

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ
СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА
АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
В УСЛОВИЯХ ОРГАНИЗАЦИЙ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА**

Минск
БГАТУ
2023

УДК 621.431:621.892(078)

Авторы:

В. М. Капцевич, С. К. Карпович, В. К. Корнеева, И. В. Закревский

Экспресс-методы контроля свойств моторного масла автотракторных двигателей внутреннего сгорания в условиях организаций агропромышленного комплекса / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2023. – 120 с. : ил. – ISBN 978-985-25-0241-2.

Приведен анализ существующих мини-лабораторий, портативных средств и тест-наборов для проведения экспресс-тестирования моторного масла. Даны рекомендации к использованию методик экспресс-методов контроля свойств моторного масла в условиях АПК и примеры их апробации. Раскрыта роль моторного масла в обеспечении эксплуатационной надежности автотракторной техники.

Научно-практические рекомендации предназначены для инженерно-технических работников организаций АПК. Могут быть использованы в качестве пособия для студентов, магистрантов и аспирантов, а также при переподготовке инженерных кадров.

Табл. 15. Ил. 57. Библиогр.: 79 назв.

Рекомендовано к изданию научно-техническим советом
Министерства сельского хозяйства
и продовольствия Республики Беларусь
(протокол № 4-23 от 27 декабря 2023 г.)

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор, академик НАН Беларуси,
генеральный директор государственного научно-производственного
объединения порошковой металлургии *А. Ф. Ильющенко*;
кандидат технических наук, доцент,
проректор по научной работе – директор НИИМЭСХ
УО «Белорусский государственный
аграрный технический университет» *И. С. Крук*

ISBN 978-985-25-0241-2

© БГАТУ, 2023

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	6
1. РОЛЬ МОТОРНОГО МАСЛА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ.....	8
1.1. Моторное масло как источник информации технического состояния ДВС	8
1.2. Классификация моторных масел, используемых для автотракторной техники	10
1.3. Функции моторных масел и требования, предъявляемые к ним	13
1.4. Свойства моторных масел, характеризующие выполнение их функций.....	14
1.5. Выбор основных показателей качества моторных масел для разработки и проведения экспресс-методов в условиях АПК	16
2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МИНИ-ЛАБОРАТОРИИ, ПОРТАТИВНЫЕ СРЕДСТВА И ТЕСТ-НАБОРЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОТОРНОГО МАСЛА	26
3. ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА	37
3.1. Требования, предъявляемые к экспресс-методам	37
3.2. Экспресс-метод определения плотности.....	37
3.3. Экспресс-метод определения вязкости.....	39
3.4. Экспресс-методы определения содержания топлива, воды и оценки МДС	42
3.4.1. Экспресс-метод определения содержания топлива.....	42
3.4.2. Экспресс-метод определения содержания воды.....	46
3.4.3. Экспресс-метод оценки моюще-диспергирующих свойств	49
3.5. Экспресс-метод определения водородного показателя рН.....	53

3.6. Экспресс-методы определения содержания сажи	54
3.6.1. Экспресс-метод определения сажи методом колориметрии	54
3.6.2. Экспресс-метод определения сажи методом светопоглощения.....	55
3.7. Экспресс-метод патч-тестирования (мембранной фильтрации) для оценки загрязненности моторного масла механическими примесями.....	58
4. ЛАБОРАТОРИЯ «ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ МОТОРНОГО МАСЛА»	60
4.1. Назначение и оснащение лаборатории.....	60
4.2. Методика отбора проб для проведения экспресс-методов.....	62
4.3. Методики контроля показателей качества моторного масла	65
4.3.1. Методика экспресс-метода определения плотности	65
4.3.2. Методика экспресс-метода определения вязкости	68
4.3.3. Методика экспресс-метода определения наличия и количества топлива	70
4.3.4. Методика экспресс-метода определения наличия и количества воды	72
4.3.5. Методика экспресс-метода оценки МДС и наличия топлива	74
4.3.6. Методика экспресс-метода определения водородного показателя pH	78
4.3.7. Методика определения сажи экспресс-методом колориметрии.....	80
4.3.8. Методика определения сажи экспресс-методом светопоглощения	81
4.3.9. Методика экспресс-метода определения общей загрязненности масла механическими примесями патч-тестированием.....	83
4.4. Оценка состояния систем ДВС по изменению свойств моторного масла	84

5. АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДИК ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ.....	89
5.1. Примеры апробации экспресс-метода определения плотности	89
5.2. Примеры апробации экспресс-метода определения вязкости	91
5.3. Примеры апробации экспресс-метода определения наличия и количества топлива	92
5.4. Примеры апробации экспресс-метода определения наличия и количества воды	93
5.5. Примеры апробации экспресс-метода оценки МДС методом «капельной пробы»	95
5.6. Примеры апробации экспресс-метода определения водородного показателя рН	97
5.7. Примеры апробации экспресс-метода определения содержания сажи методом колориметрии.....	98
5.8. Примеры апробации экспресс-метода определения содержания сажи методом светопоглощения	100
5.9. Примеры апробации экспресс-метода определения наличия абразивных частиц и продуктов износа методом патч-тестирования.....	102
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	104
ПРИЛОЖЕНИЕ	111

ВВЕДЕНИЕ

Проблема обеспечения эксплуатационной надежности двигателей внутреннего сгорания, которые являются одними из наиболее сложных и дорогостоящих агрегатов в составе мобильной сельскохозяйственной техники, не может быть решена без объективной и достоверной информации по отказам и неисправностям их составных частей. Источником такой информации может быть работающее моторное масло [1]. В процессе работы в масле генерируются продукты износа трибосопряжений, туда попадают абразивные частицы из-за неисправности системы воздухоочистки, топливо из-за нарушения системы топливоподдачи, вода и охлаждающая жидкость из системы охлаждения. Таким образом, контролируя процесс изменения свойств моторного масла (старение масла), можно получать информацию о нарушении в работе или неисправности той или иной системы ДВС.

Вопросами изучения свойств моторных масел и их изменения в процессе эксплуатации ДВС занимались такие ученые, как Н. П. Бутов, М. А. Григорьев, С. В. Венциль, Ю. А. Власов, Ю. А. Гурьянов, А. В. Дунаев, А. Н. Карташевич, А. П. Картошкин, В. П. Коваленко, Б. И. Ковальский, С. В. Корнеев, Г. П. Лышко, Л. В. Маркова, Н. К. Мышкин, В. В. Остриков, К. К. Папок, К. В. Рыбаков, И. Г. Фукс, В. М. Школьников и др.

Для контроля свойств моторных масел в настоящее время применяются лабораторные методы, основанные на различных стандартах, и экспресс-методы. В технически развитых зарубежных странах создана сервисная сеть лабораторий, оснащенных автоматизированным оборудованием, позволяющая быстро и оперативно осуществлять качественный контроль свойств смазочных материалов. Однако в странах СНГ такая сервисная сеть отсутствует. Это связано прежде всего с тем, что проведение такого анализа свойств моторного масла из-за высокой стоимости и трудоемкости затруднительно организовать в условиях АПК.

Экспресс-методы и соответствующие им средства доступны не только каждой сельскохозяйственной организации, но и частным владельцам сельскохозяйственной техники. Их применение позволяет значительно снизить трудоемкость оценки качества свежих, работающих и отработанных масел, проводить анализ за короткий

промежуток времени и, главное, своевременно выявлять неполадки в работе ДВС на ранней стадии.

Таким образом, разработка экспресс-методов оценки свойств моторного масла для обеспечения эксплуатационной надежности двигателей внутреннего сгорания является своевременной и актуальной.

Данные рекомендации являются итогом НИР «Разработка экспресс-методов контроля свойств моторного масла для оценки технического состояния и работоспособности тракторных двигателей в процессе их эксплуатации», выполненной в рамках задания 6.2 «Формирование машинных технологий, исследование путей повышения ресурса и эффективности использования машинно-тракторных агрегатов» ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», подпрограмма «Механизация агропроцессов и “точное” сельское хозяйство» и соответствуют приоритетному направлению научной деятельности «Агропромышленные и продовольственные технологии: сельскохозяйственная техника, машины и оборудование, точное земледелие» на 2021–2025 гг. (постановление Комиссии по вопросам государственной научно-технической политики при Совете Министров Республики Беларусь от 27 декабря 2019 г. № 34/1пр).

1. РОЛЬ МОТОРНОГО МАСЛА В ОБЕСПЕЧЕНИИ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ АВТОТРАКТОРНОЙ ТЕХНИКИ

1.1. Моторное масло как источник информации технического состояния ДВС

Проблема обеспечения надежности и долговечности является одной из основных в процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники, важнейшим агрегатом которой является ДВС. Основным средством поддержания необходимого уровня надежности и долговечности ДВС является правильная организация процесса его эксплуатации. В ней особая роль принадлежит своевременному диагностированию, по результатам которого определяется действительное техническое состояние ДВС в процессе его эксплуатации.

Моторное масло несет в себе информацию о термодинамических, химических и триботехнических процессах, происходящих в ДВС [2]. Носителями этой информации являются изменения физико-химических показателей самого масла, а также появляющихся в нем примесей воды, топлива, абразивных частиц и продуктов износа трущихся сопряжений ДВС. Информация о концентрации частиц износа в масле и их распределении по размерам позволяет решать задачи распознавания технического состояния ДВС. Проведенные научные исследования [3] показали высокую достоверность определения предполагаемых дефектов на основании анализа моторного масла ДВС.

Моторное масло является важным источником информации технического состояния ДВС [4], от надежности работы которого во многом зависит надежность работы всех трущихся сопряжений двигателя. Оно является источником информации как о своем состоянии, так и о состоянии механизмов и узлов сельскохозяйственных машин.

Масло в процессе работы контактирует не только с трибосопряжениями, но и с другими системами ДВС, непосредственно участвующими в его работе. Нарушение герметичности этих систем может привести к попаданию в масло различных загрязнений. Основ-

ными загрязнениями в работающем моторном масле являются частицы износа трущихся пар, абразивные частицы, топливо и вода (охлаждающая жидкость).

Рассмотрим пути попадания загрязнений различной природы в моторное масло (рис.).

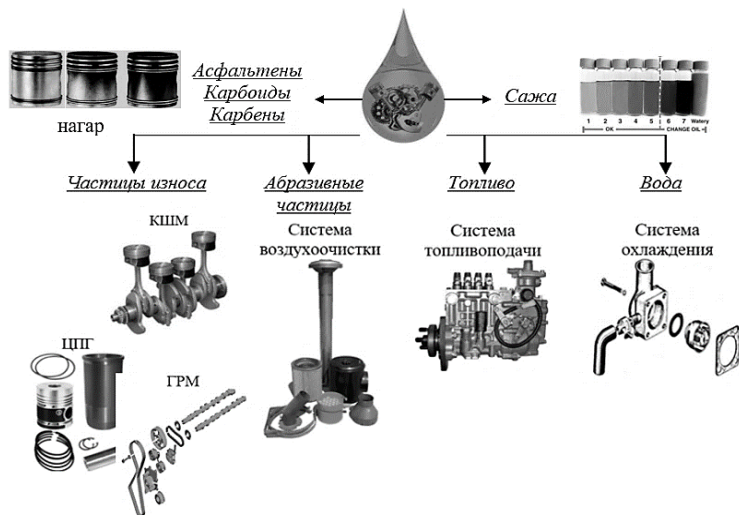


Рис. Пути попадания загрязнений различной природы в моторное масло

В процессе эксплуатации ДВС в результате высоких температур и давлений, а также срабатывания присадок моторное масло претерпевает необратимые изменения – происходит процесс его старения. В результате этого в масле образуются нерастворимые органические соединения (асфальтены, карбоиды, карбены и др.). Кроме того, в результате неполного сгорания топлива в моторное масло попадает сажа.

Частицы износа трущихся пар ДВС генерируются в результате изнашивания поверхностей деталей следующих узлов: кривошипно-шатунного механизма (КШМ), цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) и газораспределительного механизма (ГРМ). Такие частицы износа, идентичные по химическому составу конструкционным материалам деталей трения, свидетельствуют об изнашивании того или иного механизма, а их количество и размер – об интенсивности изнашивания.

Причинами попадания абразивных частиц (пыли) в масло являются неисправности системы очистки воздуха ДВС: выход из строя воздушного фильтра, трещины во впускном коллекторе, нарушение герметичности воздухопроводов и т. п.

Самая распространенная причина попадания дизельного топлива в масло – нарушение работы системы топливоподачи, в частности неисправности топливного насоса высокого давления (ТНВД).

Загрязнения моторного масла водой (охлаждающей жидкостью) в первую очередь связано с потерей герметичности системы охлаждения ДВС. Также к причинам появления воды в масле можно отнести недостаточную вентиляцию картера, из-за которой увеличивается количество конденсата.

Таким образом, контролируя состояние моторного масла по содержанию в нем различных загрязнений, можно судить об исправности или неисправности тех или иных механизмов и систем ДВС.

1.2. Классификация моторных масел, используемых для автотракторной техники

Организации АПК Республики Беларусь для дизельных ДВС автотракторной техники используют моторные масла производства ОАО «Нафтан» марок «Нафтан ДЗ» SAE 10W40, M10B₂, M8Г₂, M8Г_{2к}, M10Г₂, M10Г_{2к}, M8ДМ, M10ДМ (ГОСТ 8581–78), а также импортные масла марок Deutz 10W40 и Deutz 15W40, Expert SHPD 10W-40, «Лукойл Авангард» SAE 10W-40, «Лукойл Авангард» SAE 15W-40, «Лукойл Авангард Экстра» SAE 10W-40, «Лукойл Авангард Экстра» 15W-40, Castrol Turbomax SAE 15W-40, Hessol Turbo Diesel SAE 15W-40, Shell Rimula TX SAE 10W-30, Shell Rimula TX SAE 15W-40, Shell Rimula Plus SAE 10W-30, Shell Rimula Plus SAE 15W-40, Shell Helix Diesel Ultra SAE 5W-40 и др.

Моторные масла согласно ГОСТ 17479.1–2015 классифицируют по вязкости, назначению и эксплуатационным свойствам. Стандартная марка включает следующие знаки: букву М (моторное), цифру или дробь, указывающую класс или классы вязкости (последнее – для всесезонных масел), одну или две из первых шести букв алфавита, обозначающих уровень эксплуатационных

свойств и область применения данного масла. Индекс 1 присваивают маслам для бензиновых двигателей, индекс 2 – дизельным. Например, марка M10G₂ – моторное масло класса вязкости 10, предназначенное для высокофорсированных дизелей (индекс 2) без наддува или с умеренным наддувом, работающих в эксплуатационных условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений.

При решении вопросов взаимозаменяемости отечественных и зарубежных моторных масел часто используется не только классификация отечественного стандарта по ГОСТ 17479.1–2015. По международным стандартам моторные масла оцениваются по вязкости при помощи классификации, разработанной Американским обществом автомобильных инженеров (SAE J300), и по эксплуатационным свойствам при помощи классификации Американского института нефти (API).

Классификация SAE J300 разделяет моторные масла на 6 зимних классов вязкости – 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W (буква W обозначает *winter* – зима) и 5 летних – 20, 30, 40, 50, 60. Всесезонные масла обозначаются сдвоенным номером, первый из которых указывает максимальные значения динамической вязкости масла при отрицательных температурах и гарантирует пусковые свойства, а второй определяет характерный для соответствующего класса вязкости летнего масла диапазон кинематической вязкости (единица измерения – сСт) при 100 °С и динамической вязкости при 150 °С. Например, марка SAE 10W-40 – всесезонное масло, которое по вязкости при низких отрицательных температурах соответствует сорту SAE 10W, а при +100 °С – сорту SAE 40.

Классификация API по уровню эксплуатационных свойств подразделяет моторные масла для бензиновых двигателей категории S (*service*) и для дизельных двигателей C (*commercial*). Далее в обозначении следует буква, отражающая уровень эксплуатационных свойств: от A до J для категории S и от A до H для категории C.

Класс API CJ-4 действует с 1 октября 2006 г. Данный класс разработан специально для тяжелонагруженных двигателей. Отвечает ключевым требованиям по нормам выбросов NO_x и твердых частиц для двигателей 2007 г. выпуска. На масла CJ-4 вводятся лимиты

по некоторым показателям: зольность менее 1,0 %, сера 0,4 %, фосфор 0,12 %.

Новая классификация вмещает требования более ранних категорий API CI-4 PLUS, CI-4, но несет значительные изменения требований в ответ на потребности новых двигателей, которые отвечают новым экологическим стандартам 2007 и более поздних моделей.

Класс API CI-4 (CI-4 PLUS) – новый эксплуатационный класс моторных масел для дизельных двигателей. По сравнению с API CI-4 повышены требования к удельному содержанию сажи, а также испаряемости и высокотемпературному окислению. При сертификации в данной классификации моторное масло должно тестироваться в 17 моторных тестах.

Класс API CI-4 введен в 2002 г. Эти моторные масла применяются в современных дизельных двигателях с различными видами впрыска и наддува. Моторное масло данного класса должно содержать соответствующие моюще-диспергирующие присадки и имеет, по сравнению с классом CH-4, повышенную устойчивость к термическому окислению, а также более высокие диспергирующие свойства. Кроме того, такие масла обеспечивают существенное уменьшение угара моторного масла за счет снижения летучести и уменьшения испарения при рабочей температуре до 370 °С под воздействием газов. Увеличен ресурс зазоров, допусков и уплотнений мотора за счет улучшения текучести автомасла.

Класс API CI-4 введен в связи с появлением новых, более жестких требований по экологии и токсичности выхлопных газов, которые предъявляются к двигателям, выпускаемым с 1 октября 2002 г.

Класс API CH-4 действует с 1 декабря 1998 г. Моторные масла данного класса применяются в четырехтактных дизельных двигателях, которые эксплуатируются в высокоскоростных режимах и соответствуют требованиям норм и стандартов по токсичности выхлопных газов, принятых в 1998 г.

Автомасла API CH-4 соответствуют достаточно жестким требованиям как американских, так и европейских производителей дизельных двигателей. Требования класса специально разработаны для использования в моторах, работающих на высококачественном топливе с удельным содержанием серы до 0,5 %. В отличие от моторных масел класса API CG-4, эти мас-

ла менее чувствительны к использованию дизельного топлива с содержанием серы более 0,5 %. Моторные масла API CH-4 соответствуют повышенным требованиям и должны содержать присадки, более эффективно предотвращающие износ клапанов и образование нагара на внутренних поверхностях. Могут применяться как заменители моторных масел API CD, API CE, API CF-4 и API CG-4 в соответствии с рекомендациями производителя двигателя.

1.3. Функции моторных масел и требования, предъявляемые к ним

В процессе работы смазочные материалы помимо воздействия высоких температур и давлений подвергаются также химическому взаимодействию с металлами и сплавами, кислородом воздуха, продуктами сгорания топлива.

Во время эксплуатации смазочные материалы должны выполнять следующие основные функции [5, 6]: снижать потери на трение за счет создания на поверхностях трущихся пар прочной масляной пленки; уменьшать износ деталей, обеспечивая в сопряжениях жидкостное трение; отводить тепло из зоны трущихся сопряжений и нагреваемых деталей; защищать детали от коррозии; удалять с трущихся поверхностей деталей продукты износа и другие загрязнения; препятствовать прорыву рабочей смеси и продуктов сгорания в картер двигателя.

Для выполнения основных функций смазочные масла должны удовлетворять следующим требованиям [5, 7]:

- обладать необходимыми смазывающими (вязкость) и противоизносными свойствами, обеспечивающими надежную работу узлов трения при всех возможных режимах и температурах для уменьшения скорости изнашивания трущихся деталей, затрат мощности на преодоление трения и прочность масляной пленки в трибосопряжениях;
- обладать высокой химической стойкостью, обеспечивающей минимальное изменение свойств смазочного материала в процессе эксплуатации;

- обладать термоокислительной стабильностью для предотвращения образования коррозионно-активных продуктов;
- обладать способностью химически модифицировать поверхность металла при граничном трении и нейтрализовать кислоты, образующиеся при окислении масла, а также из продуктов сгорания топлива;
- не образовывать на поверхности деталей машин различные отложения, обеспечивая оптимальные моюще-диспергирующие, нейтрализующие и антиокислительные свойства;
- обладать совместимостью с материалами уплотнений;
- обладать высокой стабильностью при транспортировании и хранении;
- иметь определенный фракционный состав, обеспечивающий минимальный расход на угар.

1.4. Свойства моторных масел, характеризующие выполнение их функций

К основным свойствам моторного масла относятся в первую очередь те, от которых зависят выполняемые функции: предотвращение потери энергии на трение, защита от износа трущихся поверхностей, препятствование образованию отложений и коррозии деталей. Главными из них являются смазывающие, противоизносные, противоокислительные, моюще-диспергирующие свойства (МДС) и антикоррозионные свойства. Они оцениваются следующими основными показателями: плотностью, вязкостью, температурой вспышки и застывания, щелочным и кислотным числами, загрязненностью механическими примесями и водой. Применение масел при значениях этих показателей свыше допустимых норм приводит к ограничению использования и необходимости их замены.

Главным показателем *смазывающих свойств* моторных масел является вязкость, которая обеспечивает жидкостное трение, эффективное охлаждение, уплотнение узлов трения и т. д.

Противоизносные свойства характеризуют способность масел препятствовать износу поверхностей трения. Образующаяся на трущихся поверхностях прочная пленка исключает непосредственный контакт деталей. Высокие противоизносные свойства масла обес-

печивают надежную работу при небольших частотах вращения коленчатого вала, в случае больших удельных нагрузок, а также при нарушении геометрической формы трущихся поверхностей. Таким образом, противоизносные свойства моторного масла препятствуют возникновению задиrow, схватыванию и в итоге предотвращают разрушение трущихся деталей ДВС.

Противоокислительные свойства (термоокислительная стабильность) характеризуются стойкостью масла к окислению и полимеризации в процессе работы, а также разложению при хранении и транспортировании.

На термоокислительную стабильность моторного масла оказывают влияние химический состав, температурные условия, длительность окисления, каталитическое действие металлов и продуктов окисления, площадь поверхности окисления, присутствие воды и механических примесей. Повышенное давление воздуха ускоряет процесс окисления масла, т. к. усиливается процесс его взаимной диффузии с кислородом воздуха.

При окислении масла происходит увеличение его динамической вязкости и коррозионной активности, склонности к образованию отложений, сильному загрязнению фильтров, что приводит к затруднению холодного пуска. Масло наиболее интенсивно окисляется в тонких слоях на поверхностях деталей, нагреваемых до высокой температуры и соприкасающихся с горячими газами: цилиндрах, поршневых кольцах, клапанах и др.

Скорость и степень окисления моторного масла существенно увеличиваются под действием продуктов неполного сгорания топлива, прорывающихся в картер двигателя. Окисление масла ускоряют также частицы металлов, накапливающиеся в нем в результате изнашивания деталей, и металлоорганические соединения меди, железа и других металлов, образующиеся в результате коррозии деталей или взаимодействия этих частиц с органическими кислотами.

МДС характеризуют способность масла уменьшать количество образующихся углеродистых отложений и осадка на деталях и поддерживать продукты загрязнения во взвешенном состоянии. Чем выше МДС масел, тем больше продуктов загрязнения и окисления масла остаются без выпадения в осадок и удерживаются в работающем масле и тем меньше при работе двигателя

внутреннего сгорания на поршнях образуются отложения в виде лака и нагара, а на других деталях – мажеобразные осадки серого или черного цвета (шлама).

Антикоррозионные свойства масел зависят от наличия в них органических кислот, пероксидов и других продуктов окисления, сернистых соединений, неорганических кислот, щелочей и воды. Коррозионность свежего масла, в котором присутствуют природные органические кислоты и сернистые соединения, незначительна, но резко возрастает в процессе эксплуатации. Присутствие в свежих маслах органических кислот связано с их неполным удалением в процессе очистки при изготовлении.

В процессе эксплуатации содержание кислот в маслах возрастает в 3–5 раз, а присутствие в них сернистых соединений в виде сульфидов и компонентов остаточной серы в количестве 15 %–20 % приводит к выделению сероводорода, меркаптанов и других активных продуктов, вызывающих коррозию деталей двигателя [7].

1.5. Выбор основных показателей качества моторных масел для разработки и проведения экспресс-методов в условиях АПК

Качество моторных масел оценивается с помощью отдельных взаимосвязанных единичных показателей [8].

Работоспособность моторных масел оценивается по показателям технического состояния: кинематическая вязкость, щелочное число, кислотное число, водородный показатель (рН), содержание нерастворимых примесей, МДС, температура вспышки, содержание воды, коррозионность и др. [9]. Однако на практике отсутствует единый подход к выбору показателей качества для оценки состояния работающего моторного масла.

Так, в работе [10] интенсивность старения моторных масел оценивается при помощи только тех показателей, которые существенно изменяются в процессе работы двигателей: температура вспышки, содержание воды, моюще-диспергирующая способность, щелочное число и оптическая плотность.

С другой стороны, автор [11] считает, что старение моторных и трансмиссионных масел следует оценивать только по показателям эксплуатационных свойств: вязкости, рН, щелочности и показателям МДС.

Кроме этого, в работе [12] показано, что наиболее важными показателями, характеризующими техническое состояние моторного масла, являются вязкость, моюще-диспергирующая способность, щелочное число и оптическая плотность.

В свою очередь, в работе [13] утверждается, что на темп износа основных деталей двигателя и образование лака и отложений в нем наибольшее влияние оказывает концентрация нерастворимых примесей, срабатываемость моюще-диспергирующих присадок и накопление продуктов окисления.

В работах [14–16] автор предлагает прогнозировать остаточный срок службы масла, определяя только показатели загрязненности работающего масла.

Таким образом, большинство исследователей для диагностики технического состояния моторного масла используют показатели: моюще-диспергирующую способность, вязкость, щелочное число, оптическую плотность, загрязненность масла, в т. ч. охлаждающей жидкостью и топливом. Реже в качестве показателей технического состояния используются коксуемость, сульфатная зольность и др. [10].

Для окончательного выбора необходимого и достаточного перечня показателей качества моторного масла для проведения экспресс-методов в условиях АПК проведем анализ этих показателей.

Плотность моторного масла в результате его старения в процессе работы ДВС будет отличаться от плотности свежего либо в сторону увеличения, что обусловлено испарением легких нефтяных фракций и генерированием нерастворимых механических примесей в виде продуктов износа, пыли, сажи, продуктов срабатывания присадок и т. д., либо в сторону уменьшения в результате срабатывания присадок или разбавления топливом. Такие изменения значений плотности моторного масла могут свидетельствовать: во-первых, о нарушении температурного режима работы ДВС; во-вторых, об износе трибосопряжений ДВС; в-третьих, о неисправности системы воздухоочистки; в-четвертых, о нарушениях работы ЦПГ; в-пятых, о потере моюще-диспергирующих, анти-

окислительных и противоизносных свойств моторного масла; в-шестых, о неисправности топливной системы. Однако получаемые данные об увеличении/снижении плотности моторного масла не позволяют сделать однозначное заключение о нарушении работы конкретной системы ДВС, что требует осуществления контроля за изменением плотности моторного масла в совокупности с изменением других свойств.

Вязкость – показатель качества масла, от которого значительно зависит режим смазки пар трения, противоизносные свойства, отвод тепла от рабочих поверхностей и уплотнения зазоров, величина энергетических потерь в двигателе [17, 18]. Вязкость масла является обобщающим показателем его качества. Вязкость моторного масла, в отличие от большинства других его показателей качества (кроме плотности), может как увеличиваться, так и уменьшаться, достигая верхнего или нижнего предельного состояния.

Снижение вязкости масла возможно при его загрязнении топливом, что может свидетельствовать о нарушении работы топливной системы, и маслом меньшей вязкости. У всесезонных масел, кроме того, оно возможно в результате потери работоспособности вязкостных присадок.

При работе ДВС вязкость масла повышается из-за его загрязнения механическими примесями, добавления масла большей вязкости, попадания воды и охлаждающей жидкости, а также в результате температурной деструкции масла при его перегреве. Загущение масла выше предельного значения затрудняет холодный пуск ДВС и обуславливает снижение объема масла, подаваемого масляным насосом, что, в свою очередь, приводит к уменьшению отвода тепла от пар трения. В результате ухудшения условий смазывания возникают задиры не только у деталей ЦПГ и КШМ, но и на рабочих поверхностях распределительного вала и других узлов трения.

Таким образом, анализ качества моторных масел недопустим без контроля его вязкости и без анализа влияния на ее изменение таких факторов, как наличие топлива и воды, изменение моюще-диспергирующих, нейтрализующих, противоизносных и противозадирных свойств и степень загрязнения масла нерастворимыми продуктами (сажей, абразивными частицами и продуктами износа).

Топливо может попадать в моторное масло различными способами: во-первых, при прорыве газов из камеры сгорания из-за износа

поршневых колец или нарушения сопряжений цилиндропоршневой группы; во-вторых, вследствие неисправности топливных форсунок; в-третьих, в результате выхода из строя топливного насоса из-за износа плунжерных пар или нарушения его уплотнений [19]. Также можно отметить и ряд других факторов попадания топлива в масло, относящиеся непосредственно к режимам и условиям эксплуатации самого двигателя: низкие температуры, длительные периоды простоя, частые поездки на короткие расстояния и др.

Попадание топлива в моторное масло приводит к снижению вязкости и, соответственно, смазывающей способности из-за нарушения целостности масляной пленки между трущимися парами, разрушению и потере функциональной способности присадок (детергентов и диспергаторов), возрастанию скорости окисления масла и др.

Таким образом, комплекс показателей, предназначенный для контроля свойств моторных масел, должен предусматривать обязательную оценку наличия топлива в работающих маслах.

Вода в моторном масле после механических примесей является вторым наиболее разрушительным загрязнителем. Вода может присутствовать в моторном масле в следующих трех состояниях: растворенная, эмульгированная и свободная [20–22].

Растворенная вода в моторном масле обычно содержится в небольшом количестве, которое зависит от типа и состояния базового масла, пакета присадок, содержания загрязняющих веществ и температуры. Так, новые высокочистые парафиновые масла, не содержащие присадок (кроме ингибитора окисления), содержат небольшое количество растворенной воды, а окисленное низкосортное масло, сильно насыщенное присадками и загрязнителями, будет растворять больший объем воды. С повышением температуры количество растворенной воды увеличивается, а с понижением – уменьшается. Однако при температуре ниже точки насыщения часть растворенной воды переходит в свободную или эмульгированную.

Эмульгированная вода считается наиболее опасной из-за ее большой площади контакта с маслом, а также способности переноситься маслом в трущиеся пары двигателя, разрушая при этом стабильную масляную пленку. Присадки, оксиды и загрязняющие вещества могут способствовать стабильному эмульгированию воды в масле. В зависимости от количества эмульгированной воды моторное масло имеет мутный или молочный вид.

Свободной считается вода, которая отделяется от масла из-за невозможности в большем количестве растворяться и эмульгироваться, а также из-за различий в плотности воды и масла (в моторном масле свободная вода будет оседать на дно картера).

Вода может попадать в двигатель и моторное масло: во-первых, из атмосферы через уплотнения и со свежим маслом; во-вторых, в процессе конденсации при работе двигателя; в-третьих, из системы охлаждения (вместе с антифризом) из-за негерметичности или износа уплотнений.

При попадании воды в масло происходит реакция гидролиза, приводящая к разрушению присадок и образованию вредных химически агрессивных соединений. Вода также действует как катализатор, способствующий окислению масла, особенно в присутствии химически активных металлов, таких как железо, медь и свинец.

Загрязнение масла водой приводит к засорению масляного фильтра, к недостаточной смазке, к увеличению трения и износа деталей двигателя.

Вода в свободном или эмульгированном состоянии уменьшает смазывающую способность масла, что приводит к преждевременному износу и выходу из строя подшипников, шестерен, поршней и других деталей пар трения. Растворенная вода также может вызывать износ и отказ подшипников качения в результате водородного охрупчивания [20]. Кроме того, вода вызывает коррозию чугунных и стальных деталей.

Таким образом, комплекс показателей, предназначенный для контроля свойств моторных масел, должен предусматривать обязательную оценку наличия воды в маслах.

МДС, присущие только моторным маслам, определяются введением в базовое масло моющих, диспергирующих и стабилизирующих присадок. В связи с этим в технической литературе кроме термина МДС используют также другие термины, например «диспергирующая способность», «диспергирующе-стабилизирующие свойства», «моющие свойства» и т. д.

Моющие присадки (детергенты) предотвращают образование нерастворимых загрязнений в масле, препятствуют образованию их отложений на поверхности деталей ДВС и обеспечивают удаление

этих загрязнений. Диспергирующие присадки (дисперсанты) обеспечивают и поддерживают в мелкодисперсном состоянии продукты старения масла и неполного сгорания топлива, тем самым препятствуя образованию шлама. Стабилизирующие присадки восстанавливают и стабилизируют высокотемпературную вязкость моторного масла, обеспечивают защиту узлов трения двигателя при высоких нагрузках, предотвращает падение вязкости моторного масла при частых пусках холодного двигателя. Для обеспечения длительной работы ДВС необходимо, чтобы эти присадки в работающих маслах не только поддерживали во взвешенном состоянии мелкодисперсные не растворимые в масле примеси, но и выносили из трибосопряжений продукты износа и абразивные частицы, тем самым предотвращая рост вязкости масла за счет уменьшения количества не растворимых в масле продуктов окисления: асфальтенов, карбоидов, карбенов и др.

Основными причинами потери работоспособности этих присадок являются: загрязнение масла охлаждающей жидкостью, разбавление масла топливом, загрязнение масла нерастворимыми механическими примесями в количестве, превышающем возможности действия присадок.

Снижение МДС (потеря работоспособности моющих, диспергирующих и стабилизирующих присадок) приводит к увеличению размеров (коагуляции) частиц нерастворимых загрязнений и к их отложению на поверхности деталей ДВС, в т. ч. газораспределительного механизма, маслопроводов, а также к их осаждению в виде низкотемпературного шлама на дно картера. Одновременно эти процессы снижают эффективность отвода тепла от деталей шатунно-поршневой группы, что приводит к ухудшению их смазывания и повышению вероятности задира рабочих поверхностей трибосопряжений.

Масло, утратившее МДС и не обеспечивающее выполнение требований, предъявляемых к моторным маслам, должно быть признано неработоспособным, т. к. не может обеспечивать необходимую чистоту деталей двигателя, поддерживать продукты окисления и загрязнения во взвешенном состоянии.

Таким образом, комплекс показателей, предназначенный для контроля свойств моторных масел, должен предусматривать обязательную оценку МДС работающих масел.

Водородный показатель рН. Базовые масла (минеральные или синтетические) являются нейтральными (на шкале рН они находятся в пределах рН 7). Однако на величину рН оказывают влияние присадки и активные ингредиенты, добавляемые в масло. Некоторые из них, в частности присадки для защиты от износа и коррозии, имеют слабокислотную среду и тем самым вызывают изменение рН свежего масла.

В процессе эксплуатации двигателя содержание кислотных соединений в масле непрерывно растет. Одной из основных причин этого является окисление самого базового масла. Кислород, накапливаясь в молекулах масла, вызывает его окисление. На процесс окисления влияют: время эксплуатации масла, его рабочая температура, накопление примесей и др. Кроме того, в процессе эксплуатации моторного масла происходит образование продуктов распада многих присадок в виде солей металлов, которые служат промоторами окисления и приводят к дальнейшему понижению рН.

Накопление кислот в масле приводит к следующим нежелательным изменением его свойств. Во-первых, оно ускоряет процесс окисления. Во-вторых, по мере увеличения содержания кислорода и его окисляющего действия может значительно возрасти вязкость, что затрудняет доступ масла к поверхностям трения в нужном количестве. В-третьих, при образовании в масле свободных кислот и срабатывании ингибиторов коррозии коррозионному разрушению подвергаются все поверхности, контактирующие с маслом. В особенности этот процесс затрагивает цветные металлы (например, медь и медные сплавы), а также стальные и чугунные сплавы. Кроме того, присутствие в масле кислот снижает срок службы пластмасс и герметизирующих материалов.

Наличие функциональной связи между активностью противоизносных и противозадирных присадок с рН позволяет рекомендовать водородный показатель для оценки работоспособности не только антиокислительных и антикоррозионных присадок, но и противоизносных и противозадирных.

Загрязненность масла сажей. Сажа является естественным побочным продуктом горения топлива. Длительный процесс эксплуатации масла или неполное сгорание топлива приводят к накоплению сажи, что оказывает вредное воздействие как на свойства самого масла, так и на работоспособность ДВС в целом.

Повышенное содержание сажи в моторном масле оказывает следующее негативное воздействие на работоспособность масла:

- потеря МДС из-за адсорбции молекул моющих и диспергирующих присадок на сажистых частицах, что приводит к преждевременному выходу масла из строя;

- потеря противоизносных свойств в результате адсорбции молекул противоизносных присадок на поверхности сажистых частиц, что снижает их работоспособность для защиты трибосопряжений ДВС;

- повышение вязкости, связанное с увеличением концентрации сажи в масле, что вызывает повышение температуры и замедляет подачу смазки к трибосопряжениям ДВС.

Изменение состояния моторного масла из-за загрязнения сажей оказывает негативное влияние на работу ДВС:

- приводит к преждевременному засорению фильтров, что вызывает повышенный абразивный износ деталей ДВС;

- вызывает образование нагара, шлама и закупорку масляных каналов.

В зависимости от сорта масла концентрация сажи в диапазоне от 3 % до 5 % обычно считается критической [20].

Резкое возрастание количества сажи в моторном масле свидетельствует прежде всего о неисправности топливной системы ДВС.

Таким образом, комплекс показателей, предназначенный для контроля свойств моторных масел, должен предусматривать обязательную оценку загрязненности масла сажей.

Общая загрязненность масла нерастворимыми механическими примесями, наличие абразивных и металлических частиц. При функционировании ДВС моторное масло достигает предельного состояния чаще всего в результате загрязнения не растворимыми в масле механическими примесями. К ним относятся [23]: неорганические продукты срабатывания присадок (барий, кальций, цинк, их соли и металлоорганические соединения); пыль (SiO_2 , Al_2O_3 и др.), попадающая в ДВС с засасываемым воздухом и через потерявшие герметичность уплотнения картера; частицы металлов – продукты изнашивания и коррозии трибосопряжений. Соотношение этих загрязнителей в работающем масле существенно зависит от типа двигателя, условий его эксплуатации, качества топлива и масла.

Показателем загрязненности масла нерастворимыми механическими примесями обычно является их массовая доля в процентах [24] либо оценка в баллах [25] по шкале образцов. Оба эти показателя нашли самое широкое применение для экспресс-анализа масел как в полевых, так и в лабораторных условиях.

Кроме этого, из общего состава нерастворимых загрязнений масла необходимо выделять и индивидуально оценивать наличие абразивных частиц и продуктов повышенного износа рабочих поверхностей деталей, появление которых в работающем масле недопустимо.

В настоящее время принято, что частицы износа, имеющие условный размер до 5 мкм, соответствуют гидродинамическому режиму смазки; до 15 мкм – граничному режиму; при переходном режиме смазки со следами схватывания условный размер частиц износа не более 150 мкм, при коррозионно-механическом изнашивании – до 150 мкм; при катастрофическом изнашивании – до 1000 мкм [26].

По форме и размеру частиц можно определить механизм изнашивания, а по цвету частиц можно судить об их материале. Так, пластины с гладкой поверхностью толщиной до 1 мкм и размером 5–15 мкм образуются при нормальном изнашивании в результате отслаивания; спиральные (стружкообразные) частицы шириной 2–5 мкм и длиной 25–100 мкм возникают при абразивном изнашивании деталей в результате микрорезания под действием абразивных частиц (такие частицы являются наиболее опасными: повышенное содержание крупных частиц длиной более 50 мкм приводит к отказу детали механизма); сферические частицы диаметром 1–10 мкм образуются в трещинах подшипников или зубчатых передачах в результате усталостного изнашивания; пластины с параллельными бороздками на их поверхности толщиной до 3 мкм и размером до 200 мкм являются результатом сильного изнашивания при заедании (задире) в условиях эксплуатации (наличие таких частиц подтверждает сильный износ деталей, приводящий к отказу механизма в целом); хлопьевидные частицы представляют собой очень тонкие металлические частицы размером 20–50 мкм с отверстиями (такие частицы генерируются в результате усталостного выкрашивания подшипников качения); крупные частицы образуются

в зубчатых передачах в результате усталостного износа (такие частицы обычно имеют гладкую поверхность и неправильную геометрическую форму с соотношением длины (ширины) к толщине от 4:1 до 10:1).

Таким образом, в перечень показателей, всесторонне характеризующих изменение наиболее важных свойств работающего масла, должны входить: плотность; вязкость; наличие и концентрация воды; наличие и концентрация топлива; МДС; рН для оценки противозадирных, противоизносных, нейтрализующих свойств и выявления сильных кислот и щелочей; загрязненность масла сажей, общая загрязненность масла механическими примесями, в т. ч. наличие и концентрация абразивных частиц и продуктов износа ДВС.

2. СУЩЕСТВУЮЩИЕ МИНИ-ЛАБОРАТОРИИ, ПОРТАТИВНЫЕ СРЕДСТВА И ТЕСТ-НАБОРЫ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОТОРНОГО МАСЛА

Известно [25], что доля трудоемкости работ по оценке качества масла стандартными методами в условиях предприятия составляет от общей трудоемкости ТО для тракторов 27 %–40 %, для автомобилей – 36 %–47 %, для комбайнов – 81 %–109 %. В среднем для общехозяйственных машин эта доля составляет 39 %–53 %. Если анализ масел осуществляется в специализированных лабораториях, то доля составляет для тракторов 80 %, для автомобилей – 94 %, для комбайнов – 218 %. Эти данные позволяют утверждать, что трудоемкость мониторинга качества масел с применением стандартных методов составляет от общей трудоемкости ТО 50 %–100 %, что снижает показатели эффективности использования сельскохозяйственной техники.

Поэтому в настоящее время широкое применение получили экспресс-методы анализа, позволяющие: во-первых, отказаться от трудоемких аналитических методов контроля и значительных материальных затрат на их проведение; во-вторых, осуществлять своевременную замену моторного масла с учетом условий эксплуатации независимо от наработки двигателя; в-третьих, прогнозировать техническое состояние двигателя и осуществлять его своевременное техническое обслуживание и ремонт, что в конечном счете сокращает число отказов сельскохозяйственной техники за счет своевременного устранения неисправностей двигателя.

В Российской Федерации, США, Великобритании для осуществления таких экспресс-методов находят применение мини-лаборатории, портативные средства и тест-наборы, применяемые прежде всего в морской, аэрокосмической, горнодобывающей технике и дилерских центрах ведущих предприятий-производителей техники.

Портативная лаборатория анализа масел и топлив ПЛАМ [27]. Портативная лаборатория анализа масел и топлив ПЛАМ (Россия) (рис. 2.1) предназначена для экспресс-анализа моторных, турбинных и гидравлических масел в судовых и производственных условиях.



Рис. 2.1. Портативная лаборатория анализа масел и топлив ПЛАМ [27]

В комплект входят реагенты для определения количества воды в масле, щелочного и кислотного чисел, вискозиметр, фильтровальная бумага для метода «капельной пробы» («красная лента»), ареометры, наборы лабораторной посуды и приспособлений.

Лаборатория позволяет определять содержание воды в масле в диапазоне 0 %–3 %, общее щелочное число в диапазоне 0,7–70,0 мг КОН/г, кислотное число в диапазоне 0,04–2,00 мг КОН/г, относительную вязкость масла (в процентах от вязкости свежего), загрязненность, диспергирующую способность, плотность в диапазоне 750–990 кг/м³.

В лаборатории не предусмотрено определение температуры вспышки масел, изменение которой свидетельствует о наличии топлива в масле.

Судовая экспресс-лаборатория топлива и масла СЛТМ [28] (Россия) (рис. 2.2) предназначена для контроля физико-химических показателей топлива и масла на морских и речных судах.



Рис. 2.2. Общий вид судовой экспресс-лаборатории топлива и масла СЛТМ [28]

В комплект экспресс-лаборатории входят: фильтровальная бумага для метода «капельной пробы», компаратор вязкости, реагенты для определения количества воды, щелочного и кислотного чисел масла, ареометр (в т. ч. для определения содержания механических примесей по разности плотностей свежего и работающего масел) и набор лабораторной посуды и приспособлений.

Экспресс-лаборатория позволяет определять следующие показатели: диспергирующую способность масла в диапазоне 0,3–1,0 усл. ед.; содержание воды в масле в диапазоне 0,5–2,0 %; щелочное число в диапазоне 0,3–30,0 мг КОН/г масла; кислотное число в диапазон 0,1–2,5 мг КОН/г масла; кинематическую вязкость масла в диапазоне 10 %–40 % от вязкости свежего масла; плотность в диапазоне 700–1000 кг/м³; содержание механических примесей в диапазоне 1 %–5 %.

Переносная лаборатория «Экспресс-ВНИИТнН» [29] Всероссийского научно-исследовательского института использования техники и нефтепродуктов в сельском хозяйстве (Россия) (рис. 2.3)

предназначена для контроля основных показателей качества смазочных масел и может применяться для контроля качества свежих и работающих моторных масел при эксплуатации тракторов, комбайнов, автомобилей и другой техники.



Рис. 2.3. Общий вид переносной лаборатории «Экспресс-ВНИИТиН» [29]

В комплект переносной лаборатории входят: компаратор вязкости, комплект средств и приспособлений для оценки загрязненности масла и его МДС методом «капельной пробы».

Контролируемые показатели качества масла: кинематическая вязкость в диапазоне 5–16 мм²/с (сСт), содержание механических примесей в диапазоне 0 %–0,8 % и более, моюще-диспергирующие свойства в диапазоне 1–9 баллов, щелочное число в диапазоне 1,5–6,0 мг КОН/г масла, содержание воды в диапазоне 0 %–0,25 % и выше.

Помимо российских оборудования, приспособлений и экспресс-методов оценки свойств моторных масел следует рассмотреть разработки зарубежных фирм, которые в силу объективных и субъективных причин пока не нашли применения в современном сельскохозяйственном производстве.

Портативная лаборатория компании Kittiwake [30] (Великобритания) позволяет оперативно измерять наиболее значимые характеристики всех типов смазочных материалов: наличие воды, щелочное

число, механические примеси, вязкость, кислотное число. Лаборатория электронного тестирования Kittiwake, аккредитованная НАТО, предназначена для особо важных военных объектов и поставляется в переносном металлическом футляре военного назначения. Лаборатория обеспечивает получение результатов испытания близкими по точности к испытаниям в лабораторных условиях.

Общий вид портативной лаборатории Kittiwake приведен на рис. 2.4. В комплект портативной лаборатории входят вискозиметр с подогревом, приставка для определения воды, кислотного и щелочного чисел и содержания нерастворимых механических примесей, наборы приспособлений и реактивов.



Рис. 2.4. Портативная лаборатория Kittiwake для анализа качества смазочных материалов и топлив [30]

Контролируемые показатели качества масла: кинематическая вязкость в диапазоне 0–500 сСт испытуемого масла при 40 °С, 50 °С или 100 °С; содержание воды в диапазоне 0 %–2,5 %; щелочное число в диапазоне 0–90 мг КОН/г масла; кислотное число в диапазоне 0–6 мг КОН/г масла; содержание нерастворимых механических примесей в диапазоне 0 %–2,5 %.

Портативная лаборатория Kittiwake может быть дополнена комплектом Kittiwake FGK14144PA ANALEXfdMplus [31] для оценки продуктов металлического износа (рис. 2.5).



Рис. 2.5. Комплект Kittiwake FGK14144PA ANALEXfdMplus для оценки продуктов металлического износа [31]

Время тестирования с использованием комплекта Kittiwake FGK14144PA ANALEXfdMplus обычно составляет менее 10 с, а результаты отображаются в массовом количестве продуктов износа в моторном масле.

Комплект для тестирования Mobil Serv Field Analysis (США) [32] (рис. 2.6) предназначен для простого и быстрого тестирования всех типов минеральных и синтетических масел в полевых условиях.

Комплект позволяет определять изменение вязкости, наличие и количество воды, наличие не растворимых в масле механических примесей (качественная оценка), кислотное и щелочное числа.

В комплект для тестирования Mobil Serv Field Analysis входят компаратор вязкости Mobil ServSM Flostick, ячейка Mobil ServSM DIGI для определения воды в масле и щелочного числа, полные комплекты для тестирования кислотного числа Mobil Serv TAN и нерастворимых механических примесей Mobil Serv Insolubles.



Рис. 2.6. Комплект для тестирования масел Mobil Serv Field Analysis [32]

Контролируемые показатели качества масла: изменение вязкости по сравнению со свежим маслом; диапазон содержания воды составляет 200–10 000 ppm (0,02 %–1,00 %), щелочное число – 0–100 мг КОН/г масла, кислотное число – 0–6 мг КОН/г масла, оценка не растворимых в масле механических примесей – качественная.

Комплект для анализа промышленных масел Mobil Serv Field [33] (США) (рис. 2.7) предназначен для простого и быстрого тестирования состояния минеральных и синтетических смазочных масел в полевых условиях.

Комплект позволяет определять вязкость масла, наличие и количество воды, наличие нерастворимых механических примесей и температуру масла и деталей двигателя.

В комплект для анализа промышленных масел Mobil Serv Field входят компаратор вязкости Visgage©, ячейка Mobil ServSM DIGI для определения воды в масле, патч-комплект Mobil Serv DS-K3 для тестирования нерастворимых механических примесей, прибор Tempilstik и карманный термометр для определения температуры.



Рис. 2.7. Комплект для анализа промышленных масел Mobil Serv Field [33]

Контролируемые показатели качества масла: изменение вязкости по сравнению со свежим с получением абсолютных значений в сСт, содержание воды в диапазоне 200–10 000 ppm (0,02 %–1,00 %), оценка не растворимых в масле механических примесей – качественная, диапазон измеряемых температур – от –10 °С до 110 °С.

Патч-комплект Mobil Serv DS-K3 [34] для тестирования нерастворимых механических примесей расположен в отдельном кейсе (рис. 2.8) и позволяет определять основные типы частиц загрязнений и источники их возникновения.



Рис. 2.8. Патч-комплект Mobil Serv DS-K3 [34]

Патч-комплект содержит шприц объемом 10 см³, вакуумный насос, держатель мембранного фильтра, пинцет, мембранные фильтры с размерами пор 8,0 мкм (100 шт.) и карманный микроскоп с подсветкой с увеличением 30×.

Помимо рассмотренных экспресс-лабораторий, собранных из отдельных приборов, приспособлений и расходных материалов в кейсах, в настоящее время разработаны устройства, позволяющие определять один или несколько показателей качества масла.

Универсальный *анализатор качества нефтепродуктов SHATOX SX-300* (Россия) [35] (рис. 2.9) изготовлен на базе современного высокоточного микропроцессора. Прибор может использоваться совместно с персональным компьютером или ноутбуком с помощью USB-интерфейса.



Рис. 2.9. Общий вид анализатора качества нефтепродуктов SHATOX SX-300 [35]

В комплект поставки SHATOX SX-300 входят: электронный вычислительный блок; датчик № 1 для определения показателей качества свежего масла; датчик № 2 для определения показателей качества работающего масла; имитатор пробы; программное обеспечение для персонального компьютера, совместимое со всеми версиями Windows.

Действие прибора основано на определении диэлектрической проницаемости масла. Прибор позволяет определять: степень чистоты масла в диапазоне 95 %–100 %; фирму-производителя (марка); щелочное число в диапазоне 0–24 мг КОН/г масла; содержание механических примесей в диапазоне 0 %–3 %.

Компания «Химмотолог» (Россия) разработала ряд приборов и средств для контроля показателей качества моторных масел [36–39]:

система контроля износа агрегата (СКИА), универсальный индикатор, вискозиметр В-200М и анализатор нефтепродуктов А-100 (рис. 2.10).



Рис. 2.10. Приборы и средства для контроля показателей качества моторных масел компании «Химмотолог»:

a – система контроля износа агрегата (СКИА) [36]; *б* – универсальный индикатор [37];
в – вискозиметр В-200М [38]; *з* – анализатор нефтепродуктов А-100 [39]

Система контроля износа [36] (см. рис. 2.10, *a*) – прибор для динамического контроля состояния узлов трения, предназначенный для наблюдения за температурой и содержанием частиц износа в маслonaполненных агрегатах (коробка передач, картер двигателя, редукторы, компрессоры, станки и др.). Показания прибора по беспроводной связи Bluetooth передаются на телефон или планшет: текущее состояние узлов трения; графики зависимости концентрации частиц износа от времени; прогноз и рекомендации по срокам замены масла и проведению соответствующих ремонтных работ.

Универсальный индикатор [37] (см. рис. 2.10, *б*) предназначен для экспресс-анализа наличия присадок в моторных маслах и технических жидкостях. В центр индикатора наносится капля, и по изменению ее цвета в течение 5–15 мин делается вывод о наличии присадок.

Вискозиметр В-200М [38] (см. рис. 2.10, в) позволяет измерять плотность, динамическую и кинематическую вязкость моторного масла при температурах до 100 °С без использования дополнительного оборудования (термостата, водяной бани).

Прибор позволяет определять значения плотности масла до 1000 кг/м³, диапазон значений динамической вязкости составляет 0,005–0,200 Па·с (сП), кинематической вязкости – 5–150 мм²/с (сСт). Значения измеряемых показателей отображаются на дисплее прибора.

Анализатор нефтепродуктов А-100 [39] (см. рис. 2.10, г) позволяет определять наличие и количество воды и охлаждающей жидкости в масле. Диапазон измерения содержания воды составляет 0 %–3 %, охлаждающей жидкости – 0 %–6 %.

Анализ проведенных методов и средств контроля свойств масла позволил обосновать и выбрать экспресс-методы контроля свежих, работающих и отработанных моторных масел, используемых в дизельных и бензиновых ДВС, для реализации их в организациях АПК Республики Беларусь.

3. ОБОСНОВАНИЕ И ВЫБОР ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА

3.1. Требования, предъявляемые к экспресс-методам

Экспресс-методы оценки показателей качества моторного масла должны удовлетворять следующим требованиям:

- простота и низкая стоимость устройств и приспособлений, низкая трудоемкость оценки каждого свойства масла;

- портативность, малый вес, небольшие размеры и эргономичность устройств и приспособлений, малый объем пробы моторного масла, извлекаемого из ДВС;

- возможность выполнения экспресс-анализа масел непосредственно в организациях АПК, а также в полевых условиях без привлечения узких специалистов;

- отсутствие потребности в фирменных расходных материалах, состав которых является ноу-хау фирм-производителей;

- возможность качественной и количественной оценки показателей за короткий промежуток времени;

- применение универсальных методов и средств, позволяющих оценивать несколько показателей качества масел, в т. ч. одновременно;

- возможность дублирования при необходимости различными методами оценки отдельных показателей качества масла для обеспечения однозначного распознавания состояния анализируемого показателя;

- возможность принятия достоверного решения о состоянии масла и техническом состоянии ДВС на основе сформированного комплекса показателей.

3.2. Экспресс-метод определения плотности

Существующие методы определения плотности моторного масла основаны на применении таких приборов, как ареометр и пикнометр [40]. Метод определения плотности ареометром заключается в его погружении в моторное масло, снятии показа-

ний по шкале ареометра при температуре определения и пересчете результатов на плотность при температуре 20 °С. Для реализации этого метода необходимо применение специальных ареометров для нефтепродуктов, стеклянных цилиндров для ареометров, термометров ртутных стеклянных для испытаний нефтепродуктов, а также термостата или водяной бани для поддержания температуры.

Метод определения плотности пикнометром основан на определении относительной плотности – отношения массы испытуемого продукта к массе воды, взятой в том же объеме и при той же температуре. Так как за единицу массы принимают массу 1 см³ воды при температуре 4 °С, то плотность, выраженная в г/см³, будет численно равна плотности по отношению к воде при температуре 4 °С. Для реализации этого метода необходимо применение специальных пикнометров для жидкости, ртутных стеклянных термометров для испытаний нефтепродуктов, термостата или водяной бани, аналитических весов с погрешностью взвешивания не более 0,0002 г, а также специальных химических реактивов, таких как хромовая смесь (двуххромовокислый калий, дистиллированная вода, серная кислота), спирт этиловый ректификованный технический, ацетон, Нефрас-С 50/170 и др.

Оба метода являются лабораторными методами, требуют применения специализированного лабораторного оборудования, приборов и реактивов, требуют отбора из ДВС большого дополнительного объема работающего масла (более 150 см³), что в процессе эксплуатации сельскохозяйственной техники нецелесообразно, и не могут быть использованы для определения плотности моторного масла в организациях АПК, в т.ч. в полевых условиях.

В процессе выполнения НИР были экспериментально исследованы две методики экспресс-метода определения плотности в лабораторных условиях и в условиях АПК.

Первая методика заключалась в следующем. Производили взвешивание шприца с объемом масла 10 см³ и далее, последовательно уменьшая объем на 1 см³, определяли массу объемов масла со шприцом до достижения объема масла, равного 1 см³. Из полученных значений массы различных объемов вычитали массу шприца, получали значения массы моторного масла и рассчитывали показания плотности ρ для каждого измерения. При разработке

методики предложено использовать объемы масла, равные 10, 9, 8, 7 и 6 см³, а конечный результат вычислять по среднему значению величин плотности. Однако данная методика показала большое расхождение со значениями плотности, определенными при помощи ареометра.

Вторая методика заключалась в поэтапном нанесении моторного масла заданного объема с помощью стеклянного шприца объемом 10 см³ (ГОСТ 22967–90) и одноканальной микропипетки JOANLAB (Китай) с регулируемым объемом 100–1000 мкл, в определении массы масла после каждого нанесения с использованием весов марки ВК-300 и в последующем расчете плотности.

Проведенные испытания второй методики в условиях АПК и в лабораторных условиях показали различие полученных результатов измерений плотности при использовании одноканальной микропипетки, в то время как при использовании шприца эти результаты практически полностью совпадали.

Поэтому в качестве экспресс-метода определения плотности в условиях АПК, который одновременно может быть использован и в лабораторных условиях, рекомендуется метод, основанный на использовании весов марки ВК-300 и стеклянного шприца объемом 10 см³.

3.3. Экспресс-метод определения вязкости

Для определения вязкости работающего моторного масла в мировой практике применяются различные экспресс-тестеры, позволяющие произвести сравнительную оценку изменения его вязкости по сравнению со свежим маслом, такие как вискозиметры Visgage© и Kittiwake, экспресс-тестер вязкости Mobil ServSM Flostick и др. [41–43].

На основе принципа работы таких устройств был разработан и изготовлен компаратор вязкости (рис. 3.1), позволяющий произвести сравнение вязкости работающего/отработанного и свежего масел по скоростям их течения по измерительным каналам.

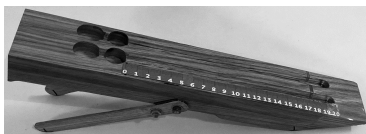


Рис. 3.1. Общий вид компаратора вязкости

Работа компаратора теоретически обоснована решением задачи течения жидкости по наклонной поверхности (рис. 3.2).

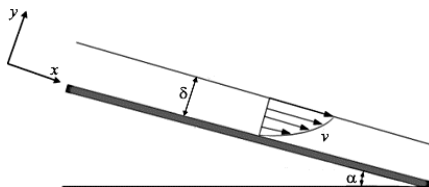


Рис. 3.2. Схема течения жидкости по наклонной поверхности: δ – толщина слоя жидкости; v – распределение скоростей течения по толщине слоя; α – угол наклона поверхности

Средняя скорость течения жидкости по наклонной поверхности v_{cp} может быть определена с помощью зависимости [44]:

$$v_{cp} = \frac{\rho g \delta^2 \sin \alpha}{3\mu}, \quad (3.1)$$

где ρ – плотность жидкости кг/м³;
 g – ускорение свободного падения, м/с²;
 μ – вязкость жидкости, Па·с.

Рассмотрим течение двух жидкостей с различной вязкостью μ_1 и μ_2 и различными средними скоростями течения v_{cp1} и v_{cp2} по наклонной плоскости.

За один и тот же промежуток времени t первая жидкость переместится на расстояние x_1 , а вторая – на x_2 . Полагая, что $v_{cp1} = x_1 / t$, $v_{cp2} = x_2 / t$, а плотности жидкостей приблизительно равны ($\rho_1 \approx \rho_2 = \rho$), уравнение (3.1) можно представить как

$$x_1 = \frac{\rho g \delta^2 \sin \alpha}{3\mu_1} t; \quad (3.2)$$

$$x_2 = \frac{\rho g \delta^2 \sin \alpha}{3\mu_2} t. \quad (3.3)$$

Используя выражения (3.2) и (3.3), определим относительную разность вязкостей двух жидкостей:

$$\frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1} = \frac{x_2 - x_1}{x_2}. \quad (3.4)$$

Таким образом, исходя из полученного выражения (3.4) можно прийти к заключению, что относительная вязкость жидкостей может быть определена исходя из значений длин расстояний течения по наклонной поверхности двух жидкостей с различной вязкостью за один и тот же промежуток времени.

На основе теоретически обоснованной задачи течения жидкости по наклонной поверхности разработана методика определения вязкости в полевых условиях с использованием компаратора вязкости.

Для проверки достоверности показаний разработанного компаратора проводили оценку его показаний путем одновременного пропускания по двум каналам моторного масла Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 250 ч (рис. 3.3).

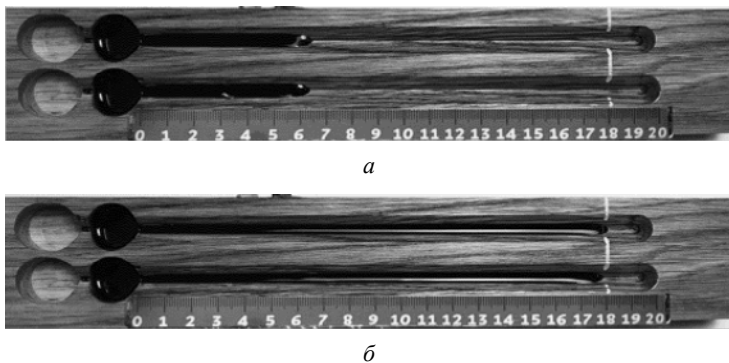


Рис. 3.3. Уточнение достоверности показаний компаратора вязкости:
а – начало эксперимента; *б* – окончание эксперимента

Результаты оценки достоверности работы компаратора были подтверждены одновременным достижением масел по обоим каналам контрольной метки (белой линии).

3.4. Экспресс-методы определения содержания топлива, воды и оценки МДС

Для реализации экспресс-методов контроля свойств моторного масла непосредственно в условиях АПК разработано устройство – универсальный электротигель малого размера (рис. 3.4) [45], не требующий подключения к сети 230 В. Такое устройство за счет дополнительного внесения специальных приспособлений позволяет последовательно определять наличие топлива, воды и МДС моторного масла.



Рис. 3.4. Общий вид электротигля с набором приспособлений

3.4.1. Экспресс-метод определения содержания топлива

В настоящее время для определения наличия топлива в моторном масле используется несколько методов. Так, в стандартах ASTM [46–48] для определения наличия и содержания топлива в моторном масле используются методы инфракрасной спектроскопии с преобразованием Фурье [46] и газовой хроматогра-

фии [47, 48]. Такие методы основаны на применении дорогостоящего и узкоспециализированного оборудования в специализированных лабораториях.

В работе [49] предложен экспресс-тест оценки содержания топлива в моторном масле электрофизическим методом – резонансным методом колебательного контура. Однако этот метод, по заявлению самих авторов, для моторных масел, разбавленных дизельным топливом, дает погрешность между теоретическими расчетами и экспериментальными исследованиями, равную 16,57 %, в отличие от масел, разбавленных бензином, для которых эта погрешность составляет 2,37 %.

В работе [50] предложено судить о наличии топлива по изменению вязкости работающего моторного масла по сравнению со свежим. При попадании топлива в масло его вязкость снижается, однако, с другой стороны, вязкость масла повышается из-за его загрязнения механическими примесями, добавления масла большей вязкости, попадания воды и охлаждающей жидкости, а также в результате температурной деструкции масла при его перегреве. В связи с этим оценка наличия топлива в моторном масле по изменению вязкости не является однозначной и требует дополнительного экспресс-тестирования другими методами.

Присутствие топлива в моторном масле можно также определять методом «капельной пробы» [51] по наличию светлого ореола на границе масляного пятна, который хорошо различим при просмотре хроматограммы «на просвет». Увеличение ширины ореола свидетельствует об увеличении содержания топлива в моторном масле. Однако данный метод не позволяет количественно оценить содержание топлива в моторном масле, поэтому требует дополнительного экспресс-тестирования другими методами.

Для проведения экспериментальных исследований по установлению наличия или отсутствия топлива в моторном масле предложено использовать метод, основанный на определении температуры вспышки в закрытом тигле малого размера с отверстием в крышке.

Использование закрытого электротигля малого размера с отверстием в крышке позволяет интенсифицировать процессы теплообмена, приводящие к быстрому равномерному кондуктивному

нагреву всего масляного слоя. Испаряющиеся пары топлива, поднимаясь, вытесняют через отверстие в тигле присутствующий в нем воздух. В результате свободное пространство электротигля заполняется испарившимся из масла топливом.

Для проведения испытаний в полевых условиях для качественной оценки содержания топлива в моторном масле достаточно оценить температуру вспышки при температуре $(180 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$, соответствующей допустимому содержанию топлива, равному 1,5 % [52].

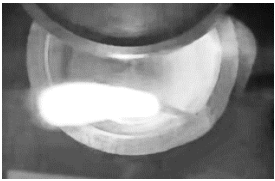
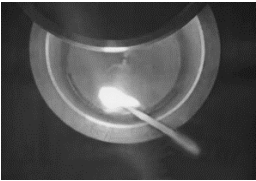

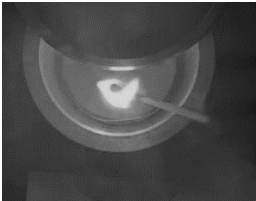
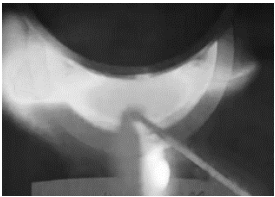
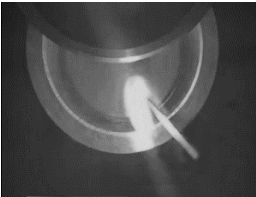
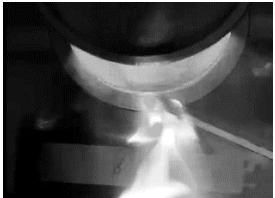
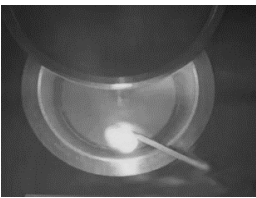
Для обоснования метода определения количественного содержания топлива в моторном масле проведены экспериментальные исследования, заключающиеся во введении в чистое масло (Лукойл Авангард 10W40) различного количества топлива (1 %, 2 %, 4 % и 6 %) и определении температуры вспышки полученных смесей.

Для установления зависимости температуры вспышки моторного масла от количественного содержания в нем топлива первоначально определяли температуру вспышки чистого масла. Для этого закрытый электротигель нагревали до температуры $220 \text{ }^\circ\text{C}$, соответствующей температуре вспышки в открытом тигле для чистого масла Лукойл Авангард 10W40. Открывали крышку электротигля, шприцом заливали в него 5 см^3 моторного масла и закрывали электротигель. Выдерживали 1 мин для прогрева масла до температуры электротигля. Приоткрывали крышку, подносили к поверхности масла пламя зажженной спички и фиксировали присутствие/отсутствие воспламенения. При температуре $220 \text{ }^\circ\text{C}$ воспламенение присутствовало. Далее температуру электротигля снижали с $220 \text{ }^\circ\text{C}$ с интервалом в $5 \text{ }^\circ\text{C}$ до такой температуры, при которой фиксировали интервал присутствия/отсутствия вспышки. Так, для чистого масла при температуре $210 \text{ }^\circ\text{C}$ вспышка присутствовала, а при $205 \text{ }^\circ\text{C}$ – отсутствовала. Температурный интервал $210 \text{ }^\circ\text{C}$ – $205 \text{ }^\circ\text{C}$ принимали за температурный интервал вспышки в закрытом тигле для чистого моторного масла Лукойл Авангард 10W40.

Далее, проводя аналогичные испытания моторного масла с различной концентрацией топлива, определяли температурные интервалы вспышки полученных смесей (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Зависимость температурного интервала вспышки моторного масла от содержания топлива (см. прилож., табл. П.1)

Топливо, %	Температурный интервал вспышки, °С, и наблюдаемые результаты			
	Присутствие вспышки		Отсутствие вспышки	
0	210	–	205	–
1	190		185	
				
4	155		150	
				
6	140		135	

По результатам экспериментальных данных, представленных в табл. 3.1, построены графики зависимости (диагностические кривые), устанавливающие взаимосвязь между количеством топлива в моторном масле и его температурой вспышки.

С использованием программы Excel построенные графики зависимости были аппроксимированы и получены математические выражения, описывающие зависимости количества топлива в моторном масле от температуры его вспышки.

Таким образом, количественную оценку содержания топлива в моторном масле можно осуществлять по диагностическим кривым или из математических выражений.

3.4.2. Экспресс-метод определения содержания воды

Для определения наличия воды в моторном масле используют различные методы. Так, в чистую, предварительно высушенную пробирку из теплостойкого стекла заливают 2–3 см³ тщательно перемешанного масла, нагревают пробирку на спиртовке до температуры 100 °С–110 °С [53]. При наличии воды происходит вспенивание масла, на стенках пробирки над поверхностью масла конденсируются капли воды.

Для определения количества воды в масле также используется метод, основанный на его химическом взаимодействии с некоторыми веществами, например гидридом кальция. По количеству выделяющегося водорода при реакции гидрида кальция с содержащейся в масле водой делают вывод о количестве воды [54]. Определить количество воды, используя данный метод, можно также измерением количества выделившейся теплоты [55].

Сравнительно прост метод определения наличия и количества воды в масле с применением фотометрии и глицерина [54]. Глицерин поглощает воду, поэтому фотометрирование пробы масла до и после смешивания с глицерином изменяет показания фотометра.

Наиболее распространенным методом обнаружения воды в масле является кулонометрическое титрование по методу Карла Фишера (KF) [56]. Анализатор воды в масле Карла Фишера может давать очень точные и воспроизводимые результаты, если выполняется опытным оператором, и является сравнительным методом для других аналитических методов определения воды.

Наиболее перспективным методом измерения загрязнения воды является инфракрасная спектроскопия. Это широко используемое и общепринятое измерение без использования химикатов. В общем смысле спектроскопия – исследование взаимодействия излучаемой энергии

и вещества. Спектрометр состоит из источника излучения, детектора и компьютера или другого преобразователя сигнала детектора в полезную информацию. Исследуемый образец помещают между источником излучения и детектором. Вода сильно поглощает излучение на определенной длине волны, и количество воды, содержащейся в образце масла, можно определить, проанализировав это поглощение.

Все рассмотренные методы являются лабораторными с использованием дорогостоящего и узкоспециализированного оборудования, требуют для работы на них высококвалифицированных специалистов.

Для проведения экспресс-метода наличия воды и оценки ее содержания в моторном масле применяется метод испытания на треск [57, 58], заключающийся в нанесении 1–2 капель исследуемого масла на металлическую, нагретую до температуры 160 °С поверхность и анализе поведения капли органолептическим методом (зрительное и слуховое восприятие). В качестве нагретой поверхности используются пластина, закрепленная на паяльнике [57], электрическая плитка с гладкой поверхностью нагрева [58] и др. Недостатками таких устройств являются: сложность регулирования температуры в требуемом диапазоне; необходимость применения пирометра для контроля температуры поверхности; невозможность применения в полевых условиях; сложность восприятия звука треска на плоской поверхности.

Для определения наличия воды в моторном масле в электротигель (см. рис. 3.4) дополнительно устанавливаются специальные приспособления (рис. 3.5): вставка с конической полостью и визуализирующее стекло [45]. Вставка с внутренней полостью в виде усеченного конуса (рис. 3.5, *а*) работает как рупор: звуковые волны не рассеиваются во все стороны, а образуют узконаправленный пучок, за счет чего мощность звука схлопывания пузырьков водяного пара в моторном масле увеличивается и он распространяется на большее расстояние, что может быть зафиксировано с помощью звукозаписывающих устройств (например, мобильного телефона). Дополнительная установка визуализирующего стекла (рис. 3.5, *б*) на дно вставки позволяет получить информацию за счет интерференции светового потока об отсутствии пузырьков, а при их наличии – наблюдать за зарождением, ростом, слиянием и схлопыванием в виде, удобном для зрительного наблюдения, с одновременной фиксацией фото- и видеоизображения с помощью видеокамеры.

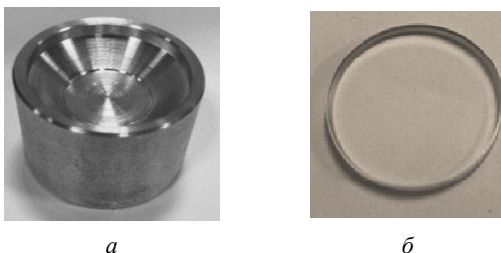


Рис. 3.5. Специальные приспособления для определения наличия и количества воды в моторном масле: *а* – вставка с конической внутренней полостью; *б* – визуализирующее стекло

Для подтверждения работоспособности экспресс-метода определения наличия воды было проведено исследование, заключающееся в искусственном введении воды в свежее моторное масло Лукойл Авангард 10W40 в количествах 0,1 %, 0,2 % и 0,4 %. Результаты эксперимента представлены на рис. 3.6.



Рис. 3.6. Результаты апробации свежего моторного масла марки Лукойл Авангард 10W40 с различным количеством искусственно введенной воды: *а* – 0,1 %; *б* – 0,2 %; *в* – 0,4 %

Анализ видеонаблюдения процесса показал, что при введении в масло воды в количестве 0,1 % происходит образование мелких пузырей размерами порядка 0,5 мм (см. рис. 3.6, *а*) (на видеозаписи видно, что эти пузыри быстро исчезают), при введении воды в количестве 0,2 % происходит образование более крупных пузырей размерами порядка 2 мм (см. рис. 3.6, *б*) (на видеозаписи видно, что они перемещаются к центру капли и увеличиваются в размере), при введении воды в количестве 0,4 % происходит образование пузырей размером до 3 мм (рис. 3.6, *в*) (на видеозаписи видно, что они увеличиваются в раз-

мере, процесс образования пузырей повторяется, происходит выплеск масла на стенки конической вставки, а аудиозапись фиксирует треск).

3.4.3. Экспресс-метод оценки моюще-диспергирующих свойств

Одним из методов оценки МДС моторных масел является метод определения интенсивности лакообразования на поверхности поршня на узкоспециализированной установке ПЗВ (ГОСТ 5726–2013), используемой в лабораторных условиях.

Наиболее распространенным и простым методом определения МДС и загрязненности моторного масла является метод «капельной пробы» – метод Blotter Spot, заключающийся в нанесении капли работающего масла на фильтровальную бумагу и последующем анализе полученного масляного пятна [59]. При впитывании капли масла в фильтровальную бумагу наблюдается хроматографический эффект, а точнее – его разновидность, относящаяся к технологии распределительной хроматографии [60].

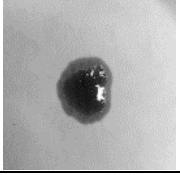


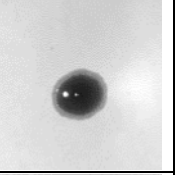
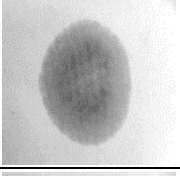
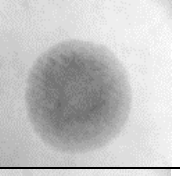
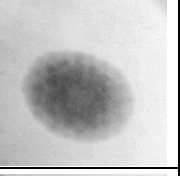
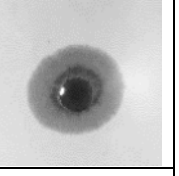
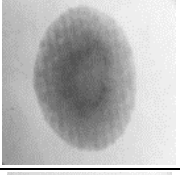
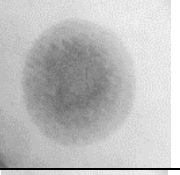
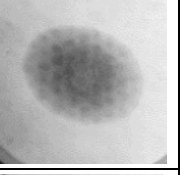
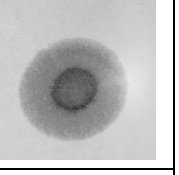
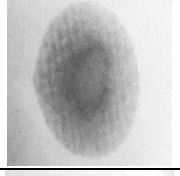
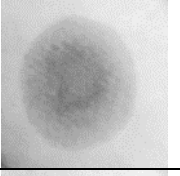
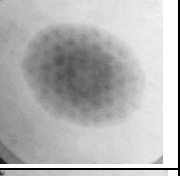
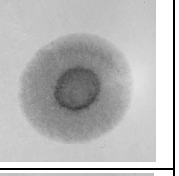
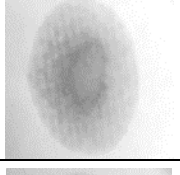
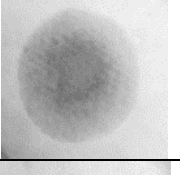
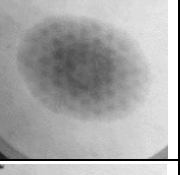
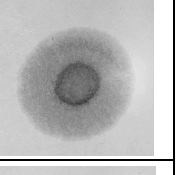
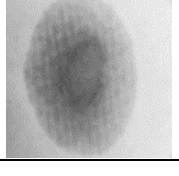
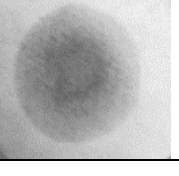
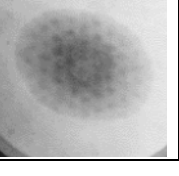
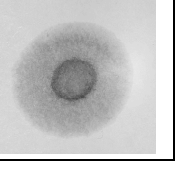
Метод «капельной пробы» является информативным органолептическим методом исследования состояния работающего моторного масла непосредственно в полевых условиях, однако для его реализации в странах СНГ не существует единого мнения в подходах к его осуществлению: различные массы капель и высоты их нанесения, температуры и время проведения исследований, отсутствие момента фиксации изображений по времени, различные типы фильтровальной бумаги, что требует уточнения методики реализации этого метода.

Для уточнения методики экспресс-метода оценки МДС методом «капельной пробы» были проведены исследования по уточнению выбора фильтровальной бумаги и времени для растекания капли и получения качественных хроматограмм.

В табл. 3.2 приведен процесс растекания капли на различных типах фильтровальной бумаги. По полученным изображениям измеряли максимальный D_{\max} и минимальный D_{\min} размер масляных капель и определяли их средний размер $D_{\text{ср}}$ в зависимости от времени τ (рис. 3.7), а также оценивали форму капель, которую характеризовали параметром формы «вытянутость» n [61], равным D_{\max} / D_{\min} (рис. 3.8).

Таблица 3.2

Результаты проведения исследования поведения капель на различных типах бумаги в различные моменты времени τ (см. прилож., табл. П.2)

τ , мин	Тип фильтровальной бумаги			
	«синяя лента»	«красная лента»	«белая лента»	офисная (SvetoCopy)
1				
10				
20				
30				
40				
50				

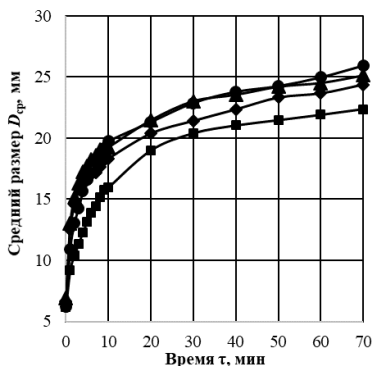


Рис. 3.7. График зависимости среднего размера пятна $D_{ср}$ от времени τ на различной бумаге:

- – офисная; ◆ – «белая лента»;
- ▲ – «красная лента»;
- – «синяя лента»

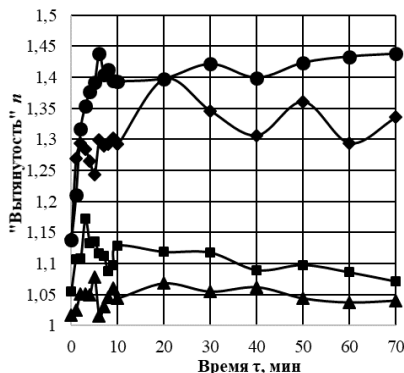


Рис. 3.8. График зависимости параметра формы «вытянутость» n от времени τ на различной бумаге:

- – офисная; ◆ – «белая лента»;
- ▲ – «красная лента»;
- – «синяя лента»

Анализ полученных графиков зависимости (см. рис. 3.7) показывает, что характер изменения среднего размера пятна $D_{ср}$ от времени τ практически не зависит от типа бумаги, однако можно утверждать, что на офисной бумаге скорость растекания капли меньше, что в итоге дает возможность сформироваться основным зонам на хроматограмме (см. табл. 3.2), по анализу которых можно судить о загрязненности и моюще-диспергирующих свойствах масла.

Анализ изменения параметра формы «вытянутость» n (см. рис. 3.8) позволяет заключить, что основные колебания изменения «вытянутости» происходят в первые 10 мин растекания, а наиболее равноосные пятна формируются на фильтровальной бумаге «красная лента» и офисной бумаге, что указывает на наиболее равномерное порораспределение в этих типах бумаг.

По полученным изображениям (см. табл. 3.2) для офисной бумаги измеряли максимальный и минимальный размеры зоны диффузии и ядра масляного пятна и определяли их средний размер (D и d соответственно) в зависимости от времени τ (рис. 3.9), а также рассчитывали коэффициент диспергирующих свойств моторного масла по формуле $ДС = 1 - (d^2 / D^2)$ [62] в различные моменты времени τ растекания масляного пятна (рис. 3.10).

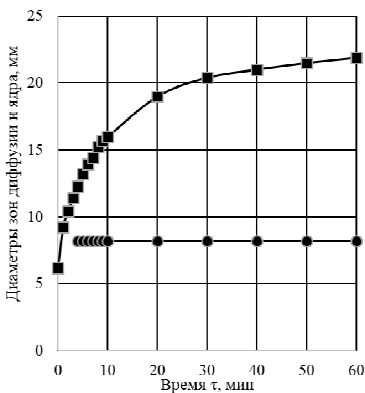


Рис. 3.9. Динамика формирования зон масляного пятна:
■ – зоны диффузии; ● – ядра

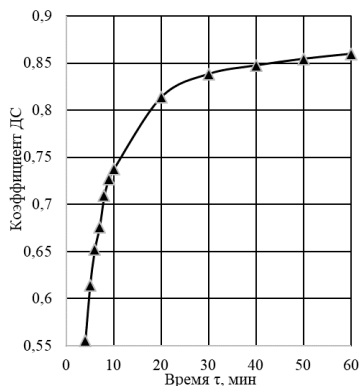


Рис. 3.10. Изменение коэффициента диспергирующих свойств ДС

Полученные результаты исследований позволяют прийти к заключению, что коэффициент диспергирующих свойств после 30 мин практически не изменяется и что при проведении метода «капельной пробы» для работающего моторного масла объемом 15 мкл в полевых условиях достаточно производить сушку в течение 30–40 мин при температуре $(80 \pm 5) ^\circ\text{C}$.

Для реализации метода «капельной пробы» электротигель дополнительно укомплектовывается специальными приспособлениями (рис. 3.11).



а



б



в

Рис. 3.11. Набор специальных приспособлений для реализации экспресс-метода определения МДС моторного масла:
а – держатели бумаги; *б* – фиксатор капельницы; *в* – капельница

Специальные приспособления включают: набор держателей в виде колец (см. рис. 3.11, *а*); фиксатор капельницы (см. рис. 3.11, *б*) с отверстием для жесткого ее крепления по центру электротигля

на фиксированном расстоянии от фильтровальной бумаги; капельницу (см. рис. 3.11, в) (одноканальная микропипетка JOANLAB с регулируемым объемом 10–50 мкл).

3.5. Экспресс-метод определения водородного показателя рН

Традиционными методами определения кислотности масел является оценка их щелочного (TBN) и кислотного (TAN) чисел, которая изначально была разработана для мониторинга контроля качества свежих масел. В дальнейшем эти методы получили широкое применение в мониторинге работающего и отработанного масел. Однако определение этих показателей стандартными методами может быть осуществлено только в лабораторных условиях с применением сложных химических реагентов. Кроме того, данные показатели не позволяют судить о коррозионной активности масла [63].

Водородный показатель рН, в отличие от двух предыдущих показателей, позволяет однозначно распознать наличие в работающем масле сильных водорастворимых кислот [64].

Впервые использование метода рН для определения наличия кислот в работающем моторном масле было предложено в 1995 г. доктором К. Дж. Мастерсом [65]. Он отметил, что данный метод имеет большой коммерческий и технический потенциал, т. к. метод определения кислотного числа (TAN) является более трудоемким и дорогим и не дает во многих случаях нужную информацию о фактическом состоянии двигателя. Мастерсом протестированы образцы масел, полученные от различных крупных промышленных предприятий, на TAN и рН одновременно. Сравнивая полученные результаты, он пришел к заключению: показатели TAN работающих масел практически не отличались от свежих, в то время как показатели рН указывали на возрастание коррозионной активности ряда масел, для которых рН был ниже 3,0, а на поверхностях деталей двигателя образовывались заметные участки коррозионного износа.

Метод определения рН основан на приготовлении рабочей смеси, состоящей из исследуемого масла и водного раствора, тщательного перемешивания этих двух компонентов, отстаивания и отделения масла от водного раствора и определения рН водного раствора.

В качестве водного раствора наряду с дистиллированной водой могут быть использованы различные растворители (например, уайт-спирит, толуол и др.), спирты, бензин и др.

Показания рН могут быть определены с помощью рН-метра, кислотно-основного титрования или индикаторов колориметрическим методом.

Доказано, что при оптимальных условиях измерение рН в водных растворах с индикатором может быть выполнено точнее, чем при электрометрических определениях [66]. Колориметрия и фотометрия обеспечивают более точные определения констант диссоциации умеренно сильных кислот и оснований, чем это доступно электрометрическим методам. Значительная часть представлений о влиянии природы растворителя на взаимодействие кислот и оснований получена с помощью индикаторов.

3.6. Экспресс-методы определения содержания сажи

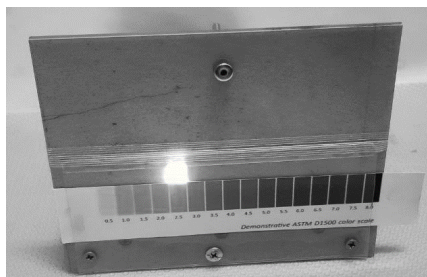
Для определения процентного содержания сажи в моторном масле обычно используют инфракрасную спектроскопию [67], которая предусматривает применение дорогостоящего специализированного оборудования в лабораторных условиях.

Для определения содержания сажи в моторных маслах в полевых условиях АПК можно использовать методы «капельной пробы» [59], а также оценить этот параметр по изменению вязкости. Однако эти методы не позволяют оценить количественное содержание сажи в моторном масле.

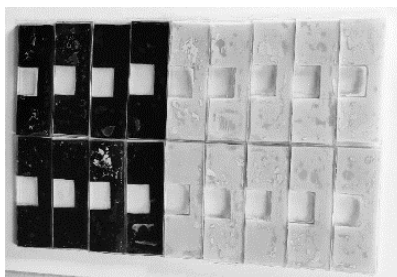
Одними из методов, позволяющих оценить содержание и количество сажи в моторном масле, являются метод колориметрии и метод светопоглощения.

3.6.1. Экспресс-метод определения сажи методом колориметрии

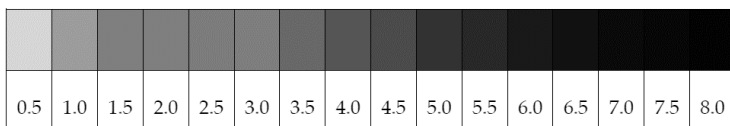
Для определения сажи методом колориметрии разработан и изготовлен компаратор (рис. 3.12) с набором кювет, принцип действия которого основан на сравнении цвета пробы моторного масла с цветовой балльной шкалой согласно ASTM D1500 [68].



a



б



в

Рис. 3.12. Компаратор колориметрии (см. прилож., рис. П.1):
a – общий вид; *б* – набор кювет;
в – цветовая шкала моторного масла согласно ASTM D1500

3.6.2. Экспресс-метод определения сажи методом светопоглощения

Для определения сажи и продуктов окисления в моторном масле разработан малогабаритный фотометр на базе аппаратной платформы Arduino UNO на основе микроконтроллера ATmega328 [69] (рис. 3.13), принцип действия которого основан на фиксировании количества света, поглощенного слоем масла.

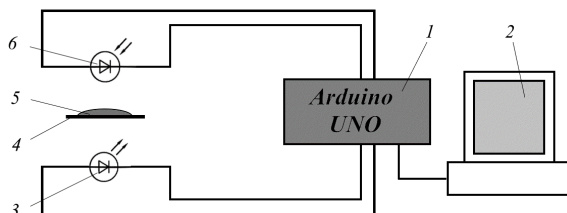


Рис. 3.13. Схема малогабаритного фотометра:
 1 – аппаратная платформа Arduino UNO; 2 – персональный компьютер;
 3 – светодиод; 4 – стеклянная подложка; 5 – капля масла; 6 – фотодиод

Для качественной оценки содержания сажи при помощи малогабаритного фотометра оценки фиксируется интенсивность светового потока, прошедшего через испытуемое и свежее масла, и определяется коэффициент светопоглощения λ по формуле

$$\lambda = \ln \frac{I_0}{I}, \quad (3.5)$$

где I_0 – интенсивность светового потока, прошедшего через свежее масло;

I – интенсивность светового потока, прошедшего через испытуемое масло.

Для количественной оценки содержания сажи в моторном масле в чистое моторное масло вводились загрязнители в виде сажи (технический углерод П-803) различной концентрации $C_{\text{саж}}$ (0 %, 1 %, 2 %, 3 %, 4 % и 5 %) и определялась интенсивность проходящего света I через масло при различных световых потоках (100, 200 и 300 лм). Результаты проведенных исследований представлены в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Зависимость интенсивности проходящего света I от концентрации сажи $C_{\text{саж}}$

Концентрация сажи $C_{\text{саж}}$, %	Интенсивность проходящего света I , лк, при световом потоке		
	100 лм	200 лм	300 лм
0	6814	45 925	54 612
1	836	8225	18 315
2	605	5695	12 724
3	305	3642	8334
4	103	1070	2477
5	54	546	1297

Расчитанные значения коэффициента светопоглощения λ по формуле (3.5) и соответствующие им значения концентрации сажи $C_{\text{саж}}$ (см. табл. 3.3) обрабатывались с использованием программы Excel построением графика зависимости с последующей аппроксимацией в виде прямолинейной зависимости (рис. 3.14).

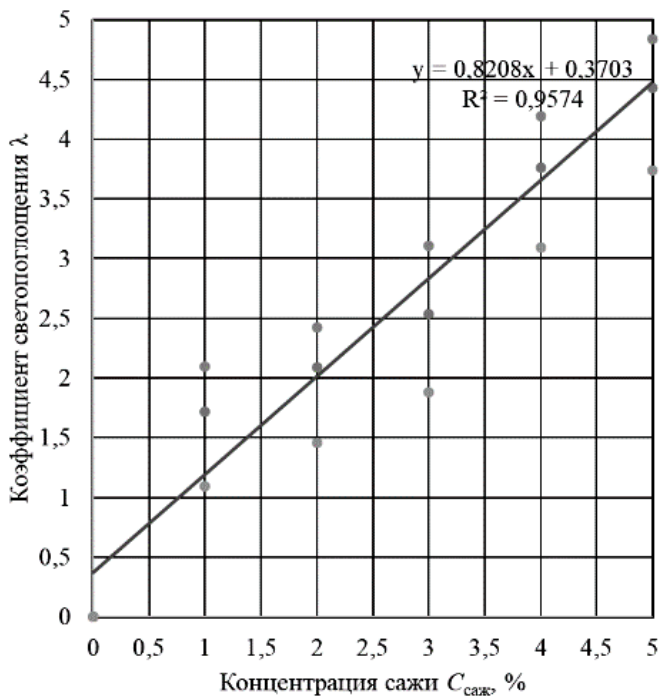


Рис. 3.14. Зависимость коэффициента светопоглощения λ от концентрации сажи $C_{саж}$ в моторном масле

Математическое выражение зависимости коэффициента светопоглощения от концентрации сажи имеет вид:

$$\lambda = 0,3703 + 0,8208C_{саж}. \quad (3.6)$$

Из выражения (3.6) получено уравнение, устанавливающее непосредственную взаимосвязь между концентрацией сажи $C_{саж}$ и коэффициентом светопоглощения λ :

$$C_{саж} = 1,22(\lambda - 0,37). \quad (3.7)$$

Выражение (3.7) позволяет определить количественное содержание сажи в работающем моторном масле.

3.7. Экспресс-метод патч-тестирования (мембранной фильтрации) для оценки загрязненности моторного масла механическими примесями

В настоящее время мембранная фильтрация находит применение для проведения исследований в химии, микробиологии, биохимии, медицине, пищевой промышленности. В зарубежных странах метод мембранной фильтрации, получивший название «патч-тестирование» (Patch Test), применяется также для анализа продуктов загрязнений топлив, смазочных материалов и других технических жидкостей. Однако в странах СНГ этот метод не получил широкого развития и применения.

Метод патч-тестирования на примере моторного масла работающего ДВС заключается в вакуумной фильтрации разбавленного образца масла через мембранный фильтр, высушивании фильтра и последующем анализе фильтрограммы (фильтра с осажденными на нем частицами загрязнений) различными методами.

Для оценки состояния топлив, смазочных материалов и технических жидкостей методами патч-тестирования разработаны различные стандарты: ISO, ASTM (American Society for Testing and Materials) и ГОСТ. В этих стандартах отражены методики определения следующих показателей качества исследуемых жидкостей:

- общая загрязненность нерастворимыми механическими примесями по изменению массы мембранного фильтра [70–74];
- размер частиц, их количество и класс чистоты жидкости проведением микроскопического исследования [75–78];
- форма и источник происхождения твердых частиц загрязнений проведением микроскопического исследования [79].

Принято, что частицы износа, имеющие условный размер до 5 мкм, соответствуют гидродинамическому режиму смазки; до 15 мкм – граничному режиму; при переходном режиме смазки со следами схватывания условный размер частиц износа не более 150 мкм, при коррозионно-механическом изнашивании – до 150 мкм, при катастрофическом изнашивании – до 1000 мкм [26].

Для проведения испытаний методом патч-тестирования в условиях АПК достаточно получить представление о количестве и размерах частиц загрязнений и изменении этих параметров в процессе эксплуатации ДВС.

Разработанные и изготовленные установки для патч-тестирования в лабораторных и полевых условиях представлены на рис. 3.15.

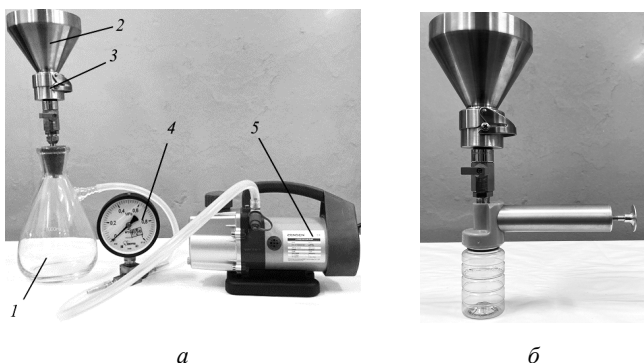


Рис. 3.15. Общий вид установок для патч-тестирования:
а – для лабораторных испытаний; б – для полевых испытаний;
1 – колба; 2 – воронка; 3 – фильтродержатель с мембранным фильтром;
4 – вакуумметр; 5 – вакуумный насос

Для проведения исследований в полевых условиях АПК модернизирована установка для патч-тестирования путем разработки новой воронки и концентрирующей прокладки. Использование новой воронки с выходным отверстием диаметром 10 мм и концентрирующей прокладки с центральным отверстием диаметром 3 мм позволяет локализовать процесс фильтрования и тем самым проводить осаждение частиц загрязнений на узком участке мембраны, что дает возможность проводить исследования в поле микроскопа (9 мм) МПБ-2 с увеличением 25 \times .

4. ЛАБОРАТОРИЯ «ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ МОТОРНОГО МАСЛА»

4.1. Назначение и оснащение лаборатории

Лаборатория предназначена для определения показателей качества свежего, работающего и отработанного моторного масла с использованием разработанных экспресс-методов и позволяет определять следующие показатели:

- плотность;
- вязкость и ее изменение;
- наличие и количество топлива (по температуре вспышки);
- наличие и количество воды;
- моюще-диспергирующие свойства;
- водородный показатель pH;
- загрязненность масла сажей;
- общую загрязненность масла механическими примесями.

Необходимые оборудование, инструмент, лабораторная посуда и расходные материалы, используемые для проведения каждого экспресс-метода, приведены табл. 4.1.

Таблица 4.1

Материалы, приспособления, инструменты и оборудование, необходимые для проведения экспресс-методов контроля моторного масла

Определяемый показатель	Необходимые материалы, приспособления, инструменты и оборудование
Плотность	Ареометр. Электронные весы с точностью измерений 0,005 г, стеклянный шприц объемом 10 см ³ , планшет или ноутбук с программой Excel
Вязкость, изменение вязкости	Вискозиметр стеклянный ВКЖ-4. Компаратор вязкости, шприц объемом 5–10 см ³
Содержание топлива	Закрытый электротигель, шприц (5–10 см ³), запальник, график зависимости содержания топлива от температуры вспышки или математические выражения

Определяемый показатель	Необходимые материалы, приспособления, инструменты и оборудование
Содержание воды	Электротигель с вставкой и визуализирующим стеклом, шприц (5–10 см ³)
МДС	Электротигель с набором держателей в виде колец, фиксатор капельницы, капельница с регулируемым объемом 10–50 мкл, фильтровальная бумага
Водородный показатель pH	Кислотно-основной индикатор (индикаторная бумага pHSCAN 4,0–7,0), эталонная цветовая шкала pH (pHSCAN 4,0–7,0), шприц (5 см ³ , 2 шт.), водно-спиртовой раствор (50 % дистиллированной воды, 50 % спирта технического), стеклянная пробирка с пробкой (5 см ³)
Наличие сажи (метод колориметрии)	Кюветы с различной толщиной зазора, шприц (2 см ³), компаратор колориметрии с цветовой шкалой ASTM D1500
Количество сажи (метод светопоглощения)	Малогобаритный фотометр, планшет или ноутбук, одноканальная цифровая регулируемая микропипетка
Загрязненность механическими примесями	Мембранный фильтр (диаметр – 47 мм, размер пор – 3 мкм), установка патч-тестирования, шприц (10 см ³ , 2 шт.), растворитель (например, уайт-спирит), закрытый электротигель с держателями мембранного фильтра, микроскоп МПБ-2

Кроме приборов, инструмента, лабораторной посуды и расходных материалов при проведении экспресс-методов используют технические жидкости (растворители Р-12, уайт-спирит, технический спирт, дистиллированную воду и др.), применяемые при испытаниях, а также для очистки и промывки оборудования и инструмента после их проведения.

Анализ свежего масла необходим для установления соответствия показателей качества нормативным документам, заявленным предприятиями-изготовителями, а также тех показателей, которые могли претерпеть изменения в процессе хранения и транспортировки.

К таким показателям качества относятся: плотность; вязкость; наличие воды; температура вспышки; общая загрязненность масла механическими примесями.

Для работающих моторных масел производится контроль за изменением всех показателей, определяемых в лаборатории, позволяющих оценить как работоспособность самого моторного масла, так и возможные неисправности систем работающего ДВС, которые могут привести к их отказам.

Контроль за изменением показателей качества отработанных моторных масел производится для оценки целесообразности их дальнейшего использования, а также для выявления неисправностей систем ДВС, в ряде случаев требующих их ремонта.

4.2. Методика отбора проб для проведения экспресс-методов

Методика предназначена для отбора проб из работающего ДВС. Для этого случая отбор забираемого масла невелик и составляет 220 см^3 .

Для осуществления методики изготовлен пробоотборник, представленный на рис. 4.1.

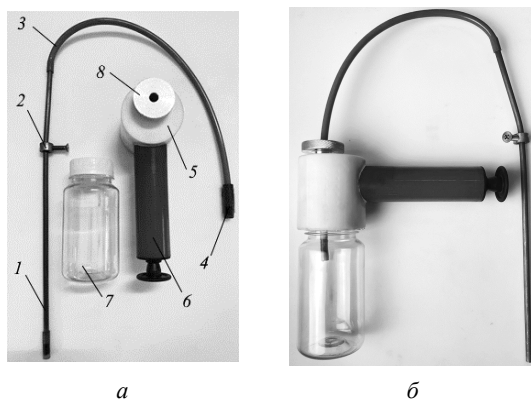


Рис. 4.1. Пробоотборник:
а – в разобранном виде; б – в собранном виде

Пробоотборник в разобранном виде (см. рис. 4.1, а) состоит из металлической трубки 1 с размещенным на ней задатчиком уровня 2

забора проб моторного масла и соединенной с ней гибкой эластичной трубкой 3, адаптера 5 с винтовой уплотнительной головкой 8, вакуумного насоса 6, прецизионно соединенного с адаптером 5, и контейнера 7 для отбора проб. Адаптер 5 с винтовой уплотнительной головкой 8 выполнен со сквозным отверстием. С противоположной стороны от винтовой уплотнительной головки 8 в адаптере нарезана внутренняя резьба для крепления контейнера 7. Концы металлической трубки и гибкой эластичной трубки содержат съемные заглушки 4 для предотвращения попадания загрязнений.

Для отбора проб моторного масла пробоотборник собирается следующим образом (см. рис. 4.1, б). К адаптеру 5 присоединяют контейнер 7 при помощи резьбового соединения. Предварительно сняв заглушки 4 с гибкой эластичной трубки 3 и металлической трубки 1, свободный конец эластичной трубки 3 пропускают через сквозное отверстие винтовой уплотнительной головки 8 и адаптера 5 в контейнер 7. При вкручивании винтовой уплотнительной головки 8 создается герметичность системы за счет уплотнения эластичной прокладки внутри адаптера 5.

В отличие от известных устройств, пробоотборник содержит металлическую трубку 1 с задатчиком уровня отбора пробы 2, которая позволяет извлекать пробы из картера двигателя на 5 см ниже верхнего уровня масла, предварительно определенного с помощью масляного щупа.

Отбор проб моторных масел осуществляют следующим образом.

Предварительно определяют уровень масла в картере с помощью масляного щупа. На металлической трубке 1 устанавливают задатчик уровня отбора пробы 2 таким образом, чтобы извлекать пробу из картера двигателя на 5 см ниже верхнего уровня масла.

Пробу отбирают из двигателя, работающего на холостом ходу, когда масло циркулирует в системе. Перед заменой масла пробу отбирают сразу после остановки двигателя.

Забор пробы производят в контейнер с помощью вакуумного насоса (рис. 4.2): вставляют металлическую трубку в отверстие маслоизмерительного щупа (рис. 4.2, а) и наполняют контейнер маслом (рис. 4.2, б). Контейнер плотно закрывают крышкой и наклеивают этикетку с указанием места забора пробы, даты забора,

наработки двигателя и моторного масла, марки трактора и масла (рис. 4.3).



а

б

Рис. 4.2. Методика отбора проб моторного масла

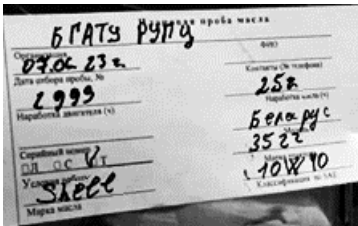


Рис. 4.3. Проба моторного масла

После взятия пробы гибкую эластичную трубку извлекают из адаптера и вместе с металлической трубкой промывают растворителем путем его пропускания через внутреннюю полость при помощи шприца (10 см³), а внешние поверхности трубок протирают салфеткой, смоченной тем же растворителем. После очистки на концы металлической трубки и гибкой эластичной трубки устанавливают заглушки.

4.3. Методики контроля показателей качества моторного масла

4.3.1. Методика экспресс-метода определения плотности

Для контроля плотности свежих и отработанных моторных масел, для которых забор пробы масла может составлять 200 см^3 и более, используют ареометр. В стеклянный цилиндр (3 39/265 ГОСТ 18481–81) наливают 150 см^3 моторного масла, в который затем, придерживая за верхний конец, опускают чистый и сухой ареометр (АНТ-2 650–1070 ГОСТ 18481–81) (рис. 4.4).



Рис. 4.4. Определение плотности при помощи ареометра АНТ-2 650–1070 ГОСТ 18481–81

После успокоения колебаний ареометра в масле снимают показания по границе раздела масла и окружающего воздуха. При отсчете глаза находятся на уровне мениска жидкости. Одновременно фиксируют температуру масла. Испытания повторяют трижды и находят среднее значение плотности.

Для работающих моторных масел, когда забор проб из ДВС для проведения всех испытаний составляет 220 см^3 , следует использовать экспресс-метод определения плотности, основанный на использовании весов марки ВК-300 и стеклянного шприца объемом 10 см^3 (ГОСТ 22967–90) (рис. 4.5).



a

б

Рис. 4.5. Оборудование и приспособления для экспресс-метода определения плотности моторного масла: а – весы ВК-300; б – стеклянный шприц

Экспресс-метод заключается в непосредственном взвешивании масла, нанесенного на весы при помощи шприца, первоначальным объемом 1 см^3 и дальнейшем последовательном поэтапном увеличении этой величины на 1 см^3 до достижения 10 см^3 (рис. 4.6). Полученные значения объемов и массы моторного масла обрабатывают с использованием программы Excel с построением графика зависимости массы от объема и, аппроксимируя ее в виде прямолинейной зависимости, получают уравнение, из которого определяют значение плотности (тангенс угла наклона прямой, соответствующий усредненному значению по десяти проведенным измерениям) для конкретного работающего масла.

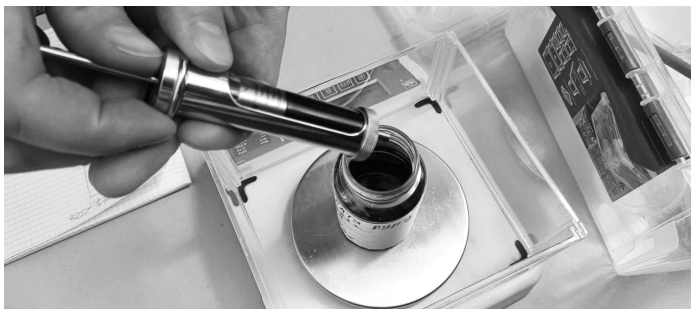


Рис. 4.6. Экспресс-метод определения плотности моторного масла (см. прилож., рис. П.2)

В качестве примера на рис. 4.7 представлен график зависимости массы от объема и получены уравнения с достоверностью, близкой к единице, для масла Shell Rimula 10W40 с наработкой 25 ч.

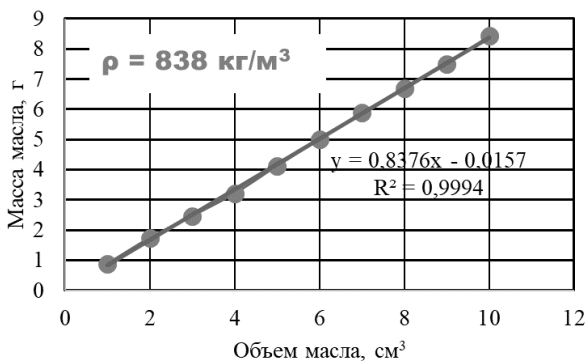


Рис. 4.7. График зависимости массы масла от его объема для определения плотности моторного масла

Значение измеренной плотности ρ_t при температуре t приводят к плотности ρ_{20} при температуре 20 °С по формуле

$$\rho_{20} = \rho_t + \gamma(t - 20),$$

где γ – поправочный коэффициент, зависящий от измеренной плотности (табл. 4.2).

Значения поправки для определения плотности при 20 °С

Плотность ρ_t , кг/м ³	Поправка γ	Плотность ρ_t , кг/м ³	Поправка γ
830–840	0,725	870–880	0,673
840–850	0,712	880–890	0,660
850–860	0,699	890–900	0,647
860–870	0,686	900–910	0,633

Допустимые значения плотности работающего моторного масла находятся в диапазоне значений 700–950 кг/м³.

4.3.2. Методика экспресс-метода определения вязкости

Для контроля вязкости свежих моторных масел согласно ГОСТ 33–2016 используют вискозиметр, например ВПЖ-4. Метод определения кинематической вязкости заключается в измерении калиброванным стеклянным вискозиметром времени истечения в секундах определенного объема моторного масла под действием силы тяжести при известной и постоянно контролируемой температуре. Кинематическая вязкость является произведением измеренного времени истечения на постоянную вискозиметра.

Для определения вязкости работающего/отработанного масел используется экспресс-метод с применением компаратора вязкости, позволяющего произвести сравнительную оценку испытуемого масла по сравнению со свежим.

Сущность экспресс-метода заключается в сравнении скоростей течения работающего/отработанного и свежего моторных масел по измерительным каналам компаратора вязкости.

Для реализации экспресс-метода используют компаратор вязкости (рис. 4.8) и дозирующий шприц объемом 5–10 см³.

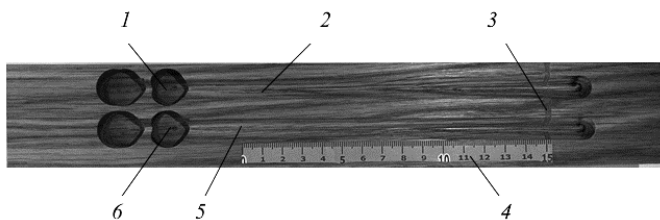


Рис. 4.8. Компаратор вязкости:

- 1, 6 – резервуары для заливки работающего и свежего масел;
 2, 5 – каналы движения работающего/отработанного и свежего масел;
 3 – ограничительная линия; 4 – линейка

Экспресс-метод осуществляется следующим образом. Компаратор вязкости устанавливают в горизонтальное положение. В резервуар 1 при помощи шприца заливают работающее/отработанное масло объемом 4 см^3 . В резервуар 6 при помощи шприца заливают свежее масло объемом 4 см^3 . Оба образца заливаемых масел должны иметь одинаковую температуру. Компаратор вязкости приводят в наклонное положение (угол $\alpha = 20^\circ$) и дают маслам течь по каналам 2 и 5 (рис. 4.9). Когда один из образцов масла достигнет ограничительной линии 3 на конце линейки 4, компаратор возвращают в горизонтальное положение.



Рис. 4.9. Установка компаратора в рабочее положение

Измеряют путь x_2 , пройденный работающим/отработанным маслом с вязкостью μ_2 , и путь x_1 , пройденный свежим маслом с вязкостью μ_1 , и определяют относительное изменение вязкости по формуле

$$\frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu_1} = \frac{x_2 - x_1}{x_2}.$$

Если образец работающего/отработанного масла достиг ограничительной линейки первым, то его вязкость ниже, чем у свежего масла, в противном случае вязкость работающего/отработанного масла выше, чем у свежего. Изменение вязкости оценивают в процентах.

После проведения испытаний производят очистку компаратора.

Предельный допустимый уровень отклонения значений кинематической вязкости работающего/отработанного моторного масла от свежего составляет +30 % и –20 %.

4.3.3. Методика экспресс-метода определения наличия и количества топлива

Сущность метода заключается в определении наличия и количества топлива в моторном масле по температуре вспышки в закрытом тигле.

Для осуществления экспресс-метода используют закрытый электротигель (рис. 4.10), мерную ложку (5 см³) и диагностическую кривую (рис. 4.11) или математические выражения зависимости количества топлива в масле от температуры вспышки.

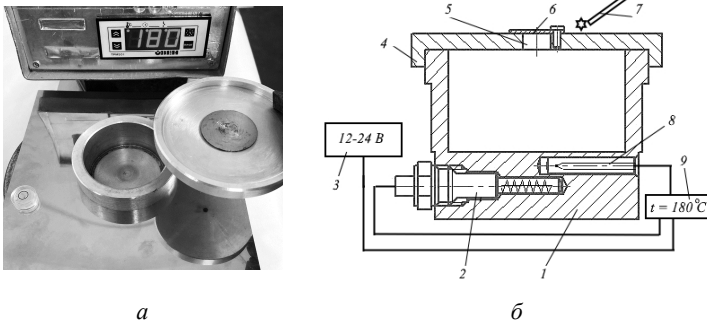


Рис. 4.10. Электротигель для реализации экспресс-метода определения наличия топлива в моторном масле:

а – общий вид; *б* – схема;

1 – корпус; 2 – электронагреватель (свечи накаливания);

3 – аккумулятор; 4 – крышка; 5 – центральное отверстие;

6 – заглушка; 7 – запальник; 8 – термопара;

9 – система контроля и регулирования температуры

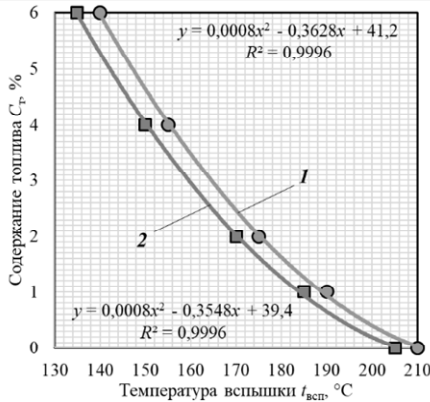


Рис. 4.11. График зависимости содержания топлива от температуры вспышки моторного масла:
1 – присутствие вспышки; 2 – отсутствие вспышки

Для качественного контроля наличия топлива в моторном масле электротигель с закрытой крышкой нагревают до температуры (180 ± 5) °С. Крышку электротигля открывают, заливают в него мерной ложкой 5 см^3 моторного масла, закрывают крышку. Выдерживают 1 мин для прогрева масла до температуры электротигля. Приоткрывают крышку, подносят пламя запальника и фиксируют присутствие/отсутствие вспышки. Отсутствие вспышки при такой температуре свидетельствует о работоспособности масла, т. к. содержание топлива в нем не превышает 1,5 %.

После проведения испытаний производят очистку рабочей поверхности устройства.

Количественную оценку содержания топлива производят аналогично качественной оценке, при этом первоначальную температуру нагрева выбирают равной от 210 °С до 205 °С, постепенно снижают ее с интервалом 5 °С, фиксируют максимальную температуру отсутствия вспышки и минимальную температуру ее присутствия и определяют содержание топлива в моторном масле по графику зависимости (см. рис. 4.11) или из математического выражения:

$$C_{т.н} = 0,0008t_{всп.н}^2 - 0,3628t_{всп.н} + 41,2; \quad (4.1)$$

$$C_{т.к} = 0,0008t_{всп.к}^2 - 0,3548t_{всп.к} + 39,406,$$

где $C_{т.н}$, $C_{т.к}$ – концентрации топлива, соответствующие температурам присутствия $t_{всп.н}$ и отсутствия $t_{всп.к}$ вспышки соответственно.

Состояние масла при концентрации топлива не более 3 % считается допустимым; не более 5 % – предельно допустимым; более 5 % – аварийным.

4.3.4. Методика экспресс-метода определения наличия и количества воды

Метод применяется для определения наличия и количественной оценки содержания воды в моторном масле органолептическим методом.

Сущность метода заключается в определении воды в моторном масле по поведению капли моторного масла при ее нанесении на нагретую поверхность.

Для осуществления экспресс-метода используют закрытый электротигель с вставкой с конической полостью 10 и визуализирующим стеклом 11 (рис. 4.12) и офтальмологическую пипетку.

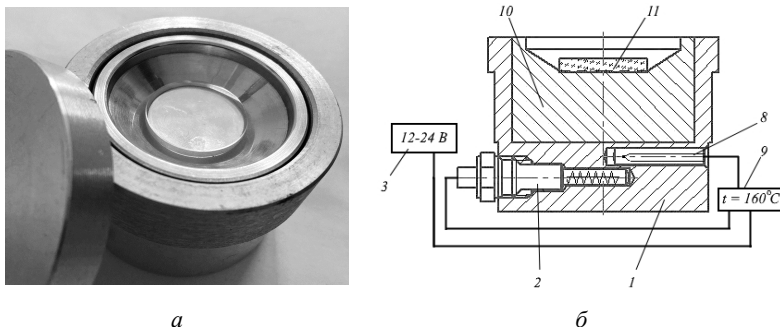


Рис. 4.12. Электротигель со специальными приспособлениями для определения наличия и количества воды в моторном масле: а – общий вид; б – схема

Экспресс-метод осуществляется следующим образом. Электротигель с конической вставкой и визуализирующим стеклом нагревают до температуры $(160 \pm 5) ^\circ\text{C}$. Тщательно перемешивают пробу

моторного масла. Наносят каплю масла на визуализирующее стекло с помощью офтальмологической пипетки. Производят наблюдение за поведением капли масла на нагретой поверхности. Анализируют поведение капли масла на нагретой поверхности (рис. 4.13).

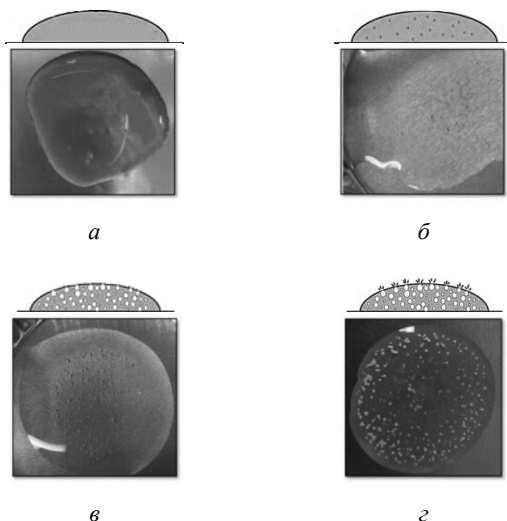


Рис. 4.13. Результаты наблюдения за каплей (см. прилож., рис. П.3)

Отсутствие появления пузырей в капле на нагретой поверхности в течение нескольких секунд свидетельствует, что моторное масло не содержит воду (см. рис. 4.13, а). При образовании мелких пузырей размером 0,5 мм, которые быстро исчезают, содержание воды составляет 0,05 %–0,10 % (см. рис. 4.13, б). В случае образования пузырей размером ≈ 2 мм, которые при перемещении к центру капли увеличиваются до 4 мм, содержание воды составляет 0,1 %–0,2 % (см. рис. 4.13, в). При образовании пузырей размером 2–3 мм, которые увеличиваются до 4 мм, а также повторном их образовании, сопровождающимся сильным пузырением и треском, содержание воды составляет более 0,3 % (см. рис. 4.13, г).

После проведения испытаний производят очистку рабочей поверхности устройства.

Предельно допустимое содержание воды в моторном масле составляет не более 0,3 %.

4.3.5. Методика экспресс-метода оценки МДС и наличия топлива

Метод «капельной пробы» применяется для определения моуще-диспергирующих свойств, а также загрязненности масла механическими примесями, водой и топливом.

Сущность метода заключается в нанесении капли моторного масла на фильтровальную бумагу и последующем анализе полученного масляного пятна.

Для осуществления экспресс-метода используют фильтровальную бумагу 13 SvetoCopy (ГОСТ Р 57641–2017), закрытый электротигель с набором держателей в виде колец 12, фиксатор капельницы 15 и капельницу 14 (одноканальная микропипетка JOANLAB с регулируемым объемом 10–50 мкл) (рис. 4.14).

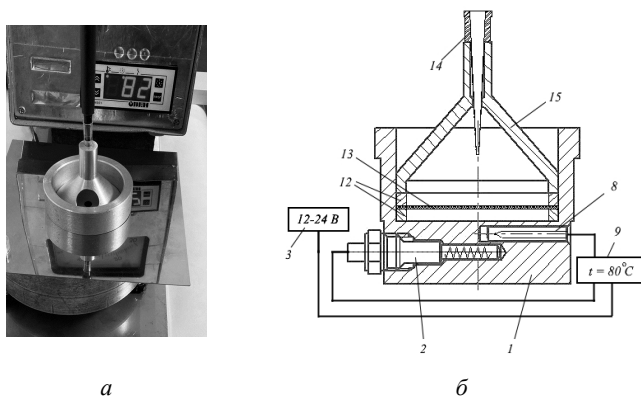


Рис. 4.14. Электротигель со специальными приспособлениями для реализации экспресс-метода определения МДС моторного масла (нанесение капли): а – общий вид; б – схема

Экспресс-метод осуществляется следующим образом. Для реализации метода «капельной пробы» при определении МДС моторного масла из электротигля извлекают вставку с визуализирующим стеклом, устанавливают на дно два кольца держателей, между которыми располагают фильтровальную бумагу. Устанавливают на верхнее кольцо держателей фиксатор капельницы с капельницей на фиксированном расстоянии от фильтровальной бумаги, равном 12 мм,

и наносят первую каплю моторного масла объемом 15 мкл. Удаляют фиксатор капельницы с капельницей из электротигля, на верхнем кольце держателей располагают фильтровальную бумагу и третье кольцо держателей. Устанавливают на третье кольцо держателей фиксатор капельницы с капельницей и аналогично наносят вторую каплю моторного масла. Аналогичным образом наносят третью каплю моторного масла. Закрывают электротигель крышкой и устанавливают систему контроля и регулирования температуры на температуру $(80 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ (рис. 4.15). Время установления температуры электротигля до заданной температуры составляет 4 мин. Процесс формирования хроматограмм на фильтровальной бумаге осуществляется в течение 30–40 мин.

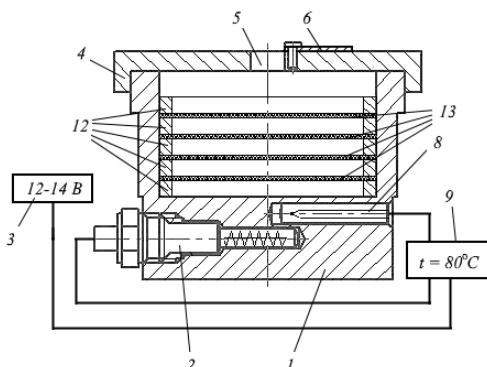


Рис. 4.15. Схема электротигля для получения хроматограмм

После сушки фотографируют полученное масляное пятно (хроматограмму). На бумажной хроматограмме в сформированном масляном пятне анализируют четыре зоны (рис. 4.16).

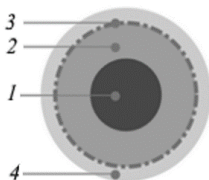


Рис. 4.16. Зоны масляного пятна на хроматограмме:
1 – ядро; 2 – зона диффузии; 3 – зона воды; 4 – зона топлива

Каждая зона имеет свои характерные особенности [51] (рис. 4.17).

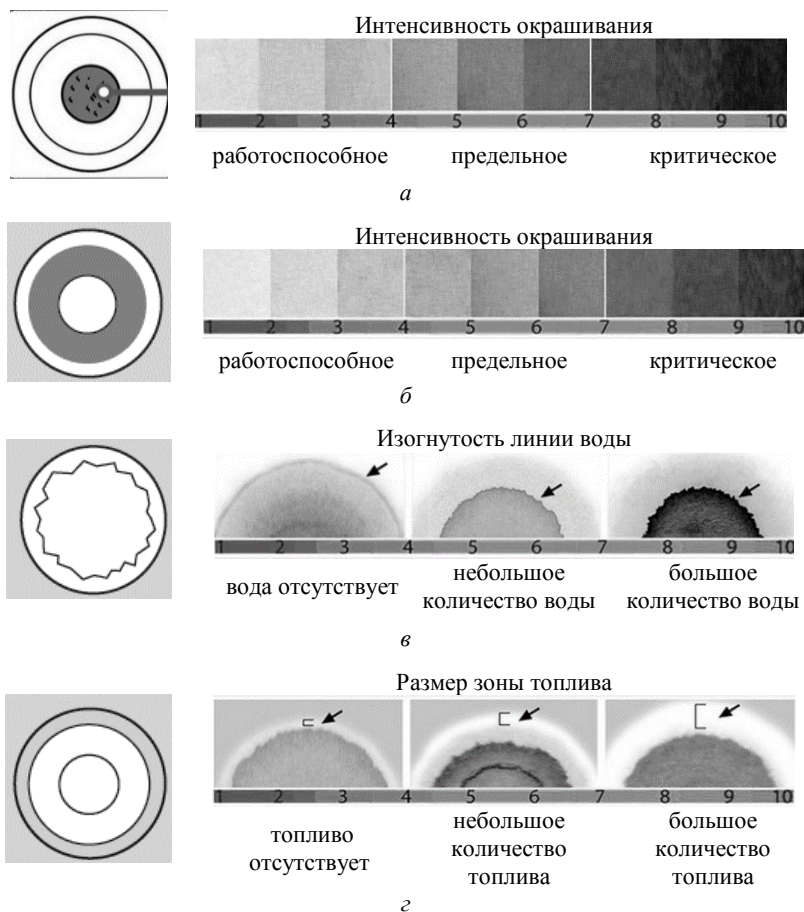


Рис. 4.17. Характерные особенности зон масляного пятна:
a – ядро; *б* – диффузионная зона; *в* – зона воды; *г* – зона топлива [51]

В зоне ядра *I* осаждаются частицы сажи и механических примесей, неспособные проникать в поры фильтровальной бумаги, а также гелеобразные продукты термического разложения, окисления и полимеризации масла (асфальтены, карбены, карбоиды) и находящиеся в нем продукты неполного сгорания топлива. Эта зона хорошо очерчена при небольшом пробеге двигателя и рабочем состоянии моторного масла. Интенсивность ее окраски характеризует количество механических примесей и гелеобразных продуктов (см. рис. 4.17, *a*).

В зоне диффузии 2 располагаются мелкие частицы механических примесей и сажи, способные проникать в поры бумаги и перемещаться. Эта зона наиболее показательна, т. к. ее ширина характеризует самые важные при эксплуатации свойства масла – его моюще-диспергирующую способность. Данные свойства определяют, насколько успешно масло справляется с задачами очищения деталей двигателя, а также расщепления и предотвращения образования наиболее опасных крупных комков загрязнений. Отсутствие границы между зоной диффузии и зоной ядра свидетельствует о потере моюще-диспергирующей способности из-за срабатывания соответствующих присадок (см. рис. 4.17, б).

Зона воды 3 представляет собой ровный невидимый контур, если в масле нет воды. Если же масло обводнено, то контур представляет собой ломаную, зигзагообразную линию (см. рис. 4.17, в). Если в масле кроме воды содержится охлаждающая жидкость – антифриз или тосол, – то вокруг контура появляется желтое кольцо.

Зона топлива 4 – это светлый ореол, ширина которого зависит от количества несгоревшего топлива, проникшего в масло (см. рис. 4.17, г). Зона хорошо различима при просмотре хроматограммы на просвет.

Для оценки МДС определяют показатель диспергирующей способности моторного масла путем измерения диаметра ядра d и диаметра диффузионной зоны D (рис. 4.18, а). Наличие топлива определяют путем измерения общего диаметра масляного пятна D_1 (рис. 4.18, б).

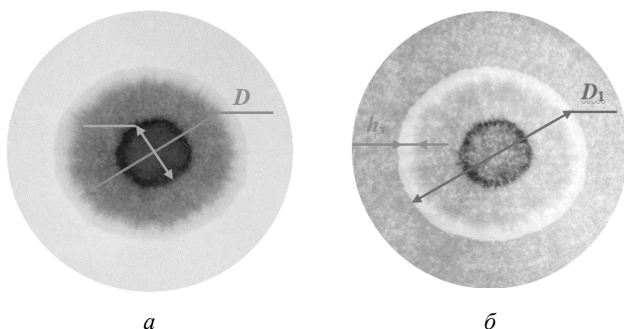


Рис. 4.18. Измеряемые величины для расчета ДС (d , D) и наличия топлива (D_1 , h_r) в моторном масле (см. прилож., рис. П.4): а – вид спереди; б – вид спереди на просвет

Диспергирующую способность моторного масла рассчитывают по формуле [62]

$$ДС = 1 - \frac{d^2}{D^2}. \quad (4.2)$$

Толщиной светлого ореола h_t характеризуют наличие топлива в моторном масле:

$$h_t = \frac{D_1 - D}{2}. \quad (4.3)$$

Масло считают работоспособным, если значение ДС составляет 0,3 и более, балльные оценки зон ядра, диффузии, изогнутости воды и топлива – менее 7.

4.3.6. Методика экспресс-метода определения водородного показателя рН

Метод применяется для оценки показателей нейтрализующих, противоизносных и противозадирных свойств моторных масел по комплексному водородному показателю рН с использованием кислотно-основного индикатора (рН-индикатор).

Сущность метода заключается в определении водородного показателя рН по изменению цвета рН-индикатора в растворе моторного масла.

Для осуществления экспресс-метода используют кислотно-основной индикатор (индикаторная бумага рНSCAN 4,0–7,0 с шагом 0,2) (рис. 4.19), эталонную цветовую шкалу рН (рис. 4.20), шприц (5 см³, 2 шт.), водно-спиртовой раствор (50 % дистиллированной воды, 50 % спирта технического), стеклянную пробирку с пробкой (5 см³).

Экспресс-метод осуществляется следующим образом. Первый шприц заполняют исследуемым моторным маслом объемом 1 см³.

При помощи второго шприца в первый шприц с маслом добавляют водно-спиртовой раствор объемом 1 см³ (50 % дистиллированной воды, 50 % спирта технического). Тщательно перемешивают масло

с водно-спиртовым раствором в шприце и дают отстояться в течение 3–5 мин до отделения масла от водно-спиртового раствора. Держа шприц строго вертикально, аккуратно сливают водно-спиртовой раствор в стеклянную пробирку, не допуская попадания в нее масла. Опускают в стеклянную пробирку индикаторную бумагу pHSCAN 4,0–7,0 и через 5–10 с извлекают.



Рис. 4.19. Индикаторная бумага pHSCAN 4,0

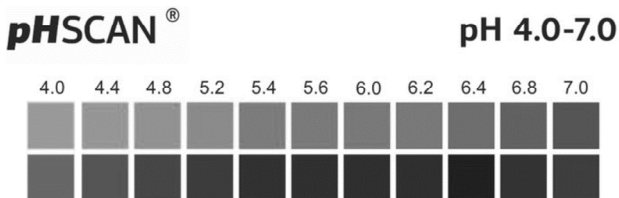


Рис. 4.20. Эталонная цветовая шкала pH (см. прилож., рис. П.5)

Обработку результатов осуществляют в течение 1 мин после извлечения индикаторной бумаги из пробирки. Показания pH определяют путем сравнения цвета индикаторной бумаги с эталонной цветовой шкалой pH.

Состояние масла при значении показателя pH, равном 6 и выше, считается работоспособным; 5,5–5,0 – предельным; 5,0 и ниже – аварийным.

Цветовая шкала 1 может свободно перемещаться в горизонтальном направлении. Для анализа моторного масла были специально изготовлены кюветы 5 из предметных стекол с размерами 25,4×76,2×1 мм и фиксированной толщиной зазора 1, 2 и 3 мм. Кювета 5 с исследуемым маслом крепится на задней стороне передней панели на уровне смотрового окна 2 с помощью прижимного устройства 4.

Экспресс-метод осуществляется следующим образом. Пробу исследуемого моторного масла заливают в кюветы при помощи шприца (2 см³), сравнивают с цветовой шкалой ASTM D1500, расположенной на компараторе, и оценивают цвет масла в баллах. Осветитель располагают на расстоянии 80 мм от кюветы. Цвет пробы записывают в виде условного обозначения цветового индекса ASTM, соответствующего ей по цвету (например, «цвет 7,5 по ASTM»).

Масло находится в работоспособном состоянии (по содержанию сажи и продуктов окисления), если его цвет не превышает 6 баллов ASTM D1500.

4.3.8. Методика определения сажи экспресс-методом светопоглощения

Метод применяется для определения содержания сажи и продуктов окисления в моторном масле в условиях АПК с использованием малогабаритного фотометра.

Сущность метода заключается в сравнении интенсивности светового потока, прошедшего через образец испытуемого и свежего масла, характеризуемой коэффициентом светопоглощения. Возрастание коэффициента светопоглощения свидетельствует об увеличении содержания сажи и продуктов окисления в моторном масле.

Для осуществления экспресс-метода используют малогабаритный фотометр (рис. 4.22), планшет или ноутбук, одноканальную цифровую регулируемую микропипетку JOANLAB с регулируемым объемом 10–50 мкл.

Экспресс-метод осуществляется следующим образом. Для качественной оценки содержания сажи на стеклянную подложку устанавливают металлическую пластину с отверстием. При помощи одноканальной цифровой регулируемой микропипетки в отверстие пластины помещают каплю испытуемого масла объемом 25 мкл и выдерживают в течение 30 с для ее растекания.

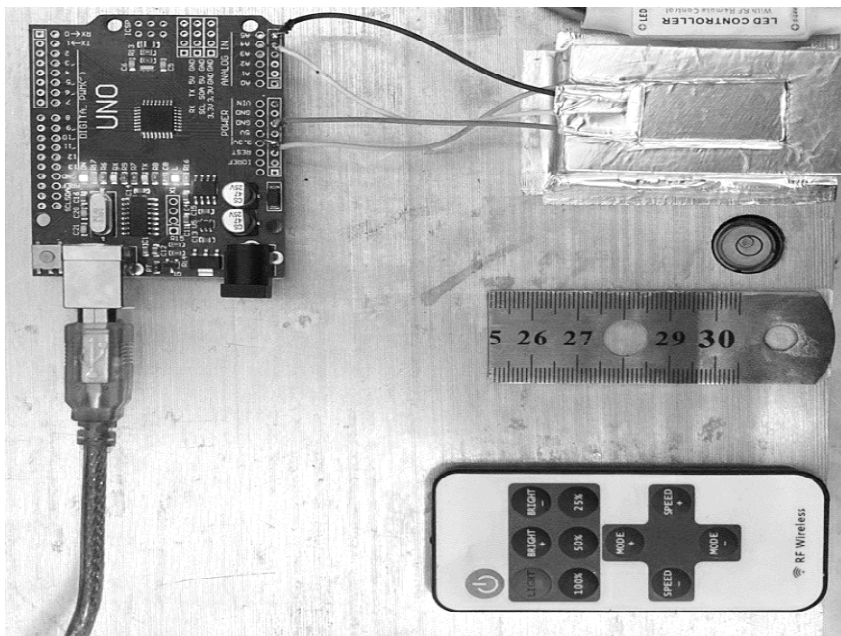


Рис. 4.22. Малогабаритный фотометр

Стеклянную подложку с металлической пластиной и каплей размещают в ячейке фотометра. Фиксируют интенсивность светового потока, прошедшего через испытуемое масло на планшете или ноутбуке. Повторяют те же действия со свежим маслом.

Светопоглощение масла характеризуют коэффициентом светопоглощения λ , определяемого по формуле (3.5).

Для количественной оценки концентрацией сажи $C_{\text{саж}}$ используют зависимость

$$C_{\text{саж}} = 1,22(\lambda - 0,37).$$

Масло находится в работоспособном состоянии по содержанию сажи, если ее количество не превышает 3 %–5 %.

4.3.9. Методика экспресс-метода определения общей загрязненности масла механическими примесями патч-тестированием

Метод патч-тестирования (мембранной фильтрации) применяется для оценки загрязненности моторного масла механическими примесями.

Сущность метода заключается в осаждении механических частиц загрязнений на мембранном фильтре и последующем анализе полученных фильтрограмм (патч-тестов), сушке фильтра и последующем анализе фильтрограммы методами микроанализа.

Для осуществления экспресс-метода используют мембранный фильтр МФАС-НВ ВЛАДИПОР (диаметр 47 мм, размер пор 3 мкм), установку патч-тестирования с вакуумным насосом, шприц (10 см³, 2 шт.), растворитель (например, уайт-спирит), закрытый тигель с держателями, микроскоп МПБ-2 (рис. 4.23).

Экспресс-метод осуществляется следующим образом. Пробу масла объемом 1 см³ с помощью шприца заливают в колбу, добавляют в колбу 20 см³ растворителя и тщательно перемешивают. Концентрирующую прокладку устанавливают в фильтродержателе, размещают на ней мембранный фильтр и воронку. Пропускают пробу разбавленного растворителем моторного масла через мембранный фильтр с помощью вакуумного насоса. Промывают мембранный фильтр, пропуская 20 см³ растворителя. Мембранный фильтр с осажденными механическими частицами загрязнений (фильтрограмму) сушат в закрытом электротигле (см. рис. 4.15) при температуре (80 ± 5) °С в течение 20 мин. Полученную фильтрограмму анализируют при помощи микроскопа МПБ-2.

Системы трибосопряжений ДВС находятся в работоспособном состоянии при размерах частиц загрязнений в моторном масле в пределах 5–15 мкм, в критическом – 15–150 мкм, в аварийном – 150 мкм и более.

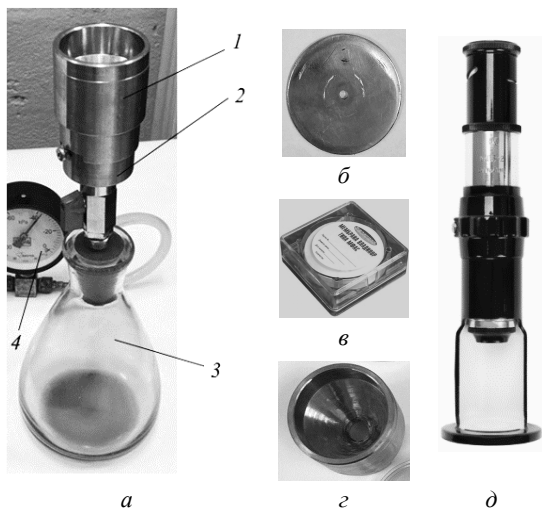


Рис. 4.23. Установка для патч-тестирования:
 а – общий вид; б – концентрирующая прокладка
 с центральным отверстием диаметром 3 мм;
 в – набор мембранных фильтров;
 г – воронка с выходным отверстием
 диаметром 10 мм; д – микроскоп МПБ-2;
 1 – воронка; 2 – фильтродержатель; 3 – колба;
 4 – вакуумметр, подключенный к вакуумному насосу

4.4. Оценка состояния систем ДВС по изменению свойств моторного масла

По исследованию изменения свойств моторного масла можно оценить его состояние: работоспособное, критическое или аварийное, т. е. масло подлежит замене (табл. 4.3).

Разработанные экспресс-методы с использованием оборудования, инструмента, материалов из лаборатории позволяют определить свойства свежего масла, а также оценить работоспособность моторного масла в процессе эксплуатации ДВС и сделать заключение о возможности его дальнейшего использования. По изменению свойств моторного масла можно прогнозировать нарушения в работе различных систем ДВС (табл. 4.4) и своевременно предупреждать возможные отказы.

Таблица 4.3

Оценка состояния моторного масла по изменению его свойств

Свойство моторного масла	Тип двигателя	Состояние моторного масла		
		работоспособное	критическое	аварийное
Изменение вязкости, % от свежего	дизельный	от 0 до +25 от 0 до -15	от +25 до +30 от -15 до -20	+30 и более -20 и более
	бензиновый	от 0 до +15 от 0 до -15	от +15 до +20 от -15 до -20	+20 и более -20 и более
Содержание топлива, %, не более	дизельный	от 0 до 3	от 3 до 5	5 и более
	бензиновый			
Содержание воды, %, не более	дизельный	от 0 до 0,25	от 0,25 до 0,30	0,3 и более
	бензиновый	от 0 до 0,3	от 0,3 до 0,5	0,5 и более
МДС, ДС, усл. ед.	дизельный	0,35 и более	от 0,30 до 0,35	0,3 и менее
	бензиновый			
Водородный показатель рН, баллы	дизельный	6 и более	от 5 до 6	5 и менее
	бензиновый			
Наличие сажи, баллы	дизельный	5 и менее	от 5 до 6	6 и более
	бензиновый	–	–	–
Количество сажи, %	дизельный	3 и менее	от 3 до 5	5 и более
	бензиновый	–	–	–
Загрязненность механическими примесями (размер частиц), мкм	дизельный	от 5 до 15	от 15 до 150	150 и более
	бензиновый			

Таблица 4.4

Взаимосвязь показателей качества моторного масла и их изменения с предполагаемыми неисправностями ДВС

Определяемый показатель	Причина изменения показателя	Предполагаемые неисправности ДВС
Плотность:		
– увеличение	– испарение легких нефтяных фракций; – генерирование нерастворимых механических примесей (продукты износа, пыль, сажа)	– перегрев двигателя из-за неисправности системы охлаждения; – износ деталей трибо-сопряжений ДВС, неисправности работы воздушного фильтра, неисправности топливной системы
– снижение	разбавление топливом	неисправности топливной системы
Вязкость:		
– увеличение	– загрязнение механическими примесями; – попадание воды; – температурная деструкция при перегреве	– износ деталей трибо-сопряжений ДВС, неисправности работы воздушного фильтра; – неисправность системы охлаждения; – неисправность системы охлаждения
– снижение	загрязнение топливом	неисправность топливной системы
Содержание воды	–	– неисправность системы охлаждения из-за негерметичности или износа уплотнений; – преждевременный износ и выход из строя подшипников, шестерен, поршней и других деталей пар трения за счет снижения смазывающей способности масла; – коррозия чугунных и стальных деталей в результате водородного охрупчивания

Продолжение таблицы 4.4

Определяемый показатель	Причина изменения показателя	Предполагаемые неисправности ДВС
Содержание топлива	–	неисправности топливной системы (износ поршневых колец, нарушение сопряжений цилиндропоршневой группы, неисправность топливных форсунок, нарушение уплотнений топливного насоса)
МДС	<ul style="list-style-type: none"> – загрязнение механическими примесями; – попадание воды; – загрязнение топливом; – срабатывание моющих и диспергирующих присадок 	<ul style="list-style-type: none"> – износ деталей трибосопряжений ДВС, неисправности работы воздушного фильтра; – неисправность системы охлаждения; – неисправность топливной системы; – образование задиров рабочих поверхностей трибосопряжений деталей шатунно-поршневой группы из-за снижения смазывающей способности; отложение частиц нерастворимых загрязнений на поверхности деталей ДВС (газораспределительного механизма, маслопроводов, на дне картера)
Водородный показатель рН	повышение кислотности	коррозионное разрушение деталей из стали, чугуна, меди и медных сплавов, пластмасс и герметизирующих материалов
Содержание сажи	–	– неисправность топливной системы;

Определяемый показатель	Причина изменения показателя	Предполагаемые неисправности ДВС
		– засорение фильтров, вызывающее повышенный абразивный износ деталей ДВС; – закупорка масляных каналов в результате образования нагара и шлама
Содержание механических примесей	– попадание абразивных частиц пыли; – попадание воды и топлива	– износ деталей трибосопряжений ДВС, неисправности работы воздушного фильтра; – нарушение граничного трения в трибосопряжениях

Таким образом, разработанные методики и устройства и приспособления для их реализации позволяют оценить показатели качества моторных масел и возможность их дальнейшего использования, а по их изменению – сделать заключение о возможных неисправностях систем ДВС.

5. АПРОБАЦИЯ РАЗРАБОТАННЫХ МЕТОДИК ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ

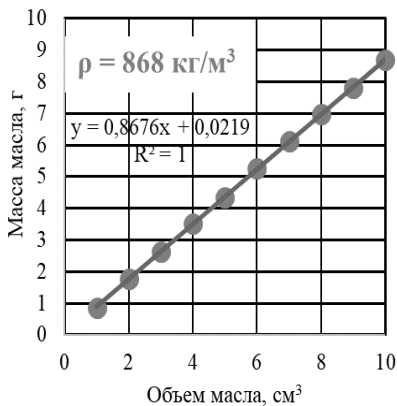
5.1. Примеры апробации экспресс-метода определения плотности

Апробация экспресс-метода определения плотности проводилась на маслах марок Q8Oils 10W40 (0 ч наработки), Лукойл М 10Г₂к (60 ч), Лукойл Авангард 10W40 (135 ч) и Shell Rimula 10W40 (250 ч). Результаты экспериментальных значений массы различного объема моторных масел представлены в табл. 5.1, а полученные при помощи программы Excel уравнения зависимости массы от объема, позволяющие определить плотность моторного масла, приведены на рис. 5.1.

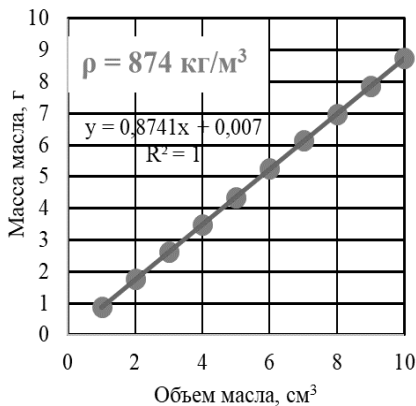
Таблица 5.1

Экспериментально установленная зависимость массы, г,
от объема рассматриваемых моторных масел

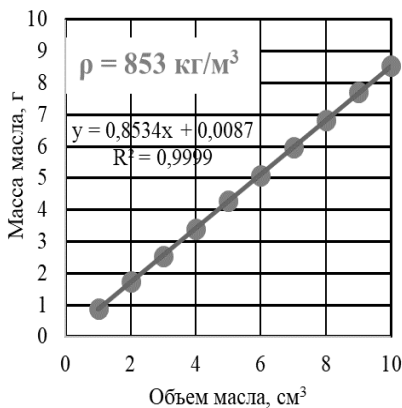
Объем, см ³	Марка масла (наработка)			
	Q8Oils 10W40 (0 ч)	Лукойл М 10Г ₂ к (60 ч)	Лукойл Авангард 10W40 (135 ч)	Shell Rimula 10W40 (250 ч)
1	0,865	0,880	0,875	0,870
2	1,760	1,765	1,735	1,735
3	2,625	2,620	2,555	2,565
4	3,510	3,500	3,410	3,380
5	4,345	4,360	4,295	4,215
6	5,255	5,265	5,090	5,100
7	6,115	6,155	5,965	5,905
8	6,965	6,985	6,835	6,730
9	7,810	7,865	7,705	7,590
10	8,685	8,750	8,560	8,430



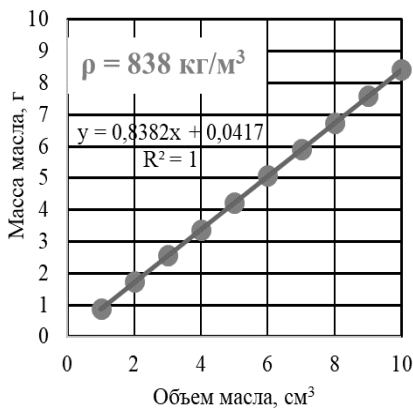
a



б



в



г

Рис. 5.1. График зависимости массы от объема и полученные уравнения, позволяющие определять плотность моторного масла:

a – Q8Oils 10W40 (0 ч); *б* – Лукойл М 10Г₂к (60 ч);

в – Лукойл Авангард 10W40 (135 ч); *г* – Shell Rimula 10W40 (250 ч)

Приведенные примеры апробации свидетельствуют о том, что рекомендуемая методика позволяет определить плотность моторного масла с достоверностью аппроксимации $R^2 \approx 1$.

5.2. Примеры апробации экспресс-метода определения вязкости

Апробация экспресс-метода определения вязкости проводилась на маслах марок Лукойл Авангард 10W40 (215 и 250 ч наработки) и Shell Rimula 10W40 (70 и 150 ч наработки). Результаты эксперимента представлены на рис. 5.2, а полученные значения изменения вязкости, рассчитанные по формуле (3.4), – в табл. 5.2.

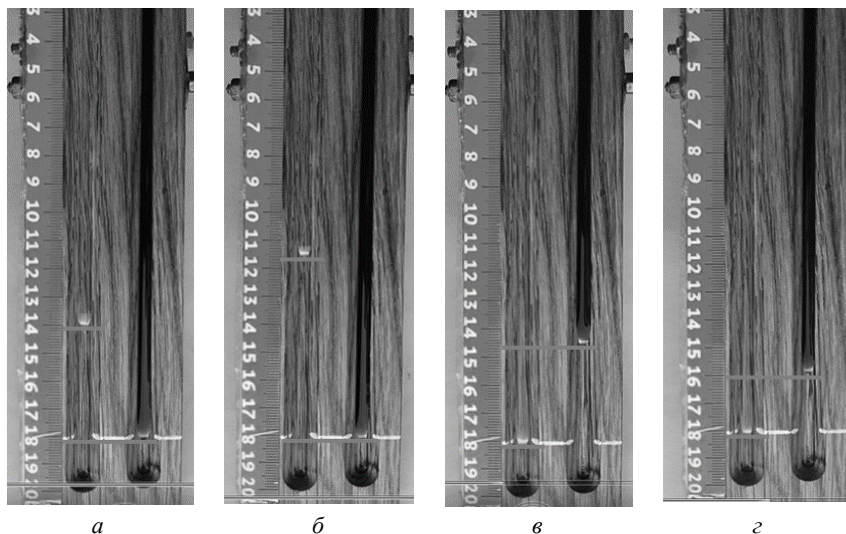


Рис. 5.2. Результаты апробации экспресс-метода определения вязкости моторного масла:

а – Лукойл Авангард 10W40 (215 ч); *б* – Лукойл Авангард 10W40 (250 ч);
в – Shell Rimula 10W40 (70 ч); Shell Rimula 10W40 (150 ч)

Таблица 5.2

Изменение вязкости работающих моторных масел

Марка масла (наработка)	Лукойл Авангард 10W40 (215 ч)	Лукойл Авангард 10W40 (250 ч)	Shell Rimula 10W40 (70 ч)	Shell Rimula 10W40 (150 ч)
Изменение вязкости, %*	-22,8	-36,7	+25,9	+13,9

* Знак «-» показывает снижение вязкости; знак «+» – повышение.

Приведенные примеры апробации свидетельствуют о том, что рекомендуемая методика позволяет определить изменение вязкости моторного масла работающего ДВС по сравнению со свежим. Полученные результаты показывают, что по значениям изменения вязкости масла Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 215 и 250 ч находятся в аварийном состоянии, а масло Shell Rimula 10W40 с наработкой 70 ч в критическом состоянии (см. табл. 4.3).

5.3. Примеры апробации экспресс-метода определения наличия и количества топлива

Апробация экспресс-метода определения наличия и количества топлива проводилась на маслах марок Shell Rimula 10W40 (125 ч наработки), Лукойл Авангард 10W40 (150 ч) и Shell Helix ultra extra 5W30. Результаты эксперимента представлены на рис. 5.3.

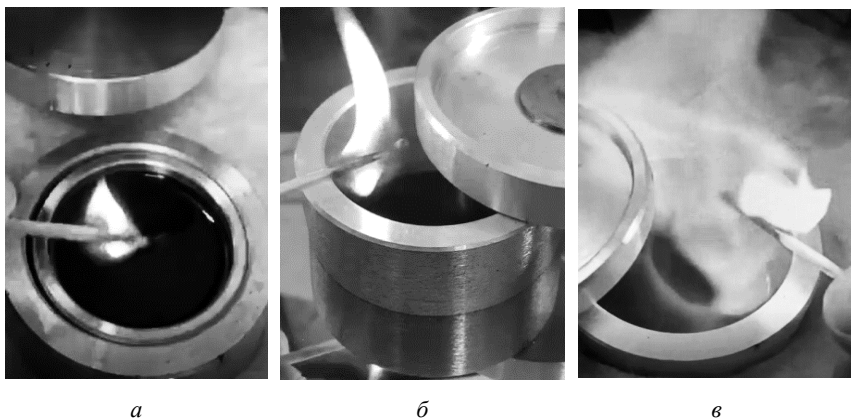


Рис. 5.3. Результаты апробации экспресс-метода определения наличия топлива в моторном масле (см. прилож., рис. П.6):
а – Shell Rimula 10W40 (125 ч); б – Лукойл Авангард 10W40 (150 ч);
в – Shell Helix ultra extra 5W30

Анализ полученных результатов показал, что в масле марки Shell Rimula 10W40 (125 ч) вспышка при температуре 205 °С не была зафиксирована, что свидетельствует об отсутствии в нем топлива.

В масле марки Лукойл Авангард 10W40 (150 ч) при нанесении запальника было замечено кратковременное воспламенение паров топлива, зафиксировать которое на фотокадре за короткий промежуток времени не удалось. Доказательством этого воспламенения может служить зафиксированный на фотокадре (рис. 5.3, б) остро-вытянутый факел пламени запальника, а также кратковременный звуковой хлопок, что свидетельствует о наличии топлива в данном моторном масле. По разработанной методике установлено, что максимальная температура отсутствия вспышки у данного масла составила 190 °С, что соответствует содержанию в нем топлива в количестве 1 %.

В масле марки Shell Helix ultra extra 5W30, взятом из двигателя VW Crafter с вышедшей из строя топливной системой, была зафиксирована максимальная температура отсутствия вспышки, равная 150 °С, что соответствует содержанию в нем топлива в количестве ~5 %. Такое масло находится в аварийном состоянии (см. табл. 4.3).

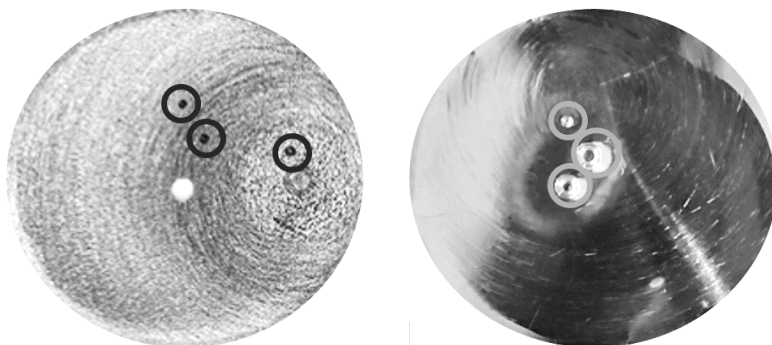
Приведенные примеры апробации свидетельствуют о том, что рекомендуемая методика позволяет определить как качественное, так и количественное содержание топлива в моторном масле.

5.4. Примеры апробации экспресс-метода определения наличия и количества воды

Апробация экспресс-метода определения наличия и количества воды проводилась на маслах марок Shell Rimula 10W40 (0 ч наработки) и Caterpillar 10W30 (240 ч). Результаты полученных изображений капли масла на нагретой поверхности вставки без визуализирующего стекла и со стеклом представлены на рис. 5.4 (обнаруженные пузырьки водяного пара выделены окружностями). Анализ полученных изображений (рис. 5.4) свидетельствует, что применение визуализирующего стекла позволяет более точно наблюдать за поведением пузырьков водяного пара (зарождение, рост, слияние, схлопывание), а также определять их размер. Так, в моторном масле марки Shell Rimula 10W40 обнаружена вода в количестве 0,1 %–0,2 % (пузыри размером ≈ 2 мм, перемещающиеся к центру капли). Наличие воды в свежем масле может быть

объяснено нарушением правил хранения и транспортировки. В работающем масле марки Caterpillar 10W30 содержание воды составляет 0,05 %–0,10 % (мелкие пузырьки размером 0,5 м).

Shell Rimula 10W40 (0 ч)



Caterpillar 10W30 (240 ч)

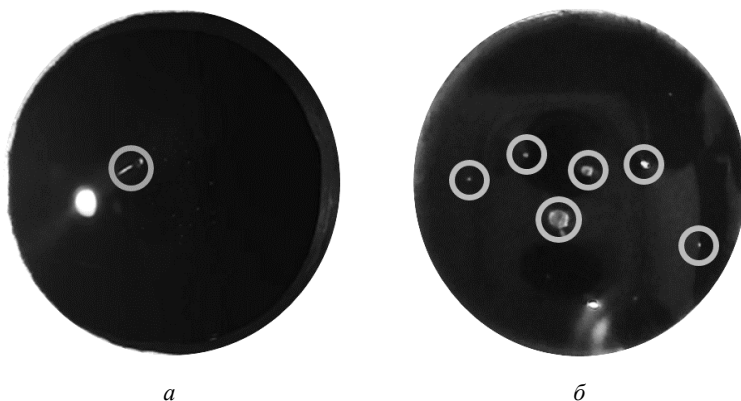


Рис. 5.4. Изображение капли моторного масла нагретой поверхности вставки:
a – без визуализирующего стекла; *б* – с визуализирующим стеклом

Приведенные примеры апробации свидетельствуют о том, что рекомендуемая методика позволяет определить как качественное, так и количественное содержание воды в моторном масле. Результаты свидетельствуют о том, что по данному показателю исследуемые масла находятся в работоспособном состоянии (см. табл. 4.3).

5.5. Примеры апробации экспресс-метода оценки МДС методом «капельной пробы»

Апробация экспресс-метода оценки МДС проводилась на маслах марок Лукойл Авангард 10W40 и Shell Rimula 10W40 с различной наработкой. Результаты полученных хроматограмм представлены в табл. 5.3 и 5.4.

Таблица 5.3

Результаты полученных хроматограмм методом «капельной пробы» моторных масел Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой (см. прилож., табл. П.3)

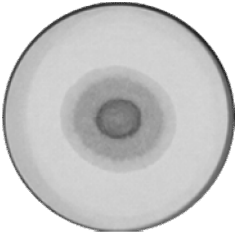
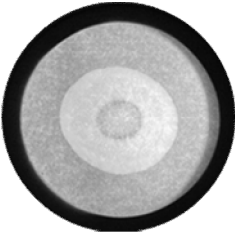
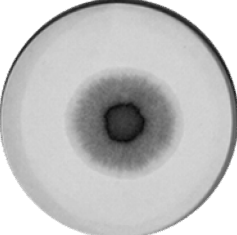
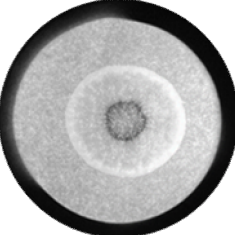
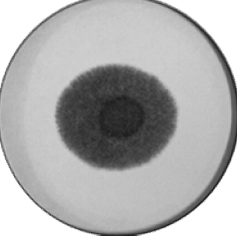
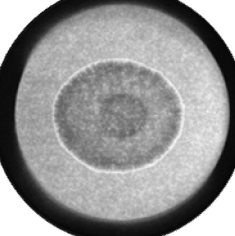
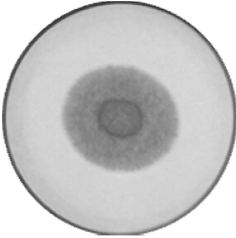
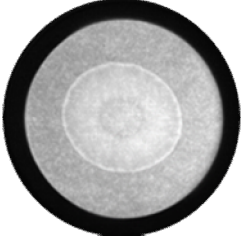
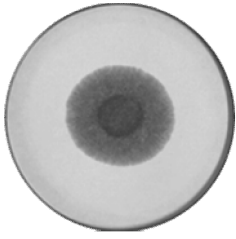
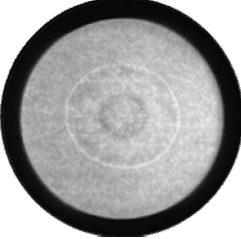
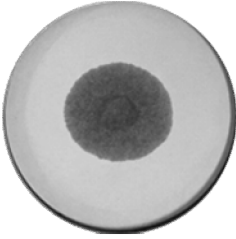
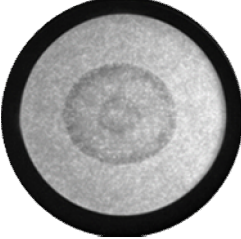
Наработка, ч	Вид спереди	Вид спереди на просвет
30		
215		
250		

Таблица 5.4

Результаты полученных хроматограмм методом «капельной пробы»
 моторных масел Shell Rimula 10W40 с различной наработкой
 (см. прилож., табл. П.4)

Наработка, ч	Вид спереди	Вид спереди на просвет
30		
135		
250		

На полученных хроматограммах (см. табл. 5.3 и 5.4) отчетливо различимы зона ядра и диффузионная зона, а также во многих маслах обнаружена зона топлива. Согласно разработанной методике измерены диаметры ядра d , диаметры диффузионной зоны D и общие диаметры масляного пятна D_1 и рассчитаны диспергирующая способность (ДС) по выражению (4.2) и толщина ореола h_r , характеризующего зону топлива по выражению (4.3).

Результаты проведенных измерений (D_1 , D и d) и полученных расчетов (ДС и h_T) для рассматриваемых масел с различной наработкой представлены в табл. 5.5 и 5.6.

Таблица 5.5

Результаты расчета ДС и оценка присутствия топлива h_T в моторных маслах Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой

Наработка, ч	D_1 , мм	D , мм	d , мм	ДС	h_T , мм
30	21,21	16,11	8,34	0,73	2,55
215	21,35	17,86	7,43	0,83	1,75
250	20,22	19,38	7,69	0,84	0,42

Таблица 5.6

Результаты расчета ДС и оценка присутствия топлива h_T в моторных маслах Shell Rimula 10W40 с различной наработкой

Наработка, ч	D_1 , мм	D , мм	d , мм	ДС	h_T , мм
30	21,32	20,41	7,65	0,86	0,46
135	19,93	19,31	8,64	0,80	0,31
250	19,35	19,35	7,51	0,85	0

Приведенные примеры апробации свидетельствуют о том, что рекомендуемая методика позволяет оценить МДС моторного масла. Полученные результаты исследований показывают, что все масла по показателю диспергирующей способности находятся в работоспособном состоянии (см. табл. 4.3). Однако в соответствии с цветом диффузионной зоны (более 7 баллов) масла Лукойл Авангард 10W40 и Shell Rimula 10W40 с наработкой 250 ч утратили свои МДС и находятся в критическом состоянии. Наличие светлого ареола у рассматриваемых масел свидетельствует о попадании с них топлива в процессе эксплуатации ДВС.

5.6. Примеры апробации экспресс-метода определения водородного показателя рН

Апробация экспресс-метода определения водородного показателя рН проводилась на маслах марок Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой.

Результаты проведенных исследований представлены на рис. 5.5.

Полученные результаты показывают, что для всех марок рассматриваемых масел водородный показатель pH находится в диапазоне 6,4–7,0. Таким образом, по этому показателю они находятся в работоспособном состоянии (см. табл. 4.3).

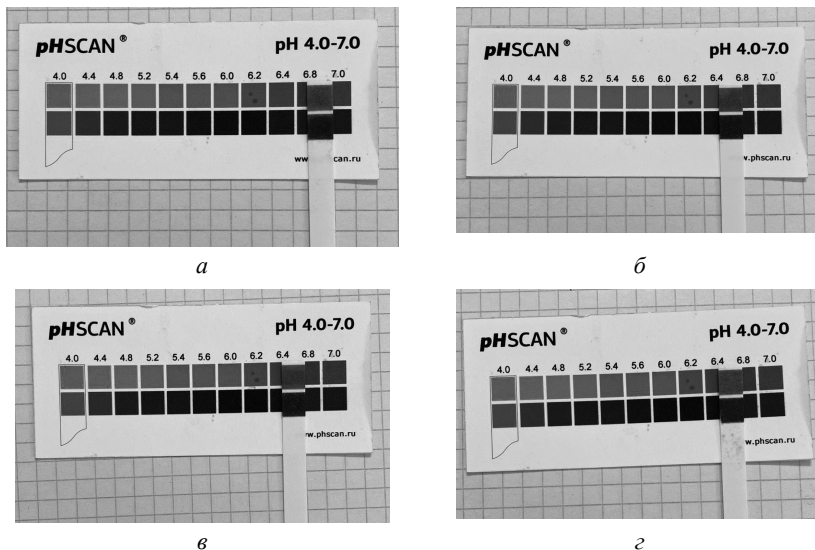


Рис. 5.5. Результаты апробации метода определения pH моторных масел Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой (см. прилож., рис. П.7):
а – 0 ч; б – 30 ч; в – 100 ч; г – 150 ч

Приведенные примеры апробации свидетельствуют о том, что рекомендуемая методика позволяет определить водородный показатель pH моторного масла.

5.7. Примеры апробации экспресс-метода определения содержания сажи методом колориметрии

Апробация экспресс-метода определения содержания сажи методом колориметрии проводилась на маслах марок Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой. Результаты проведенных исследований представлены на рис. 5.6 и в табл. 5.7.

Толщина зазора кюветы, мм

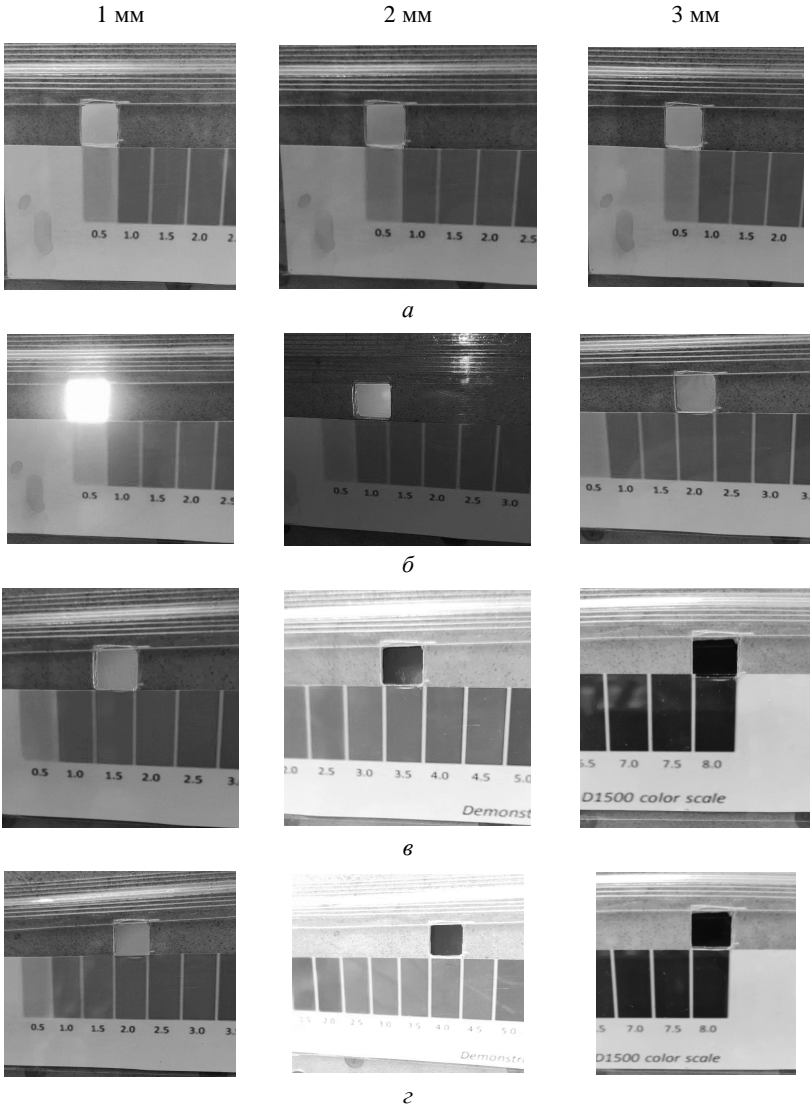


Рис. 5.6. Результаты апробации метода колориметрии с использованием различных кювет моторных масел Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой (см. прилож., рис. П.8):
a – 0 ч; *б* – 30 ч; *в* – 100 ч; *г* – 150 ч

Анализ полученных данных позволяет дать следующие рекомендации. Для оценки работоспособности чистого моторного масла (0 ч наработки) с использованием компаратора колориметрии размер зазора кюветы может быть выбран как 1, так и 2 или 3 мм. Для масел с небольшой наработкой (30–50 ч) можно воспользоваться кюветой с зазором 3 мм. Для масел с наработкой 100 ч и выше можно рекомендовать кюветы с зазором 1 и 2 мм, в то время как использование кюветы с зазором 3 мм дает результаты (8 баллов), свидетельствующие о неработоспособности масел, хотя по другим показателям их можно считать работоспособными.

Таблица 5.7

Балльная оценка моторных масел Лукойл Авангард 10W40 по цветовой шкале ASTM D1500

Наработка, ч	Балльная оценка при толщине зазора кюветы		
	1 мм	2 мм	3 мм
0	0,5	0,5	0,5
30	0,5	1,0	2,0
100	1,5	3,5	8,0
150	2,0	4,0	8,0

Приведенные примеры апробации свидетельствуют о том, что рекомендуемая методика позволяет оценить содержание сажи в моторном масле по балльной цветовой шкале ASTM D1500.

5.8. Примеры апробации экспресс-метода определения содержания сажи методом светопоглощения

Апробация экспресс-метода определения содержания сажи методом светопоглощения проводилась на маслах марок Лукойл Авангард 10W40 и Shell Rimula 10W40 с различной наработкой.

Результаты экспериментальных исследований интенсивности проходящего света I при световом потоке 100 лм для рассматриваемых масел с различной наработкой представлены в табл. 5.8.

Таблица 5.8

Результаты экспериментальных исследований интенсивности проходящего света I моторных масел с различной наработкой

Лукойл Авангард 10W40		Shell Rimula 10W40	
Наработка ДВС, ч	Интенсивность света I	Наработка ДВС, ч	Интенсивность света I
33	3703	70	1415
88	1164	110	844
135	776	153	234
185	549	200	136
250	488	250	75

По результатам экспериментальных данных (табл. 5.8) были рассчитаны значения коэффициента светопоглощения λ (3.6) для рассматриваемых масел с различной наработкой и при помощи установленной зависимости (3.7) определены значения концентрации сажи $C_{\text{саж}}$ в этих маслах. На рис. 5.7 представлены результаты полученных расчетов концентрации сажи $C_{\text{саж}}$.

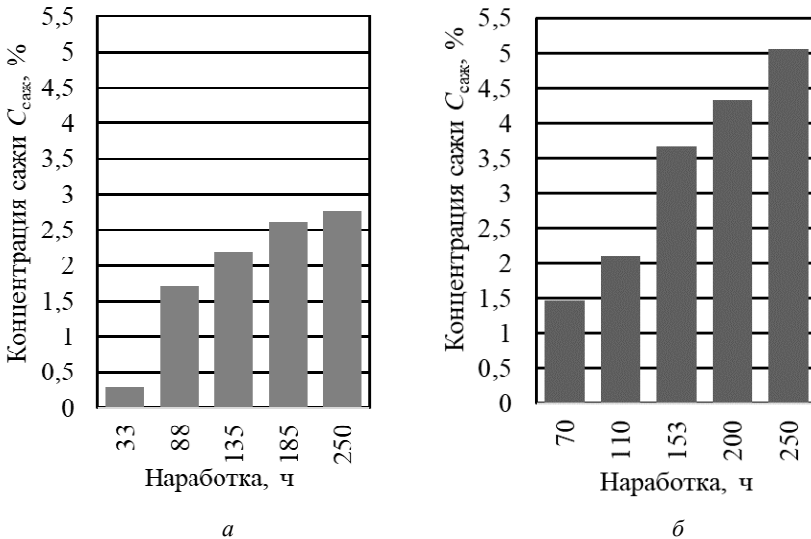


Рис. 5.7. Концентрация сажи $C_{\text{саж}}$ в моторных маслах с различной наработкой: а – Лукойл Авангард 10W40; б – Shell Rimula 10W40

Проведенные исследования доказали, что в процессе работы двигателя и старения моторного масла наблюдается снижение интенсивности проходящего через масло света, с ростом наработки отмечается повышение коэффициента светопоглощения. Это свидетельствует об увеличении количества сажи и продуктов окисления, наблюдаемом в процессе работы ДВС.

Приведенные примеры апробации свидетельствуют о том, что рекомендуемая методика позволяет определить концентрацию сажи в моторном масле. Полученные результаты испытаний показывают, что по данному показателю моторное масло марки Shell Rimula 10W40 с наработкой 250 ч находится в критическом состоянии (см. табл. 4.3).

5.9. Примеры апробации экспресс-метода определения наличия абразивных частиц и продуктов износа методом патч-тестирования

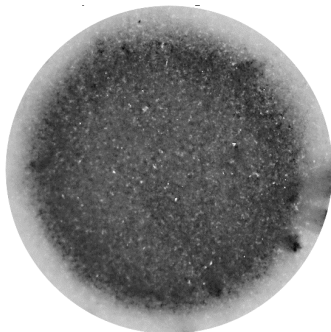
Апробация экспресс-метода определения наличия абразивных частиц и продуктов износа проводилась на маслах марок Лукойл Авангард 10W40 и Shell Rimula 10W40 с различной наработкой.

На рис. 5.8 представлены фильтрограммы (рабочая зона диаметром 3 мм) рассматриваемых масел с различной наработкой.

Анализ представленных фильтрограмм показывает, что все исследуемые масла содержат большое количество частиц различной формы, природы и размеров.

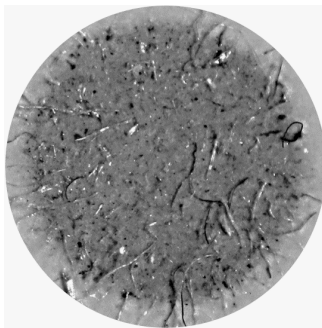
Приведенные примеры апробации свидетельствуют о том, что рекомендуемая методика позволяет определить количество, форму и размеры абразивных частиц и частиц износа в моторном масле. Полученные результаты исследований показывают, что во всех рассматриваемых маслах содержатся металлические частицы с размерами, превышающими 40–50 мкм, что соответствует критическому состоянию масел по этому показателю (см. табл. 4.3).

Лукойл Авангард 10W40

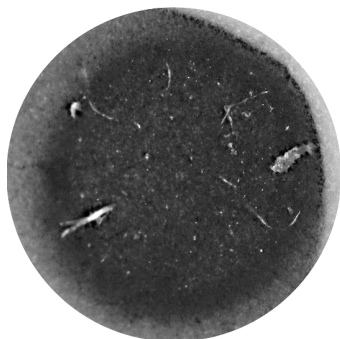


88 ч

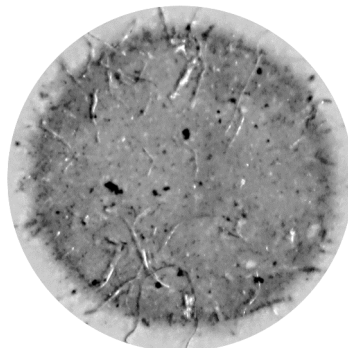
Shell Rimula 10W40



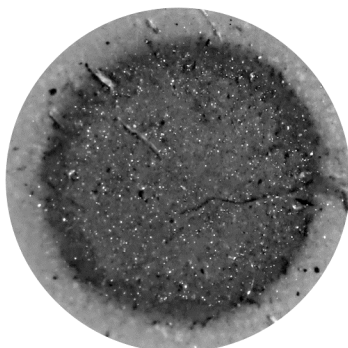
110 ч



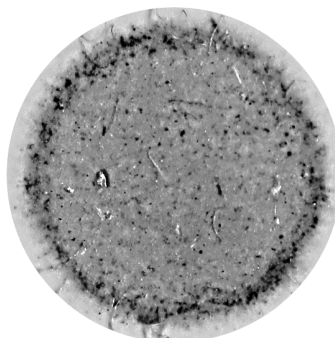
146 ч



153 ч



250 ч



230 ч

Рис. 5.8. Фильтрограммы моторных масел с различной наработкой (см. прилож., рис. П.9)

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Вахрушев, В. В. Обоснование номенклатуры квалификационных показателей для экспресс-оценки качества работающего моторного масла / В. В. Вахрушев, А. Е. Немцев, Н. М. Иванов // *Агронаука-2020: труды международной научной онлайн-конференции, Новосибирск, 05–06 ноября 2020 г. / ГПНТБ СО РАН.* – Новосибирск, 2020. – С. 226–234.

2. Венцель, С. В. Применение смазочных материалов в двигателях внутреннего сгорания / С. В. Венцель. – М. : Химия, 1979. – 240 с.

3. Викулов, С. В. Методы построения алгоритмов диагностирования элементов судовых дизелей на основе системного подхода : автореф. дис. ... докт. техн. наук : 05.08.05 / С. В. Викулов. – Новосибирск, 2014. – 39 с.

4. Резников, В. Д. Надежность моторного масла как элемента конструкции двигателя / В. Д. Резников // *Химия и технология топлив и масел.* – 1981. – № 8. – С. 24–27.

5. Бутов, Н. П. Научные основы проектирования малоотходной технологии переработки и использования отработанных минеральных масел / Н. П. Бутов. – зерноград : ВНИПТИМЭСХ, 2000. – 410 с.

6. Григорьев, М. А. Очистка масла в двигателях внутреннего сгорания / М. А. Григорьев. – М. : Машиностроение, 1983. – 148 с.

7. Очистка и регенерация смазочных материалов в условиях сельскохозяйственного производства / В. М. Капцевич [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2007. – 232 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. Корнеев, С. В. О работоспособности моторных масел / С. В. Корнеев // *Двигателестроение.* – 2004. – № 4. – С. 36–38.

10. Ефимов, В. В. Совершенствование системы нормирования ресурса моторного масла для специальных автомобилей : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / В. В. Ефимов. – Тюмень, 2006. – 19 с.

11. Аметов, В. А. Повышение эксплуатационной надежности агрегатов автотранспортных средств путем контроля и модифицирования смазочного масла : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.10 / В. А. Аметов. – Тюмень, 2006. – 44 с.

12. Петелин, А. А. Влияние сезонных условий эксплуатации автомобилей на изменение качества моторного масла : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / А. А. Петелин. – Тюмень, 2000. – 17 с.

13. Горбунов, С. П. Разработка методики выбора моторного масла в эксплуатации (на примере городских автобусов) : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.10 / С. П. Горбунов. – М., 2006. – 201 л.

14. Власов, Ю. А. Методология диагностики агрегатов автомобилей электрофизическими методами контроля параметров работающего масла : дис. ... д-ра техн. наук : 05.22.10 / Ю. А. Власов. – Томск, 2015. – 368 л.

15. Метод диагностирования карьерных автосамосвалов по изменению диэлектрической проницаемости среды работающего масла / Ю. А. Власов [и др.]. // *Фундаментальные исследования*. – 2013. – № 8-6. – С. 1307–1311.

16. Способ выявления примесей в работающем масле и определения степени его загрязненности для оценки технического состояния агрегатов машин : пат. РФ 2519520 : МПК G 01 N 21/67, G 01 N 33/26, G 01 N 33/30 / Ю. А. Власов, Н. Т. Тищенко, Р. Ю. Таньков ; заявитель Томский гос. арх.-строит. ун-т. – № 2012156122 ; заявл. 24.12.12 ; опубли. 10.06.14, Бюл. 16.

17. Васильева, Л. С. Автомобильные эксплуатационные материалы : учебник / Л. С. Васильева. – М. : Транспорт, 1986. – 279 с.

18. Dasbach, T. How to Determine Engine Oil Quality [Electronic resource] / T. Dasbach, T. W. Selby // *Machinery Lubrication*. – 2015. – № 12. – Mode of access: <https://www.machinerylubrication.com/Read/30329/engine-oil-quality>. – Date of access: 15.04.2021.

19. Шевченко, И. А. Дизельное топливо в моторном масле / И. А. Шевченко, Н. Г. Макаренко // *АВТОДВОР*. – 2016. – № 5 (198). – С. 2021.

20. Fitch, J. Oil Analysis Basics / J. Fitch, D. Troyer. – 2nd ed. – Tulsa : Noria Corporation, 2010. – 198 p.

21. Пашукевич, С. В. Классификация загрязнителей моторных масел для дизельных двигателей / С. В. Пашукевич // *Вестник СибАДИ*. – 2022. – Т. 19. – № 1 (83). – С. 84–100.

22. Колунин, А. В. Процесс обводнения моторного масла при прогреве двигателя камаз-740 в условиях отрицательных температур / А. В. Колунин [и др.] // *Вестник СибАДИ*. – 2015. – № 2 (42). – С. 11–14.

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

24. Остриков, В. В. Повышение эффективности использования смазочных материалов путем разработки и совершенствования методов, технологий и технических средств : автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / В. В. Остриков. – Саратов, 2000. – 49 с.

25. Гурьянов, Ю. А. Экспресс-методы и средства диагностирования агрегатов машин по параметрам масла : дис. ... д-ра техн. наук : 05.20.03 / Ю. А. Гурьянов. – Челябинск, 2007. – 371 л.

26. Доценко, А. И. Основы триботехники / А. И. Доценко, И. А. Буяновский. – М. : ИНФРА-М, 2017. – 335 с.

27. ПЛАМ-3 портативная лаборатория анализа масел и топлив [Электронный ресурс] // Лабораторное оборудование. – 2021. – Режим доступа: <http://proflab.com.ua/produkt/product-details/2785-plam-3-portativnaya-laboratoriya-analiza-masel-i-topliv.html>. – Дата доступа: 05.07.2021.

28. Судовая экспресс-лаборатория контроля топлив и масел СЛТМ-2 [Электронный ресурс] // Крисмас – интернет-магазин лабораторного оборудования. – 2021. – Режим доступа: https://shop.christmas-plus.ru/catalog/sudovye_laboratorii/sltm_2_sudovaya_ekspres_laboratoriya_kontrolya_topliv_i_masel/. – Дата доступа: 05.07.2021.

29. Экспресс-лаборатория для оценки качества масел [Электронный ресурс] / ВНИИТиН. – 2021. – Режим доступа: http://vniitin.ru/services/service_7/service_7_1. – Дата доступа: 06.07.2021.

30. Kittiwake Oil Test Centre [Electronic resource] // Your Global Distribution Specialists. – 2021. – Mode of access: <http://dsi-ltd.com/Product-Oil-Test-Centre.asp>. – Date of access: 07.07.2021.

31. Parker Kittiwake FGK14144PA ANALEXFDMPPLUS Ferrous Debris Monitor [Electronic resource] // TEquipment. – 2021. – Mode of access: <https://www.tequipment.net/Parker/Kittiwake-FGK17144PA/>. – Date of access: 06.07.2021.

32. Mobil Serv Field Analysis Test Kit [Electronic resource] // Your Global Distribution Specialists. – 2021. – Mode of access: <http://dsi-ltd.com/Product-Field-Analysis-Test-Kit.asp>. – Date of access: 10.07.2021.

33. Mobil Serv Field Industrial Oil Analysis Kit [Electronic resource] // Your Global Distribution Specialists. – 2021. – Mode of access: <http://dsi-ltd.com/Product-Field-Industrial-Oil-Analysis-Kit.asp>. – Date of access: 10.07.2021.

34. Mobil Serv Hydraulic Particles Test Kit [Electronic resource] // Your Global Distribution Specialists. – 2021. – Mode of access: http://dsi-ltd.com/Product-Hydraulic-Particles-Test-Kit.asp?t_id=&c_id=. – Date of access: 10.07.2021.

35. Анализатор качества нефтепродуктов SX-300 [Электронный ресурс] // ШАТОХ. – 2021. – Режим доступа: <https://shatoh.ru/catalog/i-5-oktanometr-SX-300.html>. – Дата доступа: 11.07.2021.

36. Система контроля износа агрегата (СКИА) [Электронный ресурс] // Химмотолог. – 2021. – Режим доступа: <http://himmotolog.ru/product/sistema-kontrolya-iznosa-agregata-ski/>. – Дата доступа: 11.07.2021.

37. Индикатор универсальный [Электронный ресурс] // Химмотолог. – 2021. – Режим доступа: <https://himmotolog.com/products/>. – Дата доступа: 11.07.2021.

38. Вискозиметр В-200М [Электронный ресурс] // Химмотолог. – 2021. – Режим доступа: <http://himmotolog.ru/product/viskozimetr/>. – Дата доступа: 11.07.2021.

39. Анализатор нефтепродуктов А-100 [Электронный ресурс] // Химмотолог. – 2021. – Режим доступа: <http://himmotolog.ru/product/analizator-nefteproduktov-a-100/>. – Дата доступа: 11.07.2021.

40. Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности : ГОСТ 3900–85. – Введ. 1987–01–01. – М. : Издательство стандартов, 1985. – 7 с.

41. Norvelle, F. D. Visgage Viscosity Comparator Determines Fluid Viscosity [Electronic resource] / F. D. Norvelle // Practicing Oil Analysis. – 2005. – Mode of access: <https://www.machinerylubrication.com/Read/692/visgage-viscosity>. – Date of access: 15.04.2021.

42. Kittiwake Heated Viscometer [Electronic resource] // Your Global Distribution Specialists. – 2021. – Mode of access: <http://dsi-ltd.com/Product-Heated-Viscometer.asp>. – Date of access: 07.07.2021.

43. Mobil Serv Viscosity Test Kit (Flostick) [Electronic resource] // Your Global Distribution Specialists. – 2021. – Mode of access: <http://dsi-ltd.com/Product-Viscosity-Test-Kit-%28Flostick%29.asp>. – Date of access: 10.07.2021.

44. Bird, R. W. Transport Pehnomena / R. W. Bird, W. E. Stewart, E. N. Lighfoot. – 2nd ed. – New York : John Wiley & Sons, 2002. – 897 p.

45. Универсальный электротигель для проведения экспресс-контроля показателей качества моторных масел в условиях пред-

приятый АПК / В. К. Корнеева [и др.] // Агропанорама. – 2023. – № 2. – С. 31–37.

46. Standard Practice for Condition Monitoring of In-Service Lubricants by Trend Analysis Using Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectrometry : ASTM E2412–10. – Reapproved in 2018. – West Conshohocken : ASTM International, 2018. – 24 p.

47. Standard Test Method for Diesel Fuel Diluent in Used Diesel Engine Oils by Gas Chromatography : ASTM D3524–14. – Reapproved in 2020. – West Conshohocken : ASTM International, 2020. – 6 p.

48. Standard Test Method for Determination of Fuel Dilution for In-Service Engine Oils by Gas Chromatography : ASTM D7593–22. – West Conshohocken : ASTM International, 2022. – 9 p.

49. Ляпина, О. В. Метод идентификации моторного топлива в смазочном масле автомобильных агрегатов / О. В. Ляпина, Ю. А. Власов, А. Н. Ляпин // Фундаментальные исследования. – 2015. – № 2. – С. 1637–1641.

50. Устройство для определения степени разжижения моторных масел топливом и выявления износа двигателя / Р. Г. Нигматуллин [и др.] // Мир измерений. – 2011. – № 4. – С. 38–39.

51. Способ и устройство для анализа масел и технических рабочих жидкостей и для квалифицированной оценки рабочих состояний элементов : пат. RU 2649095 : МПК G 01 N 21/29 / Г. Хорстмейер. – Заявл. 11.09.14 ; опубл. 29.03.18.

52. Best Tests to Detect Fuel Dilution [Electronic resource] // Machinery Lubrication. – 2023. – Mode of access: <https://www.machinery-lubrication.com/Read/31148-/fuel-dilutiontests#:~:text=The%20results%20are%20typically%20given,a%20risk%20of%20engine%20fire.> – Date of access: 07.08.2023.

53. Зорин, В. А. Основы работоспособности технических систем : учебник / В. А. Зорин. – М : Магистр-Пресс, 2005. – 536 с.

54. Ковальский, Б. И. Методология контроля и диагностики смазочных материалов как элементов систем приводов многокомпонентных машин : дис. ... д-ра техн. наук : 05.02.02 / Б. И. Ковальский. – Красноярск, 2005. – 417 л.

55. Лопатко, О. П. Методика оценки противоизносных свойств рабочих жидкостей объемных гидроприводов машин / В. Б. Лопатко, В. Б. Арсенов. – Минск : Институт проблем надежности и долговечности машин АН БССР, 1978. – 47 с.

56. Standard Test Method for Determination of Water in Petroleum Products, Lubricating Oils, and Additives by Coulometric Karl Fischer Titration : ASTM D6304–20. – West Conshohocken : ASTM International, 2020. – 10 p.

57. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости : учебное пособие / В. В. Остриков [и др.]. – Тамбов : ТГТУ, 2008. – 304 с.

58. Fitch, J. C. The Lubrication Field Test and Inspection Guide / J. C. Fitch. – Tulsa : Noria Corporation, 2000. – 36 p.

59. Standard Test Method for Measuring the Merit of Dispersancy of In-Service Engine Oils with Blotter Spot Method : ASTM D7899–19. – West Conshohocken : ASTM International, 2019. – 7 p.

60. Реактивы. Метод бумажной хроматографии : ГОСТ 28365–89. – Введ. 1991–01–01. – М. : Стандартиформ, 2008. – 8 с.

61. Витязь, П. А. Пористые порошковые материалы и изделия из них / П. А. Витязь, В. М. Капцевич, В. К. Шелег. – Минск : Вышэйшая школа, 1987. – 164 с.

62. Химики – автолюбителям : справочное издание / Б. Б. Бобович [и др.]. – 2-е изд., испр. – Л. : Химия, 1991. – 320 с.

63. Standard Test Method for Acid Number of Petroleum Products by Potentiometric Titration : ASTM D664–18. – ASTM International, West Conshohocken, 2018. – 11 p.

64. Ball, P. G. New pH Test Offers Benefits over TAN/TBN [Electronic resource] / P. G. Ball // Practicing Oil Analysis. – 1998. – Vol. 1. – № 2. – Mode of access: <https://www.machinerylubrication.com/Read/100/ph-test-tan-tbn>. – Date of access: 15.04.2021.

65. Masters, K. J. Lubricating Oil Analysis – what is it all about? / K. J. Masters // Transactions of The Institution of Diesel and Gas Turbine Engineers. – 1995. – № 489.

66. Бейтс, Р. Определение pH. Теория и практика / Р. Бейтс. – Изд. 2-е, испр. – Л. : Химия, 1972. – 400 с.

67. Хазиев, А. А. Экспресс-анализ моторных масел на основе инфракрасной спектроскопии с разложением в ряд Фурье / А. А. Хазиев [и др.]. // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. – 2017. – № 2. – С. 116–125.

68. Standard Test Method for Color of Petroleum Products (ASTM Color Scale) : ASTM D1500–12. – Reapproved in 2017. – West Conshohocken : ASTM International, 2017. – 5 p.

69. Ismailov, A. S. Study of ARDUINO Microcontroller Board / A. S. Ismailov // Science and Education. – 2022. – Vol. 3. – P. 172–179.
70. Метод определения механических примесей : ГОСТ 6370–2018. – Введ. 2018–08–30. – М. : Стандартинформ, 2019. – 11 с.
71. Топлива авиационные. Метод определения механических примесей : ГОСТ 32401–2013. – Введ. 2013–11–14. – М. : Стандартинформ, 2014. – 20 с.
72. Standard Test Method for Insoluble Contamination of Hydraulic Fluids by Gravimetric Analysis : ASTM D4898–90. – Reapproved in 1995. – West Conshohocken : ASTM International, 1995. – 3 p.
73. Standard Test Method for Particulate Contamination in Aviation Fuels by Laboratory Filtration : ASTM D5452–12. – West Conshohocken : ASTM International, 2012. – 11 p.
74. Standard Test Method for Particulate Contaminant in Aviation Fuel by Line Sampling : ASTM D2276–05. – West Conshohocken : ASTM International, 2005. – 10 p.
75. Чистота промышленная. Классы чистоты жидкостей : ГОСТ 17216–2001. – Введ. 2001–05–24. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2001. – 12 с.
76. Чистота промышленная. Определение загрязненности жидкости методом счета частиц с помощью оптического микроскопа : ГОСТ ИСО 4407–2006. – Введ. 2006–06–24. – М. : Стандартинформ, 2007. – 19 с.
77. Hydraulic fluid power – Fluids – Method for coding the level of contamination by solid particles : ISO 4406:1999. – Geneva : International Organization for Standardization, 1999. – 13 p.
78. Standard Test Methods for Microscopical Sizing and Counting Particles from Aerospace Fluids on Membrane Filters : ASTM F312–97. – Reapproved in 2003. – West Conshohocken : ASTM International, 2003. – 4 p.
79. Standard Guide for Microscopic Characterization of Particles from In-Service Lubricants : ASTM D7684–11. – Reapproved in 2016. – West Conshohocken : ASTM International, 2016. – 10 p.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица П.1

Зависимость температурного интервала вспышки моторного масла
от содержания топлива








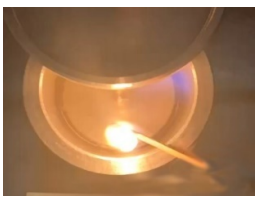





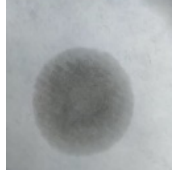
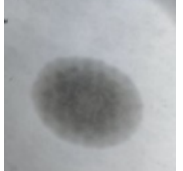



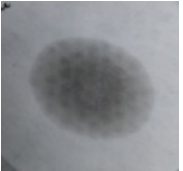

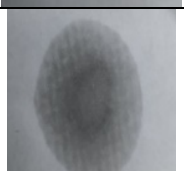

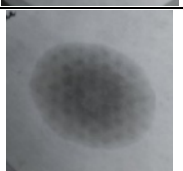
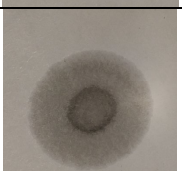
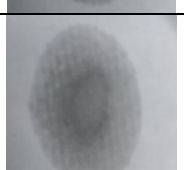
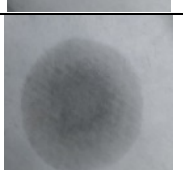
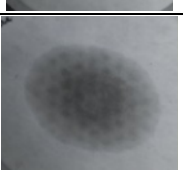
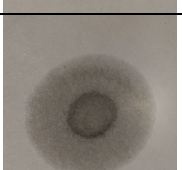

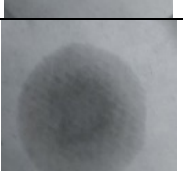
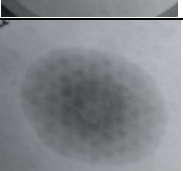
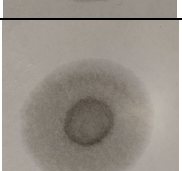
Топливо, %	Температурный интервал вспышки, °С, и наблюдаемые результаты			
	Присутствие вспышки		Отсутствие вспышки	
0	210	–	205	–
1	190		185	
2	175		170	
4	155		150	
6	140		135	

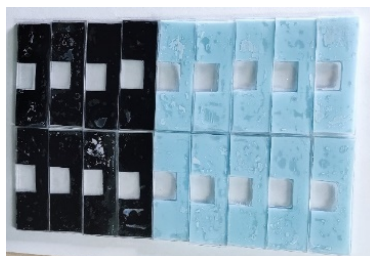
Таблица П.2

Результаты проведения исследования поведения каплей
на различных типах бумаги в различные моменты времени τ

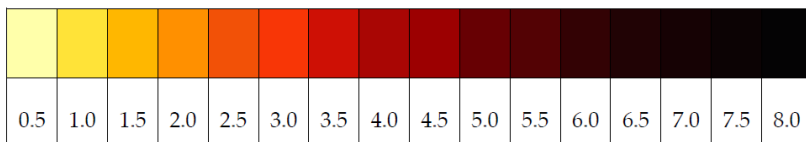
τ , мин	Тип фильтровальной бумаги			
	«синяя лента»	«красная лента»	«белая лента»	офисная (SvetoCopy)
1				
10				
20				
30				
40				
50				



a



б

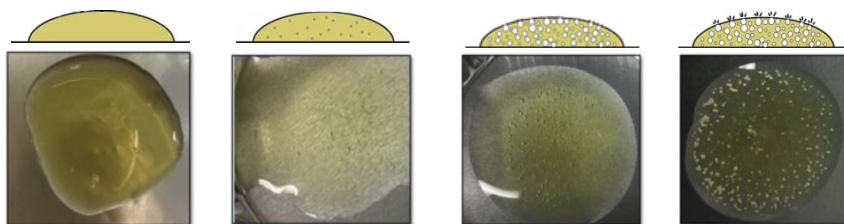


в

Рис. П.1. Компаратор колориметрии:
a – общий вид; *б* – набор кювет;
в – цветовая шкала моторного масла согласно ASTM D1500



Рис. П.2. Экспресс-метод определения плотности моторного масла



a

б

в

г

Рис. П.3. Результаты наблюдения за каплей

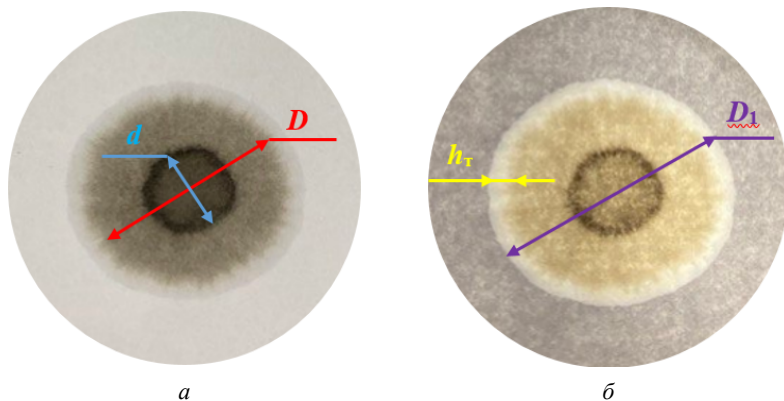


Рис. П.4. Измеряемые величины для расчета ДС (d, D) и наличия топлива (D_1, h_r) в моторном масле:
 a – вид спереди; b – вид спереди на просвет

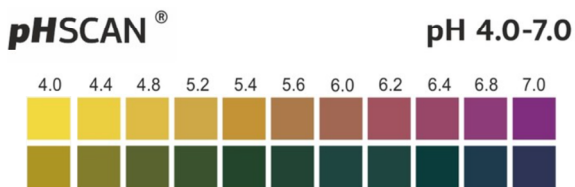


Рис. П.5. Эталонная цветовая шкала pH

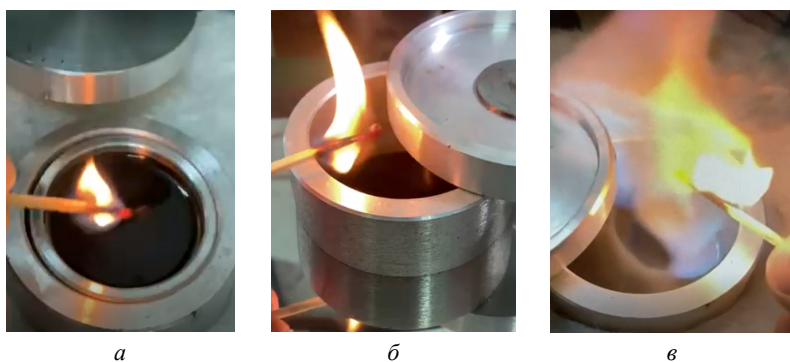


Рис. П.6. Результаты апробации экспресс-метода определения наличия топлива в моторном масле:
 a – Shell Rimula 10W40 (125 ч); b – Лукойл Авангард 10W40 (150 ч);
 v – Shell Helix ultra extra 5W30

Таблица П.3

Результаты полученных хроматограмм методом «капельной пробы»
 моторных масел Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой






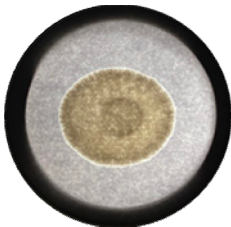
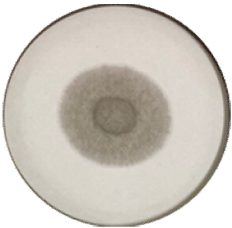


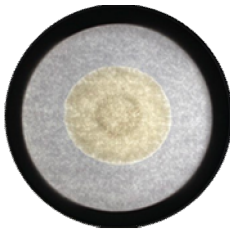
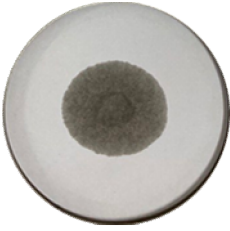
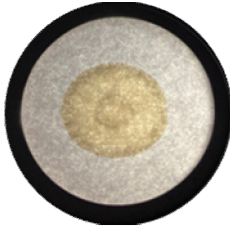
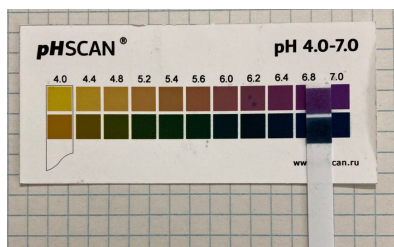
Наработка, ч	Вид спереди	Вид спереди на просвет
30		
215		
250		

Таблица П.4

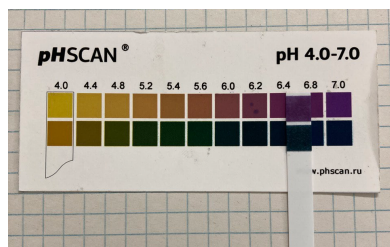
Результаты полученных хроматограмм методом «капельной пробы»
 моторных масел Shell Rimula 10W40 с различной наработкой

Наработка, ч	Вид спереди	Вид спереди на просвет
30		

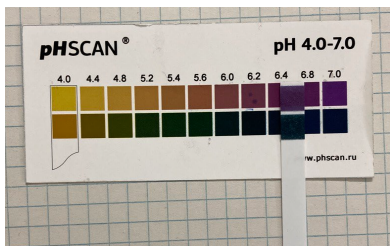
Наработка, ч	Вид спереди	Вид спереди на просвет
135		
250		



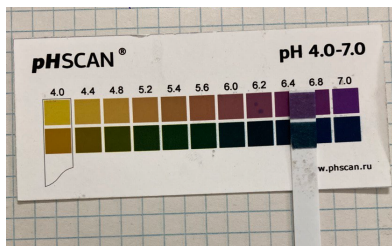
a



б



в

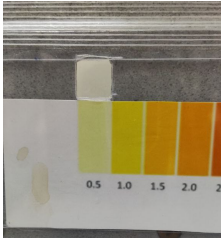


г

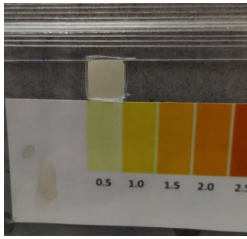
Рис. П.7. Результаты апробации метода определения pH моторных масел Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой:
a – 0 ч; *б* – 30 ч; *в* – 100 ч; *г* – 150 ч

Толщина зазора кюветы, мм

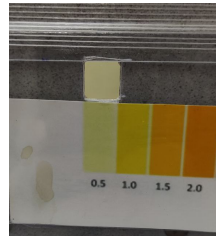
1 мм



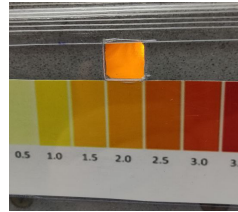
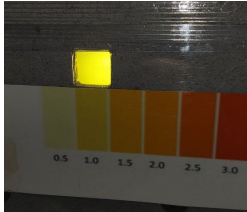
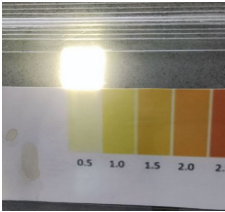
2 мм



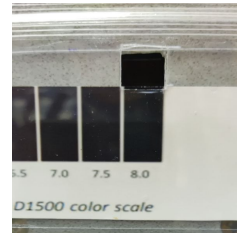
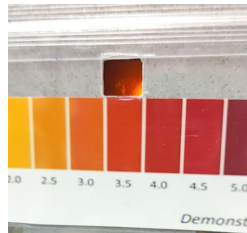
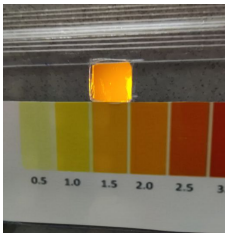
3 мм



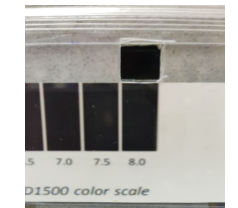
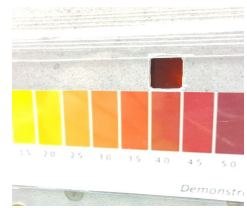
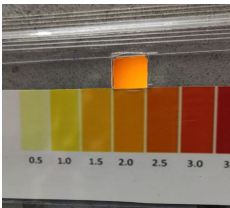
a



б



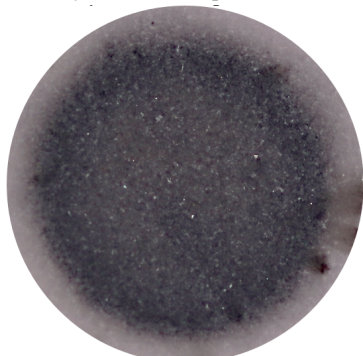
в



г

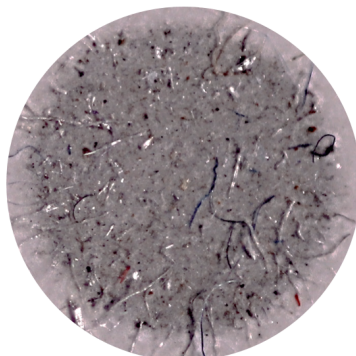
Рис. П.8. Результаты апробации метода колориметрии с использованием различных кювет моторных масел Лукойл Авангард 10W40 с различной наработкой:
a – 0 ч; *б* – 30 ч; *в* – 100 ч; *г* – 150 ч

Лукойл Авангард 10W40



88 ч

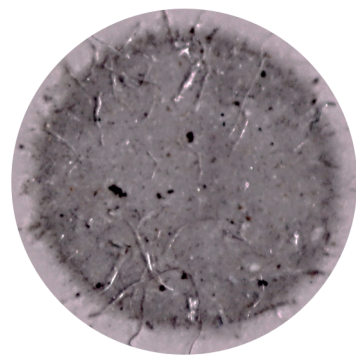
Shell Rimula 10W40



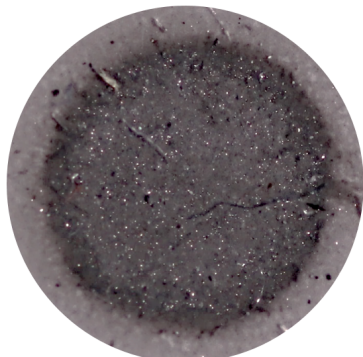
110 ч



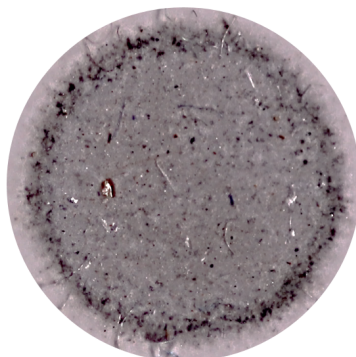
146 ч



153 ч



250 ч



230 ч

Рис. П.9. Фильтрограммы моторных масел с различной наработкой

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

Капцевич Вячеслав Михайлович,
Карпович Станислав Константинович,
Корнеева Валерия Константиновна и др.

ЭКСПРЕСС-МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ
СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА
АВТОТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ
В УСЛОВИЯХ ОРГАНИЗАЦИЙ
АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

Ответственный за выпуск *В. М. Капцевич*
Корректор *Д. А. Значёнок*
Компьютерная верстка *Д. А. Значёнок*
Дизайн обложки *А. А. Покало*

Подписано в печать 29.12.2023. Формат 60×84^{1/16}.
Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 6,97. Уч.-изд. л. 5,45. Тираж 50 экз. Заказ 745.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования
«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий
№ 1/359 от 09.06.2014.
№ 2/151 от 11.06.2014.
Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.