богдан» - А091 (1–02008; 2–25785; 3–01600) и (б) ПАЗ-4234 (1–01975; 2–01966; 3–01983)

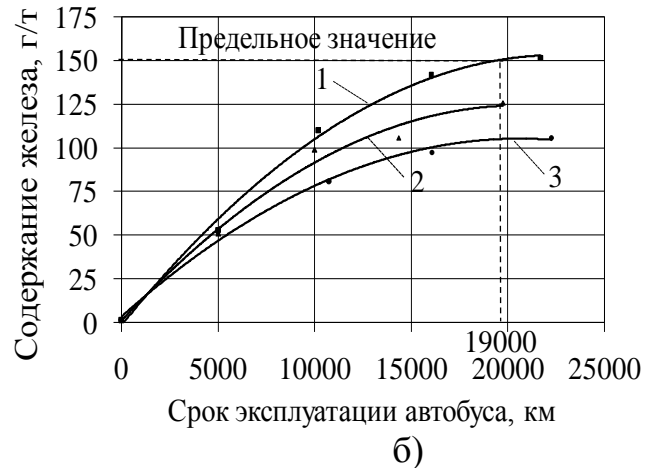
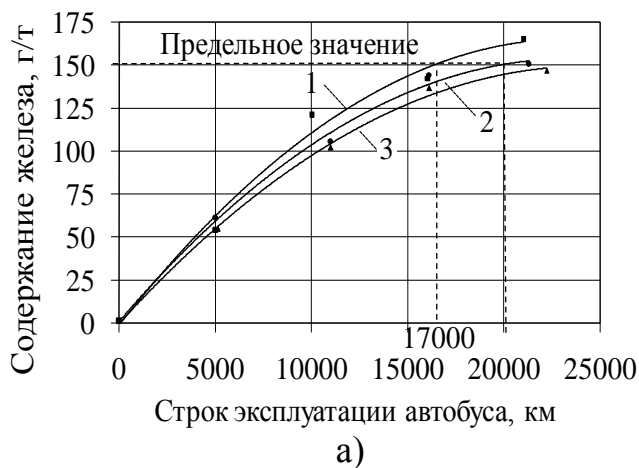


Рис. 4.7 – Изменение содержания в масле железа в зависимости от срока эксплуатации автобусов (а) «Богдан» - А091 (1–02008; 2–25785; 3–01600) и (б) ПАЗ-4234 (1–01975; 2–01966; 3–01983)

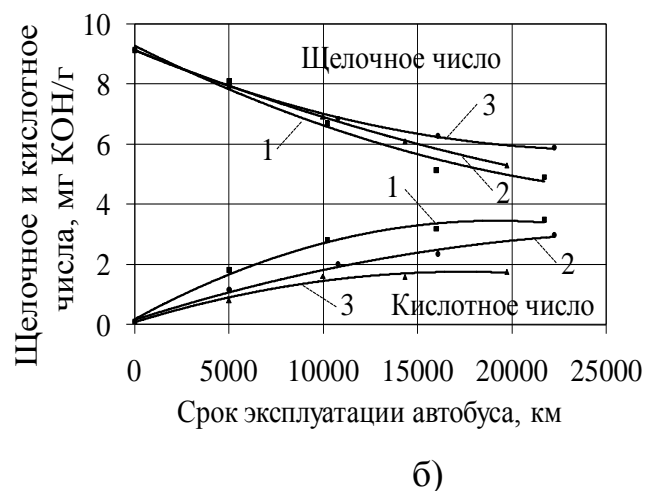
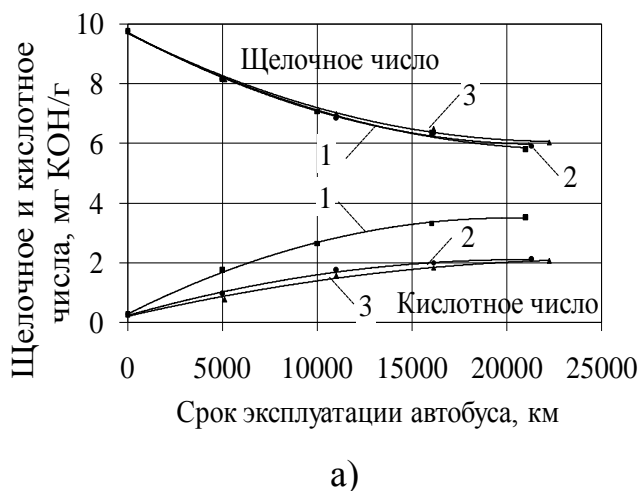


Рис. 4.8 – Изменение щелочного и кислотного чисел масла в зависимости от срока эксплуатации автобусов (а) «Богдан» - А091 (1–02008; 2–25785; 3–01600) и (б) ПАЗ-4234 (1–01975; 2–01966; 3–01983)

Так как ни одно из масел, при эксплуатации автобусов «Богдан»–А091 и ПА3–4234, не утратило свою работоспособность при рекомендуемом сроке эксплуатации 10 тыс. км и 8 тыс. км, то было принято решение продлить сроки эксплуатации автобусов (см. рис. 4.5–4.8).

Показатель коксуемости (рис. 4.5 а) только у моторного масла, при эксплуатации автобуса г/н 02008, превышает браковочное значения 4%. При этом содержании в нем железа (рис. 4.7 а) составило 150 г/т. Поэтому дальнейшее применение этого масла нежелательно, то есть срок эксплуатации автобуса 17 тыс. км является предельно допустимым с точки зрения качества масла. Что касается содержания в масле воды (см. рис. 4.6 а), то в автобусе г/н 02008 оно приближается к предельному значению при сроке эксплуатации 21 тыс. км, а содержания в нем железа (см. рис. 4.7 а) составит 165 г/т.

Несмотря на то, что масла, при эксплуатации автобусов г/н 25785 и г/н 01600, по величине коксуемости и содержанию в них воды не утратили свою работоспособность, даже при сроке эксплуатации автобусов 21,5 тыс. км и 22,3 тыс. км. Однако по содержанию в них железа (см. рис. 4.7 а) равному соответственно 152 г/т и 148 г/т, целесообразно произвести их замену.

Коксуемость моторного масла при эксплуатации автобуса г/н 01975 (см. рис. 4.5 б) достигла браковочного значения, величина которого составила 4%, а содержание в нем железа (см. рис. 4.7 б) - 150 г/т.

Поэтому дальнейшее применение масла нежелательно. При этом срок эксплуатации автобуса составил 19 тыс. км. Содержание воды в масле (рис. 4.6 б), при эксплуатации автобуса г/н 01975, приближается к предельному значению так же при сроке эксплуатации автобуса равном 19 тыс. км.

Масла, работающие в двигателях автобусов г/н 01966 и г/н 01983, по величине коксуемости – 3,23%, 2,5 %, содержанию воды – 0,21%, 0,17% и содержанию железа – 126 г/т, 106 г/т не утратили своей работоспособности, даже при сроке эксплуатации автобусов более 20 тыс. км.

Кислотность в маслах, содержащих щелочные присадки вне зависимости от ее величины, не является браковочным показателем до тех пор, пока масло

будет содержать активные присадки, то есть в пробах масла величина кислотного числа не станет равной величине щелочного [21]. Достаточно высокие значения показателя рН (см. табл. 4.5.) гарантируют отсутствие в исследуемых маслах сильных кислот (в частности, серной кислоты) в микрообъеме, а слабые органические кислоты не вызывают интенсификации коррозионных процессов в двигателе [15, 22].

При эксплуатации исследуемых автобусов щелочное число масел не сравнивается с их кислотным числом (см. рис. 4.8). В связи с этим масла не утрачивают свою работоспособность при сроках эксплуатации автобусов 21÷22,5 тыс. км, соответственно, и по этим двум показателям масла можно осуществлять дальнейшей эксплуатации автобусов.

Что касается величины приращения относительной диэлектрической проницаемости $\Delta\epsilon$, то для проб масел отобранных из двигателей автобусов «Богдан»–А091 и ПАЗ–4234 при сроке эксплуатации 10 тыс. км и 8 тыс. км она находилась в пределах 0,05÷0,15, а при 16 тыс. км – 0,22÷0,30.

На рис. 4.9 приведена зависимость параметра $\Delta\epsilon$ масел от срока эксплуатации автобусов «Богдан»–А091 и ПАЗ–4234.

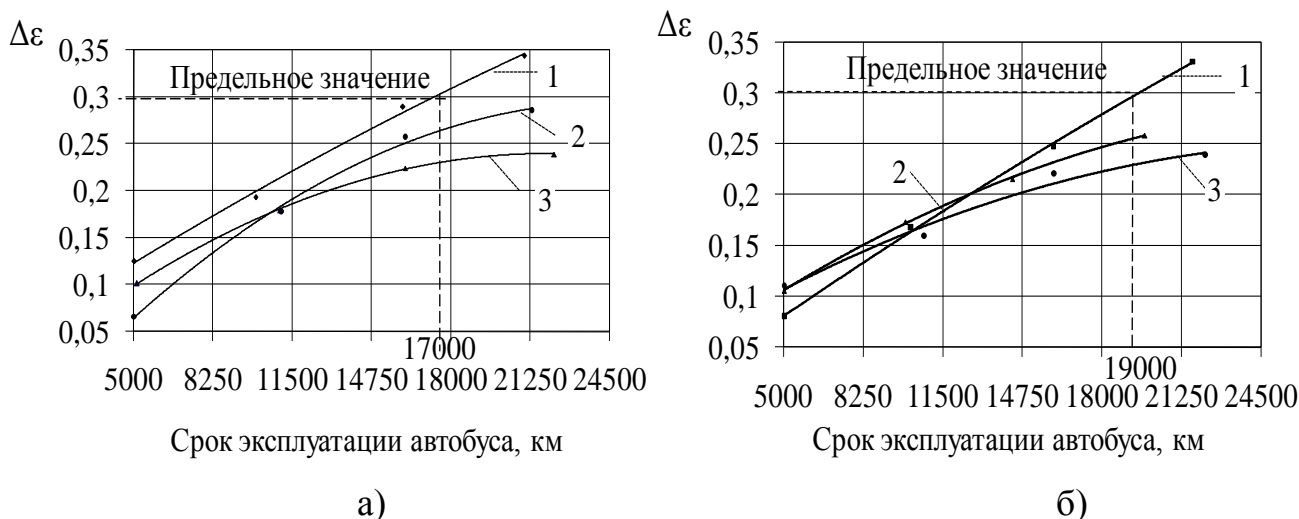


Рис. 4.9 – Изменение параметра $\Delta\epsilon$ масла в зависимости от срока эксплуатации автобусов (а) «Богдан» - А091 (1–02008; 2–25785; 3–01600) и (б) ПАЗ-4234 (1–01975; 2–01966; 3–01983)

При эксплуатации автобуса «Богдан»–А091 (рис. 4.9 а) г/н 02008 масло, отобранное из его двигателя, утрачивает свою работоспособность, в связи с тем, что его коксуемость достигает браковочного значения равного 4 % (масс.), а содержание в нем железа составляет 148 г/т.

Величина параметра $\Delta\varepsilon$ соответствующая этому сроку эксплуатации составляет 0,3. Автобус «Богдан»–А091 г/н 02008 эксплуатирующийся без доливок масла в систему смазки двигателя, в каждой отобранной пробе характеризуется довольно высокими значениями параметра $\Delta\varepsilon$ масла, по сравнению с пробами масел отобранных из двигателей других автобусов. Это обуславливает потерю работоспособности моторного масла при сроке эксплуатации автобуса равного 17 тыс. км ($\Delta\varepsilon = 0,3$).

Что касается проб масел отобранных из двигателей автобусов «Богдан» - А091 г/н 01600 и «Богдан»–А091 г/н 25785, то они по содержанию железа утратили свою работоспособность только при сроке эксплуатации автобуса равного 22,3 тыс. км и 21,5 тыс. км, соответственно.

В одних случаях это можно объяснить оптимальными условиями эксплуатации автобусов, в других – частыми доливками масла взамен угоревшего и вытекшего из системы смазки. Так, например, в автобус г/н 01600 доливки масла в систему за время исследования составили около 20 % общего объема системы смазки.

При эксплуатации автобуса ПАЗ–4234 г/н 01975 (рис. 4.9 б) доливки масла в количестве 20 % общего объема системы смазки двигателя, масло утрачивает свою работоспособность при сроке эксплуатации автобуса равного 19 тыс. км. Это связано с тем, что при этом сроке эксплуатации коксуемость масла достигает браковочного значения равного 4 % (масс.), содержание воды составляет 0,3 % (масс.), содержание железа – 150 г/т. Величина параметра $\Delta\varepsilon$ соответствующая этому сроку эксплуатации, равна 0,3.

Автобус ПАЗ–4234 г/н 01966 эксплуатирующийся без доливок масла характеризуется плавным возрастанием величины параметра $\Delta\varepsilon$, который при сроке эксплуатации 20 тыс. км составляет 0,2651, что в свою очередь

объясняется оптимальными условиями эксплуатации автобуса. В то время как масло, отбираемое из двигателя автобуса ПАЗ–4234 г/н 01983, не утратило свою работоспособность при сроке эксплуатации автобуса равном 22,5 тыс. км. Это объясняется частыми доливками масла в систему, которые за время исследования составили около 40 % общего объема системы смазки двигателя.

4.4. Обоснование предельного значения параметра $\Delta\varepsilon$ дизельных моторных масел при эксплуатации автобусов «Богдан»–А091 и ПАЗ–4234

Очевидно, что между такими показателями качества как коксуемость, содержание воды, кислотное число масел и параметром $\Delta\varepsilon$ существует некая функциональная зависимость [23, 24]. Мерой этой зависимости является коэффициент парной корреляции r .

Отметим, что для получения достоверных и точных данных (при доверительной вероятности 0,95 и погрешности 15 %) об отдельных оценочных физико-химических показателях качества масел, а также о корреляционных связях между ними, испытания масел должны проводиться не менее чем на 20 одинаковых автомобилях работающих в равных условиях [25]. Тогда, используя пакет STATISTICA 6.0, который представляет собой универсальную интегрированную систему, предназначенную для статистического анализа и обработки данных [26], рассчитаем коэффициенты корреляции между параметром $\Delta\varepsilon$ и такими показателями качества как: коксуемость, кислотное число, содержание воды и железа в масле (табл. 4.2).

Учитывая тот факт, что при $|r| \leq 0,25$ – корреляция слабая, $0,25 \leq |r| \leq 0,75$ – умеренная, при $|r| \geq 0,75$ – сильная [26].

Очевидно, что корреляция между диагностическим параметром $\Delta\varepsilon$ и коксуемостью масла отобранного из двигателей автобусов ПАЗ–4234 и «Богдан»–А091 работающих как в II так и в III категориях условий эксплуатации

– сильная, коэффициенты корреляции соответственно равны $r = 0,87$, $r = 0,90$ и $r = 0,90$.

Таблица 4.2– Величина коэффициентов корреляции для показателей качества масел

Марки автобусов и категории их эксплуатации	Величина коэффициентов корреляции r при значении $\Delta\varepsilon$ для показателей качества масел			
	Коксуемость	Кислотное число	Содержание воды	Содержание железа
Количество автобусов	20	20	20	20
«Богдан»-А091 II категория	0,87	0,84	0,29	0,83
«Богдан»-А091 III категория	0,90	0,80	0,24	0,83
ПАЗ-4234 II категория	0,90	0,86	0,35	0,77

Корреляция между диагностическим параметром $\Delta\varepsilon$ и содержанием железа в масла отобранного из двигателей автобусов «Богдан»–А091, работающих как в II так и в III категориях условий эксплуатации и автобусов ПАЗ–4234 сильная, коэффициенты корреляции соответственно равны $r = 0,83$ и $r = 0,77$ [23].

Корреляция между параметром $\Delta\varepsilon$ масла и содержанием в нем воды – умеренная, но близка к слабой, коэффициенты корреляции соответственно равны $r = 0,29$, $r = 0,24$ и $r = 0,35$. Потому для параметра $\Delta\varepsilon$ можно предложить рекомендуемое браковочное значение, соответствующее величине коксуемости равной 4 % (масс.) и содержанию железа равного 150 г/т.

Таким образом, на основании полученных корреляционных зависимостей, полученных для дизельных моторных масел ESSOLUB XT401 SAE 15W-40(API CF-4) и SAE 30(API CD) эксплуатирующихся в автобусах «Богдан»–А091 и ПАЗ–4234, можно принять предельное значение параметра $\Delta\varepsilon$, равное 0,3. При достижении этого значения эксплуатацию автобусов целесообразно прекратить и осуществить замену моторного масла.

С учетом того, что предельное значение параметра $\Delta\varepsilon$ равно 0,3, математическая модель, позволяющая определить остаточный ресурс моторных масел при эксплуатации автобусов можно записать в следующем виде

$$L_{\text{авт}}^{\text{з.м.}} = \frac{(0,3 - \Delta\varepsilon)L_{\text{авт.}}}{\Delta\varepsilon} \quad (4.17)$$

4.5. Изменения величины параметра $\Delta\varepsilon$ масла в зависимости от эксплуатационных факторов

Как отмечено в работах [27–32] срок эксплуатации автомобиля, категория условий эксплуатации автомобиля, расход масла на доливку в систему смазки двигателя относятся к числу основных эксплуатационных факторов, влияющих на изменение качества масла при эксплуатации автобусов. Изучение закономерности изменения параметра $\Delta\varepsilon$ в зависимости от этих факторов осуществлялось на 20 автобусах «Богдан»–А091 и ПАЗ–4234 каждой категории условий эксплуатации. Из двигателей исследуемых автобусов отобраны пробы масел, для которых определялся параметр $\Delta\varepsilon$, фиксировался срок эксплуатации автобуса и количество масла, доливаемого в систему смазки двигателя.

Предположим, что между параметром $\Delta\varepsilon$ масла, сроком эксплуатации автобуса и расходом масла на доливку в систему смазки двигателя существует зависимость, описываемая квадратичным уравнением вида

$$\Delta\varepsilon = b_0 + b_1L_{\text{авт.}} + b_2G_{\text{дм}} + b_3L_{\text{авт.}}^2 + b_4G_{\text{дм}}^2, \quad (4.18)$$

где b_0 – свободный член уравнения регрессии;

b_1, b_2, b_3, b_4 – коэффициенты уравнения регрессии;

$L_{\text{авт}}$ – срок эксплуатации автобуса после последней замены масла;

$G_{\text{дм}}$ – расходом масла на доливку в систему смазки двигателя автобуса.

Рассчитанные математические модели, описывающие изменение качества масла при эксплуатации автобусов, имеют следующий вид:

- для автобусов «Богдан»–А091 (II категория условий эксплуатации)

$$\Delta\varepsilon = 0,2592 - 0,1054G_{\text{дм}} + 0,0002L_{\text{авт}}^2 + 0,0121G_{\text{дм}}^2; \quad (4.19)$$

- для автобусов «Богдан»–А091 (III категория условий эксплуатации)

$$\Delta\varepsilon = 0,3528 - 0,1285G_{\text{дм}} + 0,0001L_{\text{авт}}^2 + 0,0152G_{\text{дм}}^2; \quad (4.20)$$

- для автобусов ПАЗ–4234 (II категория условий эксплуатации)

$$\Delta\varepsilon = 0,2387 - 0,1068G_{\text{дм}} + 0,0003L_{\text{авт}}^2 + 0,0086G_{\text{дм}}^2. \quad (4.21)$$

Коэффициент множественной корреляции, характеризующий тесноту связи между переменными и параметром $\Delta\varepsilon$, а также является оценкой качества предсказания, приняли достаточно высокие значения: для автобусов «Богдан»–А091 (II категория условий эксплуатации) они соответственно равны $R = 0,8713$; для автобусов «Богдан»–А091 (III категория условий эксплуатации) они соответственно равны $R = 0,9115$; для автобусов ПАЗ–4234 (II категория условий эксплуатации) они соответственно равны $R = 0,9066$.

Свободные члены уравнений регрессии b_0 статистически значимы. В уравнения нелинейных регрессий не включены переменные $L_{\text{авт}}$, что свидетельствует о том, что соответствующие им коэффициенты не значимо отличаются от нуля, однако включены $L_{\text{авт}}^2$.

Частные коэффициенты корреляции позволяют произвести ранжирование переменных, по степени их влияния на величину параметра $\Delta\varepsilon$, и показывают степень влияния одной переменной входящей в квадратичное уравнение

регрессии, на величину $\Delta\varepsilon$ в предположении, что остальные переменные закреплены на постоянном уровне. Кроме того, они широко используются при решении проблемы отбора переменных – целесообразность включения той или иной переменной в математическую модель определяется величиной частного коэффициента корреляции [26]. Тогда, по степени влияния на величину $\Delta\varepsilon$ переменные можно ранжировать в следующем порядке: $G_{\text{дм}}$, $L_{\text{авт}}^2$, $G_{\text{дм}}^2$, причем для автобусов «Богдан»–А091 независимо от условий эксплуатации, все три переменные оказывают на величину $\Delta\varepsilon$ умеренное влияние. Что касается автобусов ПАЗ – 4234, то влияние переменной $G_{\text{дм}}$ – сильное, а переменных $L_{\text{авт}}^2$ и $G_{\text{дм}}^2$ – умеренное.

Оценка адекватности построенных моделей проверяется путем построения графиков распределения остатков, из которых следует, что распределение остатков соответствует нормальному закону, а значит, что принятая нами квадратичная модель (4.18) адекватно описывает зависимость диагностического параметра $\Delta\varepsilon$ масла от срока эксплуатации автобуса и количества масла доливаемого в систему смазки двигателя.

Ошибка расчета параметра $\Delta\varepsilon$ по квадратичным уравнениям регрессии составит: уравнение (4.19) $10,5 \div 13,3$; уравнение (4.20) $8,0 \div 9,6$; уравнение (4.21) $9,4 \div 11,5$.

4.6. Уточнение сроков замены масел при эксплуатации автобусов «Богдан» –А091 и «ПАЗ»–4234

Срок замены моторных масел в соответствии с руководством по эксплуатации автобусов осуществляется с периодичностью 2ТО–1, которое для автобусов «Богдан»–А091 и «ПАЗ»–4234 проводится через каждые 10 тыс. км и 8 тыс. км, соответственно.

В руководствах по эксплуатации автобусов пределы работоспособного состояния масел устанавливаются, в большинстве случаев, по назначенному

ресурсу масла (масло считается неработоспособным независимо от его фактического состояния после некоторого срока эксплуатации транспортного средства). При этом некоторый средний срок эксплуатации транспортного средства до замены масла, определенный при стендовых или эксплуатационных испытаниях, распространяют на весь парк эксплуатируемых автомобилей данного типа.

Анализ статистики полученной при эксплуатации автобусов «Богдан»–А091 и «ПАЗ»–4234, показал, что масла утрачивают свою работоспособность, начиная с срока эксплуатации автобусов равного 16 тыс. км (периодичность проведения ТО–2). В этих условиях затраты на систематический контроль работоспособного состояния масла, начиная с срока эксплуатации установленного для проведения ТО-2 окупаются экономией, получаемой при использовании результатов анализа для технической диагностики двигателей.

Учитывая вышесказанное, оптимизация сроков замены моторных масел ESSOLUB XT401 SAE 15W-40(API CF-4) и SAE 30(API CD) в двигателях автобусов, будет осуществляться путем проведения периодического контроля их качества с использованием предельного значения диагностического параметра $\Delta\epsilon$ равного 0,3.

При эксплуатации автобусов «Богдан»–А091 и «ПАЗ»–4234 в большинстве случаев, потеря работоспособности отобранных проб масел приходится на срок эксплуатации, равный 22 тыс. км. Однако при исследовании автобусов работающих в II категории условий эксплуатации, количество автобусов в которых масла утрачивают свою работоспособность от 16 до 22 тыс. км, меньше количества автобусов, в которых масла теряют свою работоспособность при сроках эксплуатации автобусов 22–25 тыс. км. Количество автобусов «Богдан»–А091 работающих в III категории условий эксплуатации, в которых масла утрачивают свою работоспособность при сроках эксплуатации 16–22 тыс. км практически в два раза превосходит количество автобусов, в которых масла теряют свою работоспособность при сроках эксплуатации автобусов 22–25 тыс. км. На рис. 4.10 приведено изменение параметра $\Delta\epsilon$ масел в зависимости от

срока эксплуатации автобусов «Богдан»–А091 и ПАЗ–4234 во II категории условий эксплуатации, в течение трех равных циклов.

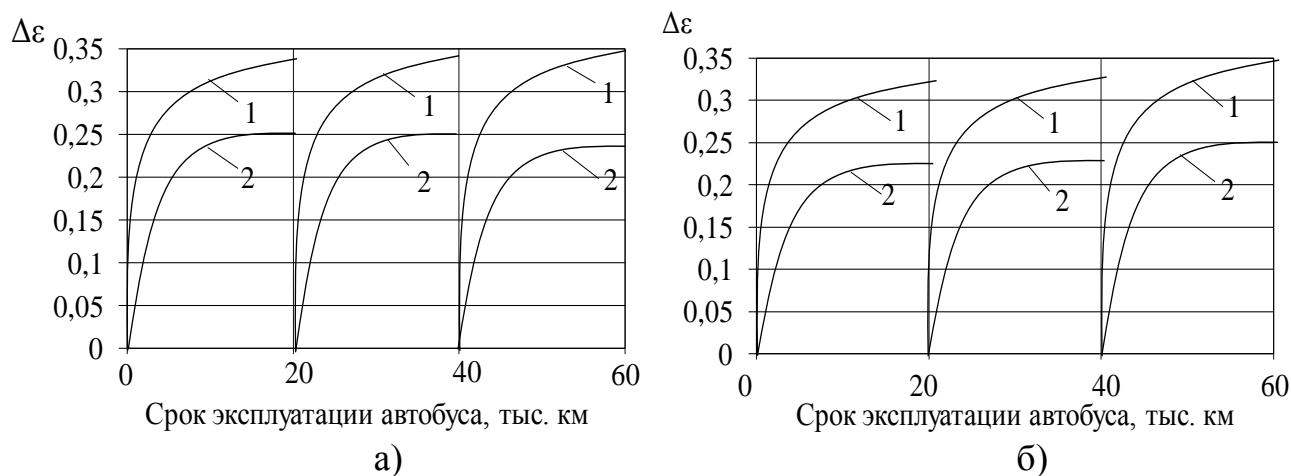


Рис. 4.10 – Изменение параметра $\Delta\varepsilon$ масла от срока эксплуатации автобусов (а) «Богдан»–А091 (1–02010; 1–01600) и ПАЗ–4234 (1–01975; 2–01983).

Очевидно, что при эксплуатации автобусов в III категории условий эксплуатации, наблюдается тенденция к увеличению значения параметра $\Delta\varepsilon$ масел в каждом последующем цикле. При эксплуатации автобусов для II категории условий эксплуатации в одних случаях наблюдается тенденция к возрастанию параметра $\Delta\varepsilon$ масла в каждом последующем цикле, в других значение параметра $\Delta\varepsilon$ стабилизируется на некотором уровне. Однако эта тенденция нарушается в случае увеличения расхода масла доливаемого в систему смазки, в процессе эксплуатации автобуса.

С увеличением общего срока с момента начала эксплуатации автобусов происходит заметное увеличение среднего значения параметра $\Delta\varepsilon$ масел отобранных с периодичностью 20–22 тыс. км (рис. 4.11). Причиной этого увеличения является постепенная выработка технического ресурса двигателя, в процессе эксплуатации автобуса что, несомненно, отражается на работоспособности моторного масла.

Таким образом, среднее значения параметра $\Delta\varepsilon$ масла при сроке эксплуатации автобуса равного 20–22 тыс. км не для одной из групп масел не

достигает рекомендованного предельного значения равного 0,3, что дает основания еще увеличить сроки замены масел.

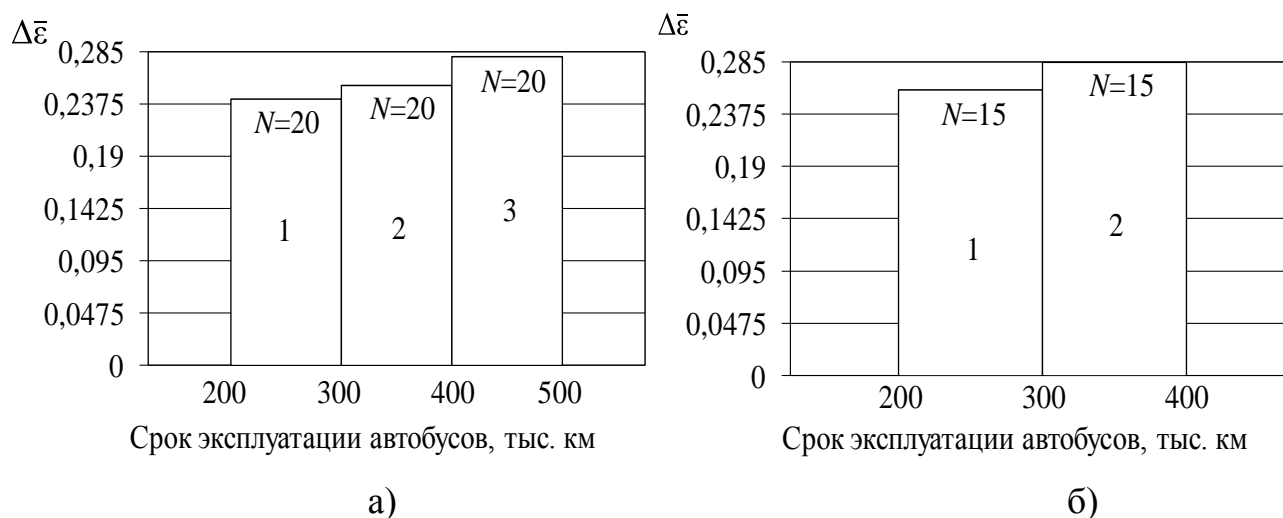


Рис. 4.11 – Изменение среднего значения параметра $\Delta\epsilon$ в зависимости от срока с начала эксплуатации автобусов (а) «Богдан»–А091 и (б) «ПАЗ»–4234

Однако необходимо учитывать тот факт, что при дальнейшей эксплуатации автобусов, когда их общий срок с начала эксплуатации составит более 500 тыс. км, среднее значение параметра $\Delta\epsilon$ каждой группы будет выше, чем приведено на рис. 4.11. Что в свою очередь будет обуславливать снижение сроков замены масел до сроков указанных в руководстве по эксплуатации автобусов.

Рассматривая категории условий эксплуатации исследуемых автобусов «Богдан»–А091 и «ПАЗ»–4234, следует отметить, что автобусы «Богдан»–А091 были задействованы в пассажирских перевозках, как в II, так и в III категории условий эксплуатации. Автобусы «ПАЗ»–4234 эксплуатировались исключительно в II категории условий эксплуатации.

На рис. 4.12 приведено изменение среднего значения параметра $\Delta\epsilon$ масел, отобранных при 20–22 тыс. км в зависимости от категорий условий эксплуатации автобусов.

Изменение параметра $\Delta\epsilon$ в зависимости от условий эксплуатации, приведенное на рис. 4.12 подтверждает общепринятое мнение, что III категория условий эксплуатации автобусов, в которой двигатели эксплуатируются в

режиме «stop and go», считаются более жесткой, по сравнению с II категорией условий эксплуатации [28–32].

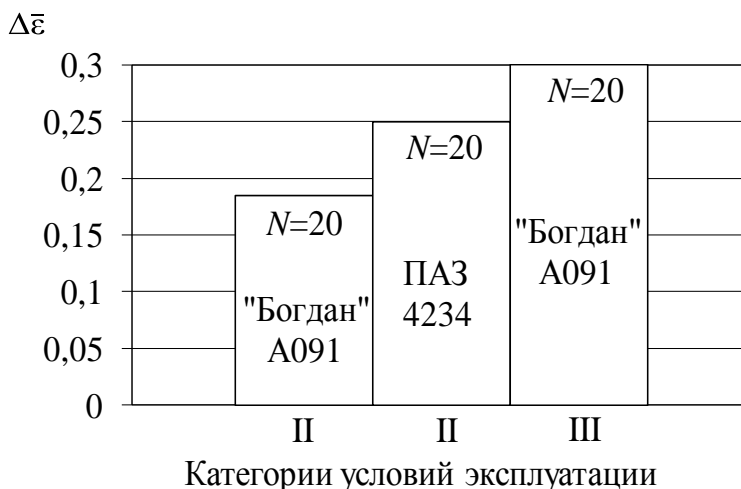


Рис. 4.12 – Изменение среднего значения параметра $\Delta\epsilon$ в зависимости от условий эксплуатации автобусов

Поэтому моторные масла, отобранные из двигателей автобусов эксплуатировавшиеся в III категории, в большинстве случаев при 20–22 тыс. км, утрачивают свою работоспособность по причине достижения или превышения рекомендуемого предельного значения параметра $\Delta\epsilon$, в отличие от масел, отобранных из двигателей автобусов эксплуатировавшихся в II категории условий эксплуатации.

4.7. Методологический подход к разработке и применению новых диагностических параметров позволяющих рационализировать периодичность замены масел

При разработке и применении новых диагностических параметров (П), для рационализации периодичности замены масел, независимо от того к какому классу они относятся (физические, физико-химические, электрофизические), целесообразно предложить следующую программу исследований:

1) Из группы автомобилей с одинаковым типом двигателей необходимо выбрать не менее 20 единиц, имеющих одинаковое техническое состояние и

эксплуатирующихся в одинаковых условиях (категории условий эксплуатации) и одинаковым характером выполняемых работ.

2) Необходимо слить масло, эксплуатировавшееся ранее и осуществить промывку масляных систем с последующей их заправкой свежим маслом одной марки и партии, с заранее измеренной величиной относительной диэлектрической проницаемости.

3) В течение нормированного срока службы масел, регламентированного руководствами по эксплуатации автобусов или фирмой изготовителем масел, отбор проб масла производят с интервалом 5 тыс. км, а при сроке службы масла, превышающем рекомендованный с интервалом 2–3 тыс. км пробега.

4) В отобранных пробах масел определяют стандартные браковочные показатели качества и проводят измерения предлагаемого параметра, с последующим построением графика $\Pi = f(L_{\text{авт.}})$.

5) Рассчитывают коэффициенты корреляции между предлагаемым параметром и стандартными браковочными показателями качества масел после чего, определяют уровень предельного значения параметра, при достижении которого эксплуатацию техники целесообразно прекратить и осуществить замену масла.

Если произошло резкое возрастание параметра раньше нормативного срока замены масла, то это свидетельствует о негативных явлениях, происходящих с маслом в двигателе, и как следствие снижению эффективности эксплуатации самого автобуса. В этом случае эксплуатацию масла необходимо прекратить с целью установления причин обуславливающих резкое возрастание параметра. В случае если при испытании пробы масла $\Pi < \Pi^{\text{пред.}}$, то определяют остаточный ресурс масел до замены.

Список литературы к 4 разделу

1. Лиханов В.А. Справочник по эксплуатационным материалам: [учебное пособие] / В.А. Лиханов, Р.Р. Деветьяров. – Киров: Вятская ГСХА, 2006. –123 с.

2. Пат. 2075062 Российская Федерация, МПК⁸ G01N21/35. Автоматизированный способ идентификации и определения кондиционности нефтепродуктов / Чечкенов И.В.; Сизов А.Б., Калинин Л.Л., Алаторцев Е.И., Вагин В.А., Балашов А.А., Веселов В.Г.; Наметкин О.П., Лазарев Е.С., Шеленин А.М.; заявитель и патентообладатель 25 Государственный научно-исследовательский институт Министерства обороны РФ (по применению топлив, масел, смазок и специальных жидкостей – ГосНИИ по химмотологии). – № 94042592/25; заявл. 29.11.1994; опубл. 10.03.1997, Бюл. № 1.

3. Борисов В. Б. Исследование особенностей формирования и возможностей аналитического применения оптических спектральных образов жидких смесей сложных соединений / В. Б. Борисов, А. М. Киселёв, И. О. Конюшенко [и др.] // Вестник Санкт-петербургского университета. – 2010.– Сер. 4, Вып. 1. – С. 56–64.

4. Малышева Н.Н. Разработка технологий идентификации и диагностирования смазочных материалов по критериям температурной стойкости: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.02.02 «Машиноведение, системы приводов и детали машин» / Н.Н. Малышева. – Красноярск, 2008. – 24с.

5. Пат. 66455 Україна, МПК⁸ G01N27/22. Спосіб ідентифікації моторних олив / А.Б. Григоров; винахідник Григоров Андрій Борисович; власник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № u 2011 05394; заявл. 27.04.2011; опубл. 10.01.2012, Бюл. № 1.

6. Пат. 2114398 Российская Федерация, МПК⁸ G01F1/76. Устройство для измерения массы углеводорода и устройство для измерения содержания воды/ Ден Норске, Статс Ольесельскап; заявитель Ден Норске, Статс Ольесельскап; патентообладатель Ден Норске, Статс Ольесельскап. - № 94045944/28; заявл. 08.04.1993; опубл. 27.06.1998.

7. Нестеренко Л.Л. Основы химии и физики горючих ископаемых./Л.Л. Нестеренко, Ю.В. Бирюков, В.О. Лебедев. – К.: Высшая школа, 1987. – 359 с.

8. Справочник по применению и нормам расхода смазочных материалов, [справочник] / [под ред. Е.А. Эминова]. – М.: Химия, 1977.– 384 с.

9. Келер К.А. Диагностика автомобильного двигателя / К.А. Келер. – К.: «Карпаты», 1977. – 160с.
10. Венцель Е.С. Улучшение качества и повышение сроков службы нефтяных масел / Е.С. Венцель, С.Г. Жалкин, Н.И. Данько. – Харьков: УкрГАЗТ, 2003. – 168с.
11. Информационный портал о ГСМ, [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.sap.net>.
12. Боуден Ф.П. Трение и граничная смазка / Ф.П. Боуден; пер. с англ. Ю.Н. Востропятова – М.: МАШГИЗ, 1953. – 150 с.
13. Венцель С.В. Смазка и долговечность двигателей внутреннего сгорания / С.В. Венцель. – М.: «Техника», 1977. – 208с.
14. Григорьев М.А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / М.А. Григорьев. – М.: Машиностроение, 1983. – 148 с.
15. Морозов Г.А. Очистка масел в дизелях / Г.А. Морозов, О.М. Арцимонов. – Л.: Машиностроение, 1971. – 192с.
16. Караулов А.К. Автомобильные масла. Моторные и трансмиссионные. Ассортимент и применение: [справочник] / А. К. Караулов, Н. Н. Худолий. – К.: ООО "Журнал "Радуга", 2000. – 437с.
17. Detroit Diesel Corporation, «Fuels and Lubricating Oils for Detroit Diesel Engine», SAE 2709603.
18. Резников В.Д. Химмотологические аспекты анализа работавших дизельных масел / В.Д. Резников, Э.М. Шипулина. – М.; ТМИИТ Нефтехим, 1982. – 59с.
19. «Kendall Lube Analysis System», Bulletin 8458, July 1985.
20. Poley J. «The Practical Application of Lubricant Testing to Equipment Maintenance», SAE 740535.
21. Периодичность замены дизельных масел: материалы второй международной конференции по проблемам разработки, производства и применения смазочных материалов 2-6 сентября, 1997 г. Бердянск / У. Гергель. – М.: Изд-во Бердянского гос. техн. ун-та. 1997. – 54 с.

22. Резников В.Д. Химмотологические аспекты анализа работавших дизельных масел / В.Д. Резников, Э.М. Шипулина. – М.; ТМИИТ Нефтехим, 1982. – 59с.

23. Григоров А.Б. Корреляционная зависимость между показателями качества масла и приращением его диэлектрической проницаемости при эксплуатации в автобусах «Богдан» - А091 / А.Б. Григоров, И.С. Наглюк, П.В. Карножицкий //Вестник Восточно-Украинского Национального Университета им. В. Даля. – 2008, № 7(125). – С 99–102.

24. Григоров А.Б. Изменение показателей качества моторного масла при эксплуатации автобусов «Богдан» - А091 и ПАЗ – 4234 / А.Б. Григоров, П.В. Карножицкий, И.С. Наглюк, // Вестник харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. П. Василенко. – 2008. – Т.1, №75. – С. 95–97.

25. Аронов Д.М. О выборе совокупностей автомобилей при эксплуатационных испытаниях масел для двигателей / Д.М. Аронов, Е.П. Мосихин // Труды НИИАТ. – 1970. – [Вып. 6]. – С. 60–72.

26. STATISTICA 6. Статистический анализ данных / [сост. А.А. Халафян]. – М.: ООО «Бином – Пресс», 2007. – 512с.

27. Артемьев В.А. Зависимость интенсивности старения моторного масла от его расхода на угар / В.А. Артемьев, Д.В. Бойков, М.А. Григорьев, С.Н. Федоров //Химия и технология топлив и масел. – 1993 – № 1. – С. 14–16

28. Васильева Л.С. Нормирование расхода смазочных материалов на автомобильном транспорте / Л.С. Васильева, В.П. Назаров. – М.: Изд. МАДИ, 1994. – 27 с.

29. Говорущенко Н.Я. Экономия топлива и снижение токсичности на автомобильном транспорте / Н.Я. Говорущенко. – М.: Транспорт, 1990. – 134с.

30. Говорущенко Н.Я. Техническая эксплуатация автомобилей / Н.Я. Говорущенко. – Х .: «Вища школа», 1984. – 312с.

31. Григорьев М.А. Режимы работы, параметры рабочего цикла и расход масла в ДВС / М.А. Григорьев, В.В. Большаков, С.Н. Федоров // Автомобильная промышленность. – 1995. – № 8. – С.8–11.

32. Крамаренко Г.В. Техническая эксплуатация автомобилей: [справочник] / Г.В. Крамаренко. — М.: Транспорт, 1983. — 483 с.

Раздел 5

ПОРТАТИВНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ И АНАЛИЗАТОРЫ КАЧЕСТВА МАСЕЛ

Контроль автомобильных масел на соответствие требованиям нормативно-технической документации является главным условием надежной и долговечной работы техники, так как результаты, получаемые при его проведении, с одной стороны, позволяют повысить эффективность применения масел, с другой – выявить некондиционные.

Одним из основных направлений в работе научно-исследовательских институтов и испытательных лабораторий не только нашей страны, но и всего мира, является упрощение и удешевление методик определения качества масел, не снижая качество анализа.

В условиях бурного развития техники измерений показателей качества особую актуальность приобретает задача обеспечения их точности и достоверности. Средний уровень точности измерений стандартам методикам определяется следующими погрешностями измерений (без учета погрешности отбора и доставки проб, которые доходит до 30 %): вязкости – 1 %; содержания воды – 15 %, механических примесей – 20 %, зольности - 5%, коксуемости – 10%, щелочного и кислотного чисел – 15%.

Основным недостатком в области определения качества масел является несоответствие отечественных методик осуществления измерений требованиям международных стандартов ISO, ASTM или DIN. Поэтому между результатами измерений по украинским и международным методикам осуществления измерений могут наблюдаться довольно значительные расхождения, так как много ДСТУ и ГОСТ основанные на устаревших измерительных технологиях.

Для снижения погрешности измерений и экономии времени, затрачиваемого на определение качества масел, как в лабораторных, так и полевых условиях, в последние годы за рубежом для экспресс определения качества масел разработаны, как портативные лаборатории [12], так и приборы

нового поколения, называемые анализаторами качества [11]. Поскольку отечественная приборостроительная промышленность в это время не может обеспечить потребности в автоматических анализаторах мирового уровня, то украинские исследовательские лаборатории и предприятия интенсивно используют импортную аналитическую технику, в том числе как инструментальное обеспечение требований ДСТУ и ГОСТ.

Однако в технической литературе отсутствуют данные об области их применения и технических характеристиках. Поэтому ниже приведен обзор по портативным лабораториям и анализаторам качества, наиболее часто встречающихся на Украинском рынке лабораторного оборудования.

5.1. Портативные экспресс лаборатории

Портативные экспресс лаборатории позволяют оперативно измерять наиболее значимые характеристики всех типов смазочных масел (табл. 5.1). Лаборатории мобильны, надежны, просты и удобны в эксплуатации и не требуют специальной подготовки персонала.



Рис. 5.1 – Внешний вид портативной экспресс лаборатории

Портативные экспресс лаборатории (рис. 5.1) содержат нижеследующие виды тестеров [4]:

Аналоговые тестеры (ECON): К группе ECON относятся тестеры со стрелочной шкалой и ручные наборы для выполнения отдельных испытаний.

Цифровые тестеры (DIGI): К группе DIGI относятся цифровые тестеры для выполнения одного или нескольких типов испытаний. Каждый цифровой тестер содержит цифровой датчик воды и/или датчик щелочного числа (TBN), а также аналоговые тестеры для других параметров. В табл. 5.2–5.4, приведены технические характеристики аналоговых и цифровых тестеров для определения некоторых показателей качества масел.

Таблица 5.1– Показатели качества масел

Наборы цифровых тестеров	Вода	Щелочное число	Механические примеси	Вязкость	Кислотное число
Вода	DIGI	–	–	–	–
Вода и вязкость	DIGI	–	–	ECON	–
Щелочное число	–	DIGI	–	–	–
Основной комплект	DIGI	–	ECON	ECON	–
Промышленный комплект	DIGI	DIGI	ECON	ECON	–
Полевой комплект	DIGI	DIGI	ECON	ECON	ECON
Комбинированный комплект	DIGI	DIGI	ECON	ECON	–
Чистота масла	DIGI	–	–	Viscotube	ECON

Таблица 5.2–Технические характеристики тестеров

Наименование характеристик	ECON	DIGI
Измеряемый параметр	Массовая доля воды	
Диапазон измерений, %	0–1,2	0–1, 0–10, 0–20, 0–10000 ppm
Время анализа, мин	2	3–7
Расход реагентов, на тест	50	50
Точность, %	0,1	0,1 (0-10000 ppm) и 1,0
Особые характеристики	-	Графический дисплей и встроенная память

Таблица 5.3–Технические характеристики тестеров

Наименование характеристик	ECON	DIGI
Измеряемый параметр	Щелочное число	
Диапазон измерений, ед. TBN	5–55	5–55
Время анализа, мин	2	2
Расход реагентов, на тест	50	50
Точность, % от TBN св. масла	10	10
Особые характеристики	–	Графический дисплей и встроенная память

Таблица 5.4–Технические характеристики тестеров

Наименование характеристик	ECON (TAN)	ECON (TAN DROP)
Измеряемый параметр	Кислотное число	
Диапазон измерений, ед. TBN	0–3	0–6
Время анализа, мин	2	2
Расход реагентов, на тест	50	25
Точность, от значения TBN в свежем масле	0,3	0,3
Особые характеристики	–	–

Достаточно широкое распространение при анализе качества масел получили портативные лаборатории ПЛАМ, модификации и технические характеристики которых, приведены в табл. 5.5.

Таблица 5.5–Модификации и технические характеристики

Наименование показателей	Модификации лаборатории ПЛАМ			Диапазон измерения
	ПЛАМ-1	ПЛАМ-2	ПЛАМ-3	
Содержание воды в масле, %	+	+	+	0 ÷ 3% и выше
Щелочное число, мг КОН/г масла	+	+	+	0,7 ÷ 70
Кинематическая вязкость масла, мм ² /с	+	+	+	В % от вязкости свежего масла

Продолжение табл. 5.5.

Загрязненность	+	+	+	По эталонам цветной фотографии
Диспергирующую способность	+	+	+	
Окисление	+	+	+	
Плотность, кг/м ³	–	+	+	750 ÷ 990
Кислотное число, мг КОН/г масла	–	–	+	0,04 ÷ 2

Портативная лаборатория ПЛАМ предназначена для анализа моторных, турбинных, гидравлических масел. Лаборатория проста в обращении и не требует специальной подготовки, выполнена в удобном корпусе типа «кейс» с размерами 290×380×70 мм и массой 2,5–5 кг. Каждая лаборатория ПЛАМ укомплектована реагентами на 50 анализов.

Следует отметить, что все портативные лаборатории обладают рядом существенных недостатков, к которым можно отнести:

- при анализе качества нефтепродуктов используются дорогостоящие реактивы, которые имеют ограниченный срок хранения;
- ограниченное количество анализов;
- узкий спектр контролируемых параметров;
- узкий диапазон измерения параметра.

5.2. Анализаторы качества масел

Наиболее эффективными и передовыми методами анализа, по сравнению с методами, применяемыми в портативных лабораториях, является использование анализаторов качества.

В основе принципа действия одних анализаторов качества заложены стандартные методы физико-химического анализа с применением средств автоматизации [3], в других – измерение электрофизических параметров масел. Рассмотрим некоторые приборы, основанные на стандартных методах физико-химического анализа.

Так, например, в США лидирующее положение среди диагностических приборов и триботехники с момента своего появления на рынке в 1986 г. занимает комплексная лаборатория для анализа масла OSA (рис. 5.2) [4].



Рис. 5.2 – Внешний вид комплексной лаборатории OSA

Разработанная для использования персоналом без специальной подготовки, лаборатория OSA позволяет осуществлять контроль состояния масел и износа деталей машин непосредственно на месте эксплуатации при сохранении точности лабораторных аналитических приборов.

Лаборатория OSA легко переносит транспортировку и рассчитана на мобильное использование. Вес лаборатории около 60 кг, что позволяет использовать ее, как мобильную лабораторию на базе микроавтобуса.

Комплексная лаборатория OSA включает в себя четыре типа анализаторов, размещенных в компактном настольном корпусе, что позволяет получать полную характеристику по каждой пробе масла. После введения пробы, пользователь указывает идентификационные коды пробы (наименование машины, узла и точки отбора и другую информацию, необходимую для дальнейших статистических расчетов) набирая информацию на встроенной клавиатуре. Полученные результаты анализов собираются во встроенной базе данных для расчета тенденций износа и определения оптимальных интервалов обслуживания техники и обеспечения безаварийной работы. Введенная проба

масла автоматически прокачивается внутри комплекса для последовательного анализа на встроенных анализаторах.

В состав лаборатории OSA входят: оптический эмиссионный спектрометр; ИК–Фурье спектрометр; автоматический капиллярный вискозиметр с термостатированием до 100 °С; автоматический счетчик частиц.

Оптико-эмиссионный спектрометр (OES) позволяет определять концентрацию металлов (алюминий, хром, медь, железо, свинец, олово, кремний) и сравнивать текущий результат с предыдущим измерением по конкретной точке контроля для вычисления степени износа (тренда).

ИК-Фурье спектрометр позволяет определять изменения физических параметров масел при эксплуатации: содержание воды, примесь топлива, высокие концентрации натрия и калия и, следовательно, предупреждать протечки в топливной системе или системе охлаждения. ИК методики, заложенные в OSA, позволяют определять щелочное число, содержание сажи и общего загрязнения масел. Щелочное число определяется в диапазоне от 7 до 14 в соответствии с требованиями API SH/SJ и CF. Сажа и загрязнения определяются по общему поглощению света, и метод позволяет получать результаты с точностью до 0,2%.

Автоматический вискозиметр, включенный в состав OSA, измеряет кинематическую вязкость капиллярным методом при двух температурах 40 °С и 100 °С и рассчитывает индекс вязкости по полученным данным. Дискретность измерения 0,2 мм²/с (при общей погрешности анализа менее 1 мм²/с) в диапазоне 5 ÷ 100 мм²/с.

Автоматический счетчик частиц позволяет определять размеры частиц и классы чистоты жидкостей [8], которые имеют особое значение для диагностики гидравлических жидкостей, трансформаторных масел.

Программное обеспечение лаборатории OSA предоставляет пользователю возможности по выводу информации в внутреннюю сеть предприятия, Интернет, вплоть до автоматической передачи информации и аварийных предупреждений по электронной почте. Лаборатория OSA может функционировать на

предприятию любого размера и обслуживать базу данных по 10 000 точек контроля максимально. Методики, реализованные в лаборатории OSA, соответствуют стандартам ASTM по эксплуатационным анализам масел и, кроме того, методически соответствуют программам Caterpillar SOS и Shell Care.

Также для экспресс-диагностики состояния моторных, турбинных, гидравлических - непосредственно на месте эксплуатации можно использовать анализатор iPAL. iPAL способен выполнить ряд самых важных для определения состояния масел испытаний: содержание воды (от 10 ppm), степень нитрования и окисления, содержание сажи и присадок, степень разбавления топливом и охлаждающей жидкостью.

Довольно широкое распространение для анализа качества масел получил автоматический титратор CRISON TitroMatic 1S/2S (рис. 5.3) для определения pH- кислотности, щелочного и кислотного числа.



Рис. 5.3 – Внешний вид титратора CRISON TitroMatic 1S/2S

Автоматический титратор поддерживает основные типы титрования: титрование до конечной точки и титрование до точки эквивалентности, титрование при фиксированном значении pH. Прибор оборудован двумя шприцами-дозаторами и двумя перистальтическими насосами.

Перистальтический насос применяется для разбавления пробы и ввода дополнительного реактива перед титрованием и в течение титрования, опустошения титровальной емкости, процесса "автоматического выравнивания уровня", если объем анализируемой пробы превышает заданное значение.

Шприц–дозатор имеет высокое разрешение; память титратора хранит до 10 программ титрования, программу по замене и очистке шприца и трубок, программу для тестирования дозатора, программу калибровки бюретки. Технические характеристики титратора CRISON TitroMatic 1S/2S приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6– Технические характеристики титратора CRISON TitroMatic 1S/2S [4]

Наименование показателей	Диапазон измерения
Шаговый двигатель, шагов	40000
Габаритные размеры, мм	130x160x300
Компенсация температуры	автоматически
Емкость шприца-дозатора, см ³	2x10
Количество точек калибровки	1, 2 или 3
Воспроизводимость, ед. рН, мВ, °С	+0,01; +1; +0,1
Представление результатов	ед. рН; мВ; мг/л; %; ppm
Шкала измерений, ед. рН, мВ, °С	-2 ÷ +16 ; +2000; -20 ÷ +150

Автоматический портативный анализатор чистоты жидкости S-40 (рис. 5.4). Анализатора полностью соответствует международным стандартным методам: ISO 4406:1999, SAE AS 4059D, ISO 4406:1987, NAS 1638, GJB 420A, ГОСТ 17216. Область применения: гидравлические жидкости и смазочные масла с вязкостью до 1000 сСт. Принцип действия прибора основан на измерении интенсивности рассеяния света частицами загрязнений.

В приборе используется объемная аналитическая ячейка, что гарантирует высокую точность и воспроизводимость результатов. Метрологические характеристики модели S-40 соответствуют параметрам лабораторных измерений. Избыточное давление в аналитической ячейке предотвращает

образование пузырьков газа во время измерения. Возможно получение результатов в виде тройных кодов ISO, классов чистоты по NAS и SAE, количества частиц и объема. Пробы без давления могут иметь вязкость до 200 сСт, пробы под давлением могут иметь вязкость до 350 сСт и пробы из систем смазки могут иметь вязкость до 1000 сСт.



Рис. 5.4– Внешний вид анализатора S-40

Современный 32–битный процессор управляет анализом пробы и обработкой результатов. Система подсчета количества частиц использует принцип оптического затмения (light blockage).

Усовершенствованная оптическая ячейка и сенсор обеспечивают наилучшую точность даже для проб с высоким давлением. Подсчет частиц может быть реализован разными методами, но только используемая в приборе S-40 объемная оптическая ячейка гарантирует, что все проходящие частицы будут зафиксированы. Тем самым обеспечивается представительность анализа, и информация о количестве частиц разного размера во всем объеме пробы является полной и статистически воспроизводимой. Технические характеристики анализатора S–40 приведены в табл. 5.7.

Таблица 5.7–Технические характеристики анализатора S-40 [4]

Наименование показателей	Диапазон измерения
Отбор проб	Встроенный насос
Допустимая вязкость, сСт:	
• для проб без давления	200
• для проб под давлением	350
• для смазочных масел	1000
Допустимое давление пробы, бар	420
Диапазоны определения размеров, μm :	
• (ISO 11171:1999)	4 – 70
• (ISO 4402:1991)	1 – 100
• (ANSI/NFPA)	1 – 400
Максимально допустимая концентрация частиц, cm^3 при скорости потока 25 мл/мин	20, 000

Особый интерес среди анализаторов качества масел представляют те, чей принцип действия основан на измерении электрофизических параметров масла. В зависимости от назначения приборы, в основе принципа действия которых лежит измерение диэлектрической проницаемости масел различают:

- приборы для определения влажности масел (влажмеры);
- приборы для определения марок масел (идентификаторы);
- приборы широкого назначения (октанометры).

Влажмеры, предназначенные для измерения и контроля объемной доли влагосодержания в маслах (ГОСТ 14203). Принцип действия, которых основан на измерении относительной диэлектрической проницаемости обезвоженных трансформаторных и моторных масел (дизельных топлив), процентное содержание воды в которых меньше, чем 0,01% и проверяемого образца (масло + вода или дизтопливо + вода).

В качестве примера влажмеров рассмотрим СИМ–4 (рис. 5.5), технические характеристики которого приведены в табл. 5.8.

Расчет массовой доли воды в анализируемых маслах производится автоматически, а относительная погрешность измерения процентного содержания воды в маслах определяется формулой [2]:

$$\delta = \pm \frac{0,09A \pm 0,002}{A} \cdot 100\%, \quad (5.1)$$

где A – измеренное значение.



Рис. 5.5– Внешний вид анализатора СИМ–4

Результат измерения отображается на цифровом индикаторе в процентах и граммах на тонну.

Таблица 5.8–Технические характеристики анализатора СИМ–4 [2]

Наименование показателя	Численное значение
Диапазон измерений массовой доли воды, %	0,01÷2,00
Пределы допускаемой относительной погрешности измерения массовой доли воды, %	±10
Время измерения, мин	15
Мощность, потребляемая анализатором, В·А	3,0
Напряжение питания, В	220
Масса анализатора, кг	1,8
Габаритные размеры анализатора, мм, не более:	
• измерительного прибора	210×200×65.
• диаметр и высота первичного преобразователя:	50, 115

В качестве примера идентификаторов рассмотрим анализатор АК–3 предназначенный для определения марок моторных масел (ГОСТ 10541–78, ГОСТ 12337–84, ГОСТ 8581–78). Анализатор может применяться для оперативного контроля масел в местах хранения и продажи в составе передвижных лабораторий, а также в стационарных лабораторных условиях при совокупном анализе физико-химических параметров моторных масел.

Анализатор АК–3 относится к группе автоматизированных анализаторов по ГОСТ 16851–71, когда отбор проб производится оператором вручную, а измерение и выдача результата измерения происходит автоматически.

Принцип действия анализатора основан на емкостном методе измерения диэлектрической проницаемости и тангенса угла потерь проверяемых моторных масел с последующим сравнением с параметрами стандартных образцов масел.

Предел допускаемой относительной погрешности измерений тангенса угла потерь (см. табл. 5.9) определяется по формуле [1]

$$X = 20 \pm \frac{10^{-3}}{\operatorname{tg}\delta} \cdot 100. \quad (5.2)$$

где $\operatorname{tg}\delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь моторного масла, ед.

Таблица 5.9–Технические характеристики анализатора АК-3 [1]

Наименование показателя	Численное значение
Диапазон измерений относительной диэлектрической проницаемости, ед.	1,00÷2,50
Абсолютная погрешность измерений относительной диэлектрической проницаемости, ед.	±0,0025
Диапазон измерений тангенса угла потерь, ед.	+0,130 ÷ –0,130
Абсолютная погрешность измерений тангенса угла потерь, ед.	±0,001
Диапазон измерений температуры, °С	0÷100

Продолжение таблицы 5.9

Абсолютная погрешность измерения температуры, °С	±0,1
Предел допускаемой относительной погрешности измерений относительной диэлектрической проницаемости, %	1,0
Габаритные размеры анализатора, мм, не более: <ul style="list-style-type: none"> • измерительного прибора • диаметр и высота первичного преобразователя: 	210×200×65. 50, 115

Результат измерения ε и $tg\delta$ проверяемого масла определяется по среднему значению из результатов трех измерений каждого параметра. Анализатор качества можно использовать при температуре окружающего воздуха 5–40 °С и относительной влажности 80%.

Из числа октанометров наиболее универсальными приборами считаются анализаторы типа SHATOX (SX–100; SX–200; SX–300). Данные анализаторы применяются для определения: октановых чисел бензинов; цетановых чисел дизельных топлив; температуры застывания и типа дизельного топлива; измерение диэлектрической проницаемости ГСМ; качества и степени чистоты моторного и промышленного масел (регенерированных моторных масел); напряжения пробоя трансформаторного масла; тангенса угла диэлектрических потерь трансформаторного масла; идентификация масел [9, 10].

Принцип определения октанового числа бензинов основан на измерении диэлектрической проницаемости топлива и последующего определения октанового числа по предварительно построенной калибровочной зависимости. Для построения калибровочных зависимостей используются чистые изооктан и Н-гептан или топлива с известным октановым числом, определенным с помощью моторной установки. Благодаря оригинальной конструкции датчика и усовершенствованному методу измерения диэлектрической проницаемости октанометры обеспечивают отличную сходимость результатов и долговременную стабильность показаний.

При применении октанометров возникают некоторые сложности обусловленные тем, что топлива, поступающие от различных производителей,

как правило, имеют отклонение от типовой калибровочной зависимости «диэлектрическая проницаемость – октановое число», построенной на основе измерений чистого изооктана и н–гептана. Поэтому возникает необходимость в построении индивидуальных калибровок, где в качестве стандартов принимаются бензины конкретного производителя, октановые числа которых предварительно определяются на моторной установке УИТ-65, УИТ-85.

В анализаторах SHATOX SX используется современный микропроцессор для быстрой и точной обработки результатов. Прибор определяет и одновременно отображает на дисплее октановое число бензина по исследовательскому RON и моторному MON методу, а также антидетонационный коэффициент АКІ (среднее арифметическое между RON и MON, $(RON+MON)/2$) [8].

Принцип действия анализаторов качества, определяющих степень чистоты масел, основан на корреляционной зависимости между диэлектрической проницаемостью масла и степенью его чистоты (ДСТУ ГОСТ 17216:2004)[6].

Идентификация марки масла происходит по принципу измерения его диэлектрической проницаемости с последующим сравнением с параметрами образцов масел, занесенных в память прибора. Оригинальные масла обладают определенными значениями диэлектрической проницаемости. В табл. 5.10 приведены технические характеристики октанометра SHATOX SX–200.

Таблица 5.10–Технические характеристики анализатора SHATOX SX-200 [10]

Наименование показателя	Численное значение
Диапазон измерений октановых чисел, ед	40 ÷ 120
Диапазон измерения цетановых чисел, ед	20 ÷ 100
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения октановых чисел, ед	0,5
Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения цетановых чисел, ед	±1.0

Продолжение таблицы 5.10

Погрешность измерения температуры застывания ДТ, °С	± 2
Диапазон измерения степени очистки моторных масел, %,	95 ÷ 100
Предел допускаемой погрешности измерения степени очистки моторных масел, %, не более	0,1
Предел допускаемого значения расхождения между параллельными измерениями степени очистки моторных масел, %, не более	0,01
Диапазон измерения диэлектрической проницаемости ГСМ, ед	0,1÷5
Предел допускаемой погрешности измерения диэлектрической проницаемости, ед., не более	0,001
Предел допускаемого значения расхождения между параллельными измерениями диэлектрической проницаемости ГСМ, ед., не более	0,001
Диапазон измерения напряжения пробоя трансформаторных масел (диэлектриков), кВ	5÷100
Предел допускаемой погрешности измерения напряжения пробоя трансформаторных масел, кВ, не более	1
Предел допускаемого значения расхождения между параллельными измерениями напряжения пробоя трансформаторных масел, В., не более	0,2
Диапазон измерения тангенса угла потерь масел, %.	0,01÷5
Предел допускаемой погрешности измерения тангенса угла потерь трансформаторных масел, %., не более	0,01
Предел допускаемого значения расхождения между параллельными измерениями тангенса угла потерь трансформаторных масел, ед., не более	0,001
Время измерения, с.	01÷5
Масса октанометра, г.	680

5.3. Индикатор «OIL SERVICE»

Современные легковые автомобили таких известных фирм автопроизводителей, как «BMW», «MERCEDES BENZ», «VW» и «Audi», оснащены информационным индикатором «OIL SERVICE», находящимся на приборной панели, и предупреждающим о необходимости замены моторного масла [5, 6].

Индикатор представлен рядом цветных светодиодов (рис. 5.6), которые по мере эксплуатации автомобиля гаснут один за другим, после чего загорается желтая индикация, а затем и красная, свидетельствующая о наступлении предельного срока эксплуатации моторного масла.



Рис. 5.6 – Индикация «OIL SERVICE»

Дополнительно могут загораться надписи «OIL SERVICE», а также символ часов, указывающий на необходимость очередной замены масла. Знак минус «-» перед сообщением указывает на то, что срок обслуживания вышел за пределы указанных километров.

Следует помнить, что ряд светодиодов – это просто таймер, не имеющий никакой обратной связи с двигателем, срабатывание которого происходит через каждые 12 месяцев или 15 000 км пробега.

При расчете интервалов замены масла необходимо учитывать качество применяемого масла и топлива, то есть исходный физико-химический потенциал масла и скорость его исчерпания. Так, в тяжелых условиях эксплуатации, в частности, при движении в городском цикле и на коротких трассах, частых перемещениях в горной местности, при транспортировании прицепа и повышенной запыленности, интервал обслуживания следует сократить вдвое. И наоборот, при использовании высококачественных энергосберегающих моторных масел, например, спецификаций BMW «Long Life Oils» и «Long Life Oils (LL-01)», предназначенных для увеличения интервала их замены, при движении в пригородной зоне по дорогам с усовершенствованным покрытием, интервалы замены масла, заложенные в индикаторе можно изменить на 50 000 км (30 000 км) и 24 месяца. Однако отметим, что в качестве фактора, учитываемого при расчете циклов обслуживания, микропроцессор индикатора наряду с пройденным километражем или временем эксплуатации учитывает,

например, стиль управления автомобилем водителем, температуру и обороты двигателя. Поэтому «OIL SERVICE» может загораться раньше установленного срока.

5.4. Средства бортовой диагностики моторных масел

Более рациональным, по сравнению с индикатором «OIL SERVICE» является применение приборов бортовой диагностики масел, в которых интервалы замены определяются по фактическому состоянию масла. Принцип действия таких приборов может быть основан на оптическом или электрофизическом методах диагностики масел. Так, в работе [7] для повышения надежности автосамосвалов предлагается использовать приборы бортовой диагностики моторных и трансмиссионных масел, основанный на измерении электропроводности масел.

Любое средство бортовой диагностики, позволяющее осуществлять непрерывный контроль параметров масла или жидкости, от которых зависит ресурс основных агрегатов и узлов автомобиля в общем виде может состоять из основных структурных элементов, приведенных на рис. 5.7.

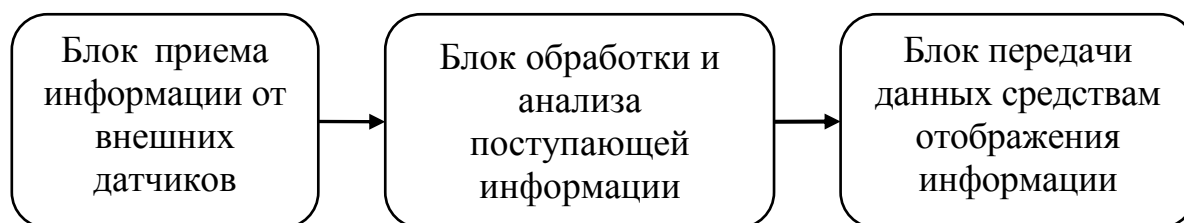


Рис. 5.7 – Структурная схема средств бортовой диагностики качества смазочных масел, тормозной и охлаждающей жидкостей

Принцип действия таких средств, определяющих остаточный ресурс масла, может быть основан на использовании интегральных браковочных показателей предельного состояния масел (жидкости), которые позволяют получить необходимый и достаточный объем диагностической информации.

Выбранный браковочный показатель, должен непрерывно контролироваться СБД в целях выявления резкого ухудшения качества масла, и как следствие предотвращения аварийных отказов. СБД должны обеспечивать возможность периодической фиксации (или некоторого усреднения) величин непрерывно контролируемого параметра и обмен информацией с внешними устройствами.

В качестве интегральных браковочных показателей масла и жидкостей можно использовать их электропроводность (σ) и диэлектрическую проницаемость (ε), которые отражают их фактическое состояние, и изменяются в процессе их эксплуатации на величину равную:

$$\sigma = (1 + \delta_{\sigma}) \cdot \sigma_0; \quad (5.3)$$

$$\varepsilon = (1 + \delta_{\varepsilon}) \cdot \varepsilon_0. \quad (5.4)$$

где σ_0 и ε_0 – значение электропроводности и диэлектрической проницаемости свежего масла (жидкости); δ_{σ} и δ_{ε} – коэффициенты, характеризующие относительные приращения электропроводности и диэлектрической проницаемости работающего масла (жидкости).

На основании изложенного выше, предложим, что блок-схема алгоритма определения остаточного ресурса смазочных масел и жидкостей $L_1^{\text{ост}}$, который может быть реализован в СБД, выглядит как показано на рис. 5.8. Исходная диагностическая информация поступает от датчиков, которые могут монтироваться в систему смазки.

Принятые в алгоритме соотношений для определения величины $L_1^{\text{ост}}$, получены на основании линейной зависимости величины параметров от срока эксплуатации автомобиля L_i , что является не более чем первичные представления о путях решения задачи определения остаточного ресурса на

основе предлагаемого подхода. Не исключено, что в последующем удастся получить более точные (квадратичные) зависимости.

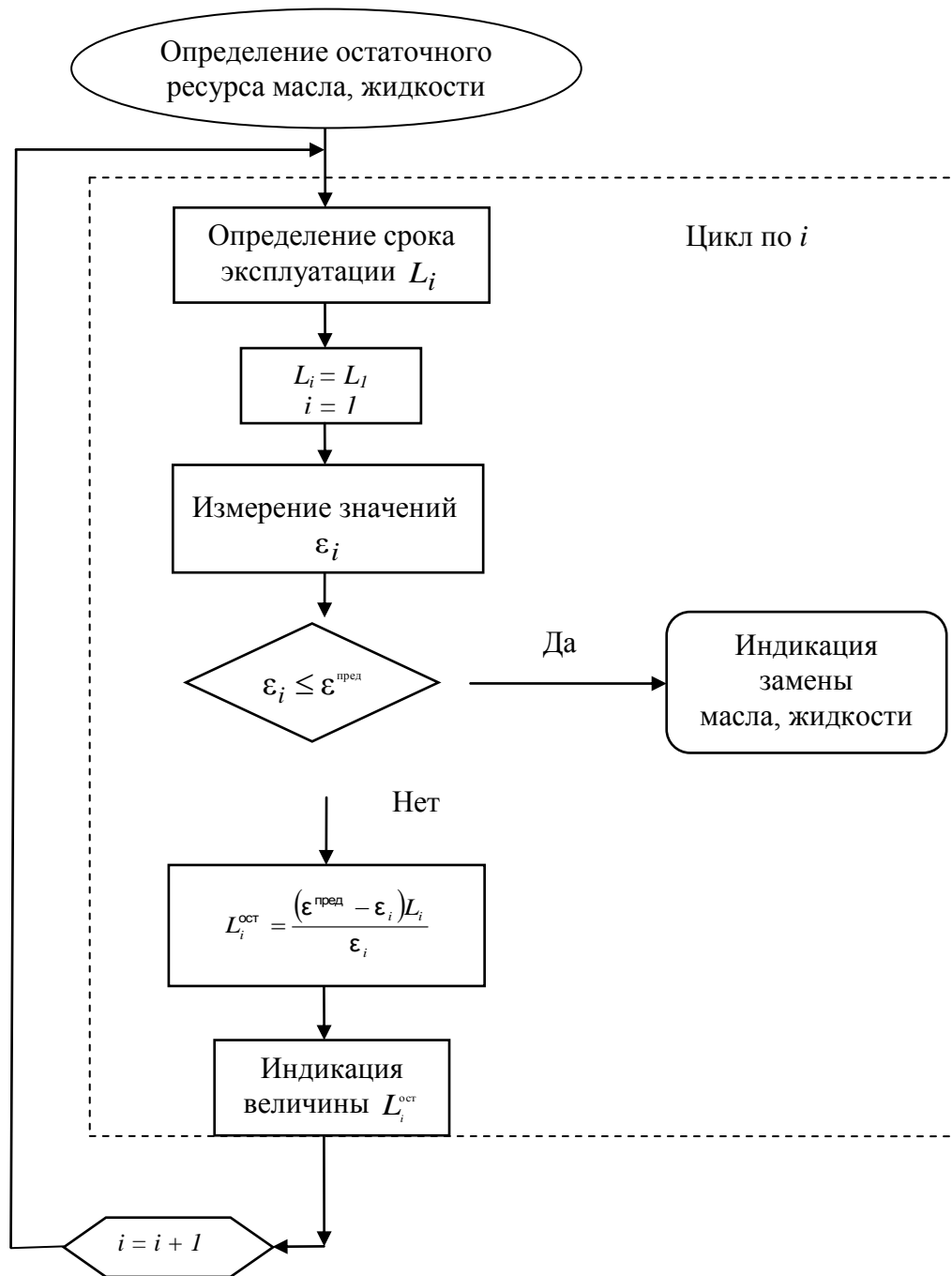


Рис. 5.8– Блок–схема алгоритма определения остаточного ресурса смазочных масел

При эксплуатации автомобилей с СБД впоследствии можно будет уточнить предложенный алгоритмов, а скачкообразное изменение диагностических

параметров после долива масла (жидкости) или проведенного технического обслуживания будет служить подтверждением эффективности их применения и может быть использовано для корректировки величины остаточного ресурса масла или жидкости.

Разработка СБД является весьма актуальной задачей, которая для своего решения требует проведения достаточно обширных исследований и накопления значительного массива статистических данных о закономерностях изменения выбранного диагностического параметра от срока эксплуатации автомобиля.

Оснащение автомобилей СБД открывает возможности учета условий эксплуатации каждой единицы и получения на этой основе более точных прогнозов относительно ее дальнейшей работоспособности.

Авторами работы [13] предложен универсальный прибор, в котором контролируемый параметр выбирается с учетом природы объекта исследования. То есть, качество смазочных масел (моторного и трансмиссионного) определяться по параметру диэлектрической проницаемости, а рабочих жидкостей (охлаждающей и тормозной) – по электропроводности, что в значительной мере повышает достоверность получаемой диагностической информации.

Прибор включает в себя два двухэлектродных датчика контроля электропроводности и три двухэлектродных датчика контроля диэлектрической проницаемости, блок обработки первичной информации и блок звуковой и световой сигнализации с источником питания от аккумуляторной батареи. Датчики измерения диэлектрической проницаемости расположены в двигателе, коробке передач и заднем мосте, вместо сливной крышки агрегата. Датчики измерения электропроводности расположены в расширительном бочке системы охлаждения двигателя и в бочке тормозной системы, вместо заливной пробки.

На рис. 5.9 приведена блок-схема пятиканального прибора для определения сроков замены смазочных масел и рабочих жидкостей в эксплуатации.

Принцип работы пятиканального прибора основан на изменении диэлектрической проницаемости смазочных масел из-за окисления и загрязненности, и изменении электропроводности рабочих жидкостей в зависимости от накопления продуктов коррозии и срабатывания присадок (для антифризов) и обводнения (для тормозной жидкости).

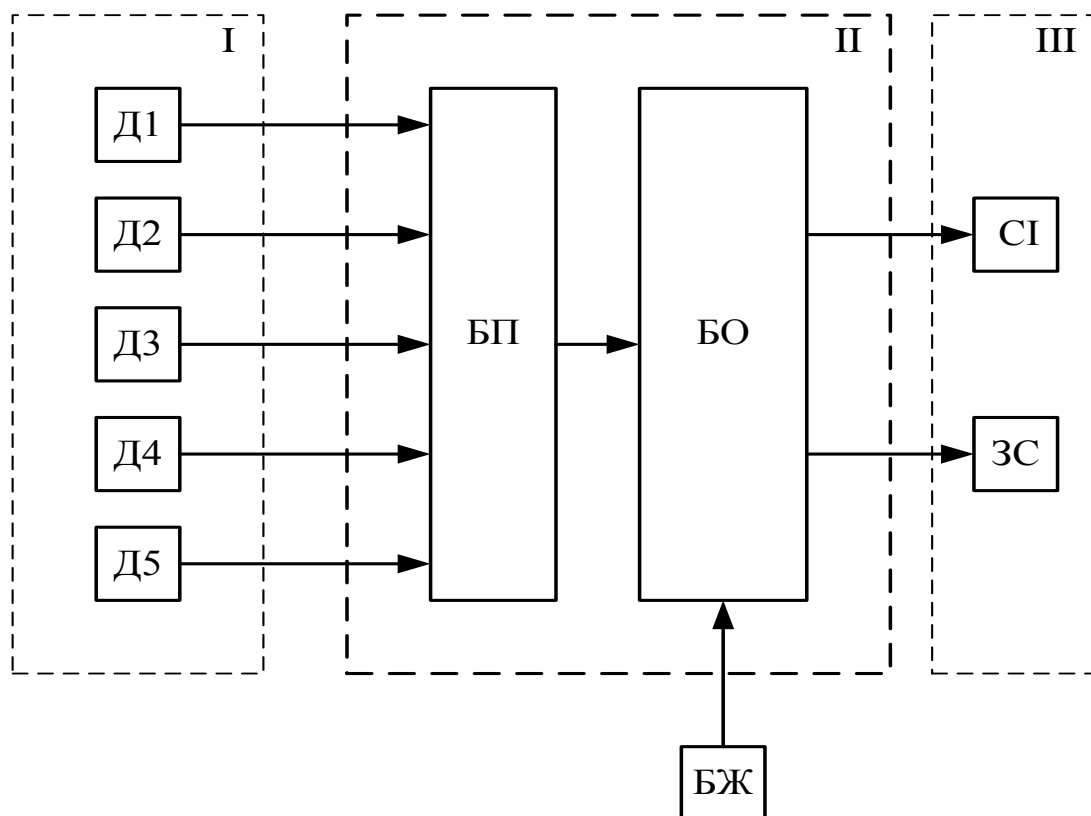


Рис.5.9 – Блок–схема пятиканального прибора: I– блок сбора первичной информации; II– блок преобразования и обработки информации; III– блок световой индикации и звуковой сигнализации

Двухэлектродные датчики Д1, Д2, Д3 измеряют диэлектрическую проницаемость смазочных масел в двигателе, коробке передач и заднем мосте; двухэлектродные датчики Д4, Д5 измеряют электропроводность рабочих жидкостей в расширительном бочке системы охлаждения и бочке тормозной системы. Полученные сигналы поступают в блок преобразования БП и дальше на блок обработки информации БО, где измеренные значения диэлектрической

проницаемости и электропроводности сравниваются с граничными значениями, которые заложены в память прибора, а результат сравнения отображается с помощью светового индикатора СИ. Световой индикатор сигнализирует о рабочем состоянии масла (жидкости), если измеренные значения диэлектрической проницаемости и электропроводности не превышают граничных значений, или про необходимость замены масла (жидкости), если измеренные значения равны или превышают граничные значения.

Звуковой сигнализатор ЗС выдает звуковой сигнал при необходимости замены масла или жидкости. Питание прибора осуществляется при помощи блока питания БЖ, который является аккумуляторной батареей.

Прибор является весьма компактным и может устанавливаться непосредственно в кабине автомобиля и своевременно предупреждать водителя о необходимости замены смазочных масел и рабочих жидкостей.

Список литературы к 5 разделу

1. Анализатор качества ГСМ АК-3. Технический паспорт: 1054.00.00.00 ПС. – М.: Новосибирск, 2005. – 5с.
2. Анализатор качества ГСМ АК-4. Технический паспорт: 1055.00.00.00 ПС. – М.: Новосибирск, 2002. – 5с.
3. Колчин А. В. Оперативная проверка качества и сортности топлива и масла/ А. В. Колчин// Тракторы и сельскохозяйственные машины. - 2004. - № 4. – С. 37 – 40.
4. Официальный сайт компании "Диамас". Режим доступа: <http://www.diamas.ru>.
5. Официальный сайт компании "Гранат". Режим доступа: <http://granat-e.ru>
6. Руководство по эксплуатации и техническому обслуживанию автомобилей Audi Q7 с 2005 г. выпуска. – Л.: Изд.-во «Легион-Автодата» - 2008. – 576 с.

7. Степанов А.В. Повышение надежности автосамосвалов, которые работают на породных отвалах: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.22.20 «Эксплуатация и ремонт средств транспорта» / А.В. Степанов. – Харьков, 2008. – 24 с.

8. Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей : ДСТУ ГОСТ 17216:2004 - 75. - [Действует от 2004-18-01]. – М.: Госпотребстандарт Украины, 2004. – 7с.

9. Шатохина Е.В. Экспресс-анализ качества и экологической безопасности моторных топлив / Е.В. Шатохина // Химия и технология топлив и масел. – 2007 – № 3. – С. 46–48.

10. Шатохина Е.В. Устройство для экспресс-контроля качества масел / Е.В. Шатохина // Химия и технология топлив и масел. – 2007 – № 5. – С. 46–48.

11. Шувалов Г. В. Разработка рабочих средств измерений для анализа нефтепродуктов/ Г. В. Шувалов, В. Г. Селяницкий, В. М. Байкалов //Измерительная техника. - 2004. - № 8. – С. 35 – 39.

12. Ясырова О.А Передвижная лаборатория для определения физико-химических параметров трансформаторного масла/ О.А Ясырова, Г. В. Шувалов // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт: Труды 3-й Международной научно-технической конференции. - Омск, 5-8 июня 2007. Часть 1. — С. 140-143.

13. Патент України на корисну модель №65065, МПК⁸ G01R27/00. Пристрій для визначення якості змащувальних олиф та робочих рідин в експлуатації / Григоров А.Б., Наглюк І.С., Григорова Є.О., Наглюк М.І./ заявник та патентоутримавач Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» – № **2001125057/04**; заявл. 28.06.2011; опубл. 25.11.2011, Бюл. № 3.

Раздел 6

УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

6.1. Проблема централизованного сбора отработанных масел в Украине

Ежегодно в Украине образуется более 500 тыс. т. отработанных моторных масел, что составляет примерно 80–85 % от объемов потребления свежего масла. Около 20 % объема применяемых моторных масел при эксплуатации автотранспортных средств безвозвратно теряется, что обусловлено естественным угаром, проливами и утечкой масла из системы смазки двигателя.

Основными источниками образования отработанных моторных масел в нашей стране являются транспорт и промышленность. Львиная доля (примерно 80–90%) образующихся отработанных моторных масел приходится на автомобильный, железнодорожный, авиационный и водный транспорт.

Ввиду своей токсичности и низкой биоразлагаемости (не более 30%), отработанные масла накапливаются в окружающей среде, и пагубно на нее воздействуют. Поэтому решением мирового сообщества (материалы Директивы Д87/101/EWG Совета ЕС от 22.12.1986 года; материалы Базельской конвенции о контроле за транс-кордонными перевозками опасных отходов и их удалением 1989 года, конкретизировавшей международный перечень опасных отходов, так называемый "Желтый список"; материалы конференции ООН 1992 года в Рио-де-Жанейро по окружающей среде и развитию, выработавшей стратегию устойчивого, экологически приемлемого экономического развития цивилизации; материалы Стокгольмской конвенции 2001 года по решению проблемы СОЗ (стойких органических загрязнителей); материалы Киотского протокола, по ограничению и снижению выброса парниковых газов в атмосферу) отработанные масла отнесены к категории опасных отходов, подлежащих обязательному сбору и утилизации, а в отдельных случаях и уничтожению.

Сегодня технически обоснованный норматив сбора отработанных моторных масел, в Украине установленный еще в 1992 году и действующий до сих пор составляет 30–40% от объема потребления свежих смазочных масел. В бывшем СССР он был установлен на уровне 30-40%, а показатели собираемых масел должны были соответствовать группе ММО (масла моторные отработанные) ГОСТ 21046–86 «Нефтепродукты отработанные. Общие технические условия».

К примеру, средний норматив сбора отработанных масел в странах ЕС устанавливается в пределах 50-60%, однако в странах с развитой системой сбора и последующего использования реальный сбор отработанных масел несколько превышает этот норматив. Как правило, в странах ЕС любое предприятие, нарабатывающее в год более 200 л отработанных смазочных масел, должно известить об этом соответствующие муниципальные службы и получить специальное разрешение на накопление этих высокотоксичных отходов. Условием на получение такого разрешения является надлежащее хранение и обеспечение требуемого качества хранимых отходов, регулируемое специальными директивами. Сбор и вывоз отработанного масла с мест первичного накопления осуществляется муниципальными или частными компаниями, имеющими на это специальную лицензию. Условием получения лицензии является наличие специального транспорта, оборудованных специальных хранилищ и контрактов с предприятиями, утилизирующими отработанные масла. За вывоз и идентификацию отработанного масла устанавливается плата, взимаемая с организации накопителя отработанного масла. Величина этой платы находится в пределах 70 евро/т. В некоторых странах ЕС верхний уровень платы устанавливается экологическими ведомствами, а частные компании-сборщики в условиях конкуренции снижают ее в среднем на 10%. Автовладельцы, меняющие масла в своих автомобилях самостоятельно (т.е. годовое накопление ниже указанной величины 200 л/год) могут бесплатно сдать его в торговые точки, где они его приобрели. Либо бесплатно оставить его там, где ему произвели замену: в центре автосервиса,

АЗС, ПТО или пункте экспресс-замены масел, которые в Европе достаточно распространены как, впрочем, сегодня и в Украине. При этом, как розничные продавцы смазочных масел, так и перечисленные предприятия автосервиса являются юридическими собственниками этих отработанных масел. Они обязаны вести не только их строгий учет, как опасных отходов, на своем предприятии, но должны осуществлять отчетность перед экологическим ведомством региона. Также они несут и все затраты, связанные с хранением этих отходов и передачей их через лицензированного сборщика отработанных масел на вторичную переработку - утилизацию либо регенерацию. Предприятие-переработчик, производящее регенерацию отработанных масел, имеющее специальную лицензию на этот вид деятельности, в свою очередь, также оплачивает услуги фирм-сборщиков, которые поставляют им отработанные масла на регенерацию. Величина оплаты переработчиком услуг сборщика составляет в среднем около 50 евро/т [1].

Что касается Украины то, на ее территории имеется значительное количество нефтебаз, где можно устроить централизованные пункты сбора, хранения и технологической переработкой отработанных моторных масел. Однако это является лишь долгосрочной перспективой, требующей для своей реализации привлечения значительных инвестиций. Ввиду чего, в Украине на данный момент, полностью отсутствует нормативная база и эффективная, централизованная системы сбора и технологической переработки отработанных моторных масел, что в свою очередь приводит к значительным загрязнениям окружающей среды. Создание таких систем в будущем даст возможность внедрить современные безотходные технологии и создать высокоэффективные экологически чистые, высокорентабельные производства, тем самым позволяя получить дополнительное количество вторичных энергоресурсов.

6.2. Пути утилизации отработанных моторных масел

Развивая процессы утилизации, в частности переработки отработанных моторных масел, вместо накапливающихся отходов можно получить перспективные энергоресурсы, рациональное использование которых позволит снизить себестоимость продукции нефтехимической и коксохимической промышленности нашей страны.

Возможные направления утилизации отработанных моторных масел в нашей стране можно представить в виде схемы, приведенной на рис. 6.1.

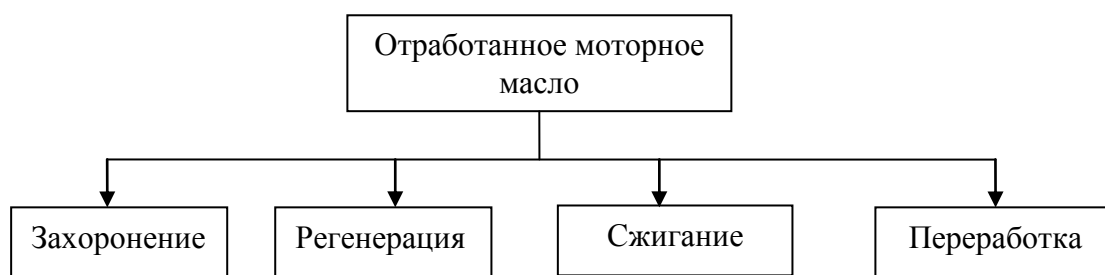


Рис. 6.1– Направления утилизации отработанных моторных масел в Украине

Ниже подробно рассмотрим все указанные направления утилизации отработанных моторных масел и проведем их сравнительный анализ, с целью выбора наиболее перспективного направления, реализация которого позволит получить существенный экономический эффект.

6.2.1. Захоронение отработанных моторных масел

Одним из наиболее ранних и экономически нецелесообразных направлений является утилизация отработанных масел путем их слива в почву или водоемы, что, как уже отмечалось ранее, несет опасность для окружающей среды и приводит к нарушению природных экосистем.

Так, отработанные масла на поверхности воды образуют пленку, задерживающую диффузию газов из атмосферы в воду и нарушает газовый обмен водоема, создавая дефицит кислорода. а сома вода приобретает неустрашимый «нефтяной» запах и привкус. При сильном загрязнении образуются зоны, практически лишённые жизни. Наиболее токсичны лёгкие фракции отработанных моторных масел, особенно ароматические углеводороды. При длительном воздействии углеводороды масла накапливаются до токсического уровня в живых организмах и способны передаваться по пищевой цепи, и затем, попадая в организм человека, вызывать в жировых клетках образование канцерогенно-белкового комплекса. Потребление в пищу таких продуктов опасно для здоровья человека.

Загрязнение почвы влияет на весь комплекс морфологических, физических, физико-химических, биологических свойств почвы, определяющих её плодородные и экологические функции. Под влиянием отработанных масел почвы теряют способность впитывать и удерживать влагу. Затрудняется поступление влаги к корням растений, что приводит к их физиологическим изменениям. Изменение физических свойств почвы приводит к вытеснению воздуха отработанными маслами, нарушению поступления воды, питательных веществ, что является главной причиной торможения развития роста растений и их гибели. Первоначально даже слабое загрязнение почвы нефтепродуктами приводит к снижению количества почвенных микроорганизмов. Постепенное увеличение концентрации нефтепродуктов на поверхности почвы в совокупности с процессами испарения и разложения их лёгких фракций приводит к накоплению трудно разлагаемых углеводородов, таких как твёрдые парафины, циклические углеводороды, ароматические углеводороды, смолы и асфальтены, которые запечатывают поры почвенного покрова что, в свою очередь, приводит к ухудшению состояния растительности и падению продуктивности земель [2].

Ввиду своей опасности захоронение отработанных моторных масел сей час практически не применяется, а все собранные масла стремятся подвергнуть более безопасным и энергоэффективным процессам утилизации.

6.2.2. Регенерация отработанных моторных масел

Постоянное появление новых способов и средств решения задач утилизации, посредством совершенных, безотходных методов регенерации отработанных смазочных материалов, вопросы экологии и охраны здоровья человека вызывают необходимость постоянного внимания к данной проблеме, находящейся на стыке техники, экологии и экономики.

Регенерация отработанных масел является направлением, которое началось более 30 лет тому назад и до сих пор бурно развивается. Она осуществляется практически во всех развитых странах мира и в большинстве развивающихся, во-первых, вследствие экологической необходимости - защиты окружающей природной среды от загрязнения особо опасными отходами; во-вторых, из-за чрезвычайной экономической выгоды и привлекательности этого вида деятельности.

Для большинства государств регенерация является единственной возможностью организовать в стране на собственной сырьевой базе производство импортозамещающей продукции – кондиционных смазочных материалов.

Выбор метода регенерации отработанных масел определяется характером содержащихся в них загрязнений и продуктов старения: для одних масел достаточно простой очистки от механических примесей, для других необходима глубокая переработка, иногда с использованием химических реагентов.

Методы регенерации отработанных масел можно разделить на:

1. Физические методы. Они позволяют удалить из состава масел воду, механические примеси и топливо, не затрагивая углеводородной основы самого

масла (отстой, сепарация (центрифугирование), фильтрация, отгон горючего, промывка водой).

Отстой – это первая и обязательная стадия любого процесса регенерации отработанных моторных масел. Механические примеси и вода, находящиеся в масле во взвешенном состоянии, осаждаются при спокойном стоянии масла с течением времени. Отстой основан на принципе осаждения частиц под действием их силы тяжести. Скорость осаждения (из уравнения Стокса) частиц тем больше, чем больше их размер и удельный вес и меньше вязкость жидкости. В первую очередь выпадают в осадок металлические частицы, кокс и смолистые вещества. Отстаивание отработанных масел от механических примесей и воды и при подогреве не всегда приводит к желательному результату: иногда даже при длительном процессе значительное количество примесей остается во взвешенном состоянии, то есть практически масло не отстаивается. Это относится к отработанным дизельным и автомобильным маслам с диспергирующими (моющими) присадками, а также к другим маслам, загрязненным мелкодисперсными примесями.

Сепарация – это процесс центрифугирования: под влиянием центробежных сил наиболее тяжелые загрязняющие примеси оттесняются к стенкам сосуда, образуя кольцевой слой отложений; следующий слой состоит из выделяющейся воды, а третий кольцевой слой, расположенный у оси вращения, представляет собой очищенное масло.

Фильтрация – это процесс разделения неоднородных систем при помощи пористых перегородок, которые задерживают одни фазы этих систем и пропускают другие. К таким процессам относится разделение суспензий на чистую жидкость и влажный осадок, например, отделение от масла механических примесей или отбеливающей глины.

Отгон горючего. При регенерации отработанных масел из двигателей внутреннего сгорания, помимо удаления продуктов старения, необходим также отгон горючего, без чего невозможно получить масла с первоначальными вязкостью и температурой вспышки. Процесс основан на разности температур

кипения топлива и масла. При нагревании отработанного масла в первую очередь из него испаряется топливо, так как температура его кипения значительно ниже температуры кипения масла.

Промывка водой. Отработанные масла промывают водой для удаления из них кислых продуктов - водорастворимых низкомолекулярных кислот, а также мыл - солей органических кислот, растворимых в воде. Промывка водой не обеспечивает полного восстановления масел при глубоком их старении. Этим методом часто пользуются при эксплуатации турбинных масел, для удаления из них растворимых в воде низкомолекулярных кислот. Вода с растворенными в ней кислотами может быть отделена от масла сепарацией при подогреве до температуры около 60 градусов.

2. Физико-химические методы (коагуляция и адсорбция). *Коагуляция.* В настоящее время коагуляция служит основным методом для улучшения фильтруемости «нефильтрующихся» масел, а также для удаления из продуктов окисления и тех смолистых и асфальтовых веществ, которые наряду с механическими примесями и сработавшимися элементами присадки находятся в масле во взвешенном (близком к коллоидному) состоянии и не могут быть удалены при помощи физических методов. Коагуляция – явление слипания и укрупнения частиц коллоидной системы с образованием рыхлых агрегатов. Коагуляцию могут вызвать: введение в коллоидную систему различных по своей природе агентов (добавление электролитов и неэлектролитов); механическое воздействие (перемешивание или встряхивание); нагревание или, наоборот, сильное охлаждение, пропускание электрического тока и, наконец, действие лучевой энергии. Во всех случаях причиной коагуляции является уменьшение связи частиц с окружающей их дисперсионной средой. Для регенерации масел, особенно нефилтрующих, в качестве коагуляторов используют различные синтетические моющие средства, поверхностно-активные вещества.

Вещества, применяемые для коагуляции, можно разделить на четыре типа:

1. Электролиты – кальцинированная сода, тринатрийфосфат и т.п.; их действие основано на создании двойного электрического слоя на поверхности частиц.

2. Ионогенные ПАВ с активным органическим катионом или анионом (органические электролиты);

3. Неионогенные ПАВ (неэлектролиты);

4. Поверхностно-активные коллоиды и гидрофильные высокомолекулярные соединения.

Эффективными коагуляторами являются:

1) Серная кислота;

2) Кальцинированная сода;

3) Тринатрийфосфат;

4) Моющее вещество НП-5;

5) Моющие препараты типа МЛ.

Технология коагуляции осуществляется следующим способом. Масло нагревают до 75–90 °С и обрабатывают при перемешивании в течение 20-30 минут 10%–м водным раствором кальцинированной соды, тринатрийфосфата или препаратами типа НП или МЛ, после чего оно отстаивается в течение необходимого времени (до 48 часов). После спуска отстоя масло подается на соответствующую установку для дальнейшей регенерации по принятой технологической схеме. Как правило, это схема масло - глина - вода.

Адсорбция – это процесс концентрирования веществ на поверхности адсорбента. Применение адсорбентов в процессах регенерации масла основано на их способности удерживать на своей поверхности значительные количества смолисто-асфальтовых веществ, кислотных соединений, эфиров и других продуктов старения. При обработке адсорбентами может происходить и химическое взаимодействие между различными кислородсодержащими соединениями продуктов старения масла и адсорбентом. Высокий эффект очистки при умелом использовании адсорбентов и сравнительная простота всех операций дают возможность использовать этот

метод для восстановления большинства отработанных масел. В качестве адсорбентов применяют силикагель (гидрат кремниевой кислоты, аморфный кремнезем), окись алюминия, алюмосиликатный катализатор, отбеливающие глины (наибольшее применение они: все искусственно приготовленные адсорбенты дефицитны и дорого стоят, это природный адсорбент, дешевый и доступный, обладающий достаточно высокой адсорбционной способностью. По химическому составу - гидросиликаты алюминия с заметным содержанием окиси железа и небольшим содержанием окисей щелочноземельных металлов и щелочей), газообразный аммиак, кальцинированная сода

3. Химические методы (сернокислотная и щелочная очистка).

Сернокислотная очистка. Это - самый старый и до сих пор применяемый в ряде предприятий нефтяной промышленности метод удаления из масляных дистиллятов асфальто-смолистых веществ, кислородсодержащих и серосодержащих соединений и других нежелательных примесей. При очистке нефтепродуктов образуются две жидкие фазы - верхний и нижний слои: верхний - кислое масло, состоящее из углеводородов, свободной серной кислоты и сульфосоединений; нижний - кислый гудрон, состоящий из свободной серной кислоты, сульфосоединений и асфальто-смолистых веществ. Серная кислота как химический реагент в первую очередь действует на более реакционноспособные вещества, находящиеся в отработанном масле, такие как смолы и асфальтены, карботеновые и оксикислоты, фенолы и другие продукты окисления. Под действием серной кислоты часть нейтральных смол полимеризуется с образованием асфальтенов и сульфокислот. Некоторая часть асфальтенов растворяется в серной кислоте. Основная же их часть уплотняется с образованием кислого гудрона - тяжелого вязкого осадка. При очистке отработанных масел серная кислота удаляет из них непредельные углеводороды, асфальто-смолистые соединения и некоторые другие продукты старения. Все вредные вещества, за исключением органических кислот, удаляются из

отработанных масел с кислым гудроном, основная же часть углеводов масла остается почти без изменения.

Щелочная очистка. Может быть завершающим этапом после серонокислотной очистки, первоначальном этапе щелочно-земельной очистки, а также самостоятельным процессом при регенерации ОМ, для щелочной очистки обычно применяют каустическую соду, кальцинированную соду и тринатрийфосфат. В результате образуются натриевые соли (мыла), которые легко переходят в водный щелочной раствор. Мыла хорошо растворяются в воде, особенно горячей. Отстой масла после щелочной очистки является обязательной операцией. При этом спускают отстоявшиеся щелочные отбросы, а оставшиеся в масле (в основном во взвешенном состоянии) мыла удаляют путем промывки горячей водой.

4. Комбинированные методы. Из всего выше сказанного ясно, что основные методы регенерации отработанных масел не могут быть применены по отдельности и на практике часто приходится прибегать к различным комбинациям способов, чтобы обеспечить достижение более высокого эффекта очистки. При выборе метода регенерации или комбинации методов необходимо учитывать характер и природу продуктов старения отработанных масел и требования, предъявляемые к регенерированным маслам, а также количества собираемых масел. Необходимо также отдавать себе отчет об экологических последствиях тех или иных способах регенерации и выбирать наиболее приемлемые в данных условиях методы. Располагая этими данными, можно определить, какие физико-химические свойства масла требуют исправления и, следовательно, выбрать соответствующий способ его восстановления.

Так, авторами работы [4] предложено несколько технологий регенерации отработанных масел (см. рис. 6.2) используя комбинирование приведенных выше методов:

1. Отработанное масло, предварительно нагретое до температуры 100°C, подвергают предварительной отгонке воды и легких фракций при температуре 100°C и давлении 25 мм рт. ст., затем продукт направляют на экстракцию

смесью пропан-бутан (70% пропана, 30% Н-бутана) при температуре 90°С, давлении 32 кгс/см², соотношении растворитель/масло 8:1. Экстрагированное масло подвергают вакуумной дистилляции в тонкопленочном испарителе при температуре 320°С и давлении 5 мм рт. ст. Далее масло подвергают гидроочистке на алюмоникелевом катализаторе при 320°С и давлении 30 ати. Получаемое базовое масло из-за высокой температуры застывания, низкого индекса вязкости требует введения значительного количества присадок –до 15%.

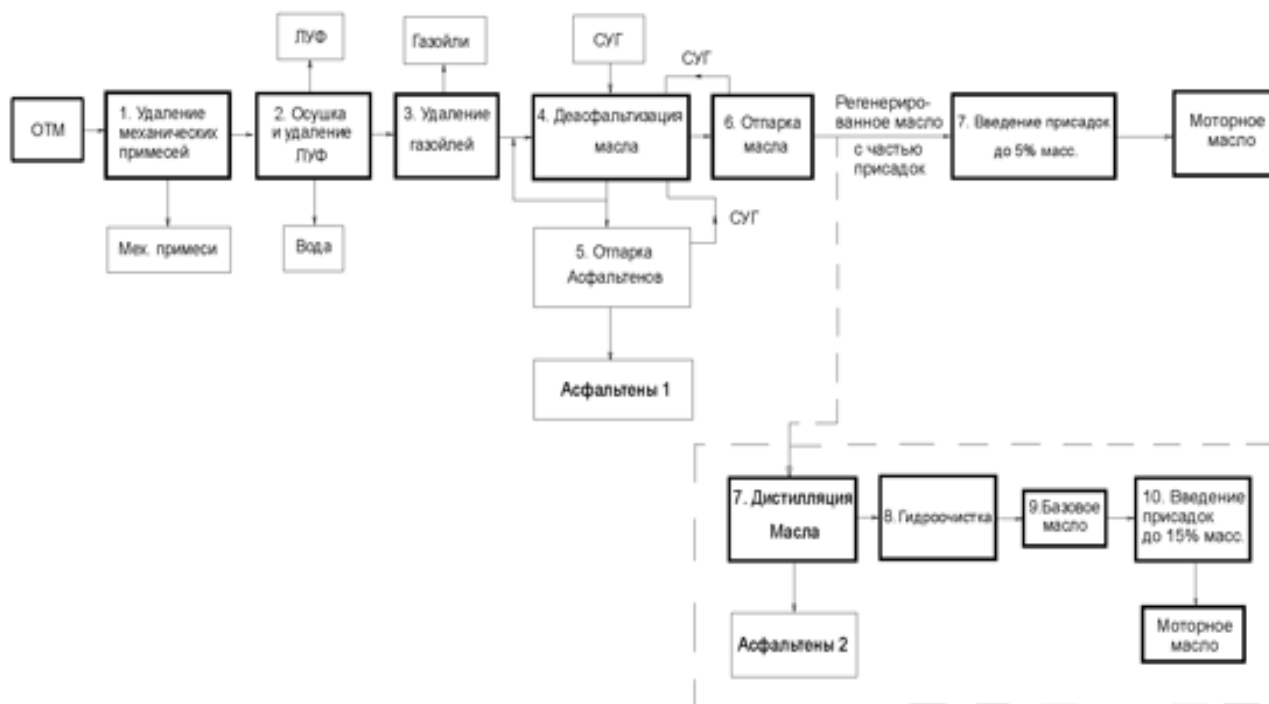


Рис. 6.2– Схема регенерации отработанных моторных масел

2. Отработанное масло, предварительно нагретое до температуры 100°С, подвергают предварительной отгонке воды и легких фракций при температуре 100°С и давлении 25 мм рт. ст., затем продукт направляют на экстракцию смесью пропан-бутан (70% пропана, 30 % н-бутана) при температуре 92°С, давлении 35 кгс/см², соотношении растворитель/масло 8:1. Полученное экстрагированное масло при достаточно высокой вязкости и индексе вязкости, низкой температуре застывания имеет низкую температуру вспышки и неудовлетворительную цветность.

3. Отработанное масло, предварительно нагретое до температуры 100°C, подвергают предварительной отгонке воды и легких углеводородных бензиновых фракций при температуре 100°C и давлении 25 мм рт. ст., затем проводят удаление газойлевых фракций в насадочном эвапараторе при температуре 250°C и давлении 10 мм рт. ст. Экстракцию чистых масляных фракций проводят смесью пропан-бутан (70% пропана, 30% Н-бутана) при температуре 92°C, давлении 35 кгс/см², соотношении растворитель/масло 8:1 с рециркуляцией до 50% смолисто-асфальтеновых соединений в верхнюю часть колонны. Полученное регенерированное масло обладает более высокой вязкостью, индексом вязкости, более низкой температурой застывания, лучшим цветом, высокой температурой вспышки в сравнении с экстрагированным маслом, полученным традиционным способом экстракции.

В работе [5] предложен процесс регенерации отработанных моторных масел (очистки от смолисто-асфальтеновых веществ), состоящий из двух стадий: коагуляции и микрофльтрации с использованием тонкопористых микрофльтрационных мембран. Сперва отработанное моторное масло подвергалось коагуляции в лабораторном реакторе с мешалкой при температуре 80°C и концентрации коагулянта 10% объемных (смесь моноэтаноламина : изопропанол = 2:1) в течение 60 минут с последующим разделением на лабораторной центрифуге в течение 30 минут при факторе разделения, равном 10000. Таким образом, было получено «исходное» масло, которое в дальнейшем подвергалось мембранному разделению на масло и смолисто-асфальтеновые вещества, на лабораторном стенде, представленном на рис. 6. 3.

Известен способ регенерации отработанных масел путем нагревания, фильтрации и центрифугирования. После фильтрации масло подвергают очистке щелочью и обработке природным адсорбентом, и после центрифугирования из масла дополнительно удаляют механические примеси, воду и легкие углеводороды с последующей очисткой масла в электрогидроциклоне и адсорбере с использованием природного адсорбента [6].

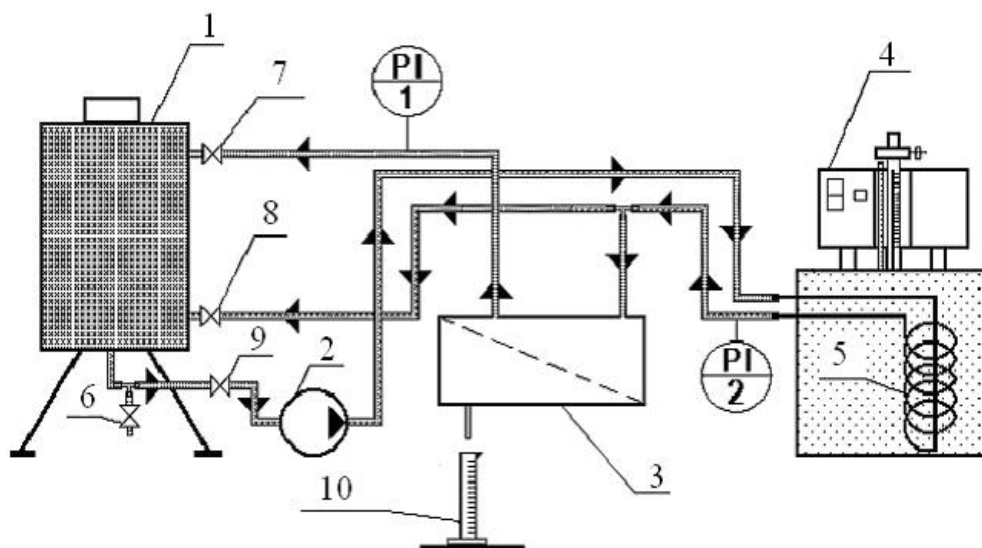


Рис.6.3 – Схема лабораторной установки мембранного разделения:
 1 – исходная емкость; 2 – насос; 3 – проточная мембранная ячейка; 4 – термостат; 5 – змеевиковый теплообменник; 6, 7, 8, 9 – краны; 10 – мерный цилиндр для сбора пермеата

Возможна очистка отработанного моторного масла путем фильтрации нагретого масла, отделения воды и центрифугирования, с добавлением деэмульгатора до и после центрифугирования, с последующим охлаждением смеси до температуры 50-75°C и воздействием электрического поля в две ступени с напряженностью 35-50 кВ/см на первой ступени и убывающим по напряженности полем от 10-15 до 3-5 кВ/см на второй ступени при суммарном времени воздействия электрического поля 45 - 300 с [7].

Способ регенерации отработанных промышленных масел (см. рис. 6.4), представленный в работе [8], включает предварительную очистку от грубых механических примесей с последующей подачей из емкости 4 насосом 5 через теплообменник 6, где масло предварительно нагревают насыщенным водяным паром (до 120°C) и направляют в пленочный испаритель 1.

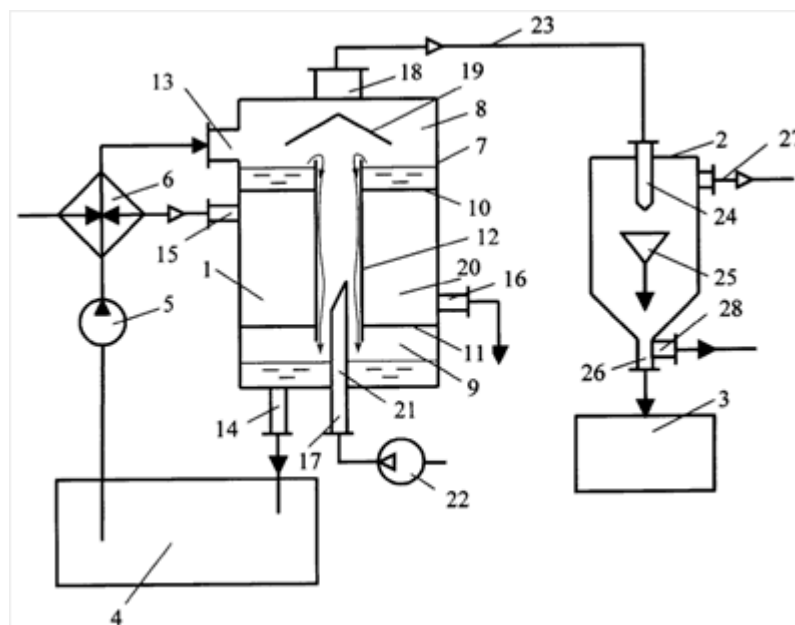


Рис. 6.4– Схема регенерации отработанных моторных масел

В пленочном испарителе 1 горячее масло, скопившееся в верхнем секторе 8 кожуха 7, стекает в виде пленки вниз по внутренней поверхности трубы 12 (или пучка труб с насадкой, как вариант). Не испарившееся масло скапливается в нижнем секторе 9 кожуха пленочного испарителя 1 и затем возвращается через штуцер 14 в емкость 4. Наружную поверхность трубы 12 (или пучка труб) нагревают насыщенным водяным паром, подаваемым из теплообменника 6 через штуцер 15 в межтрубное пространство. Водяной пар конденсируется, отдавая тепло через стенки трубы 12 пленке масла, и удаляется через штуцер 16. Горячая пленка испаряющегося масла стекает сверху вниз противотоком течению холодного воздуха, который подают через штуцер 17 трубы 21 вентилятором высокого давления 22 во внутритрубное пространство 20 пленочного испарителя 1. При взаимодействии паров масла и холодного воздуха происходит объемная конденсация паров масла с образованием масляного тумана. Масляный туман выводится потоком воздуха через штуцер 18 из пленочного испарителя 1 и направляется в маслоотделитель-импактор 2. В маслоотделителе-импакторе 2 производится выделение масла из потока масляного тумана. Это выполняется следующим образом. Масляный туман, поступивший в первое сопло 24

маслоотделителя-импактора 2, расширяется в сопле, капли масла укрупняются вследствие понижения давления в сопле и приобретают значительную кинетическую энергию. Затем поток масляного тумана сжимается путем удара о заслонку 25, при этом кинетическая энергия капель преобразуется в потенциальную энергию, а давление потока приобретает максимальное значение, в результате чего капли масла выделяются из потока тумана, затем поток масляного тумана с большей скоростью расширяется в следующем сопле и сжимается на следующей заслонке, дальнейшее расширение и сжатие масляного тумана происходит с более высокой скоростью на последующих парах «сопло-заслонка», вследствие уменьшения их геометрических размеров. Выделившееся масло стекает в сборник чистого масла 3 через штуцер 26. Смесь легкокипящих фракций выводится из корпуса маслоотделителя-импактора 2 через штуцер 27, а соляровое масло удаляется через штуцер 28.

На большинстве установок по регенерации отработанных масел происходит простое удаление из них механических примесей и воды, что не всегда может восстановить первоначальные свойства масла. Поэтому более глубокая регенерация масел происходит с использованием вакуума, что, в свою очередь, приводит к увеличению себестоимости регенерированного масла.

За рубежом регенерация отработанных моторных масел получила наибольшее распространение в США, Германии и России [9].

Для очистки отработанных смазочных масел используется система Aguanetics Inc (США) на крупной стационарной установке, обеспечивая тонкое фильтрование в сочетании с низкотемпературным вакуумом [10].

Интересен способ регенерации отработанных моторных масел [11], включающий подачу отработанного масла из питающей емкости в установку, где регенерируемое масло предварительно превращают в паромасляную эмульсию и затем распыляют в обогреваемой вакуумной дистилляционной колонне, из которой легкокипящие компоненты в виде паровой фазы направляют в теплообменник и выводят из установки. Очищенное от легкокипящих фракций масло выводят в виде жидкой фазы, превращают в паромасляную эмульсию и

затем распыляют в обогреваемой вакуумной дистилляционной колонне, из которой регенерированное масло в виде паровой фазы направляют в теплообменник и выводят из установки в виде жидкой фазы. Минеральные примеси и высококипящие компоненты выводят в виде кубового остатка. Установка включает, по крайней мере, один узел вакуумной дистилляции, который снабжен эмульсионной камерой, вход в которую соединен с линией для подачи регенерируемого масла, а выход из эмульсионной камеры соединен с устройством для распыления паромасляной эмульсии, расположенным в вакуумной дистилляционной колонне, которая соединена линией отвода парообразных компонентов с теплообменником, присоединенным к сборнику дистиллируемых фракций и вакуумному насосу.

В Германии фирмой «Pal Industrie Hydraulik GmbH» разработана мобильная установка «HVAC» для очистки моторных масел. Установка обеспечивает удаление из работающих масел механических примесей, свободной и эмульгированной воды, воздуха и газов. Производительность установки 50-100 м³/сут.

Установка фирмы «Booth Oil Co.Дпс» (США) реализует технологию регенерации отработанных моторных масел в тонко-плёночном испарителе (ТПИ) по схеме: отделение твёрдых частиц на сетчатом фильтре, испарение воды, вакуумная перегонка низкокипящих компонентов, высоковакуумное пленочное испарение масляных фракций, адсорбционная очистка, контактная очистка масла и фильтрация. Процесс позволяет переработать моторные и индустриальные масла с получением базовых компонентов, близких по свойствам к свежим маслам. Выход этих компонентов составляет 60-65 %, общий выход полезных продуктов – до 95 %. Остаток после ТПИ можно использовать как топливо или компонент асфальта [10].

В технологическом процессе Mohawk Lubricants, разработанном в Канаде, предусмотрены однократное испарение сырья, вакуумная перегонка, двухступенчатая перегонка в тонкопленочных испарителях и гидроочистка с последующей обработкой масла гидроксидом натрия. Конечный продукт

практически идентичен свежему маслу. Используется как компонент моторных, промышленных и гидравлических масел. Для переработки отработанных моторных масел, восстановить качество которых известными методами невозможно, разработан процесс компании «MOR» (Великобритания). Из отработанных масел предварительно отгоняют топливные фракции, затем масло подогревают до 300 °С и подают в ТПИ. Регулирование температуры в испарителе дает возможность перерабатывать сырье различного уровня качества, при этом возможно смешение конечных продуктов с базовыми маслами. Процесс «MOR» не дает дымовых выбросов в атмосферу, а побочные продукты регенерации полностью очищаются от токсичных веществ [12].

Представляет интерес система повторной очистки VAXON (Дания) смазочных и промышленных масел. Процесс осуществляется с использованием вакуумных циклонных испарителей с последующей обработкой химикатами (едкий натр). При этом удаляются тяжелые загрязнения, вода, топливные фракции, асфальто-смолистые соединения. Конечный продукт используется как масляная основа. Побочные продукты используются в качестве топлива, а также в строительстве. Установка представляет собой 2 модуля для упрощения транспортировки с габаритами 12000х4000х3000 и производительностью 6 т/ч (42 тыс. т/г). Однако данная установка используется стационарно, так как для небольших стран наиболее выгодна централизованная регенерация [13].

ВНИПТИМЭСХ (г. Зерноград, Ростовской области) создана передвижная установка по регенерации масел ПМУ-66 (на базе автомобиля ГАЗ-66) производительностью 200-400 л/смена, в которой используется центрифугирование и вакуумное испарение. Кроме того, разработаны однооперационные установки УМС-1 и УМС-2, многофункциональные установки СУОМ-1 и СУОМ-1МВ для регенерации масел. На их базе созданы моноблочные многофункциональные регенерационные комплексы УРМ-1 и УХРМ-1, в которых реализованы гравитационная очистка, центробежная очистка, испарительно-вытяжной метод, микрофльтрация, ультразвуковая обработка и дозирование присадок. Производительность комплексов составляет

400-800 л/смена. Конечный продукт смешивается с товарными маслами или присадками [14-15].

Рассматривая существующие сегодня методы регенерации отработанных моторных масел, отметим, что в большинстве применяемых технологий, так или иначе, оказывается воздействие на присадки, находящиеся в составе масла, что, несомненно, приводит к их удалению из состава регенерированного масла.

Так, например, при кислотнo-кoнтaктнoй oчистке масла сернoй кислотoй нaряду с разрушением смoлисто-асфальтoвых и ненасыщенных соединений из масла удаляются все щелoчные, мoюще-диспергирующие присадки [16]. Применение промышленных центрифуг приводит к удалению из масла присадок, адсорбирующихся на частицах загрязнений. Используя фильтрующее оборудование, позволяющее фильтровать на молекулярном уровне через специальные мембраны, наряду с загрязнениями можно удалить из масла и часть высокомолекулярных вязкостных присадок [17].

Регенерированное масло, независимо от технологической схемы регенерации, содержит в своем составе значительно меньшее количество присадок, нежели исходное масло (см. рис. 6.5).

Для изучения остаточного потенциала присадок регенерированного масла в лабораторных условиях была осуществлена регенерация двух проб отработанных моторных масел отечественного производства (SAE 15W-40 и SAE 10W-40) и пробы масла иностранного производства (SAE 15W-40), с последующим определением некоторых физико-химических показателей качества регенерированного масла (см. табл. 6.1). Регенерируемые пробы прошли стадию предварительной подготовки в виде отстаивания при температуре 60 °С, после чего подвергались последовательно вакуумной и атмосферной перегонке. При атмосферной перегонке из вакуумного дистиллята была удалена вода и топливные фракции, часть которых перешла из отработанных масел, а часть образовалась при незначительном разложении части углеводородов базового масла.

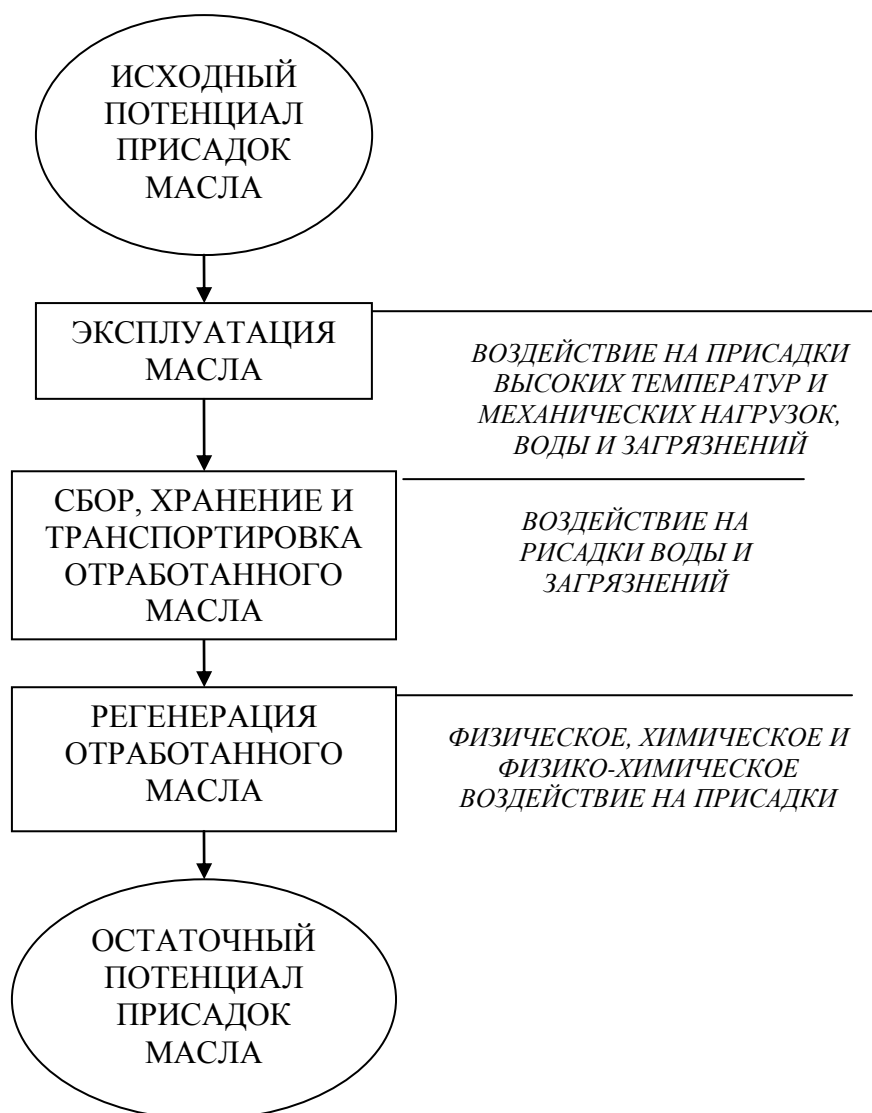


Рис. 6.5– Схема исчерпывания исходного потенциала присадок масла

При выполнении проверки качества регенерированного масла стандартными методами целесообразно дополнительно определять и его диспергирующе-стабилизационную способность ДСС, которая предназначена для ориентировочной оценки наличия в масле диспергирующих присадок [18]. С целью реализации данного метода в регенерированные масла искусственно вводились частички загрязнений в виде термической сажи, которая вводилась в масла небольшими порциями с последующим диспергированием ультразвуком частотой 20 – 50 кГц, в течение 2 – 3 ч, после чего определялся показатель ДСС (см. табл. 6.1).

Таблица 6.1–Результаты лабораторных исследований

Наименование показателя	SAE 15W-40		SAE10W-40		SAE15W-40	
	Чист.	Рег.	Чист.	Рег.	Чист.	Рег.
Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с	14,15	5,50	12,59	5,10	13,28	5,38
Индекс вязкости	128	91	140	90	138	127
Зольность сульфатная, % (масс.)	1,22	0,003	1,28	0,007	1,18	0,006
Щелочное число, мг КОН/г	8,34	0,1	9,00	0,05	9,52	0,15
Температура застывания, °С	–32	–15	–35	–19	–35	–19
Температура вспышки, °С	220	215	221	218	223	220
ДСС, ед.	1,0	0,50	1,0	0,44	1,0	0,59

Полученные данные показали, что ввиду резкого снижения кинематической вязкости регенерированного масла (в среднем на 7–8 мм²/с) можно утверждать об удалении из его состава вязкостных присадок (полиизобутилен, полиметакрилаты, полиалкилстиролы и т.д.).

Заметное ухудшение вязкостно-температурных свойств регенерированного отечественного масла SAE 15W-40 и SAE10W-40, выраженное индексом вязкости (снижение от 128 до 91 и от 140 до 90 соответственно) и температурой застывания (повышение на 13–16°С), свидетельствует об отсутствии в составе масел депрессорных присадок (полиметакрилат). В регенерированном масле SAE 15W-40 импортного производства сохраняется высокое значение индекса вязкости, равное 127 ед., что свидетельствует о высоком качестве базового масла. Одновременно с этим существенно повышается температура застывания масла (от –35 до –19 °С).

Величина сульфатной золы, равная 0,003–0,007, показывает отсутствие в регенерированных маслах металлосодержащих присадок, а именно: моющих присадок (алкил(арил)-сульфонаты, -фосфонаты металлов), антиокислительных и антикоррозионных присадок (диалкилдитиофосфат и дитиокарбамат цинка), противоизносных присадок (дитиофосфаты металлов), антифрикционных присадок (дисульфид и дитиофосфаты молибдена). На отсутствие моющих присадок указывает и низкое щелочное число регенерированного масла (в среднем до 0,1 мг КОН/г).

Отметим, что в регенерированных моторных маслах сохраняется часть диспергирующих присадок (сукцинимиды) в среднем до 40–50% от их исходного потенциала и противопенные присадки (полисилоксаны), о чем свидетельствовало отсутствие вспенивания испытуемых проб масел при их нагревании до высоких температур (220°C).

Проведенные исследования показали, что при регенерации отработанных моторных масел под вакуумом из них удаляются все металлосодержащие присадки, разрушаются вязкостные и депрессорные присадки, но остается некоторая часть от исходного потенциала диспергирующих и противопенных присадок. Однако содержание в регенерированных маслах того или иного типа присадок оценивалось лишь косвенно по физико-химическим показателям качественного состояния масел.

Таким образом, можно сделать общий вывод, что при глубокой регенерации отработанных моторных масел (в том числе и под вакуумом) можно получить очищенное базовое масло, содержащее незначительную часть исходного потенциала присадок. Ввиду чего, такое масло не может быть использовано в двигателе непосредственно без дозированного ввода присадок взамен утраченных, что резко снижает экономическую эффективность процессов регенерации.

6.2.3. Непосредственное использование отработанных моторных масел

Следует отметить, что также предлагаются решения по использованию отработанных моторных масел с частичной регенерацией или без нее в разнообразных технологических процессах.

Так, например, в работе [19] показана возможность использования отработанных масел в качестве комплексного реагента-собирателя для флотации угольных шламов. Разработана концепция применения композиционных составов для временной защиты сельскохозяйственной техники от коррозии с

использованием отработанных моторных масел в качестве растворителя основы и полифункциональной присадки [20].

На основе отработанных моторных масел авторами работ [21] были получены мыльные (гидратированные кальциевые и литиевые) и углеводородные смазки.

Совокупность таких факторов, как высокие расходы на регенерацию, загрязнение окружающей среды отходами этого процесса и, самое главное, ужесточение требований к качеству товарных масел привело к развитию технологий, связанных с использованием моторных масел в качестве котельно-печного топлива или его компонента.

6.2.4. Комплексная переработка отработанных моторных масел

Между тем, стремительно стали развиваться и методы переработки отработанных масел, которые позволяют получить больший экономический эффект нежели от их сжигания в отопительных системах: совместная переработка в смеси с нефтью на нефтеперерабатывающих заводах и целевая переработка термическим крекингом.

Существующая мини-установка «Потрам-Дизель», действие которой основано на процессах термического крекинга и дистилляции, позволяет получить из отработанного моторного масла: попутный газ (3-4%), бензин (4-5%), дизельное топливо (80-85%), а также полукокс (3-5%) [22].

Несмотря на такое разнообразие направлений использования отработанных моторных масел, по нашему мнению, экономически более целесообразно разрабатывать и внедрять схемы переработки отработанных моторных масел, позволяющие получать базовые компоненты для производства моторных и трансмиссионных масел, пластичных смазок, от импорта которых зависит экономика Украины.

Сегодня наиболее распространенной основой для производства товарных моторных масел являются индустриальные масла марок И-40 и И-50, в которые

вводятся присадки различного функционального назначения. Широкое применение промышленных масел обусловлено их сравнительно низкой стоимостью по сравнению с дистиллятными и остаточными базовыми маслами, специально вырабатываемыми из мазутов и гудронов для производства товарных моторных масел. Ввиду этого, весьма актуальной представляется задача получения сравнительно дешевых и высококачественных базовых масел из вторичных энергоресурсов, которыми являются отработанные моторные масла.

Также необходимо решать проблему нашей коксохимической промышленности, связанную с недостаточными запасами хорошо спекающихся каменных углей марок «К» и «Ж» для производства доменного кокса. Поэтому возникает необходимость расширения сырьевой базы коксования за счет использования углей с низкой спекаемостью и применением в угольной шихте спекающихся добавок.

Поэтому нами была предложена схема комплексной переработки отработанных моторных масел, основные направления которой представлены на рис. 6.6.

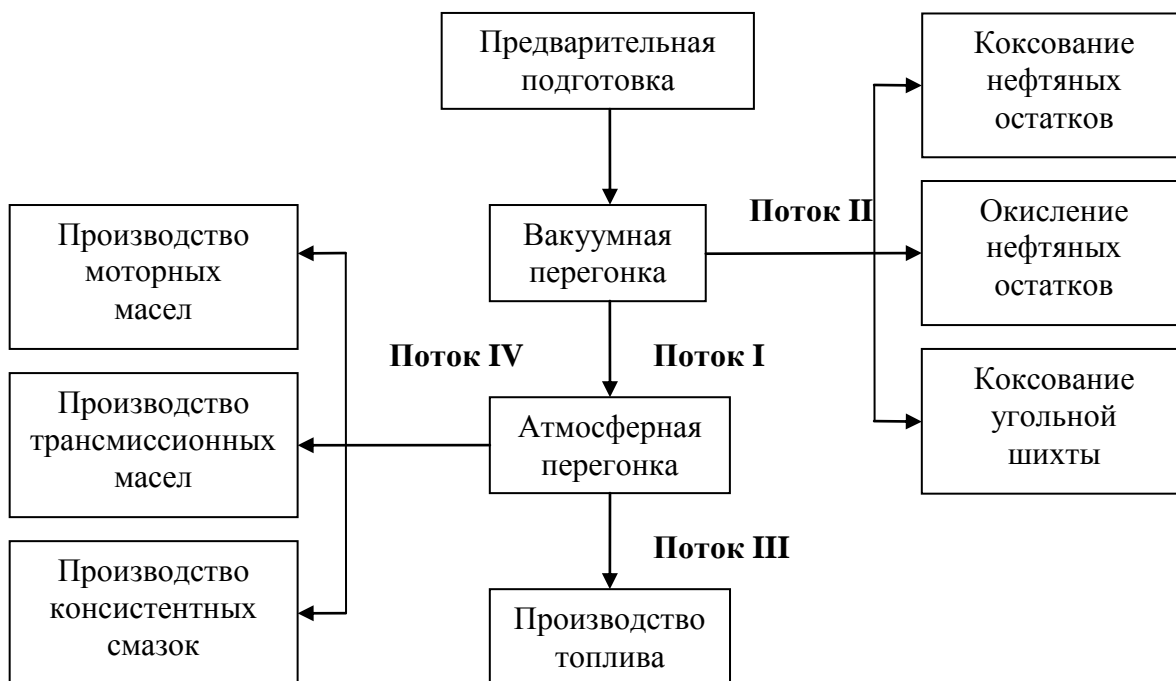


Рис.6.6– Схема комплексной переработки отработанных моторных масел

Рассматривая схему, отметим, что отработанное масло, поступающее на переработку, подвергается предварительной подготовке: отстаиванию при температуре 60–65° С или центрифугированию. При этом из него удаляются механические примеси и вода, которые могут накапливаться в масле при эксплуатации техники, хранении и транспортировке. В некоторых случаях перед отстаиванием или центрифугированием, с целью вымывания оставшихся присадок и, как следствие, снижения зольности готовых продуктов, масла могут предварительно подвергаться промывке водой.

Подготовленное масло подвергается вакуумной перегонке, где из него получают два потока I и II. Поток I представляет собой фракцию, выкипающую при температуре до 400 °С, которая в своем составе содержит как топливо, попадающее в масло при эксплуатации техники, так и легкие фракции, образующиеся при вакуумной перегонке в следствие разложения углеводородного сырья.

Поток II представляет собой фракцию, выкипающую при температуре более 400 °С, которая в своем составе содержит смолисто-асфальтеновые вещества, образующиеся при окислении углеводородов масла при эксплуатации техники. В дальнейшем эта фракция является ценным сырьем для процессов получения нефтяного кокса, окисления нефтяных остатков с получением дорожных и строительных битумов, а также для коксования угольной шихты. Причем в процессе получения кокса из угольной шихты эта фракция служит связующей добавкой, позволяющей увеличить процентное содержание в шихте более дешевых, слабоспекающихся углей при сохранении заданных свойств кокса.

Поток I направляется на атмосферную перегонку, где разделяется на два потока: поток III – фракция выкипающая до температуры 360°С; поток IV – фракция выкипающая при температурах 360–400°С. В дальнейшем поток III может быть использован при производстве (компаундировании) различных видов топлива.

Поток IV является базовым компонентом, в который добавляются различные группы присадок в производстве моторных и трансмиссионных масел. Также этот поток может являться компонентом, в который добавляют литиевые, кальциевые или натриевые мыла в производстве пластичных смазок.

В лабораторных условиях на примере моторного масла VISCO 3000 SAE 10W-40(API SL/CF), отработавшего 15 тыс. км в двигателе автомобиля ИЖ-27175 «Ода версия», были определены показатели качества (см. табл. 6.2.), позволяющие оценить пригодность каждого потока как сырья для того или иного технологического процесса.

Таблица 6.2–Результаты лабораторных исследований

Наименование показателей	Поток II	Поток III	Поток IV
Потенциальный выход, % (об.)	37,50	6,20	54,30
Зольность, % (масс.)	1,0	–	–
Массовая доля серы, % (масс.)	1,47	–	–
Коксуемость, % (масс.)	10	–	–
Фракционный состав, % (об.):			
- бензиновая фракция	–	2,49	–
- керосиновая фракция	–	1,22	–
- дизельная фракция	–	2,49	–
Кинематическая вязкость при 100°C, мм ² /с	–	–	4,5
Индекс вязкости, ед.	–	–	90
Температура вспышки, °C	–	–	219

По результатам проведенных исследований видно (см. табл. 6.2.), что поток II по всем проверенным показателям пригоден для производства нефтяного кокса [23]. Получаемый из такого сырья битум будет обладать рядом

положительных свойств: иметь не высокие значения пенетрации, интервала пластичности и достаточно высокие значения растяжимости, температуры хрупкости и когезии [24]. Как спекающая добавка в шихту для коксования этот поток будет еще и обуславливать меньшую зольность и массовую долю серы готового кокса.

Поток III является побочным продуктом и вполне может быть использован как компонент моторного и печного топлива.

Поток IV по приведенным показателям качества, особенно индексу вязкости, в смеси с остаточным компонентом, обладающим более высокими значениями вязкости и температуры вспышки, вполне может выступать в качестве базового масла при производстве моторных и трансмиссионных масел. Этот поток также пригоден как основа для загущения различными металлическими мылами при производстве пластичных смазок [25].

Если необходимо получать по фракционному составу более высококипящие продукты, то поток I может отбираться не до 400° С, а, скажем, до температуры 450° С или 470° С. Потери при реализации предлагаемой схемы переработки отработанных моторных масел составляют 2,0 % (об.). Отметим, что при реализации данной схемы комплексной переработке на нефтеперерабатывающем заводе основным аппаратом, в котором будет происходить разделение всех указанных потоков, может выступать вакуумная ректификационная колонна.

Проведенные исследования на примере масла VISCO 3000 SAE 10W-40(API SL/CF) показали, что, используя предложенную схему комплексной переработки отработанных моторных масел, становится возможным получение ценного сырья для важнейших процессов нефтехимической и коксохимической промышленности.

Наряду с вакуумной переработкой отработанных моторных масел существует не менее эффективная технология их переработки, направленная на получение посредством легкого термического крекинга высокоиндексных базовых масел.

При анализе применяемых сегодня технологий термического крекинга отработанных масел становится очевидным, что существующий подход к их переработке не позволяет получить в качестве целевого продукта базовые масла, пригодные для производства высококачественных товарных смазочных масел. Это связано с применением быстрого нагрева сырья до конечной температуры и последующим разделением полученных продуктов на ректификационных колоннах, для работы которых необходимо определенное соотношение паровой и жидкой фаз. Известно, что при быстром перегреве сырья ужесточается процесс термического крекинга, что приводит к получению большего количества газа и топливных фракций [26].

В связи с чем, для получения высокоиндексных базовых масел в лабораторных условиях легкому термическому крекингу при атмосферном давлении и скорости нагрева сырья, равной 4-5 °С в минуту, подвергались моторное масло SAE 15W-40 (API SL/CF), отработавшее 308 мото-часов в двигателе трактора Т-150, выполняющего сельскохозяйственные работы, масла SAE 10W-40 (API SL/CF) и SAE 5W-40 (API SL/CF), отработавшее 10 тыс. км в двигателях легковых автомобилей. В результате крекинга приведенных образцов масел был получен продукт, представляющий собой широкую топливно-масляную фракцию (см. табл. 6.3) и побочные продукты – газы разложения углеводородов и продукта полимеризации и поликонденсации углеводородов – кокса. Выход побочных продуктов составил от 4,0 до 5,0 % (об.) от объема сырья в зависимости от природы подвергаемого крекингу отработанного масла.

Полученную широкую топливно-масляную фракцию разделяли на более узкие фракции с целью выделения отдельных видов топлива и базовых масел, для которых в последствии были определены основные физико-химические показатели, характеризующие возможность их применения для производства товарных моторных масел (см. табл. 6.4).

Таблица 6.3–Характеристика широкой топливно-масляной фракции

Наименование показателя	Масло SAE 15W-40	Масло SAE 10W-40	Масло SAE 5W-40
Выход, %, (об.)	95,0	96,0	95,0
Плотность при 20 °С, кг/м ³	853	821	811
Температура конца кипения, °С	438	415	395

Таблица 6.4–Характеристика получаемых продуктов

Наименование показателя	Масло SAE 15W-40	Масло SAE 10W-40	Масло SAE 5W-40
Топливная фракция			
Температура начала кипения, °С	85	86	61
Выход фракции нк-180°С, %, (об.)	9,0	8,5	13,0
Выход фракции 180-240°С, %, (об.)	4,5	3,5	8,0
Выход фракции 240-360°С, %, (об.)	20,5	18,0	26,0
Масляная фракция			
Выход фракции >360°С, %, (об.)	65,0	69,0	52,0
Плотность при 20 °С, кг/м ³	872	847	837
Кинематическая вязкость при 100°С, мм ² /с	5,42	4,59	4,13
Индекс вязкости, ед.	100	119	124
Температура вспышки, °С	220	218	216
Температура застывания, °С	-13	-16	-20

По приведенным физико-химическим показателям получаемые масляные фракции полностью удовлетворяют требованиям к товарным промышленным маслам, а по индексу вязкости существенно их превосходят (от 10 до 35 ед.).

Причем, наилучшими вязкостно-температурными свойствами обладают фракции, полученные из моторных масел с классом вязкости SAE 5W-40.

Наихудшими вязкостно-температурными свойствами обладают фракции, полученные из моторных масел с классом вязкости SAE 15W-40.

Промышленное применение приведенной технологии предусматривает после реактора термического крекинга для разделения получающейся широкой топливно-масляной фракции на топливные и масляную фракции необходимость размещать мембранные первапорационные аппараты [27].

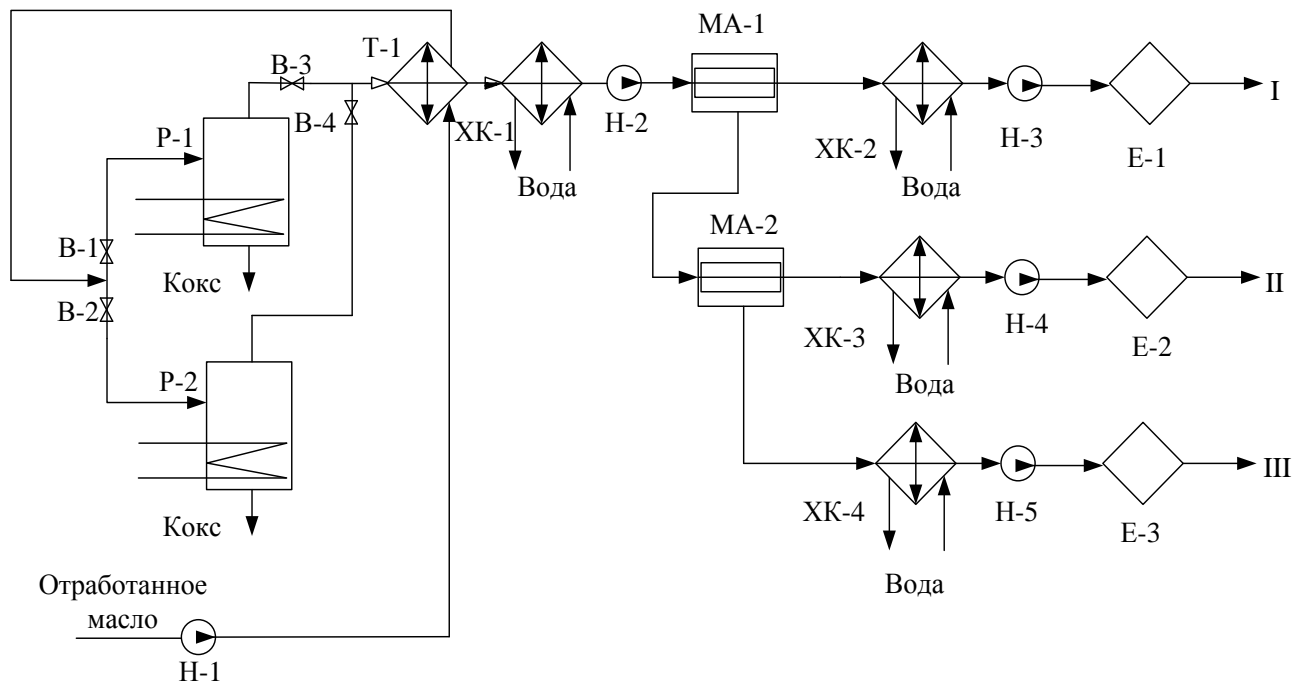


Рис.6.7 – Комбинированная функциональная схема получения высокоиндексных базовых масел: I – масляная фракция; II – дизельная фракция; III – лигроиновая фракция

На рис. 6.7 предлагается технология получения высокоиндексных базовых масел с использованием первапорационного (мембранного) разделения продуктов. Отработанное моторное масло подается насосом Н-1 через теплообменник Т-1, где подогревается за счет тепла, отбираемого у продуктов термического крекинга, выходящих из реактора Р-1. Подогретое отработанное масло подается в реактор термического крекинга Р-1, где происходит его нагрев со скоростью 4–5 °С в минуту при атмосферном давлении. Образовавшиеся

продукты проходят теплообменник Т-1, частично подогревая сырье крекинга, а затем конденсатор-холодильник ХК-1. В зависимости от применяемых мембран температура процесса перапарации может протекать при температурах значительно ниже температуры кипения разделяемой смеси [28]. В связи с чем в предложенной схеме устанавливается конденсатор-холодильник ХК-1 перед мембранными аппаратами МА-1.

Охлажденные и сконденсированные продукты, получающиеся в результате крекинга, насосом Н-2 подаются в мембранный аппарат МА-1. В мембранном аппарате происходит перапарация (испарение через мембрану) смеси топливных фракций, диффундирующей через стенки мембран, с последующим ее выводом в виде паровой фазы в мембранный аппарат МА-2. Образовавшаяся в мембранном аппарате МА-1 масляная фракция поступает в холодильник-конденсатор ХК-2, в котором конденсируется и охлаждается, и насосом Н-3 поступает в емкость Е-1.

В мембранном аппарате МА-2 происходит отделение дизельной фракции от смеси керосиновой и бензиновой фракции, которая диффундирует через мембрану. Дизельная фракция из мембранного аппарата МА-2 поступает в холодильник-конденсатор ХК-3, в котором конденсируется и охлаждается, и насосом Н-4 поступает в емкость Е-2. Ввиду образования при термическом крекинге малого количества керосиновой и бензиновой фракций их разделение является экономически не целесообразно. Ввиду этого смесь этих фракций (лигроиновая фракция) из мембранного аппарата МА-2 поступает в холодильник-конденсатор ХК-4, в котором конденсируется и охлаждается, и насосом Н-5 поступает в емкость Е-3. Данная фракция в дальнейшем может быть использована как компонент печного топлива. Для обеспечения непрерывности технологического процесса в данной схеме предусмотрен и резервный реактор термического крекинга Р-2, который может работать как параллельно с реактором Р-1, так и самостоятельно при аварийных ситуациях или при проведении плановых мероприятий по очистке реактора Р-1 от образовавшегося

кокса. Подача сырья на реактор Р-1 или реактор Р-2, а также расход потоков контролируется при помощи вентилей В-1 - В-4.

Отметим, что целесообразнее обеспечить для предлагаемой технологии отдельный сбор отработанных моторных масел, учитывая их класс вязкости, так как из масел класса вязкости SAE 15W-40 получается базовое масло с гораздо меньшей величиной индекса вязкости, нежели из масел класса вязкости SAE 5W-40.

Список литературы к 6 разделу

1. Проблемы создания в Украине отрасли утилизации отработанных нефтепродуктов: материалы 1-ой международной конференции «СОТРУДНИЧЕСТВО ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОТХОДОВ», 5-6 февраля 2004 г. Харьков / С.В. Кульшенко. - М.: Изд-во Нижегород. гос. техн. ун-та. 2004. – С. 280–281.

2. Официальный сайт компании «Ecology center» [Электронный ресурс]. Режим доступа к ресурсу: <http://otrabotannoe-maslo.com.ua>.

3. Официальный сайт компании «Rosa 1» [Электронный ресурс]. Режим доступа к ресурсу: <http://www.rosa1.ru/>

4. Официальный сайт академии прикладных исследований Российской Федерации [Электронный ресурс]. Режим доступа к ресурсу: <http://www.apris.ru>.

5. Гриценко В.О. Применение микрофльтрации для регенерации отработанных моторных масел / В.О. Гриценко, Н.С. Орлов // Вестник Российского химико-технологического университета им. Д.И. Менделеева. Серия. Критические технологии. Мембраны, - 2002. - № 16. – С. 10-16.

6. Пат. 2106398 Российская Федерация, МПК⁶ C10M175/02. Способ регенерации отработанных масел / Хафизов А.Р.; Ишмаков Р.М.; заявитель и патентообладатель Уфимский государственный нефтяной технический университет. – № 95102849/04; заявл. 01.03.1995; опубл. 10.03.1998, Бюл. № 2.

7. Пат. 2101335 Российская Федерация, МПК⁶ C10M175/02. Способ очистки отработанного масла / Зоркин В.А.; Айсин Е.Х.; Бушуева Н.Н.; заявитель и патентообладатель Зоркин Владимир Алексеевич; Айсин Евгений Хамзеевич; Бушуева Нина Николаевна. – № 96104686/04; заявл. 11.03.1996; опубл. 10.01.1998, Бюл. № 2.

8. Пат. 2326934 Российская Федерация, МПК⁶ C10M175/00, B01D1/22. Способ регенерации отработанных промышленных масел и устройство для его осуществления / Афанасьев Ю.О., Богомолов А.Р., Дворовенко И.В., Петрик П.Т.; заявитель и патентообладатель

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Кузбасский государственный технический университет" (ГУ КузГТУ). – № 2006122091/04; заявл. 20.06.2006; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1.

9. Юзефович В.И. Организация сбора отработанных смазочных масел / В.И. Юзефович // Мир нефтепродуктов. – 2001. - № 3. – С. 28-30.

10. Пиковская Е.В. Регенерация отработанных масел в США / Е.В. Пиковская, С.А. Сурин // Мир нефтепродуктов. – 2000. - № 4. – С. 23-25.

11. Пат. 2186096 Российская Федерация, МПК⁸ C10M175/02, B01D36/00. Способ регенерации отработанных моторных масел и установка для его осуществления / Таланин К.В.; Таланин А.К.; Таланин Е.К.; Семиколенов В.А.; заявитель и патентообладатель Таланин Константин Вениаминович; Таланин Андрей Константинович; Таланин Евгений Константинович; Семиколенов Владимир Александрович. – № 2001125057/04; заявл. 31.08.2001; опубл. 27.07.2002, Бюл. № 3.

12. Фукс И.Г. Экологические проблемы рационального использования смазочных материалов / И.Г. Фукс, А.Ю. Евдокимов, В.Л. Лашхи, Ш.М. Самойхмедов. – М.: Нефть и газ, 1993. – 164 с.

13. Рыбаков К.В. Повышение чистоты нефтепродуктов / К.В.Рыбаков, Т.П. Карпекина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 111 с.

14. Коваленко В.П. Регенерация отработанных моторных масел / В.П. Коваленко, С.А. Зыков, А.Н. Олейник // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1995. - № 1. – С. 13-16.

15. Гончаров, А.К. Система регенерации минеральных масел / А.К. Гончаров, Л.В. Казаков // Строительные и дорожные машины. – 1988. - № 8. – С. 26.

16. Глазков В.Ф. Отработанные моторные масла и их восстановление с целью повторного использования / В.Ф. Глазков // Энергосберегающие технологии механизации сельского хозяйства, Самара. Изд-во СГСХА, 1998. – С. 84-88.

17. Евдокимов А.Ю. Вторичная переработка отработанных масел за рубежом / А.Ю. Евдокимов, М.И. Фалькович // Химия и технология топлив и масел, –1988.– №10. – С. 42-45.

18. Периодичность замены дизельных масел: материалы второй международной конференции по проблемам разработки, производства и применения смазочных материалов 2-6 сентября, 1997 г. Бердянск / У. Гергель. – М.: Изд-во Бердянского гос. техн. ун-та. 1997. – 54 с.

19. Вахонина Т.Е. Использование отработанных моторных масел для флотации угольных шламов/ Т.Е. Вахонина, М.С. Клейн, И.А. Горбунков // Вестник Кузбасского государственного технического университета. – 2009. - №1. – С. 15–17.

20. Прохоренков В.Д. Использование отработанных моторных масел как основы для консервационных материалов / В.Д. Прохоренков, В.В. Остриков, Л.Г. Князева // Практика противокоррозионной защиты. – 2000. - №2. – С. 40–45.

21. Скобельцин А.С. Использование отработанных моторных масел в качестве компонента дисперсионной среды пластичных смазок: дис. ... кандидата техн. наук: 05.17.07 / А.С. Скобельцин. – Москва, 2006. – 133 с.

22. Официальный сайт компании «ПОТРАМ» [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.potram.ru/>.

23. Глущенко И.М. Теоретические основы технологии горючих ископаемых: [учебник] / И.М. Глущенко. – Издательство "Металлургия", 1990. – 296 с.

24. Гуреев А.А. Производство нефтяных битумов / А.А. Гуреев, Е.А. Чернышева, А.А. Коновалов, Ю.В. Кожевникова. – М.: Изд. Нефть и газ, 2007. – 102 с.

25. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: [справочник] / В. М. Школьников. – [2-е изд.] – М.: Издательский центр «Техинформ», 1999. – 596с.

26. Глущенко И.М. Химическая технология горючих ископаемых / И.М. Глущенко. – К.: Высшая школа. – 1985. – 447 с.

27. Буртная И.А. Мембранное выделение керосиновой и дизельной фракций из смеси тяжелой нефти и газового конденсата / И.А. Буртная, О.О. Гачечиладзе, Н.В. Шафаренко // Промышленный сервис. – 2012. – № 1. – С. 2–3.

28. Поляков А.М. Некоторые аспекты первапарационного разделения жидких смесей. Часть 1/ А.М. Поляков // Критические технологии. Мембраны.– 2004. – № 4 (24) С. 29–44.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ литературных источников, посвященных применению моторных масел в двигателях внутреннего сгорания, показал, что качество применяемого моторного масла и срок его замены являются одними из основных факторов, влияющих на его рациональное использование.

Предложен метод определения рациональных сроков замены моторных масел при эксплуатации автобусов в котором, фактическое состояние моторного масла оценивается по параметру приращения его диэлектрической проницаемости $\Delta\varepsilon$, что позволяет уменьшить расход моторных масел, связанный с необоснованной их заменой по сроку, назначенному в руководстве по эксплуатации автобусов, и сократить время простоя автобусов.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что наибольшее влияние на величину параметра $\Delta\varepsilon$ моторного масла, в рассматриваемом диапазоне браковочных значений, оказывают находящиеся в нем сажевые частицы ($\Delta\varepsilon = 0,1459 \div 0,1480$), продукты износа трущихся деталей в виде Al и Fe ($\Delta\varepsilon = 0,0663$) и охлаждающая жидкость ($\Delta\varepsilon = 0,0320$). Содержащееся в моторном масле дизельное топливо независимо от марки, не оказывает никакого влияния на величину ε , а находящиеся в масле частицы запыленности приводят к некоторому уменьшению этой величины ($\Delta\varepsilon = -0,0265 \div -0,0260$).

Эксплуатационные исследования позволили установить, что для дизельного масла ESSOLUB XT401 SAE 15W-40(API CF-4) работавшего в двигателях автобусов «Богдан»–А091 и масла SAE 30(API CD) работавшего в двигателях автобусов ПАЗ–4234, предельное значение параметра $\Delta\varepsilon$, при достижении которого эксплуатация автобусов целесообразно прекратить и осуществить замену масла, составляет 0,3. Это, в свою очередь, позволило увеличить срок их замены, относительно сроков рекомендуемых руководством по их эксплуатации, почти в 2–3 раза.

Что касается отработанных моторных масел, то из всех существующих направлений их утилизации в Украине наиболее перспективным является их

переработка, позволяющая, с одной стороны снизить, количество вредных, отравляющих окружающую среду отходов, с другой – получить ценные и сравнительно недорогие энергоресурсы.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
Раздел 1. СТАРЕНИЕ МОТОРНОГО МАСЛА И ПЕРИОДИЧНОСТЬ ЕГО ЗАМЕНЫ	4
1.1. Мировое потребление и производство смазочных масел	4
1.2. Характеристика некоторых марок моторных масел зарубежных производителей встречающихся на Украинском рынке	8
1.3. Характеристика некоторых марок моторных масел выпускаемых на территории Украины	15
1.4. Причины старения моторных масел при эксплуатации двигателей внутреннего сгорания	19
1.5. Расход масла в двигателе	21
1.6. Обоснование рациональных срока замены моторных масел	27
Список литературы к 1 разделу	30
Раздел 2. ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ	32
2.1. Единичные показатели качества масел и методики их определения	32
2.2. Комплексные показатели качества масел	39
2.3. Электрофизические показатели качества моторных масел	47
Список литературы к 2 разделу	52
Раздел 3. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРИМЕНЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАБОТАЮЩИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ	57
3.1. Влияние на диэлектрическую проницаемость состава моторных масел	57
3.2. Диэлектрическая проницаемость моторных масел в эксплуатации	60
3.3. Модель рациональных сроков замены моторных масел при эксплуатации техники	71
3.4. Резонансный метод измерения диэлектрической проницаемости моторных масел	74
3.5. Подготовка испытуемой пробы моторного масла	76

3.6. Устройство ячейки для измерения диэлектрической проницаемости масел	77
3.7. Влияние температуры и частоты измерений на диэлектрическую проницаемость моторных масел	80
Список литературы к 3 разделу	81
Раздел 4. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РАБОТАЮЩИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ	83
4.1. Идентификация моторных масел	83
4.2. Влияние различных загрязнений моторных масел на величину их диэлектрической проницаемости	90
4.2.1. Влияние продуктов износа трущихся деталей	91
4.2.2. Влияние дизельного топлива и продуктов его неполного сгорания	92
4.2.3. Влияние частичек запыленности воздуха	93
4.2.4. Влияние охлаждающей жидкости	94
4.2.5. Совместное влияние загрязнений различных видов на диэлектрическую проницаемость моторных масел	95
4.3. Изменение показателей качества моторных масел при эксплуатации	97
4.4. Обоснование предельного значения параметра $\Delta\epsilon$ дизельных моторных масел при эксплуатации автобусов «Богдан»–А091 и ПАЗ–4234	104
4.5. Изменения величины параметра $\Delta\epsilon$ масла в зависимости от эксплуатационных факторов	106
4.6. Уточнение сроков замены масел при эксплуатации автобусов «Богдан» –А091 и «ПАЗ»–4234	108
4.7. Методологический подход к разработке и применению новых диагностических параметров позволяющих рационализировать периодичность замены масел	112

Список литературы к 4 разделу	113
Раздел 5. ПОРТАТИВНЫЕ ЛАБОРАТОРИИ И АНАЛИЗАТОРЫ КАЧЕСТВА МАСЕЛ	118
5.1. Портативные экспресс лаборатории	119
5.2. Анализаторы качества масел	122
5.3. Индикатор «OIL SERVICE»	133
5.4. Средства бортовой диагностики моторных масел	135
Список литературы к 5 разделу	140
Раздел 6. УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ	142
6.1. Проблема централизованного сбора отработанных масел в Украине	142
6.2. Пути утилизации отработанных моторных масел	145
6.2.1. Захоронение отработанных моторных масел	145
6.2.2. Регенерация отработанных моторных масел	147
6.2.3. Непосредственное использование отработанных моторных масел	163
6.2.4. Комплексная переработка отработанных моторных масел	164
Список литературы к 6 разделу	174
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	178

Наукове видання

ГРИГОРОВ Андрій Борисович

НАГЛЮК Іван Сергійович

РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ МОТОРНИХ ОЛИВ

(російською мовою)

Відповідальний за випуск *С.О. Слободської*

В авторській редакції

План 2013 р., поз. 324/15

Підп. до друку 13.03.13. Формат 60×84 1/16. Папір друк. №2.

Друк – ризографія. Гарнітура Times New Roman. Ум. друк. арк. 8,5. Обл.-вид.

арк. 7,2. Наклад 300 прим. Зам №71348. Ціна договірна.

Издательство «Точка».

Свідоцтво про державну реєстрацію ДК № 116 від 10.07.2004 р.

61002, Харків, вул. Петровського, 18.

ФЛП Шевченко С.А., 61002, Харків, вул. Петровського, 18.