

**Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации**

ФГБОУ ВО Ульяновский ГУ

А.А. Глущенко

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА
ТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫХ
МАТЕРИАЛОВ И
ПРИМЕНЕНИЕ
АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ
ТОПЛИВ**
(учебное пособие)

Ульяновск – 2019

УДК 629.3
ББК 39.33-04
Г-55

Глущенко А.А. Исследование качества топливо-смазочных материалов и применение альтернативных видов топлив: учебное пособие для студентов, магистров и аспирантов инженерно-физического факультета высоких технологий/ А.А. Глущенко – Ульяновск: УлГУ, 2019. – 318 с.

Рецензент: Хусаинов Альберт Шамилевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Проектирование и сервис автомобилей им. И.С. Антонова» ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет»

В учебном пособии приведена классификация альтернативных видов топлив. Изложены методы проведения испытаний топливо-смазочных материалов и альтернативных топлив, представлены аппаратура и оборудование для определения количественных и качественных показателей их физико-химических и эксплуатационных свойств.

Учебное пособие предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 25.03.01 - Наземные транспортно-технологические средства и 23.03.02 – Наземные транспортно-технологические комплексы, магистров, аспирантов и инженерных работников.

Рекомендовано к введению в образовательный процесс Ученым советом Инженерно-физического факультета высоких технологий УлГУ (протокол № 11 от 18 июня 2019 г.).

© Глущенко А.А., 2019
© ФГБОУ ВО Ульяновский ГУ, 2019

ВВЕДЕНИЕ

Экономичность, надежность и долговечность работы тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин в большой степени зависит от качества нефтепродуктов. Но немаловажное значение имеет правильный выбор марки и сорта используемого нефтепродукта. От этого зависит не только обеспечение технико-эксплуатационных свойств техники, соответствующих нормативно-технической документации, ресурс ее работы, но и ресурс работы выбранных эксплуатационных материалов. Выбор должен быть осуществлен таким образом, чтобы не только обеспечить длительное и эффективное функционирование узлов и систем машин, но и обеспечивать максимальную выработку самих эксплуатационных материалов. Это позволит не только обеспечить ресурсосберегающий подход к топливо-смазочным материалам, но и снизить себестоимость производимой продукции.

Необходимо понять, что эффективность использования эксплуатационных материалов может быть достигнута в результате изучения свойств, правил хранения и применения этих материалов. Следует научиться правильно выбирать необходимые марки топлив, масел и пластичных смазок в зависимости от условий эксплуатации машин и уметь применять свои знания на практике.

Приобретенные знания помогут будущим специалистам экономно расходовать эксплуатационные материалы, строго выполнять меры предосторожности при работе с ними и определять качество некоторых из них простейшими методами в условиях сельскохозяйственных предприятий. Это позволит на практике обеспечивать безотказность сельскохозяйственной техники, повышать их долговечность и тем самым сокращать затраты на техническое обслуживание и ремонт машинно-тракторного парка.

Учитывая большое значение практической подготовки специалистов в области топлив и смазочных материалов, в учебном пособии приведены, согласно действующим стандартам, описания методов определения качества нефтепродуктов, которые наиболее часто встречаются в практической деятельности.

I ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ

1.1 Цель и задачи изучения раздела

Целью преподавания дисциплины «Исследование качества топливо-смазочных материалов и применение альтернативных видов топлив» являются получение обучающимися знаний по методике исследования качества топливо-смазочных материалов, современных и перспективных видов альтернативных топлив и возможности их применения в современных энергетических установках, теоретических и практических вопросов сертификации качества эксплуатационных материалов используемых в современной автотракторной техники.

Задачами курса «Исследование качества топливо-смазочных материалов и применение альтернативных видов топлив» являются:

- формирование у студентов, магистров и аспирантов научного мышления специалиста широкого профиля, способного к самостоятельной инженерной, исследовательской, управленческой и организационной деятельности в оценке, выборе и применении топливо-смазочных материалов на предприятиях АПК;

- овладение программно-целевыми методами анализа, прогнозирования, умения вскрывать недостатки и противоречия на производстве, работать с персоналом инженерно-технической службы;

- создание у студентов, магистров и аспирантов основ широкой теоретической подготовки в области использования топливо-смазочных материалов и альтернативных видов топлив, позволяющей будущим инженерам ориентироваться в потоке научно-технической информации и обеспечивающей им возможность использования достижений нефтеперерабатывающей и химической отраслей в своей практической деятельности;

- ознакомление студентов, магистров и аспирантов с методами оценки качества топливо-смазочных материалов, приборов и оборудования;

- выработка у студентов, магистров и аспирантов приёмов и навыков в решении инженерных задач на основе альтернативных подходов с использованием эксперимента, математических методов, компьютерной техники, связанных оценкой качества и выбора альтернативных видов смазочных материалов и топлив, с управлением и интенсификацией производства, экономией трудовых, топливно-

энергетических и материальных ресурсов, а также экологических и экономических проблем;

- освоение и понимание действующей в отрасли нормативно-технологической и проектной документации и законов, роль и значение которых возрастают в условиях нового хозяйственного механизма;

- понимание перспектив развития, изменяющихся требований к эксплуатационным материалам.

1.2 Требования к уровню освоения содержания дисциплины

В результате изучения дисциплины обучающиеся должны приобрести следующие знания, умения и навыки владения, применяемые в их последующем обучении и профессиональной деятельности.

Знать:

- классификацию топливо-смазочных материалов;
- показатели качества топливо-смазочных материалов;
- методы оценки качества топливо-смазочных материалов;
- методики оценки качества топливо-смазочных материалов;
- виды альтернативных топлив.

Уметь:

- проводить оценку качества топливо-смазочных материалов ;
- осуществлять выбор показателей качества;
- выполнять основные виды работ по проверке качества топливо-смазочных материалов;
- применять ПЭВМ для решения задач выбора и обоснования показателей качества.

Навыки владения:

- методикой по проверке качества топливо-смазочных материалов ;
- методами организации работ по контролю качества топливо-смазочных материалов и альтернативных топлив в лабораторных и эксплуатационных условиях.

II ГЛОССАРИЙ

Автомобильный бензин – бензин для применения в двигателях наземной техники.

Авиационный бензин – бензин для применения в авиационных двигателях.

Авиационный керосин – жидкое нефтяное топливо для применения в авиационных газотурбинных двигателях.

Амортизаторная жидкость – техническая жидкость для гашения механических колебаний путем поглощения кинетической энергии движущихся масс.

Антиобледенительная жидкость – техническая жидкость для предотвращения обледенения поверхности изделий.

Антифрикционное свойство – эксплуатационное свойство, характеризующее способность нефтепродукта снижать трение скольжения.

Антифрикционная смазка - пластичная смазка для уменьшения потерь на трение скольжения.

Антифриз – низкозастывающая техническая жидкость для поглощения и отвода тепла.

Бензин – жидкое нефтяное топливо, для использования в поршневых двигателях с искровым зажиганием.

Воспламеняемость – эксплуатационное свойство, характеризующее пожаро- и взрывоопасность смеси паров нефтепродукта с воздухом.

Высота не коптящего пламени – показатель, указывающий максимальную высоту пламени, которая может быть достигнута без образования копоти при сжигании нефтепродукта в условиях испытания.

Вязкость - это объемное свойство жидкого и полужидкого вещества оказывать сопротивление при течении.

Газотурбинное топливо – жидкое нефтяное топливо для применения в наземных и судовых газотурбинных двигателях.

Гидравлическая жидкость - техническая жидкость для гидрориводов сервомеханизмов, гидропередач.

Горючесть – эксплуатационное свойство, характеризующее способность нефтепродукта к горению в условиях его применения и испытания.

Группа нефтепродуктов – совокупность нефтепродуктов, входящих в один тип и имеющих сходные свойства и область применения.

Детергентность нефтепродукта – физико–химическое свойство, определяющее способность нефтепродукта диспергировать и удерживать частицы отложений во взвешенном состоянии.

Детонационная стойкость – физико-химическое свойство, определяющее способность бензина сгорать без взрыва в двигателе с искровым зажиганием.

Дизельное топливо - жидкое нефтяное топливо для применения в двигателях с воспламенением топливо-воздушной смеси от сжатия.

Динамическая вязкость нефтепродукта – мера внутреннего трения нефтепродукта, равная отношению тангенциального напряжения к градиенту скорости сдвига при ламинарном течении ньютоновской жидкости.

Жидкое нефтяное топливо – жидкий нефтепродукт, удовлетворяющий энергетические потребности путем превращения химической энергии в тепловую.

Зольность нефтепродукта – показатель, указывающий наличие у нефтепродукта несгораемых веществ.

Изоляционное масло – техническое масло для электроизоляции.

Индекс вязкости – безразмерная величина, характеризующая по стандартной шкале изменение вязкости масла в зависимости от температуры.

Индукционный период нефтепродукта – показатель, указывающий период времени, в течение которого нефтепродукт в условиях окисления сохраняет заданные свойства.

Индустриальное масло - нефтяное смазочное масло для станков и механизмов промышленного оборудования.

Испаряемость – эксплуатационное свойство, характеризующее способность нефтепродукта переходить из жидкого в газообразное состояние.

Качество продукции – совокупность свойств продукции, обуславливающие ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Квалификационные методы испытаний ТСМ - прямые методы, предназначенные для оценки эксплуатационных свойств ТСМ в ускоренных условиях.

Кинематическая вязкость нефтепродукта – отношение динамической вязкости к плотности нефтепродукта.

Коксуемость нефтепродукта – показатель, указывающий склонность нефтепродукта образовывать коксовые отложения при сгорании.

Компрессорное масло – нефтяное смазочное масло для поршневых и ротационных компрессоров.

Кондиционный нефтепродукт – нефтепродукт, удовлетворяющий всем требованиям нормативно-технической документации.

Консервационное свойство – эксплуатационное свойство, характеризующее способность нефтепродукта предохранять поверхность материалов от коррозионных агентов.

Конструктивная совместимость – эксплуатационное свойство, характеризующее воздействие нефтепродукта на конструкционные материалы.

Коррозионное свойство нефтепродукта - физико-химическое свойство, определяющее склонность нефтепродукта оказывать корродирующее действие на металлы.

Коэффициент трения – отношение силы трения двух тел к нормальной силе, прижимающей эти тела друг к другу.

Летучесть нефтепродукта – физико-химическое свойство, определяющее давление насыщенных паров нефтепродукта.

Люминометрическое число – показатель, указывающий интенсивность светового излучения пламени при сгорании жидкого нефтяного топлива в условиях испытания.

Марка нефтепродуктов – индивидуальный нефтепродукт, название, номерное или буквенное обозначение, состав и свойства которого регламентированы нормативно-технической документацией.

Мазут – жидкое нефтяное топливо для использования в топочных агрегатах или устройствах.

Моторное масло – нефтяное смазочное масло для поршневых двигателей внутреннего сгорания.

Мыльная смазка – пластичная смазка, в которой в качестве загустителя использованы соли высших жирных кислот.

Низкотемпературная вязкость запуска двигателя - является показателем способности масла течь и смазывать узлы трения в холодном двигателе.

Некондиционный нефтепродукт – нефтепродукт, не удовлетворяющий требованиям нормативно-технической документации.

Неорганическая смазка – пластичная смазка, в которой в качестве загустителя использовано неорганическое вещество.

Нефтебитум – смесь высокомолекулярных жидких или твердых углеводородов и смолисто-асфальтовых веществ.

Нефтепродукт – готовый продукт, полученный при переработке нефти.

Нефтяное смазочное масло – техническое масло для предупреждения или уменьшения износа трущихся поверхностей и уменьшения потерь на трение скольжения.

Октановое число – показатель, указывающий детонационную стойкость бензина в единицах эталонной шкалы.

Органическая смазка – пластичная смазка, в которой в качестве загустителя использовано органическое соединение, включая соли высших жирных кислот и твердые углеводороды.

Осветительный керосин – жидкое нефтяное топливо для применения в бытовых осветительных и нагревательных устройствах.

Отработанное масло – техническое масло, проработавшее срок или утратившее в процессе эксплуатации качество, установленное в нормативно-технической документации и слитое из рабочей системы.

Отработанные нефтепродукты – отработанные масла, промывочные нефтяные жидкости, а так же смеси нефти и нефтепродуктов, образующиеся при зачистке средств хранения, транспортирования, извлекаемые из нефтесодержащих вод.

Охлаждающее свойство – эксплуатационное свойство, характеризующее способность нефтепродукта отводить тепло.

Парафин – смесь твердых углеводородов нормального строения.

Предел прочности нефтепродукта – минимальное напряжение сдвига или разрыва, соответствующее началу необратимой деформации или разрыву испытуемого нефтепродукта.

Пенетрация – показатель, указывающий глубину проникновения конуса иглы под действием собственной силы тяжести в испытуемый нефтепродукт в течение заданного времени.

Пленочно-ингибированный состав – жидкий технологический состав из твердых углеводородов, ингибиторов и растворителя для получения твердого пленочного консервационного покрытия.

Показатель качества продукции – количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, входящих в ее качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания и эксплуатации или потребления.

Подгруппа нефтепродукта – совокупность нефтепродуктов, входящих в одну группу и имеющих сходные показатели качества и условия применения.

Приборное масло – нефтяное смазочное масло для приборов и точных механизмов.

Прокачиваемость – эксплуатационное свойство, характеризующее прокачку нефтепродукта через трубопроводы, фильтры, сепараторы, отверстия и зазоры.

Противоизносное свойство – эксплуатационное свойство, характеризующее способность нефтепродукта предотвращать все виды износа трущихся поверхностей.

Разделительная жидкость – техническая жидкость для предотвращения прямого контакта конструктивных элементов с агрессивными средами.

Регенерационное масло – техническое масло, получаемое очисткой отработанного масла физическими, химическими или физико-химическими методами, с эксплуатационными свойствами, восстановленными до требований нормативно-технической документации.

Синерезис нефтепродукта – физико-химическое свойство нефтепродукта, определяющее отделение масла при хранении под действием одностороннего давления или при нагревании.

Свойство продукции – объективная особенность продукции, которая может проявляться при ее создании, эксплуатации и потреблении.

Склонность к образованию отложений – эксплуатационное свойство, характеризующее способность нефтепродукта образовывать жидкие и твердые отложения.

Смазочно-охлаждающая жидкость – жидкий технологический состав для смазки и охлаждения при обработке материалов резанием.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Твердое смазочное покрытие – жидкий технологический состав из порошкообразного смазочного материала, связующего и растворителя для получения твердого смазочного покрытия.

Температура начала кристаллизации – температура, при которой в нефтепродукте начинается образование кристаллов в условиях испытания.

Температура помутнения нефтепродукта – температура, при которой жидкий прозрачный нефтепродукт начинает мутнеть в условиях испытания.

Температура застывания нефтепродукта – температура, при которой нефтепродукт теряет подвижность в условиях испытания.

Температура вспышки нефтепродукта – минимальная температура, при которой происходит кратковременное воспламенение паров нефтепродукта от пламени в условиях испытания.

Температура самовоспламенения нефтепродукта – температура возгорания паров нефтепродукта без контакта с пламенем в условиях испытания.

Температура воспламенения нефтепродукта – температура, при которой нефтепродукт, нагреваемый в условиях испытания, загорается и горит не менее 5 с.

Температура каплепадения нефтепродукта – температура падения первой капли пластичного нефтепродукта, нагреваемого в капсуле специального термометра.

Технологическое масло – жидкий технологический состав для использования при обработке материалов давлением, термообработке, при переработке сырья.

Технологическая смазка – пластичный технологический состав для использования при обработке материалов, металлов давлением и переработке сырья.

Термостойкость нефтепродукта – физико-химическое свойство, определяющее способность нефтепродукта противостоять химическим превращениям под действием высоких температур.

Термоокисляемость нефтепродукта – термостойкость нефтепродукта в присутствии кислорода или воздуха.

Тиксотропность нефтепродукта – физико-химическое свойство, определяющее изменение реологических характеристик при постоянной температуре в результате разрушения структурного каркаса пластичного нефтепродукта при деформации, а также дальнейшем изменении этих характеристик после прекращения деформирования.

Тип нефтепродуктов – совокупность нефтепродуктов одинакового функционального назначения.

Токсичность – эксплуатационное свойство, характеризующее воздействие нефтепродукта или продуктов его сгорания и разложения на человека и окружающую среду.

Тормозная жидкость – техническая жидкость для гидросистем тормозов.

Трансмиссионное масло – нефтяное смазочное масло для механических трансмиссий.

Углеводородная смазка – пластичная смазка, в которой в качестве загустителя использованы твердые углеводороды.

Уплотнительная смазка – пластичная смазка для герметизации уплотнений и подвижных соединений.

Фракционный состав нефтепродукта – состав нефтепродукта, определяющий количественное содержание фракций, выкипающих в определенных температурных пределах, остаток и потери при перегонке в заданных условиях.

Физико-химическое свойство нефтепродукта – составная часть эксплуатационного свойства нефтепродукта, характеризующая совокупность однородных явлений, определяемых в лабораторных условиях.

Функциональная совместимость – свойство, определяющее способность двух и более нефтепродуктов сохранять эксплуатационные свойства при смешении.

Холодильное масло – нефтяное смазочное масло для холодильных машин.

Церезин – смесь твердых высокомолекулярных предельных углеводородов преимущественно изостроения.

Цетановое число – показатель, указывающий скорость нарастания давления при сгорании жидкого нефтяного топлива в поршневых двигателях с воспламенением топливовоздушной смеси от сжатия, выраженный в единицах эталонной шкалы.

Эксплуатационное свойство нефтепродукта – свойство нефтепродукта, проявляющееся при производстве, транспортировании, хранении, испытании, применении и характеризующее совокупность однородных явлений при этих процессах.

Эксплуатационное свойство топлива – объективная особенность топлива, которая может проявляться в процессе производства, транспортирования, хранения, испытания и применения его в технике.

III ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС

1 АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВ

В качестве возможных видов моторных топлив, которые могут заменить жидкие (бензин, дизельное топливо) и газообразные (пропан-бутановые смеси, природный газ) топлива, в ближайшем будущем и в более отдаленной перспективе, могут использоваться:

- жидкие углеводородные смеси, близкие по составу и свойствам к существующим моторным топливам, но получаемые не из нефти (биогаз, горючие сланцы, синтетические нефть и газ из угля и др.);

- искусственные газовые смеси для дизелей (на основе любого инертного газа);

- соляно-водные смеси для дизелей (аквазол и др.);

- биотопливо первого, второго и третьего поколений;

- спирты и бензоспиртовые смеси (метилловый, этиловый, изобутиловый и другие спирты и их смеси с автобензином в различных пропорциях);

- водород;

- азотоводородные соединения.

При выборе альтернативного топлива исходят из следующих требований:

- соответствие нового топлива традиционным (классическим) способам организации рабочего процесса в транспортных двигателях;

- доступность сырья и перспективы его добычи в больших объемах;

- трудоемкость и экономичность процессов переработки сырья в топливо.

В настоящее время частично получили распространение и использование в двигателях большинство из перечисленных альтернативных видов топлив.

1.1 Биотопливо

Биотопливо – топливо, получаемое из биологического сырья, как правило, в результате различной переработки биологических или промышленных отходов.

В настоящее время в равной степени получили распространение: жидкое биотопливо (для двигателей внутреннего сгорания, например, этанол, метанол, биодизель), твёрдое биотопливо (дрова, брикеты, топливные гранулы, щепа, солома, лузга) и газообразное (биогаз, водород).

На практике биотоплива разделяют по поколениям (рис. 1):

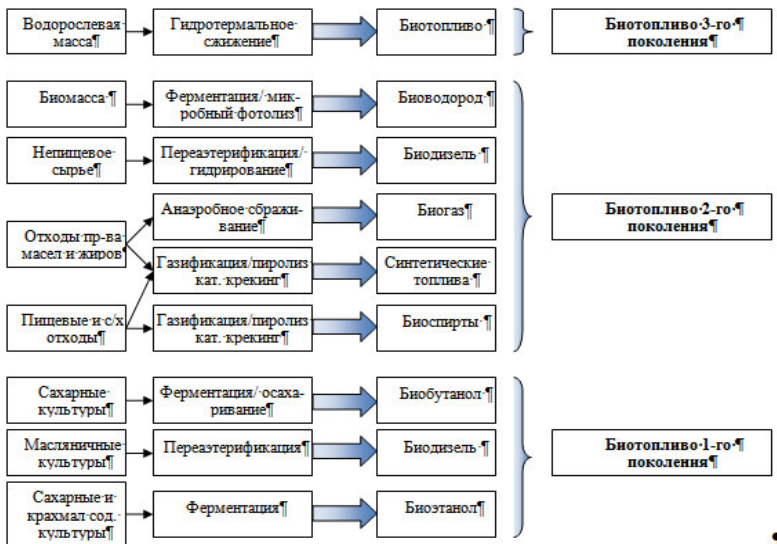


Рис. 1 - Схема технологических процессов получения биотоплив

- **биотопливо первого поколения** изготавливают из сахара, крахмала, растительного масла и животного жира. Основным источником его производства являются различные семена или зерна;

- **биотопливо второго поколения** производится из биомассы, состоящей из остаточных, неприщевых растений, таких как стебли, листья, шелуха, просо, ятрофа (непищевые растения) и производст-

венного мусора. Технологии производства биотоплива второго поколения позволяют также извлекать полезное сырье из древесной или волокнистой биомассы, содержащих целлюлозу и лигнин и представляющих собой составные углеводы (молекулы, основанные на сахаре). Из сахаров в результате брожения получается лигноцеллюлозный этанол, который на 90% уменьшает выбросы парниковых газов. Лигнин используется для получения тепловой энергии;

- **биотопливо третьего поколения** производится в основном из водорослей.

Разница между биотопливом второго и первого поколений заключается в возможности использования более широкого спектра биомасс, в том числе и относительно дешевых. Эти источники включают в первую очередь непищевую биомассу, предназначенную для получения энергии растения, и иные ресурсы из биомассы: солома и отходы лесозаготовок и деревообработки и т.д. Своеобразную революцию в биоэнергетике связывают с открытием филаментозного гриба, способного преобразовывать целлюлозу в сбраживаемый сахар.

Биодизель – смесь метиловых эфиров жирных кислот, сходная по физическим и химическим свойствам с дизельной фракцией из нефти. Биодизель имеет цетановое число не менее 51 (по сравнению с обычным дизельным топливом 42...45), температуру вспышки более 150 °С, имеет хорошие смазочные характеристики. Главный недостаток – ограниченный срок хранения после изготовления – не более 3 месяцев вследствие бактериального разложения. В то же время данное свойство является одним из главных преимуществ – в случае утечек биодизельного топлива оно подвергается полному биологическому распаду без ущерба окружающей среде.

Получается реакцией переэтерификации жирных кислот, содержащихся в растительных маслах (рапсовое, соевое, пальмовое) и метилового спирта в соотношении 10:1, в присутствии в качестве катализатора – метилата натрия. Реакция происходит в процессе смешения масла и спирта в емкости с мешалкой при нормальной температуре 20...25 °С. Побочным продуктом является глицерин, отделяемый далее в отмывочной колонне водой.

Биодизельное топливо может применяться как в чистом виде, так и в виде смеси с дизельным топливом. В США маркировка смешанных топлив осуществляется следующим образом: сначала идет буква «В» – это общее обозначение, а дальше указывается процентное содержание биодизеля. Например, марка топлива В2 означает, что в нем присутствует 98 % дизельного топлива и 2 % биодизеля. В настоящее время выпускаются марки В2, В5, В10, В90 и В100. Использование качественных смешанных топлив не требует внесения каких-либо конструктивных изменений в действующие автомобильные двигатели.

Для биодизеля Европейской организацией стандартов разработан стандарт EN14214. Кроме него существуют стандарты EN590 (или EN590:2000) и DIN 51606. Первый описывает физические свойства всех видов дизельного топлива, реализуемого в ЕС, Исландии, Норвегии и Швейцарии. Этот стандарт допускает содержание 5 % биодизеля в минеральном дизеле, в некоторых странах (например, во Франции) все дизтопливо содержит 5 % биодизеля. DIN 51606 - германский стандарт, разработанный с учетом совместимости с двигателями почти всех ведущих автопроизводителей, поэтому он является самым строгим. Большинство видов биодизеля, производимых для коммерческих целей на Западе, соответствует ему или даже превосходит. В России биодизель выпускается в соответствии с требованием ТУ У 24.1-34582279-002:2006 (таблица 1).

Достоинствами биодизеля являются хорошие смазочные характеристики. Минеральное дизтопливо при устранении из него сернистых соединений теряет свои смазочные способности. Биодизель, несмотря на значительно меньшее содержание серы, характеризуется хорошими смазочными свойствами, что продлевает срок жизни двигателя. Это вызвано его химическим составом и содержанием в нём кислорода.

При работе двигателя на биодизеле одновременно производится смазка его подвижных частей, в результате которой, как показывают испытания, достигается увеличение срока службы самого двигателя и топливного насоса в среднем на 60%. Важно отметить, что нет необходимости модернизировать двигатель. Точка воспла-

менения для биодизеля превышает 150 °С, что делает биогорючее сравнительно безопасным веществом. Побочный продукт производства - глицерин, имеющий широкое применение в промышленности. Очищенный глицерин используют для производства технических моющих средств (например, мыла). После глубокой очистки получают фармакологический глицерин, тонна которого на рынке стоит порядка 1 тыс. евро. При добавлении фосфорной кислоты к глицерину можно получить фосфорные удобрения.

Таблица 1

Характеристика биотоплива дизельного
ТУ У 24.1-34582279-002:2006

Показатель	Значение
Цетановое число, не меньше	51
Кинематическая вязкость при температуре 40°С, мм ² /с, в пределах	3,5-5,0
Плотность при температуре 15°С, кг/м ³ в пределах	860-900
Температура вспышки °С, не менее	120
Массовая часть серы, %, не более	0,001
Коксуемость 10%-го остатка, не более	0,30
Зольность, %, не более	0,02
Содержание воды, %, не более	0,05
Испытания на медной пластине	выдерживает
Стабильность окисления при температуре 110°С, часов, не менее	6,0
Кислотное число, мг КОН на г, не более	0,50
Йодное число, г йода на 100г, не более	120
Массовая часть эфиров, %, не менее	96,5
Массовая часть метилового эфира линолеиновой кислоты, %, не более	12,0
Массовая часть метанола, %, не более	0,20
Массовая часть моноглицерида, %, не более	0,80
Массовая часть диглицерида, %, не более	0,20
Массовая часть триглицерида, %, не более	0,20
Массовая часть свободного глицерина, %, не более	0,02
Общий глицерин, %, не более	0,25
Массовая часть фосфора, %, не более	10,0
Содержание механических примесей	отсутствуют

К недостатком биодизеля можно отнести следующее. В холодное время года необходимо подогревать топливо, идущее из топливного бака в топливный насос, или применять смеси 20 % биоди-

зеля и 80 % солярки марки В20. Долго не хранится (около 3 месяцев). Производство топлива из растений расходует верхний плодородный слой почвы.

Наиболее распространенные сельскохозяйственные культуры для производства биодизеля в различных странах: ЕС - рапс; США - соя; Канада - канола (разновидность рапса); Индонезия, Филиппины - пальмовое масло; Филиппины - кокосовое масло; Индия - ятрофа, (*Jatropha*); Африка - соя, ятрофа; Бразилия - касторовое масло.

Также применяется отработанное растительное масло, животные жиры, рыбий жир и т.д.

Наиболее перспективным источником сырья для производства биодизеля являются водоросли. По оценкам Департамента Энергетики США с одного акра (4047 м² ~ 0,4га) земли можно получить 255 литров соевого масла, или 2400 литров пальмового масла. С такой же площади водной поверхности можно производить до 3570 барреля бионефти (1 баррель = 159 литров). По оценкам компании Green Star Products с 1 акра земли можно получить 48 галлонов соевого масла, 140 галлонов масла канола и 10000 галлонов из водорослей.

Биогаз - газ, получаемый водородным или метановым брожением биомассы. Метановое разложение биомассы происходит под воздействием трёх видов бактерий. В цепочке питания последующие бактерии питаются продуктами жизнедеятельности предыдущих. Первый вид - бактерии гидролизные, второй - кислотообразующие, третий - метанообразующие. В производстве биогаза участвуют не только бактерии класса метаногенов, а все три вида.

Биогаз представляет собой смесь метана и углекислого газа и является продуктом метанового брожения органических веществ растительного и животного происхождения. Биогаз преимущественно состоит из метана (СН₄). Это тот же горючий газ в ряду углеводородов, из которого преимущественно состоит природный газ. Содержание в природном газе метана более 90 %, а в биогазе – 45-75 %. В жидкое состояние метан переходит при температуре -161,6 °С. Метан почти не растворим в воде, легче воздуха. При комнатной температуре и нормальном атмосферном давлении практически не вступает в химические реакции. Второй значительный по объему

компонент биогаза – углекислый газ (CO_2), он тяжелее воздуха, хорошо растворяется в холодной воде. При давлении больше 5,28 атм и комнатной температуре углекислота переходит в жидкое состояние. В биогазе содержится 25-55 % углекислого газа. Третий компонент биогаза – пары воды (H_2O). Их количество зависит от температуры биогаза и условий его получения и хранения и составляет единицы процентов. Обычно биогаз осушают перед использованием. Четвертый компонент биогаза, который часто присутствует в нем – сероводород (H_2S). Его может содержаться в биогазе от 0 до 2%. Сероводород плохо растворяется в воде. При сжигании сероводорода получается сернистый газ (SO_2). В большой концентрации сероводород разъедает металлы. Сернистый газ может служить источником получения серной кислоты. Пятый компонент биогаза – аммиак (NH_3). Обычно его концентрация не превышает процента. Это тоже агрессивный газ. Остальные компоненты присутствуют в биогазе в виде следов в доли процента – азот, кислород, водород. Они не оказывают существенного влияния на его свойства.

При сжигании биогаза сгорает метан, содержащийся в нем. Теплота, образующаяся при сгорании биогаза, меньше теплоты, образующейся при сжигании природного газа, пропорционально соотношениям количеств метана в природном газе и биогазе. Поскольку в биогазе меньше метана, чем в природном газе, то для сгорания единицы объема биогаза нужно меньше воздуха, чем при сжигании такой же единицы объема природного газа.

Биогаз относится к топливам, получаемым из местного сырья. Хотя потенциальных источников для его производства достаточно много, на практике круг их сужается вследствие географических, климатических, экономических и других факторов. Биогаз как альтернативный энергоноситель может служить высококалорийным топливом. Он предназначен для улучшения технико-эксплуатационных и экологических показателей работы двигателя внутреннего сгорания. Применение биогаза в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания позволяет снизить выбросы, а также улучшить топливную экономичность.

Перечень органических отходов, пригодных для производства биогаза: навоз, птичий помёт, зерновая и меласная послеспиртовая барда, пивная дробина, свекольный жом, фекальные осадки, отходы рыбного и забойного цеха (кровь, жир, кишки, каньга), трава, бытовые отходы, отходы молокозаводов - соленая и сладкая молочная сыворотка, отходы производства биодизеля - технический глицерин от производства биодизеля из рапса, отходы от производства соков - жом фруктовый, ягодный, овощной, виноградная выжимка, водоросли, отходы производства крахмала и патоки - мезга и сироп, отходы переработки картофеля, производства чипсов - очистки, шкурки, гнилые клубни, кофейная пульпа.

Кроме отходов биогаз можно производить из специально выращенных энергетических культур, например, из силосной кукурузы или силфия, а также водорослей. Выход газа может достигать до 300 м³ из 1 тонны.

Выход биогаза зависит от содержания сухого вещества и вида используемого сырья. Из тонны навоза крупного рогатого скота получается 50-65 м³ биогаза с содержанием метана 60 %, 150-500 м³ биогаза из различных видов растений с содержанием метана до 70 %. Максимальное количество биогаза - это 1300 м³ с содержанием метана до 87 % - можно получить из жира. На практике из 1 кг сухого вещества получают от 300 до 500 литров биогаза.

Таблица 2

Характеристики горючести биогаза и природных газов

Показатели	Биогаз	Природный газ	Пропан	Метан
Теплота сгорания, кВт·ч/м ³	6,0	10,0	26,0	10,0
Плотность кг/м ³	1,2	0,7	2,01	0,72
Соотношение плотности с воздухом, кг/м ³	0,9	0,54	1,51	0,55
Температура воспламенения, °С	700	650	470	650
Скорость распространения пламени в воздухе, м/с	0,25	0,39	0,42	0,37
Предел воспламенения пламени в воздухе, %	6,0 - 12,0	5,0 - 15,0	2,0 - 10,0	5,0 - 15,0

Чтобы посчитать выход биогаза из конкретного сырья, необходимо провести лабораторные испытания или посмотреть справочные данные и определить содержание жиров, белков и углеводов. При определении последних важно узнать процентное содержание быстрорастворимых (фруктоза, сахар, сахароза, крахмал) и трудно-растворимых веществ (например, целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин). Определив содержание веществ, можно вычислить выход газа для каждого вещества по отдельности и затем сложить.

Таблица 3

Физико-химические показатели природного газа и биогаза

Наименование показателя	Значения	
	природного газа	биогаза
1 Объемная теплота сгорания низшая, кДж/м ³ , не менее	31800	32260
2 Относительная плотность к воздуху	0.55-0.70	0.72
3 Расчетное октановое число газа (моторному методу), не менее	105	110
4 Концентрация сероводорода, г/м ³ , не более	0.02	0
5 Концентрация меркаптановой серы, г/м ³ , не более	0.036	0
6 Масса механических примесей в 1 м ³ , более	1.0	1.0
7 Суммарная объемная доля негорючих компонентов, %, не более	7.0	6.6646
8 Объемная доля кислорода, %, не более	1.0	0
9 Концентрация паров воды, мг/м ³ , не более	9.0	0

Свалочный газ - одна из разновидностей биогаза. Получается на свалках из муниципальных бытовых отходов.

Газопоршневые двигатели чувствительны к примесям, содержащимся в биогазе. Остатки таких агрессивных газов, как аммиак или сероводород, вызывают коррозию металлических поверхностей цилиндра и поршня, выхлопных труб, окисляют масло, циркулирующее в системе смазки, из-за чего оно теряет свои смазывающие свойства. От содержания углекислого газа в биогазе зависят детонационные свойства горючей смеси воздуха с биогазом (для бензинов характеризуется октановым числом), соответственно, усложняется система регулировки угла опережения зажигания, нарушается оптимальное соотношение степени сжатия и объема камеры сгорания и

т.д. И, хотя режим работы на газообразном топливе является более щадящим для поршневых двигателей внутреннего сгорания, чем режим работы на жидком топливе, вышеописанные факторы заметно ограничивают моторесурс газопоршневых генераторов, работающих на биогазе. Для промышленных устройств моторесурс обычно не превышает 5 лет непрерывной работы, предусматривающей лишь остановки для проведения ТО и регламентных работ (замена масла, свечей, прокладок и т.п.). Маломощные генераторы имеют моторесурс не более 1 года, и обычно не рассчитаны на непрерывную работу.

1.2 Соляно-водные и бензо-водные смеси

Эмульгированное дизельное топливо. Альтернативой нефтяному дизельному топливу является добавление в него 20 % воды и 1 % эмульгатора. Смесь можно использовать в дизелях без их переделки. Цвет смеси – мутно-белый. Срок хранения после приготовления – около трёх месяцев. Технология применяется в Германии. Возможность добавления воды и эмульгатора в биодизель не изучена.

Эмульгаторы – вещества, обеспечивающие создание эмульсий из несмешивающихся жидкостей. Действие эмульгаторов основано на способности поверхностно-активных веществ (ПАВ) снижать энергию, необходимую для создания свободной поверхности раздела фаз. Концентрируясь на поверхности раздела смешивающихся фаз, ПАВ снижают межфазное поверхностное натяжение и обеспечивают длительную стабильность композиции. В зависимости от природы ПАВ они ускоряют образование и стабилизируют тип эмульсии, в дисперсионной среде которой они лучше растворимы.

Но добавление воды в дизельное топливо катастрофично. Для форсунок с высоким давлением (как у CDI) вода и сера является агрессивным элементом. При высоком давлении в составе топлива образуется серная кислота, которая разрушает прецизионные каналы. При попадании картерных газов в масло сера сокращает срок его

службы. Кроме того, кислоты сокращают срок службы катализаторов и сажевых фильтров.

Широкие исследования по созданию водно-топливных эмульсий проводились научными институтами в нашей стране. На базе полученных результатов в 1980 г. была разработана пятилетняя государственная целевая научно-техническая программа по расширению ресурсов и экономии топлива при помощи добавок воды. В ней участвовали несколько министерств: научное руководство программой осуществлял крупнейший специалист в области химмотологии профессор А.Братков под патронажем бывшего председателя Госплана СССР Н.Байкова. В процессе исследований профессором Э. Исаевым было разработано топливо "Аквазин" - "Аква" - вода, "зин" - хвост от бензина. Безсвинцовое высокооктановое топливо с содержанием воды от 10 до 30 %. Получается путем соединения воды с продуктами нефтепереработки либо с природным или попутным газом при помощи эмульгатора, который не дает расслаиваться водно-бензиновой смеси. Аквазин служит прекрасным заменителем различных марок бензина, авиакеросина, дизтоплива. Его несомненные преимущества перед традиционными видами топлива - пониженное содержание вредных веществ и отсутствие соединений свинца в отработавших газах. В них в 3-5 раз меньше закиси углерода, а окислов азота - на 25-30 %. Другие достоинства аквазина - повышенная антидетонационная устойчивость: уменьшение теплонапряженности двигателя на 200 град. С и увеличение его мощности за счет повышения степени сжатия.

В 1990 г. при АН СССР была создана общественная организация "Аквазин", разработавшая программу производства альтернативного топлива. Она вошла в Госпрограмму экологически безопасной энергетики. Затем был решен вопрос строительства в Нижневартовске первой промышленной установки, которая должна была давать 30-50 тыс. тонн аквазина в год. Но в связи с изменением экономической ситуации работы были прекращены.

За рубежом исследованиями соляно-водной смеси занимались концерн "Эльф" и компания А-55 (США) проводящие испытания на смесях с 50 % содержанием воды.

1.3 Спирты

Для смешения в качестве спиртов используются продукты, полученные синтетическим путем при переработке углеводородного сырья, а также из возобновляемых видов сырья. Спиртовые топлива имеют более низкую энергоплотность по сравнению с нефтяными моторными топливами. Такие топлива образуют водноспиртовые смеси, приводящие к расслаиванию топлива, спиртовые добавки отрицательно воздействуют на пластмассовые и резиновые детали двигателя. В настоящее время наибольший интерес вызывают спиртовые добавки, полученные из возобновляемых видов сырья (биотоплива).

Этанол

Этанол (еще называется этиловым спиртом или хлебным спиртом) представляет собой альтернативный вид топлива, его можно смешивать с бензином для получения топлива с более высоким октановым числом и меньшим содержанием вредных веществ в выбросах по сравнению с чистым бензином. Этанол производится за счет брожения зерновых продуктов таких как кукуруза, ячмень или пшеница; и дистилляции. Также его можно производить из многих видов трав и деревьев по более сложной технологии, в таком случае его называют биоэтанолом. В соответствии с Законом об энергетической политике от 1992 г. смеси, содержащие не менее 85% этанола, считаются альтернативными видами топлива. E85, смесь состоящая на 85% из этанола и на 15% из бензина, используется в транспортных средствах с универсальной топливной системой, которые предлагаются большинством производителей транспортных средств. Транспортные средства с универсальной топливной системой могут работать на бензине, E85, или на любом сочетании этих двух видов топлива.

Смеси с большим содержанием этанола, такие как E95, также являются отличными альтернативными видами топлива. Смеси с более низкими концентрациями этанола, такие как E10 (10% этанола и 90% бензина), иногда используются для увеличения октанового

числа и повышения качества выбросов, но они не рассматриваются как альтернативные виды топлива.

В настоящее время производятся следующие марки топлив с этанолом:

E5, E7, E10 - смеси с низким содержанием этанола (5, 7 и 10 весовых процентов, соответственно), наиболее распространённые в наши дни. В этих случаях добавка этанола не только экономит бензин путём его замещения, но и позволяет удалить вредную оксигенирующую добавку МТБЭ.

E85 - смесь 85 % этанола и 15 % бензина. Стандартное топливо для т.н. «Flex-Fuel» машин, распространённых, в основном в Бразилии и США, и в меньшей степени - в других странах. Из-за более низкой энергоплотности продаётся дешевле, чем бензин.

ED95 - смесь 95 % этанола и 5 % топливной присадки. Компания Scania начала разрабатывать дизельный двигатель для автобуса, работающий на 95 % этаноле в середине 80-х годов. Создана программа испытаний городских автобусов с двигателями, работающими на 95 % этаноле - BEST (BioEthanol for Sustainable Transport).

E100 - формально 100 % этанол, однако в силу того, что этанол гигроскопичен, получение и использование этанола без остаточной концентрации воды невыгодно. Поэтому в большинстве случаев под E100 подразумевают стандартную азеотропную смесь этанола (96 % C_2H_5OH и 4 % воды, (по весу); 96,5 % и 3,5 % в объёмных процентах). Путём обычной дистилляции невозможно получить более высокую концентрацию этанола.

Производство этанола поддерживает фермеров и позволяет создавать рабочие места внутри страны. И поскольку этанол производится внутри страны и из выращиваемого в стране зерна, он снижает зависимость от импортируемой нефти и повышает национальную энергетическую безопасность.

В России выпускается "Этанол 99,8" или "Биоэтанол" который может использоваться в качестве октаноповышающей добавки, как для прямогонных, так и для товарных бензинов. Также биоэтанол может использоваться в качестве самостоятельного моторного и котельного топлива, топлива для биокаминов и т.д.

Главной проблемой производства биоэтанола из товарной сельскохозяйственной продукции, в первую очередь из зерна, является сокращение доли земель, занятых под производство кормовых и пищевых культур и, как следствие, рост цен на продовольствие. Так, по оценкам бюджетного комитета Конгресса США, вклад роста использования зерна для производства этанола в повышении цен на продовольствие составил 35 %.

В настоящее время в России ГОСТ 33872-2016 установлены следующие марки биоэтанола (таблица 4):

Таблица 4

Требования к биоэтанолу

Наименование показателя	Значение для марки биоэтанола	
	абсолютированного	обводненного
Внешний вид	Однородная, прозрачная жидкость от бесцветного до светло-желтого цвета, не содержащая механических примесей	
Объемная доля этилового спирте. % не менее	92,1	
3 Объемная доля метилового спирта. % не более	0,5	
Массовая доля воды. % не более	1,0	7,5
Мвссосоая концентрация смол, промытых растворителем, мг/дм ¹ био-этанола (мг/ЮО см ⁹), не более	50 (5)	
Кислотность (в пересчете на уксусную кислоту), мг/дм* (% масс.), не более	56 (0,007)	
Показатель активности водородных ионов рН. в пределах	6,5 - 9,0	
Массовая концентрация неорганических хлоридов. мг/кг. не более	10	
Массовая доля меди, мг/кг. не более	0,1	
1 Массовая доля серы, мг/кг, не более	10	

- *Биоэтанол абсолютированный*, содержащий не более 1,0 % масс. воды, предназначенный для использования в качестве компонента при производстве автомобильного бензина и различных видов

биоэтанольных топлив, в качестве сырья для производства других топливных компонентов (добавок), в том числе, полученных в процессе химических превращений биоэтанола, таких как этилтретбутиловый эфир (ЭТБЭ) и др., а также для поставки на экспорт.

Таблица 5

Показатели качества бензолов

Наименование показателя	Значение
1 Октановое число, не менее:	
по исследовательскому методу	80
по моторному методу	76
2 Концентрация свинца, мг/дм ³ , не более	5
3 Объемная доля этанола, %	5,0-10,0
4 Массовая доля кислорода, %, не более	3,5
5 Давление насыщенных паров, кПа	45-100
6 Фракционный состав:	
объемная доля испарившегося бензола, %, при температуре:	
70 °С	20,0-50,0
100 °С	46,0-71,0
150 °С, не менее	75,0
конец кипения бензола, °С, не более	210
остаток в колбе, % (по объему), не более	2
7 Концентрация серы, мг/кг, не более	500
8 Объемная доля бензола, %, не более	5,0
9 Степень коррозии стального стержня, баллы, не более	1
10 Фазовая стабильность (температура помутнения) бензола, °С, не выше:	
на месте производства:	
для летнего вида	-10
для зимнего вида	-30
на месте применения:	
для летнего вида	-5
для зимнего вида	-25

- *Биоэтанол обводнённый*, содержащий не более 7,5 % масс. воды, предназначенный для использования в качестве компонента при производстве биоэтанольных топлив, для которых допускается

повышенное содержание воды, поставки на экспорт, а также для последующей абсолютизации.

Бензол; газохол: автомобильное моторное топливо, представляющее собой смесь нефтяных бензинов и этанола. Бензанолами называют смеси, в которых объемная доля этанола составляет от 5 % до 10 % В зависимости от детонационной стойкости различают три марки бензинов: БИ 80, БИ 92, БИ 95, БИ 98 (ГОСТ Р 52201).

Виды топлива серии Р

Топливо серии Р представляет собой смесь этанола, газоконденсатной жидкости и метилтетрагидрофурана, вспомогательного растворителя, полученного из биомассы. Виды топлива серии Р представляют собой прозрачные альтернативные виды топлива с высоким октановым числом, которые можно использовать в транспортных средствах с универсальной топливной системой. Топлива серии Р можно использовать в чистом виде или в смеси с бензином в любом соотношении путем простого добавления бензина в бак.

Метанол

Метанол, также известный, как древесный метиловый спирт, может использоваться в качестве альтернативного вида топлива в транспортных средствах с универсальной топливной системой, которая спроектирована для работы на М85 - смеси, содержащей 85% метанола и 15% бензина. Но в наши дни пока не производят транспортных средств с метаноловыми двигателями. Тем не менее, в будущем метанол может стать важным альтернативным видом топлива в качестве источника водорода, который необходим для работы топливных элементов.

В ряде стран получили распространение бензоспиртовые топлива, например, смеси автобензина с метанолом, этанолом. Иногда (для авто- и мотогонок) используется чистый метанол. Но в основном применяют смеси, содержащие 5-15 % спиртов и 85-95 % автобензина. Основное преимущество бензометанольных топлив – уменьшение содержания оксидов азота, оксида углерода и других вредных веществ в выхлопных газах автомобилей.

Помимо применения метанола в качестве альтернативы бензина существует технология применения метанола для создания на

его базе угольной суспензии которая в США имеет коммерческое наименование «метакол» (methacoal). Такое топливо предлагается как альтернатива мазута, широко используемого для отопления зданий (Топочный мазут). Такая суспензия в отличие от водоуглеродно-го топлива не требует специальных котлов и имеет более высокую энергоемкость. С экологической точки зрения такое топливо имеет меньший «углеродный след», чем традиционные варианты синтетического топлива получаемого из угля с использованием процессов, где часть угля сжигается во время производства жидкого топлива.

К положительным качествам метанола относятся:

- высокие антидетонационные свойства, что позволяет повысить степень сжатия в камере сгорания до 12-14 и снизить удельный расход энергии на единицу мощности (повысить КПД двигателя).

- температура сгорания спиртов ниже температуры сгорания бензина и это приводит к уменьшению содержания в отработавших газах оксидов азота, которые образуются при температуре выше 109 °С.

- наличие атома кислорода в молекуле спиртов приводит к уменьшению стехиометрического соотношения топливо: воздух и как следствие увеличению скорости сгорания и уменьшению содержания СО в отработавших газах.

Ограниченность их использование в качестве моторного топлива связана с целым рядом общих недостатков, присущих этим спиртам:

- метанол корродирует алюминий. Проблемным является использование алюминиевых карбюраторов и инжекторных систем подачи топлива в ДВС. Это относится в основном к метанолу-сырцу, содержащему значительные количества примесей муравьиной кислоты и формальдегида. Технически чистый метанол, содержащий воду, начинает реагировать с алюминием при температуре выше 50 °С, а с обычной углеродистой сталью не реагирует вовсе.

- гидрофильность. Метанол втягивает воду, что является причиной расслоения топливных смесей бензин-метанол.

- Метанол, как и этанол, повышает пропускную способность пластмассовых испарений для некоторых пластмасс (к примеру,

плотного полиэтилена). Эта особенность метанола повышает риск увеличения эмиссии летучих органических веществ, что может привести к уменьшению концентрации озона и усилению солнечной радиации.

- уменьшенная летучесть при холодной погоде: моторы, работающие на чистом метаноле, могут иметь проблемы с запуском при температуре ниже +10 °С и отличаться повышенным расходом топлива до достижения рабочей температуры. Данная проблема в тоже время, легко решается добавлением в метанол 10 - 25 % бензина.

Для устранения или нивелирования перечисленных недостатков необходимо применять специальные меры:

- ограничение или лучше устранение возможности контакта с водой и водяными парами или проведения осушки спиртов перед заправкой в автомобиль; оба варианта чрезвычайно трудно реализуемы в больших масштабах;

- использования металлов или различных покрытий, не подвергающихся коррозии при контакте со спиртовыми топливами или введение в спиртовые топлива специальных антикоррозионных присадок (ингибиторов коррозии); и тот и другой методы борьбы с коррозионной агрессивностью спиртовых топлив ухудшают экономические показатели их применение;

- замена резинотехнических и пластмассовых изделий, подвергающихся воздействию спиртовых топлив, на материалы, стойкие к такому воздействию;

- разработка каталитических нейтрализаторов отработавших газов, способных обеспечить окисление альдегидов, кислот и других продуктов неполного сгорания спиртовых топлив до воды и диоксида углерода;

- организация производства двигателей, специально предназначенных для работы на спиртовых топливах.

Известные составы спиртовых смесей, применяемых в автоспорте:

- смесь 1 (для двигателя со степенью сжатия 12...15): Метанол - 86 %; Нитробензол - 4 %; Ацетон - 9 %; Сернистый эфир - 1 %.

- смесь 2 (для двигателя со степенью сжатия 12...13): Метанол - 80 %; Бензин - 10 %; Ацетон - 10 %.

- смесь 3 (для двигателя со степенью сжатия 11.5...12.5): Метанол - 40 %; Этиловый спирт (95 %) - 30 %; Бензол - 30 %.

- смесь 4 (для двигателя со степенью сжатия 11...12): Метанол - 33,3 %; Бензин - 33,3 %; Бензол - 33,3 %.

Эксплуатационные свойства метанольного топлива, и в первую очередь энергетические показатели и пусковые качества, улучшаются при дополнительном вводе высших спиртов и эфиров. Такие топлива получили название смесевых спиртовых топлив. Испытания одной из композиций смесевое топлива показали увеличение мощности двигателя на 4 -7 % и улучшение топливной экономичности (в сравнении с чистым метанолом) - на 10 -15 %, при этом содержание в отработавших газах оксидов азота снижается на 25 - 30 % в сравнении с работой на бензине.

Использование спиртов в дизелях затрудняется из-за низких цетановых чисел, высокой температуры самовоспламенения и плохих смазывающих свойств, ведущих к повышенному износу топливной аппаратуры. Работа дизелей на спиртовых топливах возможна при использовании смеси спиртов и дизельного топлива с повышенным цетановым числом, введении в топливо активирующих присадок, подаче спиртов в испаренном виде, впрыске запального дизельного топлива, переоборудовании дизеля в двигатель в искровым воспламенением. Из перечисленных вариантов наиболее приемлемой для эксплуатации является добавка к спиртам различных присадок.

Оксигенатные топлива

Оксигенатные топлива: смесь углеводородных топлив (бензинов, дизельных топлив) с кислородсодержащими добавками (КСД): МТБЭ, ДМЭ, ТАМЭ, ЭТБЭ.

Распространение получили также оксигенатные топлива, т.е. смеси автобензина с различными эфирами. Наиболее распространенной добавкой является метилтретбутиловый эфир (МТБЭ).

МТБЭ это бесцветная жидкость с резким запахом, температура кипения 55 °С. Введение МТБЭ снижает неравномерность распределения детонационной стойкости бензина по фракциям. МТБЭ

обладает высокой детонационной стойкостью, октановые числа смешения его изменяются от 115 до 135 по исследовательскому методу или от 98 до 100 - по моторному. Токсикологические испытания показали, что МТБЭ не оказывает отрицательного действия на организм человека. Добавление МТБЭ в бензины снижает содержание оксида углерода, углеводородов и полициклических ароматических соединений в отработавших газах. Некоторым недостатком МТБЭ является более низкая, чем у углеводородов, теплота сгорания (35 200 кДж/кг) и способность растворяться в воде, хотя и в небольшой концентрации (до 4,8 г в 100 г воды при 20 °С). При испытаниях отмечено, что применение МТБЭ ведет лишь к незначительному увеличению расхода бензина.

Мировые мощности по производству МТБЭ, находящиеся в эксплуатации, составляют примерно по 30 установок в США и Европе и около 15 установок в остальном мире. Строятся более 40 новых установок, из них более 20 - в США. В России первая промышленная установка построена на Нижне-Камском комбинате.

По антидетонационным свойствам и экологическому воздействию МТБЭ уступает этилтретбутиловому эфиру (ЭТБЭ). МТБЭ имеет относительно низкую температуру кипения (55 °С) и повышенное давление насыщенных паров. Это обстоятельство иногда препятствует его применению в летний период в связи с требованиями по испаряемости. ЭТБЭ имеет высокое О₄, но оно связано с ресурсами этанола и стоит несколько дороже МТБЭ. Третиамилметилловый эфир (ТАМЭ) можно получать на базе продуктов каталитического крекинга.

Таблица 6

Сравнительные характеристики эфиров

Показатель	МТБЭ	ЭТБЭ	ТАМЭ
Плотность при 20 °С, кг/м ³	746	746	775
ИОЧ	120	120	ПО
МОЧ	100	104	94
Дорожное октановое число	ПО	112	102
Температура кипения, °С	55	73	86
Содержание кислорода, % мас.	18,2	15,7	15,7
Давление насыщенных паров, кПа	41,4-61,2	21,7-34,5	6,9-13,8

Особое место занимает диметиловый эфир (ДМЭ), получаемый из природного газа либо совместно с метанолом, либо из метанола. Этот простейший эфир является хорошим дизельным топливом.

У ДМЭ есть ряд преимуществ по сравнению с дизельным топливом и другими альтернативными видами топлива. Он является газообразным. В нормальных условиях это газ, и его молекулы не имеют химических связей углерод–углерод, что исключает образование в пламени радикалов C_2 , способствующих сажеобразованию при сгорании. При этом снимется главная проблема дизеля – карбонизация значительной части топлива с последующим замедлением скорости выгорания дисперсного углерода.

К благоприятным физико-химическим параметрам ДМЭ относят повышенную испаряемость, что снижает требования к дисперсности распыления, позволяет понизить давление впрыска и обеспечивает хорошее смесеобразование. Отличная самовоспламеняемость в дизельном двигателе (у ДМЭ цетановое число ЦЧ=55...60 по сравнению с ЦЧ=45...50 для дизельного топлива) улучшает пусковые качества и способствует «мягкому» сгоранию. Высокое содержание в ДМЭ связанного кислорода (35 %) повышает равномерность распределения в камере сгорания, препятствуя образованию NO_x , наиболее агрессивного компонента дизельного топлива.

Использование диметилэфира – это практически полное отсутствие дымности отработавших газов и значительное снижение шума от двигателя.

По своим свойствам ДМЭ близок к сжиженному пропан-бутану, по физическим свойствам ДМЭ подобен пропан-бутановым газам. В частности, ДМЭ имеет близкие значения параметров насыщения: температура перехода в жидкую фазу минус 25 °С (у пропана – минус 50 °С), давление насыщенных паров 5,1 кгс/см² (у пропана – 8 кгс/см²) при температуре 20 °С. Как пропан и бутан, ДМЭ следует хранить в сжиженном состоянии в газовом баллоне под давлением. Технология работы со сжиженными газами достаточно хорошо отработана, поэтому упомянутое свойство диметилового эфира не является препятствием для его практического применения

Достоинством ДМЭ является высокое цетановое число, недостатком – необходимость переоборудования транспортного средства и дополнительные затраты на создание особой инфраструктуры топливопотребления, что связано с высокой летучестью и токсичностью ДМЭ (этот эфир оказывает угнетающее действие на нервную систему).

1.4 Синтетические жидкие топлива

Постепенно растущее распространение получают синтетические жидкие топлива (СЖТ). Основным сырьем для производства СЖТ является уголь, природный и сжиженный газ.

Каждый вид ископаемого топлива органического происхождения, а именно каменный уголь, нефть или природный газ, может быть преобразован в другой посредством изменения относительного содержания углерода и водорода.

Все способы производства СЖТ можно разделить на три группы: косвенный, прямой и процессы биотоплива.

Основными технологиями косвенного процесса являются два классических способа превращения каменного угля в жидкое топливо, разработанные в Германии. В процессе Бергиуса к каменному углю подводится газообразный водород, и при высоком давлении в присутствии катализатора происходит процесс гидрогенизации. В процессе Фишера – Тропша жидкое топливо получают с помощью каталитической реакции, в которой участвуют монооксид углерода и водород (синтезирующий газ), получаемые при первичной газификации нагретого до высокой температуры каменного угля под воздействием кислорода и водяного пара.

Технологии по производству СЖТ "уголь в жидкость" получили название CTL, а технология "газ в жидкость" - GTL. Продукция технологий GTL – прямогонные бензины (нафта), содержащие в основном углеводороды парафинового ряда; дизельное топливо, которое практически не содержит серы, имеет в своем составе незначительную примесь ароматики и обладает высоким цетановым числом (70 против 45-50 у нефтяного дизельного топлива); реактивные топ-

лива; высокомолекулярные парафины и церезины – основа высококачественных масел и смазок.

Продукция технологий СТЛ – синтетическое топливо состоящее из 20 % бензиновых фракций, с пределом выкипания до 180 °С, которые в свою очередь включают в себя 8 % легких α -олефиновых фракций с октановым числом более 90; 70 % дизельных фракций с пределом выкипания от 180 до 350 °С с цетановым числом выше 55, т. к. данная фракция не содержит серы ее можно отнести к топливу класса ЕВРО-4 – ЕВРО-5; 10% синтетическое топливо с пределом выкипания выше 350 °С.

На Российских опытных заводах производятся дизельные топлива:

- синтетическое гидроочищенное жидкое топливо, в дальнейшем называемое СЖТ;
- первичная смола гидрогенизации -тяжелое синтетическое топливо (ТТ);

Таблица 7

Физико-химические свойства СЖТ

Показатель	ТТ	СЖТ
Углеводородный состав, %:		
парафины	30-40	40-60
нафты	25-30	20-25
ароматические	30-35	20-25
Вязкость при 20 °С, сСт	8-9	5
Плотность при 20 °С, кг/м ³	865	840
Цетановое число	35-40	42-75
Нижняя теплота сгорания, МДж/кг	40-43	42-45
Фракционный состав, °С	180-300	180-300
Температура застывания, °С	- 30	- 40
Температура помутнения, °С	-	- 35

1.5 Топливные элементы

Большое будущее имеют топливные элементы – устройства, вырабатывающие электрическую энергию за счет окислительно-восстановительных химических реакций жидких или газообразных компонентов, непрерывно поступающих к электродам извне. Эти

устройства являются химическими источниками тока непрерывного действия. В качестве основного компонента для реакции служит, как правило, водород.

Преимущества топливных элементов – высокий КПД (80 % по сравнению с 35 % для двигателя внутреннего сгорания), экологичность (на выхлопе автомобиля – только водяной пар), неограниченная сырьевая база. Но пока топливные элементы дорогие: автомобиль, имеющий на борту бак для водорода и топливные элементы, стоит более чем на порядок дороже, чем автомобиль с двигателем внутреннего сгорания.

Топливные элементы вырабатывают электроэнергию и тепло вследствие происходящей электрохимической реакции, используя электролит, катод и анод.

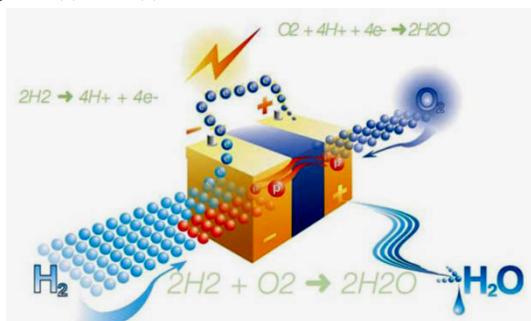


Рис. 2 - Схема работы топливного элемента

Анод и катод разделяются электролитом, проводящим протоны. После того, как водород поступит на анод, а кислород - на катод, начинается химическая реакция, в результате которой генерируются электрический ток, тепло и вода. На катализаторе анода молекулярный водород диссоциирует и теряет электроны. Ионы водорода (протоны) проводятся через электролит к катоду, в то время как электроны пропускаются электролитом и проходят по внешней электрической цепи, создавая постоянный ток, который может быть использован для питания оборудования. На катализаторе катода молекула кислорода соединяется с электроном (который подводится из внешних коммуникаций) и пришедшим протоном, и образует воду,

которая является единственным продуктом реакции (в виде пара и/или жидкости)

В настоящее время используются следующие топливные элементы.

Топливные элементы на расплаве карбоната (РКТЭ). Работа РКТЭ отличается от других топливных элементов. Данные элементы используют электролит из смеси расплавленных карбонатных солей. В настоящее время применяется два типа смесей: карбонат лития и карбонат калия или карбонат лития и карбонат натрия. Для расплавки карбонатных солей и достижения высокой степени подвижности ионов в электролите, работа топливных элементов с расплавленным карбонатным электролитом происходит при высоких температурах (650 °С). КПД варьируется в пределах 60-80 %.

При нагреве до температуры 650 °С, соли становятся проводником для ионов карбоната (CO_3^{2-}). Данные ионы проходят от катода на анод, где происходит объединение с водородом с образованием воды, диоксида углерода и свободных электронов. Данные электроны направляются по внешней электрической цепи обратно на катод, при этом генерируется электрический ток, а в качестве побочного продукта – тепло.

Топливные элементы на основе *фосфорной (ортофосфорной) кислоты (ФКТЭ)* используют электролит на основе ортофосфорной кислоты (H_3PO_4) с концентрацией до 100 %. Ионная проводимость ортофосфорной кислоты является низкой при низких температурах, по этой причине эти топливные элементы используются при температурах до 150–220 °С.

Носителем заряда в топливных элементах данного типа является водород (H^+ , протон). Протоны проходят по электролиту и объединяются с кислородом, получаемым из воздуха, на катоде с образованием воды. Электроны направляются по внешней электрической цепи, при этом генерируется электрический ток.

КПД топливных элементов на основе фосфорной (ортофосфорной) кислоты составляет более 40 % при генерации электрической энергии. При комбинированном производстве тепловой и электрической энергии, общий КПД составляет около 85 %. Помимо это-

го, учитывая рабочие температуры, побочное тепло может быть использовано для нагрева воды и генерации пара атмосферного давления.

Топливные элементы *с мембраной обмена протонов (МОП-ТЭ)* считаются самым лучшим типом топливных элементов для генерации питания транспортных средств, которое способно заменить бензиновые и дизельные двигатели внутреннего сгорания. В качестве электролита в них используется твердая полимерная мембрана (тонкая пластмассовая пленка). При пропитывании водой этот полимер пропускает протоны, но не проводит электроны.

Топливом является водород, а носителем заряда – ион водорода (протон). На аноде молекула водорода разделяется на ион водорода (протон) и электроны. Ионы водорода проходят сквозь электролит к катоду, а электроны перемещаются по внешнему кругу и производят электрическую энергию. Кислород, который берется из воздуха, подается к катоду и соединяется с электронами и ионами водорода, образуя воду.

Твердый электролит обеспечивает герметичный переход газа от одного электрода к другому, в то время как жидкие электролиты расположены в пористой подложке. Носителем заряда в топливных элементах данного типа является ион кислорода (O_2^-). На катоде происходит разделение молекул кислорода из воздуха на ион кислорода и четыре электрона. Ионы кислорода проходят по электролиту и объединяются с водородом, при этом образуется четыре свободных электрона. Электроны направляются по внешней электрической цепи, при этом генерируется электрический ток и побочное тепло.

КПД производимой электрической энергии является самым высоким из всех топливных элементов – около 60%. Помимо этого, высокие рабочие температуры позволяют осуществлять комбинированное производство тепловой и электрической энергии для генерации пара высокого давления. Комбинирование высокотемпературного топливного элемента с турбиной позволяет создать гибридный топливный элемент для повышения КПД генерирования электрической энергии до 70 %.

Твердоокисидные топливные элементы (ТОТЭ) работают при очень высоких температурах (600 – 1000 °С), в результате чего требуется значительное время для достижения оптимальных рабочих условий, при этом система медленнее реагирует на изменение расхода энергии. При таких высоких рабочих температурах не требуется преобразователь для восстановления водорода из топлива, что позволяет теплоэнергетической установке работать с относительно нечистым топливом, полученным в результате газификации угля или отработанных газов и т.п.

Топливные элементы с прямым окислением метанола (ПОМТЭ). Устройство топливных элементов с прямым окислением метанола схоже с топливных элементах с мембраной обмена протонов (МОПТЭ), т.е. в качестве электролита используется полимер, а в качестве носителя заряда – ион водорода (протон). Однако, жидкий метанол (CH_3OH) окисляется при наличии воды на аноде с выделением CO_2 , ионов водорода и электронов, которые направляются по внешней электрической цепи, при этом генерируется электрический ток. Ионы водорода проходят по электролиту и вступает в реакцию с кислородом из воздуха и электронами, поступающих с внешней цепи, с образованием воды на аноде.

Щелочные топливные элементы (ЩТЭ) –одни из самых эффективных элементов, используемых для генерации электричества, эффективность выработки электроэнергии доходит до 70%.

В щелочных топливных элементах используется электролит, то есть водный раствор гидроксида калия, содержащийся в пористой стабилизированной матрице. Концентрация гидроксида калия может меняться в зависимости от рабочей температуры топливного элемента, диапазон которой варьируется от 65°С до 220 °С. Носителем заряда в ЩТЭ является гидроксильный ион (OH^-), движущийся от катода к аноду, где он вступает в реакцию с водородом, производя воду и электроны. Вода, полученная на аноде, движется обратно к катоду, снова генерируя там гидроксильные ионы. В результате этого ряда реакций, проходящих в топливном элементе, производится электричество и, как побочный продукт, тепло:

Достоинством ЩТЭ является то, что эти топливные элементы - самые дешевые в производстве, поскольку катализатором, который необходим на электродах, может быть любое из веществ, более дешевых чем те, что используются в качестве катализаторов для других топливных элементов. Кроме того, ЩТЭ работают при относительно низкой температуре и являются одними из самых эффективных топливных элементов - такие характеристики могут соответственно способствовать ускорению генерации питания и высокой эффективности топлива.

Одна из характерных особенностей ЩТЭ – высокая чувствительность к CO_2 , который может содержаться в топливе или воздухе. CO_2 вступает в реакцию с электролитом, быстро отравляет его, и сильно снижает эффективность топливного элемента. Поэтому использование ЩТЭ ограничено закрытыми пространствами, такими как космические и подводные аппараты, они должны работать на чистом водороде и кислороде. Более того, такие молекулы, как CO , H_2O и CH_4 , которые безопасны для других топливных элементов, а для некоторых из них даже являются топливом, вредны для ЩТЭ.

Полимерные электролитные топливные элементы (ПЭТЭ). В полимерных электролитных топливных элементах полимерная мембрана состоит из полимерных волокон с водными областями, в которых существует проводимость ионов воды H_2O^+ (протон, красный) присоединяется к молекуле воды. Молекулы воды представляют проблему из-за медленного ионного обмена. Поэтому требуется высокая концентрация воды как в топливе, так и на выпускных электродах, что ограничивает рабочую температуру 100 °С.

Твердокислотные топливные элементы (ТКТЭ). В твердокислотных топливных элементах электролит (CsHSO_4) не содержит воды. Рабочая температура поэтому составляет 100-300 °С. Вращение окси анионов SO_4^{2-} - позволяет протонам перемещаться с вращением в объеме.

Как правило, твердокислотный топливный элемент представляет собой многослойный элемент, в котором очень тонкий слой твердокислотного компаунда располагается между двумя плотно сжатыми электродами, чтобы обеспечить хороший контакт. При на-

греве органический компонент испаряется, выходя через поры в электродах, сохраняя способность многочисленных контактов между топливом (или кислородом на другом конце элементы), электролитом и электродами.

Сравнительные характеристики топливных элементов представлены в таблице 8.

Таблица 8

Сравнительные характеристики топливных элементов

Тип топливной элементы	Рабочая температура, °С	Эффективность выработки электроэнергии, %	Тип топлива
РКТЭ	550–700	50-70	Большинство видов углеводородного топлива
ФКТЭ	100–220	35-40	Чистый водород
МОПТЭ	30-100	35-50	Чистый водород
ТОТЭ	450–1000	45-70	Большинство видов углеводородного топлива
ПОМТЭ	20-90	20-30	Метанол
ЩТЭ	50–200	40-65	Чистый водород
ПЭТЭ	30-100	35-50	Чистый водород

1.6 Водород

Более 90 % водорода получают в нефтеперерабатывающих и нефтехимических процессах. Также водород вырабатывается при превращении природного газа в синтез-газ. Процесс получения водорода электролизом воды – чрезвычайно дорогой, по затратам энергии он практически равен количеству энергии, получаемой при сгорании водорода в двигателе.

На сегодняшний день, практически весь вырабатываемый водород используется в различных нефтеперерабатывающих и нефтехимических процессах.

По отношению к бензину водород имеет в 3 раза большую теплотворную способность, в 13–14 раз меньшую энергию воспламенения, и, что существенно для ДВС, более широкие пределы воспламенения топливно-воздушной смеси. Такие свойства водорода

делают его чрезвычайно эффективным для применения в ДВС, даже в качестве добавки. В то же время к недостаткам водорода как топлива можно отнести: падение мощности ДВС по сравнению с бензиновым аналогом; «жесткий» процесс сгорания водородовоздушных смесей в области стехиометрического состава, что приводит к детонации на режимах высоких нагрузок. Из-за высокой реакционной способности водорода есть возможность проскока пламени во впускной трубопровод и преждевременного воспламенения смеси.

Эти особенности водородного топлива требуют изменений конструкции ДВС. Для существующих двигателей необходимо применять водород в композиции с углеводородными топливами, например с бензином, или природным газом с использованием впрыска непосредственно в камеру сгорания.

В отработавших газах практически отсутствуют оксиды углерода (CO и CO_2) и несгоревшие углеводороды (CH), но выброс оксидов азота вдвое превышает выброс оксидов азота бензинового двигателя.

Проблемой использования водорода в качестве моторного топлива является его хранение на автомобиле.

Система хранения сжатого водорода позволяет уменьшить объем бака, но не его массу из-за увеличения толщины стенки. Хранение жидкого водорода – сложная задача, учитывая его низкую температуру кипения. Жидкий водород хранят в емкостях с двойными стенками.

При хранении водорода в виде гидридов металлов, водород находится в химически связанном состоянии. Если в качестве гидрида металла использовать гидрид магния, соотношение между водородом и металлом-носителем составляет около 168 кг магния и 13 кг водорода.

Высокая температура самовоспламенения водородовоздушных смесей затрудняет использование водорода в дизелях. Устойчивое воспламенение может быть обеспечено принудительным поджогом от свечи.

Трудности при использовании водорода и высокая его цена привели к тому, что разрабатывается комбинированное топливо бен-

зин-водород. Использование бензино-водородных смесей позволяет на 50% снизить расход бензина при скорости 90 – 120 км/ч и на 28% при езде в городе.

Применение водорода в качестве моторного топлива может быть эффективно только лишь при создании специализированных конструкций. К основным направлениям по которым необходимо двигаться при создании новой конструкции водородных ДВС относятся:

1. Применение внутреннего смесеобразования позволит улучшить на 20–30 % удельные массогабаритные показатели водородного двигателя.

2. Применение сверх бедных водородовоздушных смесей для гибридных энергоустановок даст возможность существенно снизить температуру сгорания в камере сгорания ДВС и создаст предпосылки для повышения степени сжатия ДВС, использования новых материалов, в том числе и для внутренней поверхности камеры сгорания, позволяющих снизить потери тепла в систему охлаждения двигателя.

2 ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ТОПЛИВО-СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.1 Общие понятия

Исследование качества ТСМ предусматривает их оценку комплексом соответствующих показателей качества или характеристик.

В мировой практике и у нас в стране наиболее распространена оценка свойств ТСМ по двум группам их свойств: *физико-химическим* и *эксплуатационным*.

Физико-химические свойства - оценка ТСМ по показателям физических, химических, электрофизических, спектральных и других характеристик, измеряемых в стандартных условиях.

Эксплуатационные свойства - объективные особенности качества ТСМ, которые могут проявляться в процессе их транспортирования, хранения и применения.

Физико-химические и эксплуатационные свойства оцениваются по показателям качества.

Показатель качества - количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих её качество, рассматриваемая применительно к определенным условиям ее создания, испытания или использования.

Стандартом определены три группы показателей, используемых при оценке качества продукции:

- *единичные показатели* - характеризуют какое-то одно свойство;
- *комплексные показатели* - характеризуют несколько, но взаимосвязанных между собой свойств;
- *интегральные показатели* - отражают соотношение суммарного полезного эффекта от применения продукции и суммарных затрат на её создание и применение.

Весьма условно свойства ТСМ можно разделить на простые и сложные. Физико-химические свойства по отношению к эксплуатационным свойствам являются простыми. По степени сложности свойств ТСМ оценку их качества можно разделить на уровни качества: высший, первый, второй и третий (таблица 9).

Таблица 9

Уровни и степени сложности показателей качества ТСМ

Уровни качества	Степень сложности свойства	Показатели качества
высший	совокупность всех эксплуатационных свойств	интегральный
первый	эксплуатационные	комплексные
второй	физико-химические	комплексные и единичные
третий	простые (элементарные)	единичные

Оценить свойство ТСМ одним интегральным или комплексным показателем довольно трудно, а зачастую и невозможно. причиной этого является отсутствие аналитических выражений количественно описывающих взаимосвязи разных по своей природе процессов и явлений. Поэтому при разработке интегральных или ком-

плексных показателей требуются теоретические исследования не только для установления взаимосвязи, но и выбора соответствующих единичных показателей максимально отражающих влияние различных факторов на качество ТСМ не только в процессе производства, но и хранения, транспортировки и использования.

2.2 Методы исследования качества ТСМ

Общепризнанным способом подтверждения того, что продукция полностью отвечает установленным требованиям, служит сертификация соответствия. Эта процедура подтверждения соответствия, посредством которой независимая от изготовителя (продавца, исполнителя) и потребителя (покупателя) организация удостоверяет в письменной форме, что продукция соответствует установленным требованиям.

Сертификат соответствия – документ, выданный по правилам системы сертификации, удостоверяющий, что должным образом идентифицированная продукция соответствует установленным требованиям. Сертификация может носить обязательный и добровольный характер.

Сертификационные испытания проводятся по показателям качества заявленного документа, в состав которых должна входить номенклатура показателей, установленная ГОСТ на нефтепродукт.

Разрешается проведение сертификационных испытаний одновременно с проведением квалификационных испытаний. Срок действия сертификата соответствия устанавливает орган по сертификации, но не более 3 лет. Информация о том, что нефтепродукт сертифицирован, должна указываться в технической (паспорт качества, этикетка и пр.) и в товаросопроводительной документации. Для подтверждения требований безопасности, охраны здоровья и окружающей среды потребитель вправе потребовать от изготовителя санитарно-эпидемиологическое заключение на вырабатываемый нефтепродукт, которое выдается Государственной Санитарно-эпидемиологической службой Российской Федерации по заявке про-

изготовителя или разработчика технической документации (ГОСТ, ТУ).

Требования к качеству ТСМ регламентируются стандартами. С целью определения соответствия качества используемых или получаемых нефтепродуктов требованиям ГОСТ проводятся их исследования с использованием определенных методов. Методы оценки качества ТСМ разделяются на прямые и косвенные.

К **косвенным** относятся методы определения физико-химических свойств и состава ТСМ, которые применяют при контроле их качества в лабораторных условиях. Эти методы позволяют косвенно судить о том или ином эксплуатационном свойстве.

Прямые методы, предназначенные для оценки эксплуатационных свойств ТСМ в ускоренных условиях, получили название **квалификационных**.

Эти методы оценки качества ТСМ возникли в результате тех значительных изменений в технике, которые произошли в ходе научно-технической революции, позволяют в минимально короткие сроки, при малых затратах сил, средств и испытуемых образцов нефтепродуктов надежно оценить важнейшие эксплуатационные свойства. Во многих случаях такие методы пришли на смену длительным испытаниям.

Набор ускоренных квалификационных методов совместно с методами определения физико-химических свойств дает объективную и всестороннюю оценку каждого эксплуатационного свойства и оценку качества нефтепродукта в целом.

В настоящее время созданы и широко применяются комплексы методов квалификационной оценки практически по всем основным видам топлив, масел, смазок и специальных жидкостей. Определение свойств по комплексу методов квалификационной оценки стало обязательным первым этапом испытаний и ранее известных сортов, но полученных из нового сырья или по измененной технологии, содержащих новые компоненты, присадки и т.д. Такие образцы топлив и смазочных материалов получили название опытных.

Результаты испытаний опытного топлива или смазочного материала по комплексу методов квалификационной оценки могут

служить основанием для принятия обоснованных решений, а именно:

- о допуске данного нефтепродукта к применению без дальнейших испытаний;
- об объеме следующих испытаний (стендовых, дорожных, эксплуатационных);
- о необходимости проведения функциональных испытаний (например, на коррозионную активность по специальной программе, на токсичность и т.д.).

Оценка результатов испытаний по комплексу методов и решение о дальнейших испытаниях топлив и смазочных материалов или допуске к применению их обязательно базируются на основных технико-экономических показателях, а именно: данных по сырьевым ресурсам, особенностях технологии производства, проекте цены опытного образца, данных расчета эффекта от внедрения и т.д.

Комплексы методов находят широкое применение для решения вопросов унификации, классификации, взаимозаменяемости топлив и смазочных материалов. При этом следует отметить, что разработка новых методов и совершенствование существующих непрерывно повышают корреляцию результатов, получаемых по комплексу методов с данными эксплуатационных испытаний, и тем самым расширяют сферу применения комплексов методов квалификационной оценки.

Принципы построения комплексов, методов квалификационной оценки и различия между комплексами методов, и тем набором методов оценки качества, который принят в стандарте технических условий на данный вид топлива, предусматривают следующее.

Технические условия на основные нефтепродукты складывались исторически и представляют собой набор физико-химических показателей качества и нескольких основных показателей наиболее важных эксплуатационных свойств. Анализ качества нефтепродукта на соответствие техническим условиям приходится делать довольно часто и во многих организациях (на нефтеперерабатывающих предприятиях, на складах и нефтебазах в лабораториях потребителей и т.п.). Время на проведение анализа, как правило, ограничено; слож-

ное дорогостоящее оборудование может быть использовано далеко не во всех лабораториях. Все эти обстоятельства заставляют очень строго подходить к отбору показателей для включения их в технические условия на нефтепродукты. Естественно, все методы оценки качества нефтепродуктов, включенные в технические условия, стандартизованы.

Выбор методов и показателей, включаемых в стандарт на нефтепродукт, требует глубокого химмотологического анализа, основательного научного и экономического обоснования. Число методов, включаемых в комплекс, не следует так ограничивать, как в стандартах технических условий. Комплекс методов применяется реже, аппаратура для проведения всех анализов может быть установлена лишь в некоторых лабораториях крупных исследовательских организаций и химмотологических центров.

Исходя из назначения комплексов методов, очевидно, целесообразнее их строить по основным эксплуатационным свойствам. При этом в каждом эксплуатационном свойстве необходимо указывать все методы, которые позволяют судить об этом свойстве независимо от того, входят эти методы в стандарт технических условий на данный нефтепродукт или нет, стандартизованы методы или они междуведомственные. Все методы, которые позволяют составить представление о данном эксплуатационном свойстве, должны быть сосредоточены в одном месте комплекса. Представляется более целесообразным строить комплексы по основным эксплуатационным свойствам. Так, при формировании комплексов методов квалификационной оценки качества рекомендуется использовать следующие эксплуатационные свойства.

1. Испаряемость оценивается: фракционным составом; давлением насыщенных паров; зависимостью соотношения пар-жидкость от температуры (склонность к образованию паровых пробок).

2. Воспламеняемость и горючесть оцениваются: температурными и концентрационными пределами воспламенения; пределами устойчивого горения; температурой самовоспламенения; теплотой сгорания; детонационной стойкостью (октановые числа, сортность, коэффициент, распределения детонационной стойкости); отсутстви-

ем жесткой работы в дизелях (цетановос число); индикаторными характеристиками двигателей.

3. Прокачиваемость оценивается:

- вязкостно-температурными свойствами (предельные значения кинематической или динамической вязкости при низких температурах);

- низкотемпературными свойствами (температуры помутнения, начала кристаллизации и застывания, предельная температура фильтруемости);

- показателями чистоты (содержание воды и механических примесей, коэффициент фильтруемости);

- содержанием поверхностно-активных веществ (эмульгируемость с водой, содержание мыл нафтеновых кислот).

4. Склонность к образованию отложений оценивается: склонностью к нагарообразованию (общее суммарное содержание ароматических углеводородов, смолисто-асфальтеновых веществ, высота некопящего пламени и интенсивность его свечения, зольность, коксуемость отложения на нагарниках); склонностью к образованию отложений во впускной системе и системе впрыска (содержание фактических и адсорбционных смол, йодное число, время образования и омывания отложений на пластинке, масса смолисто-лаковых отложений на форсунках); термической стабильностью (количество осадка, содержание растворимых и нерастворимых смол после окисления, перепад давления на фильтре и масса отложений на трубке подогревателя специальной установки, температура начала образования отложений).

5. Коррозионная активность и совместимость с неметаллическими материалами оцениваются: содержанием коррозионно-активных веществ (кислотность, содержание общей серы, сероводорода, меркаптановой серы, водорастворимых кислот и щелочей, натрия, ванадия и других металлов); коррозионными потерями при контакте с металлами (испытания в различных камерах, коррозионные испытания при высокой температуре); воздействием на резину и герметики (изменение пределов прочности, относительного удлинения и периода старения резин, изменение твердости герметика).

6. Защитные свойства оцениваются: моющими свойствами масел; воздействием обычной и морской воды на металлы в присутствии топлива.

7. Противоизносные свойства оцениваются: вязкостью; смазывающей способностью (износ плунжеров и шайбы на стенде, диаметр пятна износа, критическая нагрузка, критерии противоизносных свойств, показатель износа); содержанием противоизносных присадок.

8. Охлаждающие свойства оцениваются: теплоемкостью; теплопроводностью

9. Стабильность оценивается:

-физической стабильностью (склонность к потерям от испарения, время расслаивания и выпадения второй фазы, гигроскопичность, совместимость при смешении);

-химической стабильностью (индукционный период окисления, содержание антиокислителя, период стабильности, содержание кислот, осадка и смол после окисления);

-биологической стойкостью (лабораторные испытания на стойкость к воздействию плесени, грибов и бактерий).

10. Безопасность обращения оценивается:

-токсичностью (класс токсичности, предельно допустимые концентрации в рабочей зоне, в атмосфере населенных пунктов, водоемов, цвет и интенсивность окраски, концентрация свинца);

-пожароопасностью (температуры вспышки в открытом и закрытом тигле, температура самовоспламенения, температурные и концентрационные пределы воспламеняемости);

-склонностью к электризации (удельная электропроводность)

- биологической разлагаемостью.

Представленное деление эксплуатационных свойств нефтепродуктов носит условный характер. Одни свойства, очевидно, можно объединить, другие - разделить, но такое деление позволяет правильно подойти к формированию комплексов, определить полноту оценки каждого эксплуатационного свойства, систематизировать имеющиеся и наметить необходимые методы квалификационной оценки.

Все комплексы методов квалификационной оценки описаны с позиций деления понятия качества на указанные выше эксплуатационные свойства. При этом следует иметь в виду, что для одного вида нефтепродукта наиболее весомы одни эксплуатационные свойства, для другого - другие, поэтому порядок изложения свойств иногда нарушается. Значимость некоторых эксплуатационных свойств возрастает по мере развития техники (например, в настоящее время все большее внимание уделяется чистоте применяемых топлив).

В настоящее время квалификационные методы подразделяются:

- на безмоторные (метод определения коррозионной активности на приборах ДК-НАМИ и др.);
- моторные на одноцилиндровых и малолитражных двигателях (методы определения октановых и цетановых чисел и др.);
- моторные на полноразмерных двигателях в стендовых условиях;
- лабораторно-дорожные (метод оценки детонационной стойкости в дорожных условиях и др.).

В настоящее время для оценки эксплуатационных свойств ТСМ применяют около 200 квалификационных методов.

К **простейшим** способам контроля качества ТСМ относят внешний осмотр, отстаивание, фильтрование, подогревание, сжигание и т. д. В сельском хозяйстве для контроля качества ТСМ используют лабораторные установки РЛ, ПЛ-2М, ЛАОН-2.

Ведомственный контроль качества ТСМ предусматривает:

- входной контроль качества принимаемых ТСМ;
- контроль условий хранения, транспортирования и выдачи свежих нефтепродуктов и специальных жидкостей и условий сбора отработанных нефтепродуктов;
- ведение учета результатов анализов ТСМ, а также паспортов качества ТОМ, поступающих от нефтесбытовых организаций;
- периодическую проверку качества ТСМ при хранении с целью контроля изменения их качества;
- предъявление претензий к нефтесбытовым организациям за поставку ТСМ, не отвечающих требованиям ГОСТ или ТУ;

- организацию и проведение исправления качества ТОМ с ухудшенными показателями;

- организацию поверки контрольно-измерительных приборов по оценке качества ТСМ и их расхода.

Для проверки качества ТОМ на всех стадиях их использования проводятся входные (приемные), контрольные, полные и арбитражные анализы.

Входному (приемному) анализу подвергаются ТСМ при их получении автотранспортным предприятием.

Цель анализа: по паспорту качества на них по некоторым показателям качества, не требующим много времени для определения, установить соответствие качества получаемых ТСМ нормам требований ГОСТ и ТУ на их изготовление.

Полному анализу подвергаются ТСМ:

- после длительного хранения;

- при необходимости проверки соответствия качества ТСМ требованиям ГОСТ или ТУ при поступлении в автотранспортное предприятие без паспорта качества, в неисправной таре, с нарушением заводской упаковки и других случаях;

- в случае несоответствия качества ТСМ по данным паспорта качества требованиям ГОСТ или ТУ хотя бы по одному показателю.

Арбитражный анализ проводится в случае возникновения разногласий в оценке качества ТСМ между поставщиком и потребителем.

По результатам анализов ТСМ лабораторией выдается паспорт качества продукта.

Паспорт качества, подтверждающий кондиционность ТСМ, служит основанием для допуска их к применению при эксплуатации машин.

2.3 Отбор проб нефтепродуктов

Одной из трудоемких, но очень важных операций является отбор средней пробы на анализ. От тщательности и правильности выполнения этих работ будет зависеть достоверность последующих

исследований. Легче всего отбирать пробы газообразных продуктов, затем маловязких жидких топлив, труднее вязких нефтепродуктов и твердых.

Промышленность вырабатывает нефтепродукты в соответствии с государственными стандартами или техническими условиями. Но в практике при транспортировке, хранении и сливо-наливных операциях качество нефтепродуктов нередко ухудшается, поэтому в нефтехозяйствах периодически нужно отбирать пробы для анализа. Нефтепродукты, в которых имеются отклонения от требований стандарта, должны быть исправлены (отстой, фильтрация) или приняты меры к их замене.

Пробы для анализа подразделяются на точечные и объединенные.

Точечная проба - это проба, которая отбирается за один прием с установленного уровня продукта (верхнего, среднего, нижнего) или в одном тарном месте (бочка, бидон и др.).

Объединенная проба (средняя) - это проба, которая составляется в результате смешения точечных проб в установленном соотношении объемов.

Контрольная (арбитражная) проба - часть точечной или объединенной пробы, которая хранится на случай арбитражного анализа.

Для отбора проб нефтепродуктов применяют пробоотборники в соответствии с требованиями ГОСТ 2517-2012 и ГОСТ 31873-2012. Допускается применять другие пробоотборники, обеспечивающие отбор проб в соответствии с требованиями ГОСТ.

Для отбора проб жидких нефтепродуктов из резервуаров и цистерн с заданного уровня применяются переносные пробоотборники (рис. 3 - 6), а из тары (бочки, канистры, бидоны и др.) - пробоотборные трубки.

Для непосредственного отбора пробы из протекающего потока используют пробоотборный зонд. Все зонды должны находиться в центре одной трети сечения трубопровода. Входы зондов должны быть сориентированы против течения потока. Конструкции наиболее широко используемых зондов приведены на рисунке 7.

Зонды можно снабдить вентилями (клапанами) или кранами с пробкой (заглушкой). Зонд следует располагать горизонтально.

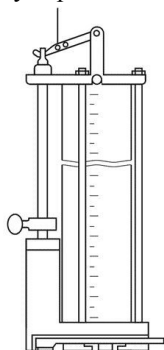


Рис. 3 - Желонка стержневого типа для отбора проб нефтепродуктов

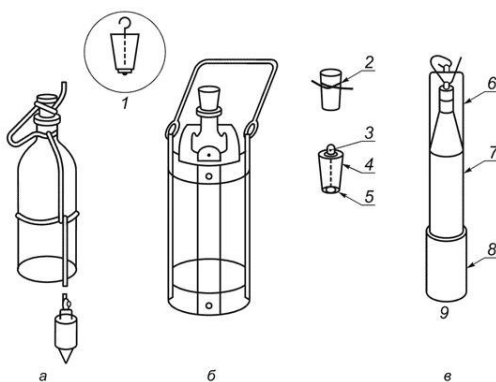


Рис. 4 - Комплекты аппаратуры для отбора проб бутылкой и стаканом:

а - собранный пробоотборник; б - обрешетка (держатель, клеть) для утяжеления пробоотборной бутылки вместимостью 1 л (1 кварта) (изготовлена для бутылки любого размера); в - утяжеленный пробоотборный стакан вместимостью 1 л (1 кварта); 1 - деталь пробки; 2 - крепежное устройство; 3 - ушко пробки; 4 - пробка; 5 - прокладка пробки; 6 - держатель из медной проволоки; 7 - ушки из медной проволоки; 8 - свинцовый чехол; 9 - стакан

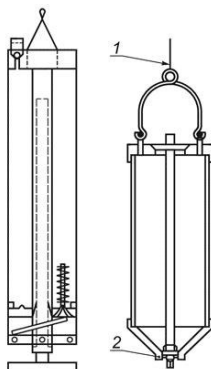


Рис. 5 - Стержневая желонка закрытого типа:
1 - веревка для погружения; 2 - четыре выступа

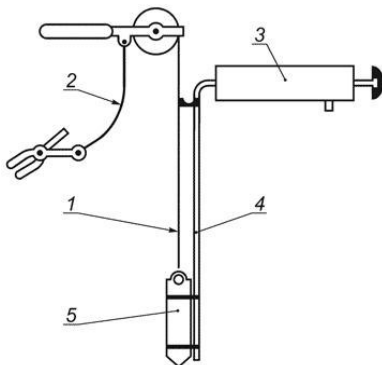


Рис. 6 - Типовой пробоотборник с удлиненной трубкой
1 - поддерживающая проволока или рулетка; 2 - заземление; 3 - ручной насос для отбора проб; 4 - пробоотборная трубка; 5 - груз

Процедуру отбора проб с помощью трубки из барабанов, бочек и бидонов применяют для отбора жидкостей с давлением насыщенных паров по Рейду 13,8 кПа (2 psia) или менее, а также полужидкостей.

Для отбора используют как стеклянные, так и металлические трубки, имеющие конструкцию, которая обеспечивает их погружение на расстояние около 3 мм (1/8 дюйма) от дна контейнера. Вме-

стимость трубок колеблется от 500 до 1000 мл (от 1 pintы до 1 квар-ты).

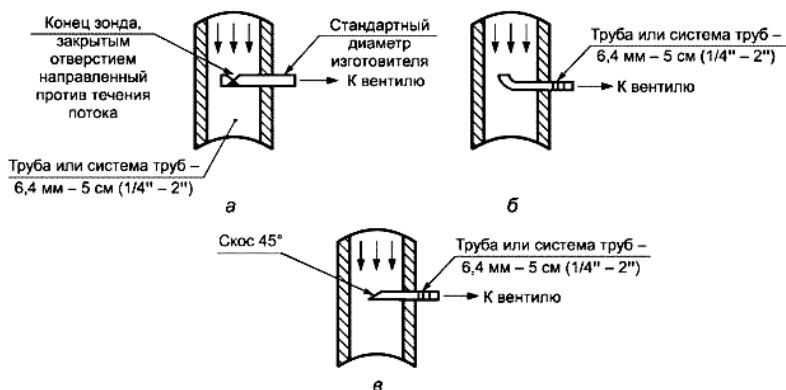


Рис. 7- Зонды для ручного отбора проб

а - трубка с закрытым концом, с круглым отверстием, расположенным рядом с концом трубки; б - короткорadiusный изгиб или изгиб трубки, конец зонда должен иметь внутреннюю фаску, обеспечивающую входной срезанный угол; в - трубку с концом, скошенным под углом 45°

Металлическая трубка, пригодная для отбора пробы из 189-литровых (50-галлонных) бочек, приведена на рисунке 8.

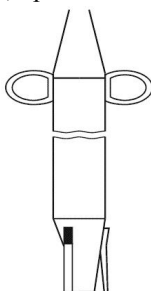


Рис. 8 - Типовой пробоотборник для отбора проб из барабанов, бочек и бидонов

Два кольца, припаянных к трубке в верхней части напротив друг друга, удобны для ее удерживания двумя пальцами, вставленными в кольца. При этом большой палец остается свободным, что дает возможность закрывать отверстие трубки.

Для отбора проб мазеобразных продуктов из тары (бочки, бидоны, барабаны и др.) применяются разного вида шупы (винтообразный, с продольным вырезом, поршневой, прямой без выреза) (рис. 9).

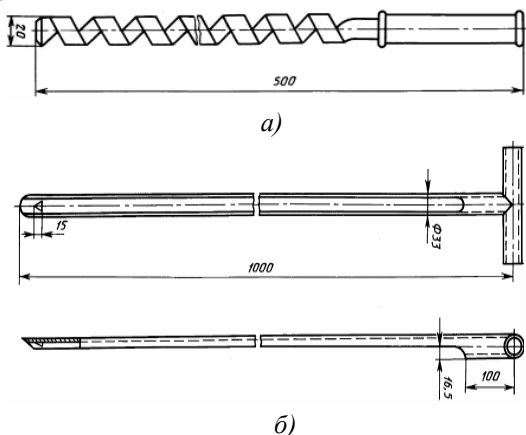


Рис. 9 - Типы пробоотборников для пластичных материалов

ЛОВ

а - винтообразный шуп; б - шуп с продольным вырезом

Пробоотборник осматривают перед каждым отбором пробы. При этом должны отсутствовать трещины и дефекты в пробках, крышках, прокладках, ведущие к нарушению герметичности пробоотборника.

Пробоотборники, а также пробоотборные трубки, шупы перед отбором проб должны быть чистыми и сухими. После отбора проб весь инвентарь моется, сушится и хранится в защищенном от пыли и осадков месте. Пробоотборники и трубки обрабатывают моющим веществом или споласкивают неэтилированным бензином; шупы - промывают растворителем и затем горячей водой до полного удаления остатков нефтепродуктов.

Таблица 10

Размеры проб смазок

Контейнер	Партия или поставка	Минимальное количество пробы
Трубы или упаковки менее чем 0,45 кг (1 фунт)	Вся	Количество, достаточное для получения 1 кг (2 фунта) пробы
Бидоны по 0,45 кг (1 фунт)	Вся	3 бидона
Бидоны от 2,3 до 4,6 кг (от 5 до 10 фунтов)	Вся	1 бидон
Контейнер более чем 4,6 кг (10 фунтов)	Менее 4536 кг (10000 фунтов)	1-1,4 кг (2-3 фунта) из одного или более резервуаров
Контейнер более чем 4,6 кг (10 фунтов)	4536+22680 кг (10000+50000 фунтов)	1-2,3 кг (2-5 фунтов) из двух или более резервуаров
Контейнер более чем 4,6 кг (10 фунтов)	Более 22680 кг (50000 фунтов)	1-2,3 кг (2-5 фунтов) из трех или более резервуаров

Перед отбором пробы из резервуара нефтепродукт отстаивают не менее 2 часов и удаляют отстой воды и загрязнений.

Объединенную пробу продукта составляют смешением точечных проб верхнего, среднего и нижнего уровня в соотношении 1:6:1.

Из горизонтальных цилиндрических резервуаров диаметром менее 2500 мм независимо от степени заполнения и диаметром более 2500 мм, но заполненного до высоты, равной половине диаметра и менее, точечные пробы отбирают с двух уровней: с середины высоты столба жидкости и на 250 мм выше нижней внутренней образующей резервуара.

Объединенную пробу составляют смешением проб среднего и нижнего уровней в соотношении 3:1.

Из железнодорожных и автомобильных цистерн точечные пробы отбирают с уровня, расположенного на высоте 0,33 диаметра цистерны от нижней внутренней образующей (рис. 10).

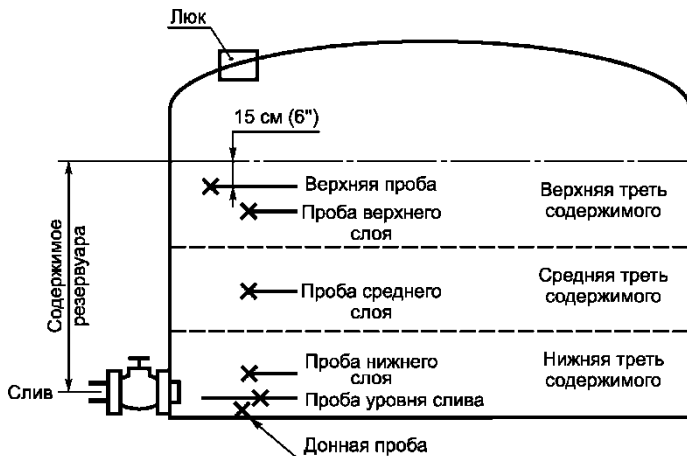


Рис. 10 - Схема отбора проб из вертикального резервуара

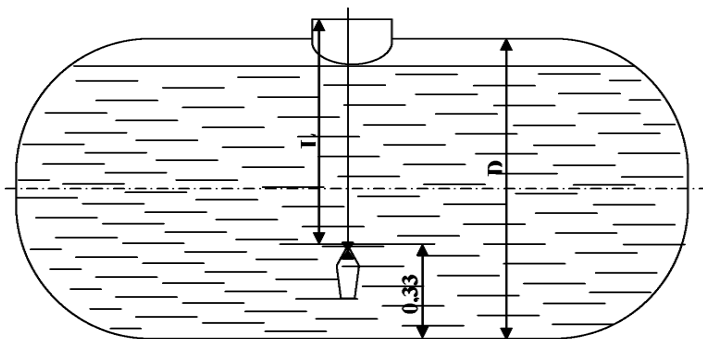


Рис. 11 - Схема отбора проб из железнодорожной цистерны

Отбор проб из резервуаров и цистерн переносимым пробоотборником производят следующим образом: измеряют уровень продукта; рассчитывают уровни отбора точечных проб; опускают закрытый пробоотборник до заданного уровня так, чтобы отверстие, через которое происходит его заполнение, находилось на этом уровне; открывают крышку или пробку, заполняют пробоотборник и поднимают его.

Пробы с нескольких уровней отбирают последовательно сверху вниз.

Для резервуаров с одинаковым поперечным сечением, таких как вертикальный цилиндрический резервуар, смесь содержит равные части отобранных трех проб. Для горизонтального цилиндрического резервуара смесь состоит из трех проб, отобранных в пропорциях, указанных в таблице 11

Таблица 11

Требования к отбору проб из горизонтальных цилиндрических резервуаров

Уровень заполнения резервуара, % диаметра	Уровень отбора проб, % диаметра над дном			Смешанная проба (пропорциональные части от)		
	верхний	средний	нижний	верхняя	средняя	нижняя
100	80	50	20	3	4	3
90	75	50	20	3	4	3
80	70	50	20	2	5	3
70		50	20		6	4
60		50	20		5	5
50		40	20		4	6
40			20			10
30			15			10
20			10			10
10			5			10

Чтобы избежать загрязнения столба нефтепродукта в процессе отбора проб, отбор следует начинать сверху вниз в следующей последовательности: поверхностная проба; верхняя проба; проба с верхнего слоя; проба со среднего слоя; проба с нижнего слоя; проба с уровня слива; промежуточная проба; средняя проба, составленная из проб, взятых со всех уровней; донная проба; бегущая проба.

Точечную пробу мазеобразного продукта (пластичной смазки) отбирают щупом.

Объединенную пробу мазеобразного продукта составляют смешением точечных проб без их расплавления. Из баков автомобилей точечную пробу жидкого продукта отбирают из отстойника после слива отстоя или пробоотборной трубкой из середины столба продукта через наливную горловину в зависимости от конструкции и расположения баков.

Пробу топлива на АЗС отбирают путем налива из раздаточного пистолета в пробосборную посуду непосредственно после заправки автомобиля.

Бутылки с пробками, заполненные не более, чем на 90 %, должны быть герметично закупорены пробками или винтовыми крышками с прокладками, не растворяющимися в нефтепродукте; банки должны быть плотно закрыты крышками, Горловину закупоренной бутылки или банки обертывают полиэтиленовой пленкой или другим плотным материалом, обеспечивающим сохранность пробы, и обвязывают бечевкой, концы которой продевают в отверстие в этикетке. Концы бечевки пломбируют или заливают сургучом на пластине из плотного картона или дерева и опечатывают. Допускается приклеивать этикетку к бутылке, банке.

Объединенную пробу продукта делят на две равные части. Одну часть пробы анализируют, другую - хранят в течение 45 суток на случай разногласий в оценке качества.

2.4 Методы испытаний топлив

2.4.1 Методы испытаний бензинов

Комплекс квалификационных методов испытаний автомобильных бензинов включает определение следующих эксплуатационных свойств:

- *Испаряемость* – свойство топлива переходить из жидкого в газообразное состояние (фракционный состав, давление насыщенных паров);

- *Детонационная стойкость* – способность бензина нормально сгорать в цилиндрах двигателя без возникновения детонации (взрывного характера сгорания) (октановое число по исследовательскому методу; октановое число по моторному методу);

- *Стабильность физическая и химическая* – изменение свойств бензина в результате физических и химических превращений компонентов (фракционный состав; давление насыщенных паров; индукционный период; количество фактических смол);

- *Склонность к образованию отложений* - способность топлива образовывать отложения различного рода в камерах сгорания, в топливных системах, на впускных и выпускных клапанах, как при относительно низких температурах в системах питания и смесеобразования двигателей, так и отложения нагара (содержание фактических смол);

Антикоррозионные свойства – степень коррозионного действия бензина на детали топливной системы и на износ двигателя (наличие водорастворимых кислот и щелочей; кислотность; испытание на медной пластинке)

Загрязненность – присутствие в бензине механических примесей и воды (содержание воды и механических примесей, массовая доля механических примесей, цвет).

Оценка бензина по внешним признакам

Бензины не должны содержать механических примесей и воды. Определение их отсутствия или наличия проводится по внешним признакам или с помощью специальных приборов. Для оценки по внешним признакам достаточно осмотреть образец бензина в стеклянном цилиндре. При этом невооруженным глазом не должно быть обнаружено твердых частиц как во взвешенном состоянии, так и в осадке.

В небольших количествах (сотые доли процента) вода способна раствориться в бензине, и он при этом не теряет прозрачности. Избыточное же количество воды в бензине при перемешивании вызывает помутнение бензина, а при отстаивании вследствие большего удельного веса приведет к скоплению ее на дне емкости отдельным слоем. Поэтому при оценке бензина на наличие воды достаточно осмотреть его в стеклянном цилиндре и зафиксировать наличие или отсутствие мути либо отдельного слоя воды на дне.

Плотность.

Плотность бензинов определяется в соответствии с ГОСТ 3900-85 "Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности".

Сущность метода заключается в погружении ареометра (рис. 12) в испытуемый продукт, снятии показания по шкале ареометра

при температуре определения и пересчете результатов на плотность при температуре 20 °С.

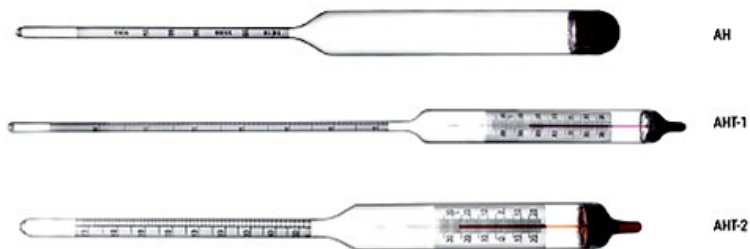


Рис. 12 - Ареометры ГОСТ 18481

Цилиндр для ареометров (ГОСТ 18481) устанавливают на ровной поверхности. Пробу испытуемого продукта наливают в цилиндр, имеющий ту же температуру, что и проба, избегая образования пузырьков и потерь от испарения. Пузырьки воздуха, которые образуются на поверхности, снимают фильтровальной бумагой.

Температуру испытуемой пробы измеряют до и после измерения плотности по термометру ареометра или дополнительным термометром типа ТЛ-4 по ТУ 25-2021.003 или термометры стеклянные для испытаний нефтепродуктов типа ТИН 5 по ГОСТ 400. Температуру поддерживают постоянной с погрешностью не более 0,2 °С.

Чистый и сухой ареометр медленно и осторожно опускают в цилиндр с испытуемым продуктом, поддерживая ареометр за верхний конец, не допуская смачивания части стержня, расположенной выше уровня погружения ареометра (рис. 13).

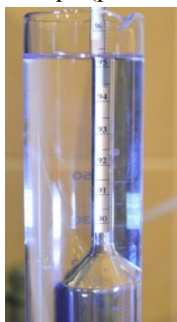


Рис. 13 - Измерение плотности ареометром

Когда ареометр установится и прекратятся его колебания, отсчитывают показания по верхнему краю мениска, при этом глаз находится на уровне мениска (рис. 14). Отсчет по шкале ареометра соответствует плотности нефтепродукта при температуре испытания (масса продукта, содержащейся в единице его объема, г/см³).

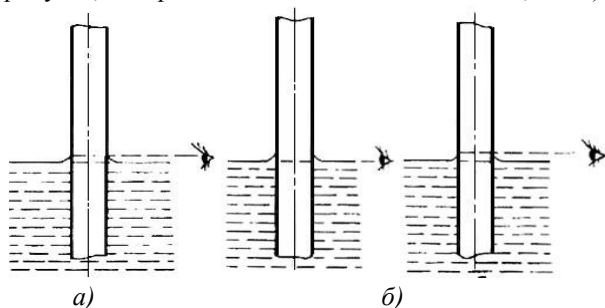


Рис. 14 - Отсчет показаний по верхнему краю мениска:

а - при использовании ареометров градуированных по верхнему краю мениска; б - при использовании ареометров градуированных по нижнему краю мениска

При использовании ареометров, градуированных по нижнему мениску, показания отсчитывают в соответствии с рисунком 14 б и вносят поправку на мениск в соответствии с таблицей 12

Таблица 12

Значение поправки при использовании ареометров с градуировкой по нижнему мениску

Наименование показателя	Диапазон измеряемой плотности	Цена деления ареометра	Допускаемая погрешность измерения	Поправка на мениск
Плотность при 20 °С, г/см ³	От 0,60 до 1,00	0,0005	±0,0003	+0,0007
	0,60 " 1,10	0,001	±0,0006	+0,0014

Измеренную температуру испытания округляют до ближайшего значения температуры, указанной в таблице приложения ГОСТ 3900-85. По округленному значению температуры и плотности, определенной по шкале ареометра, находят плотность испытуемого продукта при 20 °С по таблице приложения.

Пример. Плотность нефтепродукта при температуре 27,5 °С равна 0,6448 г/см³.

Для пересчета плотности продукта, измеренной при 27,5 °С, на плотность при 20 °С, необходимо:

- округлить измеренную плотность до второй значащей цифры, например, до 0,640 или до 0,650 г/см³;

- по таблице в горизонтальной графе "Плотность по шкале ареометра, г/см³" найти округленную величину плотности, например, 0,640;

- в графе "Температура испытания, °С" найти значение температуры испытания - 27,5 °С;

- по таблице найти плотность продукта при 20 °С - 0,647 г/см³.

Так как при округлении измеренной плотности значение плотности фактически уменьшили на 0,6448-0,640=0,0048 или 0,005 г/см³, необходимо прибавить это значение к найденному по таблице значению плотности при 20 °С, то есть (0,647+0,005) г/см³=0,652 г/см³.

Таким образом, плотность продукта при 20 °С равна 0,652 г/см³. Если измеренную плотность округлили до 0,650 г/см³, фактическое увеличение значения плотности составляет 0,650 - 0,6448 = 0,0052 или 0,005 г/см³. Поэтому из значения плотности при 20 °С, найденного по таблице (0,6569 или 0,657 г/см³), необходимо вычесть 0,005 г/см³, то есть 0,657 - 0,005 = 0,652 г/см³. Плотность продукта при 20 °С равна 0,652 г/см³.

Октановое число

Октановое число исследовательским методом (ОЧИ) определяют по ГОСТ 8226-2015 "Топливо для двигателей. Исследовательский метод определения октанового числа". Настоящий стандарт устанавливает исследовательский метод определения октанового числа как характеристики детонационной стойкости автомобильных бензинов и их компонентов, предназначенных для использования в двигателях с искровым зажиганием, на одноцилиндровом четырехтактном двигателе. В качестве стандартного одноцилиндрового двигателя в настоящее время применяют установки отечественного производства типа УИТ и зарубежного производства CFR с переменной

степенью сжатия с использованием условной шкалы октановых чисел.

На установках УИТ85 (УИТ85М; УИТ65) (рис. 15), УИТ2008 исследования проводят в диапазоне от 0 до 110 единиц и установках зарубежного производства типа CFR в диапазоне от 0 до 120 единиц для установок типа УИТ (ГОСТ 8226-2015) и моторным методом (ОЧМ) - на установках УИТ85 (УИТ85М; УИТ65), УИТ2008 и установках типа CFR (ГОСТ 511-2015). В установках используется одноцилиндровый двигатель с регулируемой степенью сжатия и с изменяемым диффузором карбюратора в зависимости от октанового числа.



Рис. 15 - Универсальная установка УИТ85 для определения ОЧ по моторному и исследовательскому методам

Перед проведением исследований проводят подготовку эталонных топливных смесей (таблица 13).

Определение ОЧ производится в следующем порядке, на режимах соответствующих данным приведенным в таблице 14:

- 1) двигатель после предварительного прогрева масла выводят на температурный режим испытаний;
- 2) двигатель переводят на работу на испытуемом топливе;
- 3) постепенно увеличивая степень сжатия, доводят процесс сгорания до детонации. Интенсивность детонации должна соответствовать отклонению стрелки гальванометра на 40-45 делений;

Таблица 13

Состав первичных эталонных смесей для определения октанового числа топлив

Обозначение контрольного топлива	Объемный состав контрольного топлива, %			Номинальное значение октанового числа	
	толуол	<i>n</i> -гептан	изооктан	ОЧМ	ОЧИ
1	58	42	–	67,1	76,0
2	62	38	–	71,1	81,0
3	68	32	–	76,9	88,0
4	74	26	–	81,7	93,6
5	74	14	12	90,5	–
6	74	8	18	95,6	–
7	74	4	22	99,1	–
8	74	–	26	100,9	–
9	74	18	8	–	98,3
10	74	11	15	–	103,8

4) изменением уровня топливного бака доводят состав горючей смеси до такого, при котором детонация по показанию прибора достигает максимальной интенсивности;

5) добившись максимальной интенсивности детонации по составу смеси, увеличивают степень сжатия до тех пор, пока стрелка прибора достигнет 55 ± 3 деления шкалы, т. е. стандартной интенсивности детонации. После этого степень сжатия сохраняют постоянной;

6) по микрометрическому указателю детонации определяют установленную степень сжатия, а по таблице - ОЧ;

7) зная приблизительное значение ОЧ топлива, подбирают два вторичных эталона. Один из них должен иметь ОЧ на единицу больше приблизительно оцененного ОЧ топлива, а другой на единицу меньше;

8) эталонные топлива заливают в бачки установки, и двигатель переводят на питание сначала одним, потом другим эталонным топливом. Состав смеси должен так же, как и в испытуемом топливе, соответствовать максимуму детонации;

9) если в результате испытаний окажется, что по интенсивности детонации испытуемое топливо не попадает в интервал между

двумя эталонами, то один из них заменяют эталоном с большим или меньшим октановым числом;

Таблица 14

Основные характеристики работы двигателя при стандартных условиях испытаний по исследовательскому методу

Наименование показателя	Модель установок		
	УИТ85 (УИТ85М; УИТ65)	УИТ2008	CFR
Частота вращения коленчатого вала двигателя, мин ⁻¹	600±6	600±6	600±6
Диаметр диффузора карбюратора, мм	14,0	14,0	14,3
Угол опережения зажигания, градусы поворота коленчатого вала до ВМТ	13	13	13
Зазор между электродами свечи зажигания, мм	0,4-0,6	0,4-0,6	0,4-0,6
Зазор между контактами прерывателя, мм (дюймы)	0,25-0,35	0,25-0,35	0,08-0,13 (0,003-0,005)
Зазор между штоками и коромыслами клапанов для прогретого двигателя, мм	0,20±0,05	0,20±0,05	0,20±0,025
Уровень ОЧИ топлива для прогрева	70	70	90
Давление моторного масла, кПа	166-226	166-226	172-207
Температура масла в картере, °С	60±10	60±10	57±8
Температуры охлаждающей жидкости, °С	100±2	100±2	100±1,5
Изменение температуры охлаждающей жидкости в пределах одного испытания, °С	±1	±0,5	±0,5
Температура воздуха, поступающего в карбюратор, при фактическом барометрическом давлении, равном 101,3 кПа, °С	52±1	52±1	52±1
Влажность воздуха, поступающего в карбюратор, г воды на 1 кг сухого воздуха	3,5-7	3,5-7	3,56-7,12
Уровень топлива при максимальной интенсивности детонации, деление	0,5-2	0,5-2	0,7-1,7

10) для более надежного результата двигатель трижды переводят на питание исследуемым топливом и двумя эталонами, после чего берут среднее значение показаний прибора.

Рассчитывают ОЧ методом интерполяции по формуле:

$$ОЧ = A_1 + (A_2 - A_1) (a_1 - a) / (a_1 - a_2),$$

где A_1 – объемная доля изооктана в смеси эталонных топлив, детонирующих сильнее испытуемого топлива, %; A_2 – объемная доля изооктана в смеси эталонных топлив, детонирующих слабее испытуемого топлива, %; a – среднее арифметическое результатов отсчетов по указателю детонации для испытуемого топлива; a_1 – среднее арифметическое результатов отсчетов по указателю детонации для смесей эталонных топлив A_1 ; a_2 – среднее арифметическое результатов отсчетов по указателю детонации для смесей эталонных топлив A_2 .

Аналогично проводят исследования октанового числа моторным методом. Режим испытаний по исследовательскому методу (режим частичных нагрузок двигателя) менее напряженный, чем по моторному (режим полных нагрузок), в связи с чем ОЧИ несколько выше, чем ОЧМ.

Чувствительность, т.е. разница в октановых числах бензина, найденных этими двумя методами, зависит от химического состава бензина: наибольшая – у парафиновых, несколько меньше – у ароматических углеводородов, затем идут нафтеновые и самая низкая чувствительность у алканов.

Моторный метод (движение за городом)

Данный метод определяет, насколько устойчив бензин к детонации при максимальной мощности работы мотора в режиме увеличенной температуры. В ходе испытания обороты устанавливаются на отметке 900 мин⁻¹, температура всасываемой смеси – на 149 °С. Угол опережения зажигания – переменный. Проверка топлива моторным методом сравнивает испытываемый образец бензина с эталонным топливом в процессе переключения питания мотора автомобиля с одной топливной смеси на другую. Задачей метода является определение той смеси эталонного бензина, момент детонирования которого совпадает с детонацией исследуемого образца.

Исследовательский метод (движение в горюде)

Данный метод позволяет исследовать детонационную стойкость предоставленной для исследования смеси в условиях эксплуатации мотора при его частичной нагрузке. Основной принцип проведения данного исследовательского метода совпадает с алгоритмом метода моторного – испытываемый образец сравнивают с эталонным топливом. Однако в этом случае обороты до 600 мин^{-1} , а угол опережения зажигания установлен постоянный – 13° , при этом температура всасываемого воздуха равняется 52°C .

Для экспресс-анализа октанового числа бензинов используют *портативные анализаторы*, в нашей стране наибольшее распространение получили октанометры серии SX (рис. 16 а). Из зарубежных портативных анализаторов октанового числа бензинов наибольшее распространение получили октанометры Zeltex и Petrotech, (рис. 16 б, в) в которых октановое число выводится на дисплей и распечатывается на встроенном принтере через 10 секунд с указанием номера пробы, даты и времени проведения испытания. Для анализа берется проба бензина 75-100 мл (SX), 200 мл (Zeltex) и 70 мл (Petrotech).



Рис. 16 - Октанометры экспресс-анализа ОЧ:

а - серии SX; б - Zeltex; в - Petrotech

Фракционный состав

Под фракционным составом топлива понимается содержание в нем различных фракций, выкипающих в определенных температурных пределах. Фракционный состав выражается в объемных % или массовых %. Фракция топлива - это часть топлива, характеризующаяся определенными температурными пределами выкипания.

Фракции бензина условно подразделяют на пусковую, содержащую самые легкоиспаряющиеся углеводороды, входящие в первые 10 % отгона; рабочую, включающую последующие 80 % состава бензина, и концевую, в которую входят последние 10 % бензина. В соответствии с таким делением эксплуатационные свойства бензина оценивают по пяти характерным точкам кривой фракционного состава: температуре начала перегонки, температуре перегонки 10 %, 50 %, 90 % количества бензина и температуре конца перегонки.

Температуры начала перегонки и перегонки 10 % характеризуют пусковые качества бензина, т. е. способность обеспечивать запуск двигателя при низких температурах и склонность топлива к образованию паровоздушных пробок в топливной системе двигателя.

Чем ниже температура окружающего воздуха при пуске двигателя, тем больше должен иметь бензин легких фракций и тем ниже должна быть их температура кипения. Это качество бензина характеризуется температурами начала его перегонки и перегонки 10 %.

Однако чрезмерно низкая температура перегонки 10 % приводит к образованию в прогретом двигателе «паровых пробок» в топливопроводах и каналах карбюратора. При этом горючая смесь значительно обедняется. Практически это приводит к тому, что двигатель теряет мощность, начинает «чихать» и из-за перебоев подачи топлива может остановиться.

Температура перегонки 50 % бензина характеризует его способность обеспечивать быстрый прогрев и приемистость (быстрый переход двигателя на большие обороты) двигателей.

Чем ниже температура перегонки 50 % бензина, тем выше его испаряемость, лучше приемистость и устойчивость работы двигателя на этом бензине.

Температуры перегонки 90 % и конца перегонки характеризуют наличие в бензине тяжелых фракций, которые испаряются в последнюю очередь. С повышением этих температур увеличивается расход бензина, так как тяжелые фракции не успевают сгорать. Больше бензина проникает в картер, смывая масло со

стенок цилиндра и разжижая масло в картере, что ведет к износу деталей и повышенному расходу масла.

Определение фракционного состава бензина перегонкой осуществляется в соответствии с ГОСТ 2177-99 "Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава" с использованием стандартных типов приборов представлены на рисунках 17 и 18.

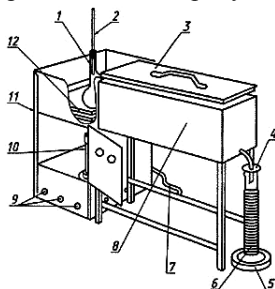


Рис. 17 - Аппарат типа 1 (с применением газовой горелки):

1 - колба для перегонки; 2 - термометр; 3 - крышка бани; 4 - фильтровальная бумага; 5 - подставка; 6 - мерный цилиндр; 7 - газопровод; 8 - охлаждающая баня; 9 - вентиляционные отверстия; 10 - горелка; 11 - кожух; 12 - асбестовая прокладка

Допускается использовать другие типы аппаратов, в том числе автоматические, обеспечивающие получение результатов в соответствии с точностью метода.

Использование автоматических приборов допустимо только при согласии заинтересованных сторон и указании в протоколе испытания типа прибора.

Анализируемый образец бензина сначала с целью обезвоживания подвергается осушке. Осушку бензина производят взбалтыванием его в течение 10 - 15 минут с зерненным хлористым кальцием и фильтрацией после отстоя через бумажный фильтр.

Затем, отмерив 100 мл, сливают это количество в колбу (ГОСТ 25336 (рис. 19 а)), в которую вставляют термометр через отверстие плотно пригнанной пробки в горловину колбы так, чтобы ртутный шарик термометра располагался по центру горловины колбы и нижний конец капилляра находился на одном уровне с самой

высокой точкой нижней внутренней стенки паропроводной трубки (рис. 20).

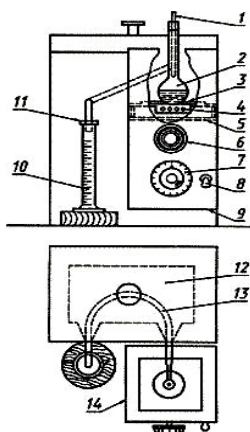


Рис. 18 - Аппарат типа 2 (с применением электрического нагревателя):

1 - термометр; 2 - колба для перегонки; 3 - асбестовая прокладка; 4 - электрический нагревательный элемент; 5 - подставка; 6 - ручка для регулирования положения колбы; 7 - диск для регулирования нагрева; 8 - выключатель; 9 - открытое дно кожуха; 10 - мерный цилиндр; 11 - фильтровальная бумага; 12 - охлаждающая баня; 13 - трубка холодильника; 14 - кожух

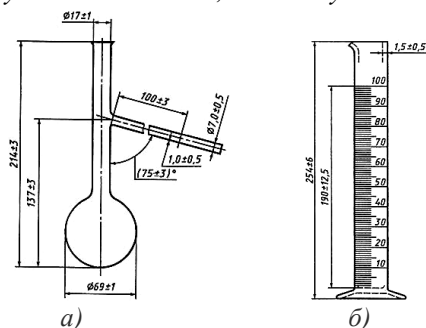


Рис. 19 - Аппаратура для определения фракционного состава:

а - колба для перегонки; б - мерный цилиндр

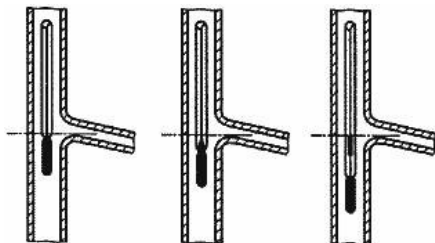


Рис. 20 - Положение термометра в перегонной колбе

Колба помещена в жестяной кожух, в нижней части которого укреплена асбестовая прокладка с отверстием для дна колбы. При перегонке бензина и других легких топлив диаметр отверстия должен быть 30 мм, а при перегонке керосина и дизельного топлива - 50 мм.

Отводной конец трубки пропускается через холодильник и опускается в мерный цилиндр вместимостью 100 см³, с ценой деления 1 см³, допуск $\pm 1,0$ см (рис. 19 б). Внутренняя полость цилиндра заполняется смесью воды со снегом или кусочками льда либо подключается к проточной воде, температура которой на выходе из холодильника должна быть не выше 30 °С.

Горелку для нагрева колбы зажигают вдали от прибора, устанавливают высоту пламени 50 - 60 мм и помещают в специальный держатель так, чтобы верхушка пламени едва касалась колбы.

При появлении на конце отводной трубки первой капли конденсата фиксируют температуру начала разгонки. После падения первой капли топлива перегонку ведут с равномерной скоростью - 4 - 5 мл в минуту, что соответствует 20 - 25 каплям за 10 с. Нарушение установленного режима перегонки ведет к искажению результата испытания. Так, при повышении скорости выше установленной четкость разделения топлива на фракции ухудшается и наряду с легкими фракциями перегоняются более тяжелые. В результате этого фракционный состав топлива будет казаться более легким. При малой скорости перегонки фракционный состав топлива будет казаться более тяжелым.

После отгона 90 % топлива нагрев колбы усиливают до появления синих язычков пламени из окошек нижней части кожуха. При этом ртутный столбик термометра вначале начнет подниматься, а затем остановится и, продержавшись некоторое время на этом уровне, начнет опускаться.

По результатам испытаний строится номограмма (рис. 21) с помощью которой осуществляется эксплуатационная оценка по фракционному составу бензина.

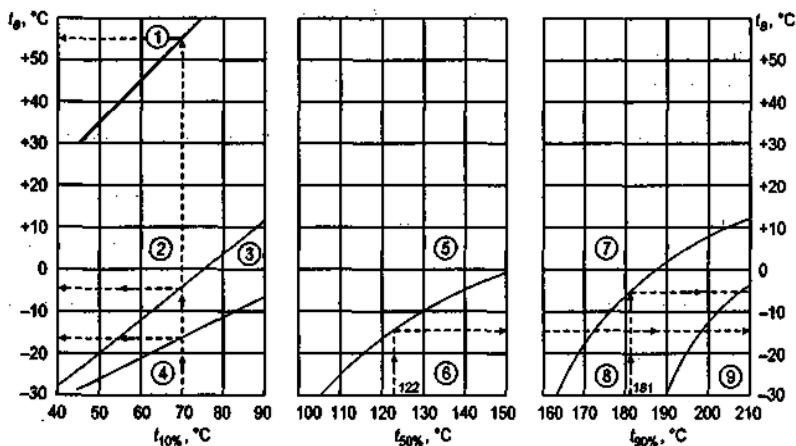


Рис. 21 - Номограмма для эксплуатационной оценки бензинов по данным их разгонки:

области: 1 - возможного образования паровых пробок; 2 - легкого пуска двигателя; 3 - затрудненного пуска двигателя; 4 - практически невозможного пуска холодного двигателя; 5 - быстрого прогрева и хорошей приемистости; 6 - медленного прогрева и плохой приемистости; 7 - незначительного разжижения масла в картере; 8 - заметного разжижения масла в картере; 9 - интенсивного разжижения масла в картере

На горизонтальной оси номограммы отложены температуры характерных точек разгонки бензина, а на вертикальной - температура наружного воздуха. Для оценки пусковых свойств определяются два значения температуры наружного воздуха, являющиеся нижни-

ми границами легкого и затрудненного пуска двигателя, для чего на горизонтальной оси отмечается точка, соответствующая $t_{10\%}$ испытуемого образца бензина. Из нее восстанавливается перпендикуляр до пересечения с наклонными сплошными линиями. Из точек пересечения проводятся горизонтальные линии на вертикальную ось номограммы, где определяется температура эксплуатации. Подобным образом оценить бензин по остальным показателям.

Давление насыщенных паров

При перегонке бензинов невозможно определить количество легкокипящих фракций, присутствие которых влияет на эксплуатационные свойства топлива, поэтому в нормативные требования вводят контрольный параметр – давление насыщенных паров при температуре $+37,8$ °С. По температуре перегонки можно косвенно судить о давлении насыщенных паров – чем ниже t_{10} и t_{100} , тем выше давление насыщенных паров.

Давление насыщенных паров бензина характеризует испаряемость пусковой и рабочей фракций. Давлением насыщенных паров называют давление пара в состоянии термодинамического равновесия с испаряющейся жидкостью. Давление насыщенных паров является индивидуальной характеристикой вещества, зависящей от ряда факторов, обуславливаемых влиянием внешней среды. К таким факторам относятся температура, соотношение между паровой и жидкой фазами, наличие в топливе растворимого газа и др. Давление насыщенных паров зависит от соотношения паровой и жидкой фаз.

Определение давления насыщенных паров по ГОСТ 1756-2000 (ИСО 3007-99) "Нефтепродукты. Определение давления насыщенных паров" заключается в следующем. Жидкостную камеру аппарата наполняют охлажденной пробой испытуемого продукта и подсоединяют к воздушной камере при температуре $37,8$ °С (рис. 22).

Аппарат погружают в баню с температурой $(37,8 \pm 0,1)$ °С и периодически встряхивают до достижения постоянного давления, которое показывает манометр, соединенный с аппаратом. Показание манометра, скорректированное соответствующим образом, принимают за давление насыщенных паров по Рейду.

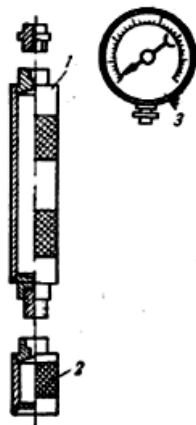


Рис. 22 - Аппарат для определения давления насыщенных паров:

1 - воздушная камера; 2 - бензиновая камера; 3 - манометр

Также могут использоваться следующие методы.

Определение давления насыщенных паров методом барометрической трубки. Прибор состоит из U-образной трубки 1, термостатирующего сосуда 2, мешалки 3, термометра 4, ртутного манометра 8, буферной емкости 5 и вакуум-насоса (рис. 23).

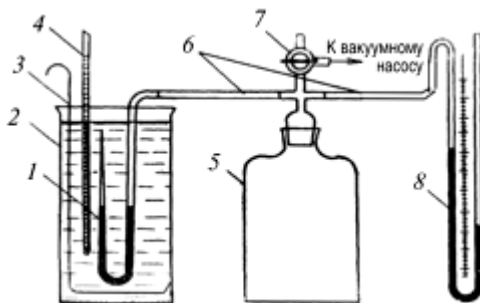


Рис. 47 - Прибор для определения давления насыщенных паров методом барометрической трубки:

1 - U-образная трубка; 2 - термостатирующий сосуд; 3 - мешалка; 4 - термометр; 5 - буферная емкость; 6 - резиновые трубки; 7 - трехходовой кран; 8 - ртутный манометр

На горловине буферной емкости установлен тройник с трехходовым краном 7. Переключая трехходовой кран, можно соединить вакуум-насос с буферной емкостью, U-образной трубкой и ртутным манометром или соединить с атмосферой. Все части прибора соединены между собой резиновыми трубками 6.

Заполняют U-образную трубку испытуемым горючим таким образом, чтобы оно полностью заполнило колено с капилляром до середины изгиба трубки. Заполненную трубку погружают в термостабирующий сосуд, резиновой трубкой соединяют с буферной емкостью и выдерживают при температуре испытания. На короткое время буферную емкость сообщают с атмосферой, включают вакуум-насос. Под действием вакуума и давления паров горючего жидкость опускается в капилляре и поднимается в колене с расширением. В момент выравнивания уровней в обоих коленах трубки записывают показания ртутного манометра.

Давление насыщенных паров горючего p_s в Па вычисляют по формуле:

$$p_s = 133,3 \cdot (\rho_b - \rho_M),$$

где p_b - барометрическое давление, мм рт. ст.; p_M - показания ртутного манометра, мм рт. ст.

Рекомендуется производить определение: для бензинов - при 20, 40 и 60 °С, для реактивных топлив - при 60, 80, 100 °С, для дизельных топлив - при 100, 120, 140 °С.

Определение давления насыщенных паров горючего сравнительным методом. Прибор для измерения давления насыщенных паров и определения зависимости его от температуры методом сравнения с эталонами (рис. 24) состоит из двух колб 3, термостатирующего устройства 1 и ртутного U-образного манометра 8.

Стекланные колбы закрываются притертыми пробками с кранами 4, которые с помощью резиновых трубок 7 соединены с манометром.

Термостатирующее устройство представляет собой стеклянный цилиндрический сосуд, заполненный водой, в котором размещаются колбы, мешалка 2, нагреватель 5 и термометр 6.

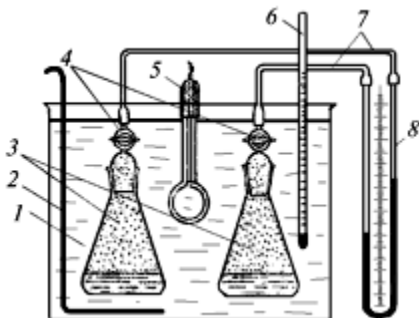


Рис. 24 - Прибор для определения давления насыщенных паров сравнительным методом:

1 - термостатирующее устройство; 2 - мешалка; 3 - коническая колба; 4 - проходной кран; 5 - нагреватель; 6 - термометр; 7 - резиновые трубки; 8 - U-образный манометр

Для отбора и сохранения пробы горючего используют пробоотборник. Испытуемое горючее заливают в одну из колб, в другую колбу помещают такое же количество эталонной жидкости — для бензинов бензол или изооктан. Колбы плотно закрывают пробками с кранами, помещают в термостат с заданной температурой и выдерживают в течение 5 мин.

В дальнейшем нагревают воду в термостате и фиксируют перепад давления на манометре через заданные интервалы температуры. Значение давления насыщенного пара горючего высчитывают как алгебраическую сумму давления насыщенного пара эталонной жидкости при данной температуре и показания манометра. Значение давления насыщенных паров эталонных жидкостей приводятся в справочной литературе.

Давление насыщенных паров нормируется ГОСТом: для летних бензинов – до 67,0 кПа, зимних – 66,7 – 93,3 кПа.

Индукционный период

Индукционный период - наиболее распространенный стандартный показатель стойкости бензина против окисления. Метод определения индукционного периода основан на определении вре-

мени, в течение которого бензин, находящийся в среде кислорода при повышенных давлении и температуре, практически не подвергается окислению. Исследования бензинов на длительность индукционного периода проводят в соответствии с ГОСТ Р 52068-2003 "Бензины. Определение стабильности в условиях ускоренного окисления (индукционный период)". Для проведения исследований используют различные аппараты (рис. 25).



Рис. 25 - Аппараты для определения стабильности бензина по индукционному периоду:

а - АИП-21 ЛИНТЕЛ; б - ИПБ-1; в - SYP2101Z-V

Аппараты для определения длительности индукционного периода в условиях ускоренного окисления состоят из стальной бомбы, кислородного баллона с редуктором, кислородного манометра и водяной бани. На аппаратах определяют время, в течение которого испытуемый бензин в среде кислорода под давлением 0,7 МПа и при температуре 100 °С практически не окисляется.

Основным элементов аппаратов является бомба для окисления бензина (рис. 26). Она выполнена из нержавеющей стали. Штуцер 6 предназначен для наполнения бомбы кислородом из баллона. Для соединения этого штуцера с редуктором служит медная трубка высокого давления с двумя гайками.

К штуцеру 5 при помощи свернутой в спираль стальной трубки диаметром 5 мм присоединяют кислородный манометр. Для закрепления манометра на трубке имеется гайка со свинцовой про-

кладкой. Со штуцером трубка соединяется при помощи конуса и гайки.

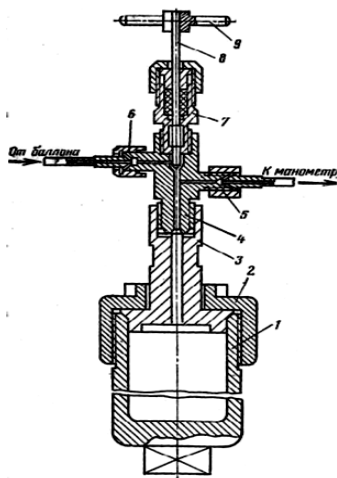


Рис. 26 - Бомба для окисления бензина:

1 - корпус; 2 - крышка; 3 - грибок; 4 - тройник; 5 и 6 - штуцера; 7 - вентиль; 8 - игольчатый клапан вентилятора; 9 - вороток вентилятора

Шкала кислородного манометра рассчитана, на 1,6 МПа, деления через 0,02 МПа. На водяной бане с электрическим обогревом выполнены 16 гнезда для погружения бомб. Для испытуемого бензина применяют стандартные стеклянные стаканчики. При сборке и наполнении кислородом бомбу помещают на металлическую подставку, привинченную к столу. Собранный бомба должна выдерживать гидравлическое испытание на 2 МПа. Герметичность бомбы проверяют в баке с водой.

Перед испытанием внутреннюю часть корпуса бомбы промывают бензолом и сушат воздухом. Крышку и другие детали головки бомбы протирают фильтровальной бумагой.

В стаканчик наливают 100 мл отфильтрованного испытуемого бензина, устанавливают его внутри бомбы и закрывают часовым стеклом. Бомбу завинчивают крышкой и соединяют ее медной труб-

кой с кислородным баллоном. Воротком 9 поднимают игольчатый клапан 8 и не менее 3 мин заполняют бомбу кислородом до давления 0,2 МПа. Затем воротком опускают игольчатый клапан и отвинчивают гайку, с помощью которой бомба соединяется с медной трубкой. Открывают вентиль и выпускают кислород, то есть продувают бомбу. Далее вновь наполняют бомбу кислородом до давления 0,75 МПа и отъединяют медную трубку. Бомбу опускают в бак с водой, имеющей температуру 15...20 °С, и проверяют ее герметичность. Снижают давление внутри бомбы до 0,7 МПа, воду в бане доводят до кипения. Бомбу погружают в кипящую баню до верхнего края крышки. Момент погружения бомбы в баню считают за начало окисления бензина и отмечают время и начальное давление. Затем давление в бомбе записывают через каждые 5 мин.

В связи с нагреванием кислорода и бензина в начальный период давление возрастает, а затем, достигнув максимального значения, некоторое время держится постоянным и после этого начинает непрерывно снижаться. Испытание заканчивают, когда давление снизится на 0,06 МПа от максимального значения. За конец индукционного периода принимают начало непрерывного падения давления. По окончании окисления бомбу вынимают из кипящей воды и погружают на 15...20 мин в бак с водой, имеющей температуру 15...20 °С. Затем бомбу устанавливают на подставку и выпускают из нее кислород. Обтирают крышку и головку бомбы сухим полотенцем, отвинчивают крышку, приподнимают ее и обезживают выступающую часть грибка фильтровальной бумагой. Затем крышку с головкой снимают с корпуса бомбы, снимают щипцами часовое стекло и стаканчик с окисленным бензином. Бензин, сконденсировавшийся в корпус» бомбы, сливают в стакан. Мерным цилиндром замеряют все количество оставшегося после опыта бензина. Если его меньше 95 мл, испытание повторяют.

Длительность периода окисления бензина находят как разность между временем конца индукционного периода и временем начала окисления. Однако испытуемый бензин в бомбе нагревается до 100 °С 17 через некоторое время. Поэтому длительности индукционного периода окисления не совпадают. Если это обстоятельство

не учитывать, то значение индукционного периода окажется завышенным. В связи с этим при определении длительности индукционного периода бензина вводят поправку, учитывающую отставание температуры бензина от 100 °С.

Индукционный период автомобильных бензинов колеблется в пределах 600... 1300 мин.

Количество фактических смол

Фактические смолы - это смолистые соединения, которые содержатся в топливе на момент их определения. Смолы - это темно-коричневые жидкие или полужидкие вещества с плотностью около 1000 кг/м³, молекулярной массой 350...900, обладают сильной красящей способностью, легко растворимы во всех нефтепродуктах и органических растворителях (кроме ацетона и спирта). Смолистые и смолообразующие вещества всегда содержатся в бензине. Их количество зависит от технологии получения, способа очистки, длительности и условий хранения топлива. Содержание их для автобензинов на месте потребления допускается от 7 до 10 мг/100 мл (на месте производства 5 мг/100 мл). В процессе работы двигателя смолистые соединения вызывают повышенное нагарообразование, снижают противодетонационные свойства, откладываются в топливопроводах, жиклерах карбюратора, на клапанах и т. д., что нарушает нормальную работу двигателя (отложение нагара в камере сгорания увеличивает степень сжатия, что приводит к детонационному сгоранию или калильному зажиганию; обладая низкой теплопроводностью, нагары ухудшают отвод тепла от горячих газов к охлаждающей жидкости - это приводит к перегреву рабочей смеси и, как правило, возникновению детонации).

При содержании фактических смол в пределах, допускаемых стандартами, двигатели длительно работают без повышенного смоло- и нагарообразования. Если содержание смол в два-три раза выше нормы, то моторесурс двигателя снижается на 20...25 %.

Количество смол в топливе зависит от его химического состава, качества очистки при производстве, условий транспортировки и длительности хранения. Чем больше в топливе нестабильных непредельных углеводородов, тем больше образуется в нем смол.

Различают потенциальные смолы - это смолистые вещества, которые могут образовываться в процессе полимеризации и окисления главным образом из-за содержащихся в топливе непредельных углеводородов (олефинов), и фактические, наличие которых определяют по методике, приведенной далее. Фактические смолы - нерастворимая в гептане часть остатка от выпаривания автомобильного бензина (промытые смолы). Непромытые смолы - остаток от выпаривания автомобильного бензина, состоящий из фактических смол и трудноиспаряющихся компонентов присадки.

Содержание фактических смол в бензинах оценивается в мг на 100 мл топлива по ГОСТУ 2084-77. ГОСТ 1567-97 (ИСО 6246-95) "Нефтепродукты. Бензины автомобильные и топлива авиационные". Метод определения смол выпариванием струей". Сущность метода заключается в испарении определенного объема топлива при заданных температурах и расходе воздуха (скорость потока (600 ± 90) $\text{см}^3/\text{с}$ для каждого выпускного отверстия обеспечивается общей скоростью потока (1000 ± 150) $\text{см}^3/\text{с}$ при температуре (155 ± 5) $^\circ\text{C}$ и давлении на выходе расходомера не выше 34,5 кПа) и пара (скорость подачи пара установлена (1000 ± 150) $\text{см}^3/\text{с}$) с последующим определением остатка или массы остатка, промытого растворителем.

Испытания проводят следующим образом. Лабораторные стаканы (9) (рис. 27), включая стакан для контрольного опыта, промывают растворителем до тех пор, пока не удалят все смолы.

Стаканы тщательно прополаскивают водой и погружают в моющий раствор. Тип детергента и условия его применения устанавливают в каждой лаборатории. Критерием удовлетворительной очистки может служить сравнение качества очистки стаканов при применении раствора хромовой кислоты (в свежей хромовой кислоте выдерживают в течение 6 ч, ополаскивают дистиллированной водой и сушат). Вынимают стаканы из раствора с помощью щипцов из нержавеющей стали и в дальнейшем не касаются стаканов руками, а пользуются щипцами. Стаканы тщательно промывают сначала водопроводной, а затем дистиллированной водой и сушат в термостате при $150\text{ }^\circ\text{C}$ не менее 1 ч. Стаканы охлаждают не менее 2 ч в емкости для охлаждения.

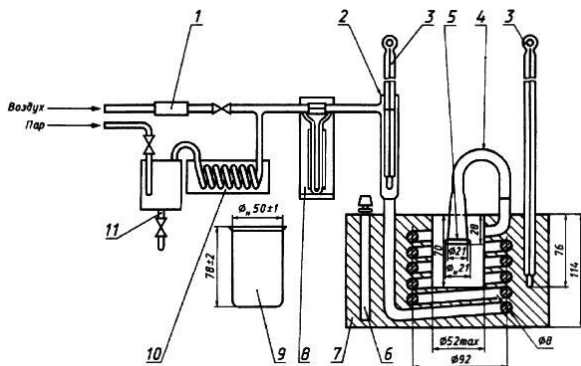


Рис. 27 - Аппарат для определения содержания смол выпариванием струей:

1 - фильтр из хлопчатобумажной или стеклянной ваты; 2 - гнездо для термометра (произвольное); 3 - термометры; 4 - съемный держатель (адаптер); 5 - медный экран 500-600 мкм; 6 - терморегулятор; 7 - баня (цельнометаллический блок); 8 - расходомер; 9 - стакан; 10 - пароперегреватель; 11 - пароулавливатель

При очистке мощными средствами соблюдают правила предосторожности так же тщательно, как при работе с раствором коррозионно-агрессивной хромовой кислоты. Последний используют в качестве эталона, он может заменять моющие растворы в указанной методике очистки.

По таблице 15 подбирают условия, необходимые для испытания авиационных и автомобильных бензинов или топлив для турбореактивных двигателей.

Таблица 15

Условия испытаний

Тип образца	Испаряющий агент	Температура определения, °C	
		бани	гнезда
Бензин авиационный и автомобильный	Воздух	160-165	150-160
Топливо для турбореактивных двигателей	Пар	232-246	229-235

Стаканы взвешивают с погрешностью не более 0,1 мг относительно контрольного стакана.

Если в испытуемом образце присутствуют взвешенные или осевшие твердые частицы, топливо тщательно перемешивают в емкости. Какое-то количество образца сразу фильтруют при атмосферном давлении через фильтрующую воронку.

В каждый из стаканов помещают по 50 или 25 см³ топлива, за исключением стакана для контрольного опыта, для каждого топлива используют один стакан. Заполненные стаканы и стакан для контрольного опыта помещают в баню для выпаривания. Первый и последний стаканы должны помещаться с небольшим промежутком времени. При выпаривании топлива воздухом каждый стакан помещают в баню и устанавливают на место конический держатель. При выпаривании паром стаканы нагревают в течение 3 мин перед тем, как установить на место конический держатель, который перед соединением с выпускным отверстием подогревают в струе пара. Конические держатели центрируют над поверхностью жидкости. Топливо испаряют в течение 30 мин, поддерживая заданные температуру и скорость потока пара. Испытуемые одновременно образцы должны иметь аналогичные условия испарения.

По окончании нагревания стаканы вынимают из бани и переносят для охлаждения в емкость, которую помещают около весов, и охлаждают не менее 2 ч. Стаканы взвешивают.

Стаканы, содержащие нерастворимую в гептане порцию смол, отделяют. Остальные стаканы промывают для повторного использования.

В каждый из стаканов, отделенных и контрольный стакан, добавляют 25 см³ гептана и встряхивают в течение 30 с. Смесь выдерживают 10 мин.

Раствор гептана сливают и отбрасывают, предотвратив потери любого твердого остатка.

Повторяют экстрагирование, добавляя повторно 25 см³ гептана. Экстрагирование проводят третий раз, если экстракт окрашен.

Стаканы, включая стакан для контрольного опыта, помещают в баню для выпаривания, температура которой 160-165 °С, и, не устанавливая конических держателей, сушат их в течение 5 мин.

По окончании сушки стаканы удаляют из бани и помещают в емкость для охлаждения, стоящую около весов; охлаждают не менее 2 ч. Взвешивают и записывают массу стаканов.

Концентрацию смол A , мг/100 см³ вычисляют по формуле

$$A = 2000[(m_1 - m_3) - (m_2 - m_4)],$$

где m_1 - масса стакана для образца с остатком, г; m_2 - масса контрольного стакана после испытания, г; m_3 - масса пустого стакана для образца, г; m_4 - масса контрольного стакана до испытания, г.

Если взвешивания проведены с учетом контрольного опыта до и после испытания на весах с двумя чашками, то используют формулу

$$A = 2000(m_5 - m_6),$$

где $m_5 = m_1 - m_4$; $m_6 = m_3 - m_4$.

При объеме испытуемого топлива 25 см³ содержание смол вычисляют по формулам, используя коэффициент 4000.

Содержание водорастворимых кислот и щелочей

Из-за нарушения технологии очистки бензина в нем могут присутствовать водорастворимые кислоты и щелочи. Так, например, после очистки бензина при неполной нейтрализации серной кислоты щелочью не исключено наличие остатков как самой кислоты, так и её производных – сульфокислот и кислых эфиров. Для удаления щелочи после нейтрализации серной кислоты бензин промывают водой. Щелочь попадает в топливо при плохой промывке в процессе очистки. Другие водорастворимые кислоты и щелочи могут оказаться в топливе случайно.

Присутствие в бензине водорастворимых кислот и щелочей вызывает интенсивное изнашивание деталей двигателя (коррозия металлов), поэтому стандартами предусматривается их полное отсутствие. Бензины, содержащие водорастворимые кислоты и щелочи, к эксплуатации непригодны.

Определение проводится по ГОСТ 6307-75 "Нефтепродукты. Метод определения наличия водорастворимых кислот и щелочей".

Для определения содержания в бензине водорастворимых кислот и щелочей образец бензина тщательно перемешивают встряхиванием в бутылке, затем в делительную воронку (1) помещают 50 см³ испытуемого нефтепродукта и 50 см³ дистиллированной воды, нагретых до 50-60 °С (рис. 28).

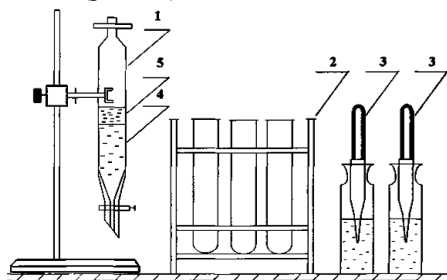


Рис. 28 - Приборы для определения в топливе водорастворимых кислот и щелочей:

1 – делительная воронка; 2 – штатив с пробирками; 3 – индикаторы; 4 – водная вытяжка; 5 – топливо

Содержимое делительной воронки слегка взбалтывают в течение 5 мин, не допуская образования эмульсии. После отстоя нижний водный слой сливают через воронку с бумажным фильтром в коническую колбу.

Далее определение может проводиться двумя методами.

1. Для определения наличия водорастворимых кислот и щелочей по величине рН в стаканчик помещают 35-50 см³ вытяжки, погружают электроды на глубину 10-12 мм и измеряют величину рН в соответствии с требованиями по эксплуатации рН-метра (рис. 29). Результаты замеров сравнивают с значениями таблицы 16.

2. Для определения наличия водорастворимых кислот и щелочей с помощью индикаторов в две пробирки помещают по 1-10 см³ вытяжки.

В одну из пробирок помещают две капли раствора метилового оранжевого и сравнивают цвет вытяжки с цветом такого же объема

дистиллированной воды, в которую добавляют две капли раствора метилового оранжевого, налитой в третью пробирку. Окрашивание вытяжки в розовый цвет указывает на наличие в испытуемом нефтепродукте водорастворимых кислот. Во вторую пробирку прибавляют три капли раствора фенолфталеина.



Рис. 29 - pH-метры для определения содержания водорастворимых кислот и щелочей:

а - 913 pH Meter; б - PCE-228

Таблица 16

Значения показаний pH-метра

Характеристика водной вытяжки нефтепродукта	pH
Кислая	До 4,0
Слабокислая	Св. 4,0 до 6,0
Отсутствие водорастворимых кислот и щелочей	Св. 6,0 до 8,0
Слабощелочная	Св. 8,0 до 10,0
Щелочная	Св. 10,0

Окрашивание раствора в розовый или красный цвет указывает на наличие водорастворимых щелочей.

Нефтепродукт считается не содержащим водорастворимых щелочей или кислот при отсутствии розового или красного окрашивания вытяжки от фенолфталеина или метилового оранжевого индикаторов. Результаты сравнивают с данными таблицы 17.

Таблица 17

Цвет индикаторов в различных средах

Среда	Метилоранж	Фенолфталеин
Щелочная	Желтый	Малиновый
Нейтральная	Оранжевый	Бесцветный
Кислая	Красный	Бесцветный

Если водная вытяжка кислая или щелочная, то испытуемый бензин бракуют.

Бензины для двигателей, имеющие в своем составе продукты термического крекинга, могут содержать значительное количество олефинов, способных во время транспортирования и хранения превращаться вследствие окислительно-полимеризационных процессов в смолы, чрезмерно высокая концентрация которых негативно отражается на работе двигателей. В связи с этим возникает необходимость качественной оценки в эксплуатационных условиях способности бензинов к самопроизвольному осмолению.

Олефины легко окисляются, восстанавливая соприкасающиеся с ними окислители. При выполнении анализа испытуемый бензин наливают в проградуированную пробирку до уровня 30...40 мм и добавляют примерно такое же количество водного раствора марганцовокислого калия (перманганата калия). Пробирку закрывают пробкой, интенсивно встряхивают смесь в течение 10...15 с, а затем дают смеси отстояться. Если после отстаивания жидкость в нижней части пробирки имеет малиново-фиолетовую окраску, то это свидетельствует об отсутствии в бензине олефинов.

Обесцвечивание водного слоя или изменение малиново-фиолетовой окраски на желтую или коричневую является признаком наличия олефинов в испытуемом бензине.

Кислотность и кислотное число

Коррозионные свойства топлива, как уже отмечалось, определяются не только наличием водорастворимых кислот и щелочей, воды и сернистых соединений, но и наличием органических кислот. Основными органическими кислотами, содержащимися в нефтепродуктах, являются нафтеновые кислоты, которые относятся к виду карбоновых кислот. Нафтеновые кислоты коррозию черных металлов не вызывают, но на цветные металлы (особенно цинк и свинец) действует весьма агрессивно с образованием солей этих металлов. Содержание органических кислот в топливе регламентируется ГОСТ 5985-79 "Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа". Сущность метода заключается в титровании кислотных соединений испытуемого продукта спиртовым раствором гид-

роокиси калия в присутствии цветного индикатора и определении для светлых нефтепродуктов кислотности, выраженной в мг КОН/100 см³.

Для приготовления титрованных растворов применяют свежеперегнанный 85 % этиловый спирт (89 см³ этилового спирта и 11 см³ дистиллированной воды). Перегонку спирта осуществляют в колбе вместимостью 1000 см³ с дефлегматором (рис. 30).

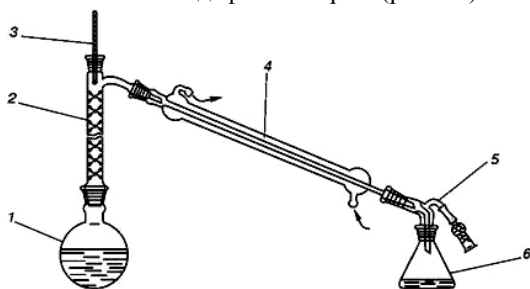


Рис. 30 - Прибор для перегонки спирта:

1 - перегонная колба; 2 - дефлегматор; 3 - термометр; 4 - холодильник; 5 - аллонж; 6 - приемник

Для приготовления 0,5 %-ного водного раствора индикатора нитрозинового желтого 0,5 г индикатора растворяют в 100 см³ дистиллированной воды.

Для установления титра спиртового раствора гидроокиси калия применяют перекристаллизованный кислый фталевокислый калий (бифталат калия) или янтарную кислоту:

- 70 г бифталата калия растворяют в 200 см³ дистиллированной горячей воды. Перекристаллизацию ведут при температуре не ниже 25°C, так как при более низкой температуре образуются кристаллы трифталата калия - более кислой соли. Полученные кристаллы сушат до постоянной массы при (105±5)°C.

- 100 г янтарной кислоты растворяют при кипячении в 165 мл дистиллированной воды, раствор фильтруют через воронку с обогревом. После охлаждения раствора кристаллы отфильтровывают на отсасывающей воронке и снова перекристаллизовывают. Кристаллы высушивают при (105±5)°C до постоянной массы.

Приготовление 0,05 моль/дм³ спиртового раствора гидроокиси калия - 3 г кристаллической гидроокиси калия взвешивают с погрешностью не более 0,1 г, растворяют в 1000 см³ этилового спирта. Полученный раствор тщательно перемешивают и выдерживают не менее 24 ч в темном месте.

Отстоявшийся прозрачный раствор отделяют от осадка декантацией в склянку для бюретки или в бутылку с пробкой из темного стекла или окрашенные в черный цвет. Бюретка должна быть защищена трубкой с натронной известью или аскаритом.

Титр раствора гидроокиси калия устанавливают по бифталату калия (допускается устанавливать титр по янтарной кислоте) - коническую колбу вместимостью 250 см³ помещают 0,05-0,07 г бифталата калия или янтарной кислоты, взвешенных с погрешностью не более 0,0002 г, и растворяют их в 50 см³ свежeproкипяченной дистиллированной воды, добавляют 3-4 капли фенолфталеина и титруют 0,05 моль/дм³ раствором гидроокиси калия при непрерывном перемешивании до появления розовой окраски. Окраска должна быть устойчивой без перемешивания в течение 30 с.

Пробу нефтепродукта тщательно перемешивают встряхиванием в течение 5 мин в склянке, заполненной не более чем на 3/4 ее объема.

Для испытания светлых нефтепродуктов отбирают от 50 до 100 см³ пробы. В другую коническую колбу наливают 50 см³ 85 %-ного этилового спирта и кипятят с обратным холодильником водяным или воздушным в течение 5 мин (рис. 31).

В прокипяченный спирт добавляют 8-10 капель (0,25 см³) индикатора нитрозинового желтого и нейтрализуют в горячем состоянии при непрерывном перемешивании 0,05 н. спиртовым раствором гидроокиси калия до первого изменения желтой окраски в зеленую.

Определение кислотности

В колбу с нейтрализованным горячим спиртом приливают испытуемую пробу и кипятят в течение 5 мин (точно) с обратным холодильником при постоянном перемешивании. Если содержимое колбы после кипячения все еще сохраняет зеленую окраску, испыта-

ние прекращают и считают, что кислотность испытуемой пробы отсутствует.

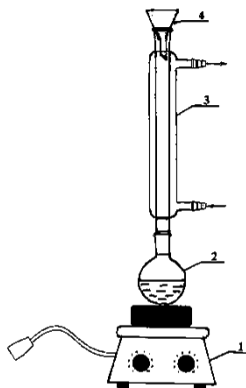


Рис. 31 - Аппарат для перегонки с обратным холодильником:

1 – плитка; 2 – круглодонная колба; 2- обратный водяной холодильник; 4 – воронка с закупоренным каналом

В случае изменения окраски смесь в горячем состоянии титруют спиртовым раствором гидроксида калия при непрерывном интенсивном перемешивании до изменения желтой (или желтой с оттенками) окраски спиртового слоя или смеси в зеленую (или зеленую с оттенками). Окраска должна быть устойчивой без перемешивания в течение 30 с. Титрование проводят в горячем состоянии быстро во избежание влияния углекислого газа, содержащегося в воздухе.

Определение кислотного числа

В коническую колбу помещают пробу испытуемого продукта в количестве от 50 до 100 см³ добавляют при взбалтывании не менее 40 см³ щелочного голубого 6Б до полного растворения пробы. Затем содержимое колбы титруют при легком взбалтывании спиртовым раствором гидроксида калия до изменения голубой окраски на красную или голубого оттенка на красный. Параллельно проводят контрольный опыт без испытуемой пробы, применяя то же количество раствора щелочного голубого 6Б. В случае плохого растворения

пробы содержимое колбы кипятят с обратным холодильником в течение 5 мин при постоянном перемешивании.

Допускается проводить определение кислотного числа следующим образом: нейтрализованный горячий спирт приливают в колбу с испытуемым продуктом. Содержимое колбы кипятят с обратным холодильником в течение 5 мин при постоянном перемешивании. Смесь в горячем состоянии титруют спиртовым раствором гидроокиси калия. При наличии в смеси зеленой (или зеленой с оттенками) окраски титрование раствором гидроокиси калия не производят. В этом случае органические кислоты в испытуемом нефтепродукте отсутствуют.

Кислотность испытуемого нефтепродукта K в мг КОН на 100 см³ вычисляют по формуле

$$K = \frac{V_2 \cdot T \cdot 100}{V_o},$$

где V_2 - объем 0,05 моль/дм³ раствора гидроокиси калия, израсходованный на титрование, см³; T - титр 0,05 моль/дм³ раствора гидроокиси калия, мг/см³; V_o - объем испытуемой пробы, см³; 100 - фактор пересчета на 100 см³ продукта.

Кислотное число испытуемой пробы (K_1) в мг КОН/г при использовании в качестве индикатора щелочного голубого вычисляют по формуле

$$K = \frac{(V_3 - V_4) \cdot T}{m_1},$$

где V_3 - объем 0,05 моль/дм³ раствора гидроокиси калия, израсходованный на титрование, см³; V_4 - объем 0,05 моль/дм³ спиртового раствора гидроокиси калия, израсходованный на контрольный опыт, см³; T - титр 0,05 моль/дм³ спиртового раствора гидроокиси калия, мг/см³; m_1 - масса пробы, г.

Кислотное число испытуемой пробы (K_2) в мг КОН/г при использовании в качестве индикатора нитрозинового желтого вычисляют по формуле

$$K = \frac{V_3 \cdot T}{m_1},$$

где V_3 - объем 0,05 моль/дм³ спиртового раствора гидроокиси калия, израсходованный на титрование, см³; T - титр 0,05 моль/дм³ спиртового раствора гидроокиси калия, мг/см³; m_1 - масса пробы, г.

Испытания на медную пластинку

Испытания на медную пластинку проводятся для определения коррозионного воздействия бензина на медь (ГОСТ 6321-92 (ИСО 2160-85) Топливо для двигателей. Метод испытания на медной пластинке). Сущность метода заключается в выдерживании медной пластинки в испытуемом топливе при повышенной температуре и фиксировании изменения ее внешнего вида, характеризующего коррозионное воздействие топлива.

Испытуемое топливо фильтруют через бумажный фильтр, наливают в пробирки 10 см³, опускают в них с помощью пинцета (щипцов) подготовленные к испытанию пластинки и закрывают пробирки корковыми пробками. Пробирки с топливом и медными пластинками помещают в вертикальном положении в нагретую водяную баню (рис. 32).



Рис. 32 - Баня для испытания на медную пластинку

Уровень воды в бане должен быть выше уровня топлива в пробирках не менее чем на 30 мм. Топливо выдерживают в течение 3 ч при температуре $(50 \pm 2) ^\circ\text{C}$. По истечении 3 ч пластинку извлекают пинцетом из пробирки и промывают в фарфоровой чаше не менее двух раз спиртотолуольной смесью и просушивают на фильтроваль-

ной бумаге (промокая). Не допускается касание руками поверхности пластинки.

Коррозионную активность образца выражают в зависимости от внешнего вида исследуемой пластинки, совпадающего с одним из эталонов коррозии (таблица 18).

Таблица 18

Классификация эталонов для определения степени коррозии

зии

Эталон	Степень коррозии	Описание цвета эталонов
свежеотшлифованная	-	-
1	Незначительное потускнение	а) Светло-оранжевый, почти такого же цвета, как и свежеотшлифованная пластинка; б) темно-оранжевый
2	Умеренное потускнение	а) Темно-красный; б) бледно-лиловый; в) многоцветный; лиловато-синий (и/или), темно-красный с серебряным налетом; г) серебристый; д) латунно-желтый или золотистый
3	Сильное потускнение	а) Пурпурно-красный, нанесенный на пластинку латунно-желтого цвета; б) многоцветный с красным или зеленым оттенком (переливчатый), но не серый
4	Коррозия	а) Прозрачно-черный, темно-серый или коричневый с едва заметным переливчато-зеленым цветом; б) цвет графита или тускло-черный; в) блестяще-черный

Если внешний вид пластинки занимает явно промежуточное положение между двумя соседними эталонами, то образец относят к эталону с большей степенью помутнения. Если пластинка имеет более темный оранжевый цвет, чем эталон класса 1 б, ее все же следует отнести к классу 1, но при наличии явного красного цвета пластинку следует отнести к классу 2.

Темно-красная пластинка в классе 2 может быть ошибочно принята за пурпурно-красный цвет, нанесенный на латунную желтую пластинку в классе 3, если латунно-желтый фон пластинки полностью заглушен пурпурно-красным цветом.

Чтобы установить их различие, пластинки погружают в растворитель. Первая приобретает темно-оранжевый цвет, а последняя остается без изменения.

Чтобы установить различие между многоцветными пластинками классов 2 и 3, пластинку помещают для контроля во вторую пробирку. Если пластинка относится к классу 2, она примет серебристый, а затем золотистый цвет. Если же пластинка относится к классу 3, она станет прозрачно-черного цвета и т. д., как указано в классе 4.

Испытание повторяют, если на пластинке обнаруживают поверхностные изъяны, такие как отпечатки пальцев или пятна от попадания посторонних частиц или капель воды во время обработки пластинки. А также в том случае, если изменение окраски острых краев плоских поверхностей пластинки соответствует более высоким степеням коррозии, чем окраска большей части поверхности пластинки.

При этом появление равномерного оранжевого оттенка, без изменения первоначального блеска, не считают изменением цвета пластинки.

Топливо считают не выдержавшим испытание, если хотя бы при одном определении на пластинке образовался налет или пятна черного, коричневого или серо-стального цвета. При других изменениях или отсутствии изменения цвета пластинки топливо считают выдержавшим испытание

Содержание воды

Вода может присутствовать в бензинах в растворенном состоянии и в виде второй (жидкой или твердой) фазы. В растворенном состоянии в нефтяном бензине может содержаться очень небольшое количество воды. Даже в наиболее гигроскопичном углеводороде — бензоле растворимость воды при 20°C составляет всего 0,058%. Однако даже в таких количествах растворенная в бензине вода может

вызвать нарушения в работе двигателя, особенно при низких температурах. Содержание воды в автомобильных бензинах зависит как от внешних условий (температура, влажность воздуха, атмосферное давление), так и от углеводородного состава самого бензина.

Наличие воды в бензине приводит к блокированию топливных фильтров, нарушениям в процессах сгорания топлива, коррозии топливной аппаратуры и выпускных клапанов, загрязнению газовойпускных трактов и турбин газотурбокомпрессоров.

Содержание воды определяется по ГОСТ 2477-2014 Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды. Сущность метода - испытуемый продукт нагревают в колбе с обратным холодильником в присутствии не смешивающегося с водой растворителя, который перегоняется вместе с водой, находящейся в образце. Конденсированный растворитель и вода постоянно разделяются в ловушке, причем вода остается в градуированном отсеке ловушки, а растворитель возвращается в дистилляционный сосуд.

При испытании в дистилляционный сосуд (колбу) вводят $(100, 00 \pm 1, 00) \text{ см}^3$ или $(100, 00 \pm 1, 00) \text{ г}$ образца бензина. Включают нагреватель, содержимое колбы доводят до кипения и далее нагревают так, чтобы скорость конденсации дистиллята в приемник была от 2 до 5 капель в 1 секунду (рис. 33).

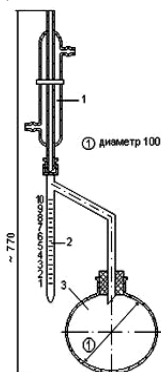


Рис. 33 – Прибор Дина и Старка для определения содержания воды:

1 - холодильник; 2 - калиброванная ловушка; 3 - колба

Если в процессе дистилляции происходит неустойчивое каплеобразование, то увеличивают скорость дистилляции или останавливают на несколько минут приток охлаждающей воды в холодильник.

Если под конец перегонки в трубке холодильника задерживаются капли воды, то их смывают растворителем, увеличив для этого на непродолжительное время интенсивность кипячения.

Перегонку прекращают, как только объем воды в приемнике-ловушке не будет увеличиваться и верхний слой растворителя станет совершенно прозрачным. Время перегонки должно быть не менее 30 и не более 60 минут.

Оставшиеся на стенках трубки холодильника капельки воды сталкивают в приемник-ловушку стеклянной палочкой или металлической проволокой.

После того, как колба охладится, а растворитель и вода в приемнике-ловушке примут температуру воздуха в комнате, аппарат разбирают и сталкивают стеклянной палочкой или проволокой капельки воды со стенок приемника-ловушки. Если в приемнике-ловушке со шкалой 25 см³ собралось более 25 см³ воды, то излишки выпускают в градуированную пробирку.

Если в приемнике-ловушке собралось небольшое количество воды (до 0,3 см³) и растворитель мутен, то приемник-ловушку помещают на 20-30 мин в горячую воду для осветления и снова охлаждают до комнатной температуры.

Массовую (X) или объемную (X_1) долю воды в процентах вычисляют по формулам:

$$X = \frac{100 \cdot V_o}{m},$$

$$X_1 = \frac{100 \cdot V_o}{V},$$

где V_o - объем воды в приемнике-ловушке, см³; m - масса пробы, г; V - объем пробы, см³.

Количество воды в приемнике-ловушке 0,03 см³ и меньше считается следами. Отсутствие воды в испытуемом нефтепродукте

определяется состоянием, при котором в нижней части приемника-ловушки не видно капель воды.

В сомнительных случаях отсутствие воды проверяется нагреванием испытуемого нефтепродукта в пробирке, помещенной в маслянистую баню, до температуры 150 °С. При этом отсутствием воды считается случай, когда не слышен треск.

Расхождения между результатами двух параллельных определений, полученными одним лаборантом на одной и той же аппаратуре и идентичном испытуемом материале в одинаковых условиях не должны превышать:

1. 0,1 см³ - при объеме воды, меньшем или равном 1,0 см³;
2. 0,1 см³ или 2 % от среднего значения (в зависимости от того, какая из этих величин больше) - при объеме воды более 1,0 см³.

Расхождения между двумя результатами, полученными разными лаборантами, в разных лабораториях, на одинаковом испытуемом материале не должны превышать:

1. 0,2 см³ - при объеме воды, меньшем или равном 1,0 см³;
2. 0,2 или 10 % от среднего значения (в зависимости от того, какая из этих величин больше) - при объеме воды более 1,0 см³, но <10 см³;
3. 5% от величины среднего результат - при объеме воды >10 см³.

Содержание механических примесей и массовой доли примесей

Основными причинами и источниками загрязнений бензинов механическими примесями являются:

- попадание загрязняющих примесей из атмосферы;
- образование нерастворимых продуктов в результате коррозии металлов и разрушения неметаллических материалов;
- образование нерастворимых продуктов в результате окисления нестабильных компонентов— олефиновых и непредельно-ароматических углеводородов и гетероорганических соединений;
- налив бензинов в плохо зачищенные резервуары и перекачка по грязным трубопроводам;

- накопление осевших загрязнений в отстойниках и на дне резервуаров.

Механические примеси в бензине приводят к засорению топливных фильтров, топливопроводов, жиклеров, что нарушает нормальную работу двигателя, увеличивает износ цилиндров и поршневых колец.

Определение содержания механических примесей регламентируется ГОСТ 10577-78 "Нефтепродукты. Методы определения содержания механических примесей", ГОСТ 6370-83 (СТ СЭВ 2876-81) "Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей". Сущность метода заключается в определении массы механических примесей, задерживаемых мембранными фильтрами при фильтровании через них испытуемого нефтепродукта. Метод не применяют для анализа нефтепродуктов, содержащих более 0,1 % нерастворенной воды. Для определения используется аппарат типа МХП (рис. 34)

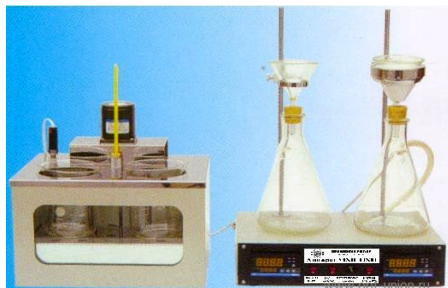


Рис. 34 - Аппарат испытательный МХП-ПХП для определения содержания механических примесей

Бутылку с пробой испытуемого нефтепродукта взвешивают на весах с погрешностью не более 0,5 г, перемешивают и фильтруют через мембранный фильтр в чистую сухую коническую колбу, наливая нефтепродукт в воронку по стеклянной палочке (рис. 35). Во время фильтрования воронка должна быть закрыта чехлом из полиэтиленовой пленки.

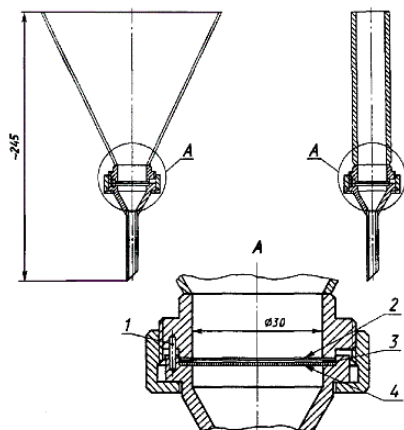


Рис. 35 - Воронка фильтровальная:

1 - штифт; 2 - фильтр; 3 - прокладка; 4 - сетка

Допускается проведение фильтрации под вакуумом 1,5...2,0 МПа. Для этого воронку крепят на резиновой пробке в конической колбе, тубус которой соединяют вакуумным шлангом с вакуумметром и водоструйным или вакуумным насосом.

После окончания фильтрования часть фильтрата из конической колбы и профильтрованным растворителем тщательно ополаскивают склянку, в которой была проба испытуемого нефтепродукта, и промывной продукт снова фильтруют через тот же мембранный фильтр в ту же коническую колбу.

Если в испытуемом нефтепродукте содержалась нерастворенная вода, то промывку склянки фильтратом и фильтрование его повторяют 4 -5 раз, добиваясь удаления капелек воды и механических примесей со стенок и дна склянки. Применение спирто-эфирной или иной смеси, содержащей спирт, для растворения воды, оставшейся на стенках и дне склянки, не допускается (при использовании ядерных мембранных фильтров это ограничение снимается).

Частицы механических примесей, приставшие к стенкам воронки, снимают стеклянной палочкой с наконечником из хлорвиниловой трубки, с которого затем смывают их на фильтр растворителем с помощью промывной валики с резиновой грушей.

Внутреннюю поверхность воронки промывают тем же растворителем.

Склянку, в которой содержалась проба испытуемого нефтепродукта, взвешивают с погрешностью не более 0,5 г и по разности масс склянки до и после фильтрования определяют массу профильтрованного нефтепродукта.

Массовую долю механических примесей нефтепродуктов (X_1), кроме дизельных топлив, в процентах вычисляют по формуле

$$X_1 = (m_1 - m_2) \cdot 100 / m_3,$$

где m_1 - масса часового стекла (стаканчика) с мембранным фильтром после анализа, мг; m_2 - масса часового стекла (стаканчика) с мембранным фильтром до анализа, мг; m_3 - масса испытуемого нефтепродукта, мг.

Массовую долю механических примесей вычисляют с точностью до 0,0001 % (с точностью до 0,00001 % при использовании ядерных мембранных фильтров).

Массовую долю механических примесей дизельных топлив (X_2) в мг/дм³ вычисляют по формуле

$$X_2 = 0,6(m_1 - m_2 - 0,3) / 0,4,$$

где 0,6 - коэффициент осмоления фильтра; 0,3 - поправка на массу частиц размером менее 0,8 - 0,9 мкм, мг; 0,4 - объем профильтрованного топлива, дм³.

Массовую долю механических примесей дизельных топлив вычисляют с точностью до 0,1 мг/дм³.

Массовое содержание серы

Общее содержание серы характеризует суммарное количество всех сернистых соединений в топливе, которые при сгорании образуют кислородные соединения серы, вызывающие коррозию и способствующие процессам образования отложений и износу двигателя.

Сера, содержащаяся в топливе, негативно влияет на работоспособность моторного масла. Чем больше серы в топливе, тем сильнее это влияние. Сера в топливе ускоряет расходование моющих присадок, придающих моторному маслу не только способность предотвращать нагарообразование на деталях двигателя, но и способность нейтрализовать кислоты.

Величина нейтрализующей способности характеризуется щелочным числом масла. При сгорании топлива сера практически полностью окисляется и образует сернистый SO_2 и серный SO_3 ангидриды. Наличие в продуктах сгорания SO_3 значительно повышает «точку росы» – температуру, при которой водяной пар конденсируется и превращается в жидкость. Взаимодействие SO_2 и SO_3 с водой приводит к образованию кислот, способных вызвать сильную коррозию деталей двигателя и значительно снижающих их ресурс. Кроме серы кислоты образуют оксиды азота. Рост кислотности масла обусловлен и его окислением кислородом воздуха.

Для предотвращения коррозионного воздействия кислот на детали двигателя и образования на них нагара в моторные масла вводят металлосодержащие щелочные моющие присадки. Металлы, входящие в состав моющих присадок (кальций, магний, натрий), быстро взаимодействуют с кислотами и образуют нейтральные соли, не наносящие вреда двигателю. Естественно, что при этом щелочное число масла постепенно снижается и достигает такой величины, при которой моющие свойства и нейтрализующая способность становятся недостаточными, а значит, масло подлежит замене.

Экспериментальными работами установлено, что при увеличении серы с 0,05 до 0,10 % износ деталей двигателя возрастает в 1,5-2 раза, а при повышении количества серы до 0,20% - еще вдвое.

Основная масса сернистых соединений, содержащихся в нефти, при получении топлива перегоняется с углеводородами, выкипающими при температуре выше 200 °С. Поэтому общее количество серы в бензине редко превышает 0,05 %.

ГОСТ Р 51859-2002. «Стандартный метод определения серы в нефтепродуктах ламповым методом». ГОСТ Р ЕН ИСО 20846:2004. «Нефтепродукты. Определение содержания серы методом ультрафиолетовой флуоресценции» ГОСТ Р 52660-2006 (ИСО 20884:2011) «Топлива автомобильные. Метод определения содержания серы рентгенофлуоресцентной спектрометрией с дисперсией по длине волны». ГОСТ 32139-2013 «Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектрометрии». ГОСТ Р 56342-2015 «Углеводороды лег-

кие, топлива для двигателей с искровым зажиганием и дизельных двигателей, масла моторные. Определение общего содержания серы методом ультрафиолетовой флуоресценции»

Ламповый метод (ГОСТ Р 51859-2002).

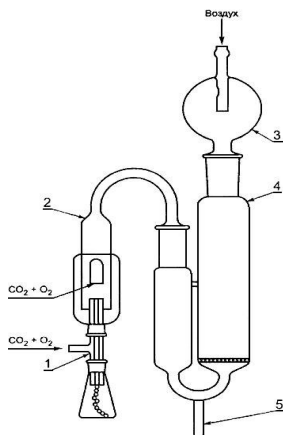


Рис. 36 - Схема лампового узла:

1 - горелка; 2 - ламповое стекло; 3 - каплеуловитель; 4 - абсорбер; 5 - стеклянный опорный стержень

Образец сжигают в замкнутой системе, используя лампу с хлопчатобумажным фитилем, в искусственной атмосфере 30% кислорода и 70% углекислого газа для предотвращения образования окислов азота, которые вносят положительную погрешность в определение с титриметрическим окончанием (рис. 36). Образовавшуюся двуокись серы поглощают и окисляют до серной кислоты обработкой перекисью водорода. Раствор продувают воздухом для удаления растворенной двуокиси углерода. Серу определяют в виде сульфата титрованием гидроокисью натрия, либо гравиметрически осаждением в виде $BaSO_4$. Допускается сжигание образца в воздухе

Аппараты для определения серы по ASTM D1266 – ГОСТ Р 51859 выпускают фирмы Normalab Analis и Stanhope-Seta (рис. 37). Аппарат фирмы Stanhope-Seta модели 20410-0 может быть укомплектован системой для подготовки смеси кислорода и углекислого газа модели 20460-0.



Рис. 37 - Аппарат для определения серы ламповым методом модели 20410-0 фирмы Stanhope-Seta

Окислительное сжигание и детектирование методом ультрафиолетовой флуоресценции (ГОСТ Р ЕН ИСО 20846:2004).

Образец полностью сжигают в кислороде с получением оксидов при температуре 1075 ± 25 °С. Образец вводят либо с помощью шприца непосредственно в пиролизную трубку, либо предварительно помещая его в кварцевую лодочку (только ASTM D5453) (рис. 38).

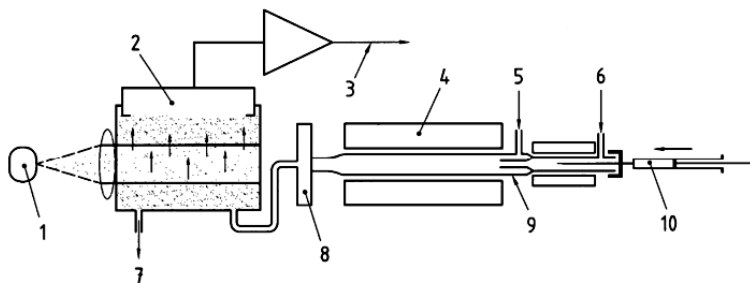


Рис. 38 - Схема метода ультрафиолетовой флуоресценции (по EN ISO 20846)

1 - источник УФ излучения; 2 – фотоумножитель; 3 - выходной сигнал; 4 - пиролизная печь; 5 - ввод кислорода; 6 - ввод инертного газа; 7 - выход газов; 8 – осушитель; 9 - кварцевая пиролизная трубка; 10 - шприц для ввода пробы

Скорость ввода жидкой пробы 1 мкл/с. Одновременно при сжигании углеводов образуются двуокись углерода и вода. Об-

разующуюся воду, в которой может растворяться образовавшаяся двуокись серы, удаляют, пропуская газовый поток через мембранный осушитель (рис. 39).

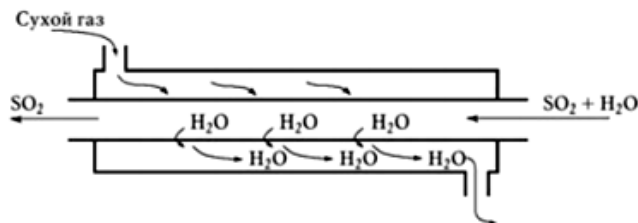


Рис. 39 - Мембранный осушитель

Действие мембранного осушителя основано на диффузии молекул воды через трубчатый полимерный материал PermPure, проницаемый для воды, но не проницаемый для газа. Продиффундировавшая вода удаляется встречным потоком сухого газа (рис. 39). Используется либо газ с выхода детектора, пропущенный через поглотитель влаги, либо отдельный поток сухого газа.

Осушенный газ, образовавшийся после сгорания образца, поступает в ультрафиолетовый детектор. В детекторе газовый поток облучается ультрафиолетовым светом. Молекулы SO_2 поглощают энергию ультрафиолетового излучения и переходят в возбужденное состояние. Возбужденные молекулы SO_2 при обратном переходе в стабильное состояние испускают кванты света с длиной волны, отличной от длины волны возбуждающего света. Излученная энергия регистрируется фотоумножителем и преобразуется в электрический сигнал. Калибровка осуществляется по образцам с известным содержанием серы (в мкг/мл), обычно растворы дибутылсульфида или тиофена в изооктане. Для пересчета в весовые содержания (мкг/г) необходимо учитывать плотность анализируемых образцов.

Для проведения анализа используются аппараты «TS-100» и др.

Метод определения содержания серы рентгенофлуоресцентной спектрометрией с дисперсией по длине волны (ГОСТ Р 52660-2006 (ИСО 20884:2011)).

В основе метода рентгеновской флуоресценции лежит фотоэлектрический эффект. Фотоны возбуждающего излучения выбивают электроны с внутренних K- и L- оболочек атома с образованием вакансий. При заполнении вакансии электронами, переходящими с внешних оболочек атом испускает излучение с энергиями, соответствующими этим электронным переходам (характеристическое излучение). Этот процесс называется рентгеновской флуоресценцией, а метод анализа, основанный на измерении интенсивности характеристического излучения флуоресценции при заданных длинах волн или энергиях, называется рентгенофлуоресцентной спектрометрией (X-ray Fluorescence Spectrometry, XRF). Характеристические линии элементов, интенсивность которых используется для количественного анализа, называют аналитическими линиями. Определение серы выполняется по наиболее интенсивной $K\alpha$ линии, соответствующей т.н. $K\alpha$ переходу – заполнению внутренней K орбитали атома электроном со следующей L орбитали. Для определения серы методом рентгенофлуоресцентной спектрометрии жидкий нефтепродукт помещают в цилиндрический контейнер с дном из тонкой пленки, пронизываемой для рентгеновского излучения. Образец облучают излучением рентгеновской трубки сквозь пленку. В ранних методах допускалось использование в качестве источника радиоактивного изотопа железа ^{55}Fe . В современных приборах используются рентгеновские трубки различных конструкций. К важнейшим характеристикам рентгеновской трубки относятся материал анода и ускоряющее напряжение. Регистрируют флуоресцентное излучение атомов серы, соответствующее энергии $K\alpha$ перехода (2,3 кэВ, длина волны 0,5373 нм).

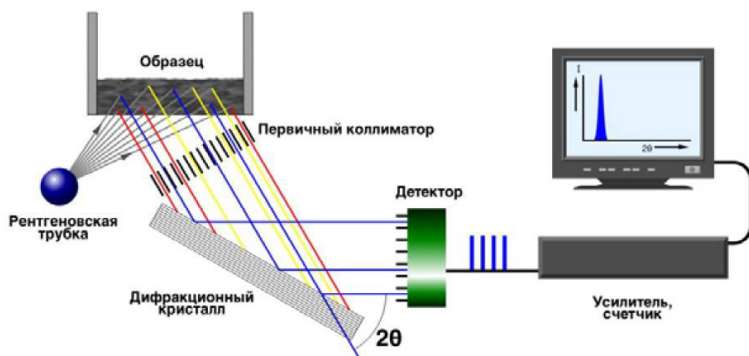
В зависимости от того, какой способ используется для выделения аналитической линии серы, методы рентгенофлуоресцентной спектрометрии подразделяются на 2 группы.

1. Методы, основанные на разложении характеристического излучения в спектр по энергиям и измерении интенсивности сигналов при заданных значениях энергии этого излучения называют «методы рентгенофлуоресцентной спектрометрии с дисперсией по энер-

гиям», либо «энергодисперсионные рентгенофлуоресцентные методы», ЭДРФ (Energy Dispersive X-ray Fluorescence, EDXRF).

2. Методы, основанные на измерении интенсивности характеристического излучения при заданных длинах волн этого излучения называют «методы рентгенофлуоресцентной спектromетрии с дисперсией по длине волны», либо «волнодисперсионные рентгенофлуоресцентные методы», ВДРФ (Wavelength Dispersive X-ray Fluorescence, WDXRF).

Сущность метода по настоящему ГОСТу заключается в следующем. Испытуемый образец, помещенный в кювету, облучают потоком первичного излучения рентгеновской трубки (рис. 40).



Измеряют скорость счета импульсов от S K-L_{2,3} рентгенофлуоресцентного излучения и, при необходимости, скорость счета импульсов фонового излучения. Содержание серы определяют по калибровочной кривой, построенной для измеряемого диапазона серы.

Для проведения анализа используются аппараты «Спектроскан SW D-3», «FX-700» и др.

Метод энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектromетрии (ГОСТ 32139-2013).

Испытуемый образец помещают в пучок лучей, испускаемых рентгеновской трубкой (рис. 41).

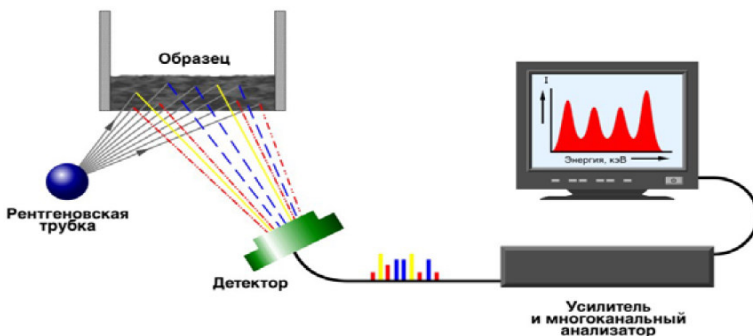


Рис. 41 - Схема энергодисперсионного РФ спектрометра

Измеряют результирующее возбужденное характеристическое рентгеновское излучение и для получения значения общего содержания серы в процентах по массе или миллиграммах на килограмм сравнивают полученный сигнал счетчика импульсов с сигналами, полученными при испытании заранее приготовленных калибровочных образцов, которые охватывают исследуемый диапазон концентраций: 0,0% масс. - 0,1% масс.; 0,1% масс. - 1,0% масс.; 1,0% масс. - 5,0% масс (ASTM D 7343).

Настоящий метод испытания обеспечивает быстрое и точное определение общего содержания серы в нефти и нефтепродуктах при минимальной подготовке образца. Обычное время анализа образца составляет от 1 до 5 мин.

Для проведения анализа используются аппараты «Спектроскан S», «Lab X-3500» и др.

Цвет

Определение цвета нефтепродуктов используют в основном для производственного контроля. Цвет является важной характеристикой качества, поскольку легко наблюдается потребителем продукта. В некоторых случаях цвет может служить показателем степени очистки продукта.

Если известен диапазон цвета продукта, то отклонение от значений установленного диапазона цвета может указывать на возможное загрязнение другим продуктом.

Однако цвет не всегда является надежным показателем оценки качества и его не следует использовать необоснованно в спецификациях на продукты.

Определение цвета проводят в соответствии с ГОСТ 33092-2014 «Нефтепродукты. Определение цвета автоматическим трехцветным спектрофотометром», ГОСТ 33909-2016 «Нефтепродукты. Определение цвета на колориметре Сейболта».

Определение цвета автоматическим трехцветным спектрофотометром.

Образец в стеклянном контейнере помещают в луч света автоматического прибора - спектрофотометра (рис. 42).

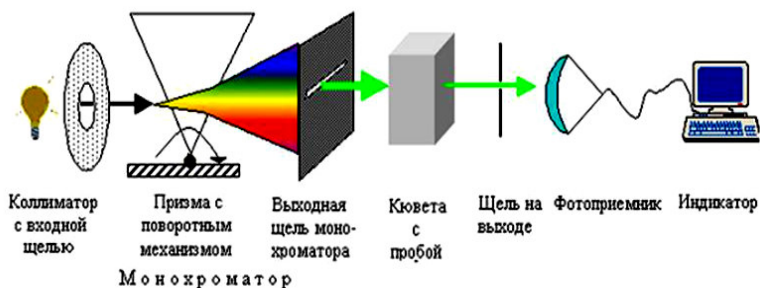


Рис. 42 - Спектрометр:

Измерение пропускания выполняют для определения параметров трех основных цветов анализируемой пробы в системе CIE (с использованием стандартного источника света *C* в системе CIE и стандартного наблюдателя в системе CIE 1931). Затем эти параметры инструментально преобразуют с помощью соответствующего алгоритма в значения цвета по Сейболту или по ASTM (таблица 19).

Определение цвета на колориметре Сейболта

Сущность метода. Высоту столбика образца, по которой определяют номер цвета, уменьшают до тех пор, пока цвет образца не станет явно светлее цвета эталона. Записывают номер цвета, соответствующий высоте предшествующего столбика образца, независимо от того, был ли образец темнее, отдаленно соответствовал или

полностью соответствовал при более высоком уровне столбика образца.

Таблице 19

Цвет по Сейболту, соответствующий высоте столбика нефтепродукта

Колориметрический этапом	Высота столбика нефтепродукта, дюймы (мм)	Номер цвета	Колориметрический эталон	высота столбика нефтепродукта, дюймы (мы)	Номер цвета
Половинный	20,00 (S08)	+30	Два целых	6,00(152)	+6
Половинный	18,00 (457)	+29	Два целых	5,75(146)	+5
Половинный	16,00 (406)	+28	Два целых	5,50(139)	+4
Половинный	14,00 (355)	+27	Два целых	5,25(133}	+3
Половинный	12,00 (304)	+26	Два целых	5,00(127)	+2
Целый	20,00 (S08)	+25	Два целых	4,75(120}	+ 1
Целый	18,00 (457)	+24	Два целых	4,50(114)	0
Целый	16,00 (406)	+23	Два целых	4,25(107}	-1
Целый	14,00 (355)	+22	Два целых	4,00(101}	-2
Целый	12,00 (304)	+21	Два целых	3,75 (95)	-3
Целый	10,75 (273)	+20	Два целых	3,625 (92)	-4
Целый	0,50 (241)	+ 19	Два целых	3,50 (88)	-5
Целый	8,25 (209)	+ 18	Два целых	3,375 (85}	-6
Целый	7,25 (184)	+ 17	Два целых	3,25(82)	-7
Целый	6,25 (158)	+ 16	Два целых	3,125 (79)	-8
Два целых	10,50 (266)	+ 15	Два целых	3,00 (76)	-9
Два целых	0,75 (247)	+ 14	Два целых	2,875 (73)	-10
Два целых	0,00 (228)	+ 13	Два целых	2,75(69)	-11
Два целых	8,25 (209)	+ 12	Два целых	2,625 (66}	-12
Два целых	7,75 (106)	+ 11	Два целых	2,50 (63)	-13
Два целых	7,25 (184)	+ 10	Два целых	2,375 (60)	-14
Два целых	6,75 (171)	+9	Два целых	2,25 (S7)	-115
Два целых	6,50 (165)	+8	Два целых	2,125 (53}	-16
Два целых	6,25 (158)	+ 7	-	-	-

Заполняют трубку образцом и сравнивают с целым колориметрическим эталоном. Если образец светлее колориметрического эталона, его заменяют половинным колориметрическим эталоном. Если образец темнее целого колориметрического эталона при длине столбика образца 6 1/4 дюйма (158 мм).добаеляют еще один целый колориметрический эталон.

Если установлен соответствующий колориметрический эталон, а цвет образца значительно темнее цвета колориметрического эталона при этом уровне образца в трубке для нефтепродукта, осторожно сливают часть образца с помощью сливного крана, пока цвет образца не станет слегка темнее цвета колориметрического эталона. В этот момент отмечают значение уровня образца в трубке, соответствующее номеру цвета в соответствии с таблицей 19.

Если цвет нефтепродукта, наблюдаемый через окуляр, все еще темнее цвета колориметрического эталона, сливают образец до следующего значения высоты столбика нефтепродукта, приведенной в таблице 89. и снова сравнивают. Продолжают эту процедуру до достижения такой высоты столбика нефтепродукта, при которой цвета образца и колориметрического эталона совпадают или различия малозаметны. Затем снижают высоту столбика продукта до следующего установленного значения и. когда цвет продукта станет очевидно светлее цвета колориметрического эталона, записывают значение цвета, соответствующее значению цвета с ближайшим более высоким уровнем столбика продукта, как цвет по Сейболту (рис.43).

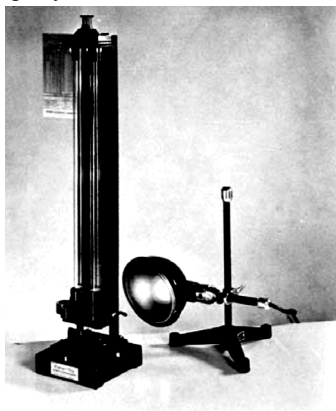


Рис. 67 - Колориметр Сейболта и лампа искусственного дневного света

Опыт использования прибора Сейболта позволяет исключить необходимость проведения поэтапной процедуры для выбора соот-

ветствующего колориметрического эталона для каждого образца. Пример такой процедуры приведен в таблице 20.

Таблица 20

Пример процедуры

Результат наблюдения	С использованием целого колориметрического эталона, дюймы (мм)	С использованием двух целых колориметрических эталонов, дюймы (мм)
Цвет продукте темнев при высоте столбике	16 (406)	4.5 (102)
Цвет продукте темнее при высоте столбике	14 (3SS)	4.25 (107)
Цвет продукте вызывает сомнение при высоте столбике	12 (304)	4.0 (101)
Цвет продукте светлее при высоте столбике	10.75 (273)	3.75 (95)
Цвет по Сейболту	*21	-2

При установлении марки бензина надо остановиться на той, к показателям которой наиболее близко подходят полученные результаты для испытуемого образца. Далее следует обосновать соответствие полученного образца параметрам ГОСТа на выбранную марку бензина. Если отклонений от ГОСТа нет, то образец представляет собой стандартный продукт. Если одна или несколько величин анализа не будут укладываться в рамки требований ГОСТа, делается вывод, что испытуемый образец является по отношению я выбранной марке нестандартным (указать по каким показателям).

Если образец стандартный, то решение принимается на основе заводских инструкций и действующих руководств по эксплуатации автомобилей. Для нестандартных бензинов следует сопоставить фактические отклонения параметров от ГОСТа с допустимыми значениями.

2.4.2 Методы испытаний дизельных топлив

Комплекс квалификационных методов испытаний дизельных топлив включает определение следующих эксплуатационных свойств:

- *Испаряемость* – свойство топлива переходить из жидкого в газообразное состояние (фракционный состав, давление насыщенных паров; температура вспышки);

- *Теплотворная способность* – способность топлива выделять наибольшее количество теплоты при сгорании (плотность; фракционный состав (температура выкипания 50 % фракций));

- *Воспламеняемость* – способность топлива воспламеняться и сгорать, обеспечивая необходимую скорость нарастания давления в цилиндре двигателя (цетановое число);

- *Низкотемпературные свойства* – способность топлива сохранять подвижность (текучесть) при низких температурах воздуха окружающей среды (температура помутнения; температура застывания);

- *Склонность к образованию отложений* – способность топлива сохранять чистоту топливной аппаратуры и деталей двигателя (фактические смолы; йодное число; коксуемость; зольность);

- *Антикоррозионные свойства* – степень коррозионного действия топлива на детали топливной системы и износ двигателя (кислотность; водорастворимые кислоты и щелочи; испытание на медную пластинку);

- *Стабильность физическая и химическая* – изменение свойств дизельного топлива в результате физических и химических превращений компонентов (фракционный состав; давление насыщенных паров; количество фактических смол);

Загрязненность – присутствие в бензине механических примесей и воды (коэффициент фильтруемости; содержание воды и механических примесей, массовая доля механических примесей, цвет).

Оценка эксплуатационных свойств проводится методом определения единичных показателей.

Оценка внешнего вида

Оценку дизельных топлив по внешним признакам следует выполнять теми же методами, которые рассмотрены применительно к бензинам, кроме характерных особенностей, относящихся к цвету и запаху топлив.

Все дизельные топлива окрашены, что связано с наличием в них растворенных смол. В зависимости от природы и количества смол цвет топлив изменяется от желтого до светло-коричневого (определяется при помощи стеклянных цилиндров диаметром 40-55 мм). Чем меньше интенсивность окраски топлива (т.е. чем оно светлее), тем меньше в нем смолистых веществ и тем выше его качество.

В большинстве случаев запах дизельных топлив не резкий. По своему характеру он является типичным для многих нефтепродуктов (за исключением бензинов и керосинов). Зимние и особенно арктические сорта дизельных топлив мало отличаются по фракционному составу от керосинов, поэтому и по запаху они схожи с керосинами.

Плотность

Плотность дизельного топлива оказывает существенное влияние на процессы испарения и смесеобразования в дизеле, так как от них зависит форма и строение топливного факела, размеры образующихся капель, дальность проникновения капель топлива в камеру сгорания. Более низкая плотность обеспечивают лучшее распыливание топлива; с повышением плотности увеличивается диаметр капель и уменьшается полное их сгорание, в результате увеличивается удельный расход топлива, растет дымность отработавших газов.

Плотность дизельных топлив определяется в соответствии с ГОСТ 3900-85 "Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности".

Сущность метода заключается в погружении ареометра в испытуемый продукт, снятии показания по шкале ареометра при температуре определения и пересчете результатов на плотность при температуре 20 °С (см. п.2.4.1 плотность бензинов).

Кинематическая и динамическая вязкость

Вязкость - показатель, характеризующий внутреннее трение жидкости, т. е. трение, возникающее между молекулами жидкости (слоями) при их перемещении под действием внешней силы. Величина вязкости выражается в единицах динамической или кинематической вязкости и в условных единицах.

Вязкость определяет процессы испарения и смесеобразования в дизеле, так как от них зависит форма и строение топливного факела.

ла, размеры образующихся капель, дальность проникновения капель топлива в камеру сгорания. Более низкая плотность и вязкость обеспечивают лучшее распыливание топлива; с повышением указанных показателей качества увеличивается диаметр капель и уменьшается полное их сгорание, в результате увеличивается удельный расход топлива, растет дымность отработавших газов. Вязкость топлива влияет на наполнение насоса и на утечку топлива через зазоры плунжерных пар. С увеличением вязкости топлива возрастает сопротивление топливной системы, уменьшается наполнение насоса, что может привести к перебоям в его работе.

При уменьшении вязкости количество дизельного топлива, просачивающегося между плунжером и втулкой, возрастает, в результате снижается подача насоса. Перевод двигателя на топливо с меньшей плотностью и вязкостью может привести к прогару головок поршня, в связи с чем требуется регулировка топливной аппаратуры. При работе топливной аппаратуры на газоконденсатном дизельном топливе без регулировки топливной аппаратуры происходит уменьшение цикловой подачи топлива до 1 % и снижение максимального давления топлива в трубопроводе высокого давления на 10 - 15 %. Период задержки впрыска увеличивается на 2 - 4° поворота коленчатого вала. Понижение цикловой подачи связано с уменьшением подачи топливного насоса высокого давления вследствие уменьшения плотности и увеличения утечки менее вязкого газоконденсатного топлива. Увеличение задержки впрыска топлива вызвано его большой сжимаемостью; чтобы получить цикловую подачу газоконденсатного топлива, достаточно увеличить ход рейки топливного насоса высокого давления. От вязкости зависит износ плунжерных пар. Нижний предел вязкости топлива, при котором обеспечивается его высокая смазывающая способность, зависит от конструктивных особенностей топливной аппаратуры и условий ее эксплуатации. Вязкость топлива в пределах 1,8 - 7,0 мм²/с практически не влияет на износ плунжеров топливной аппаратуры современных быстроходных дизелей. Вязкость топлива зависит от его углеводородного состава.

Динамической вязкостью, или коэффициентом внутреннего трения жидкости, называется сила сопротивления двух слоев жидкости площадью 1 см^2 , находящихся на расстоянии 1 см друг от друга и перемещающихся один относительно другого под влиянием внешней силы в 1 дину со скоростью 1 см/сек .

В международной системе единиц (СИ), динамическая вязкость измеряется в Паскаль - секундах $[\text{Па}\cdot\text{с}]$.

Существуют также внесистемные величины измерения динамической вязкости. Наиболее распространенная в системе СГС - пуаз $[\text{П}]$ и ее производная сантипуаз $[\text{сП}]$.

Также динамическая вязкость может измеряться в $[\text{дин}\cdot\text{с}/\text{см}^2]$ и $[\text{кгс}\cdot\text{с}/\text{м}^2]$ и производных от них единицах.

Соотношение между единицами динамической вязкости:

- $1 \text{ Пуаз } [\text{П}] = 1 \text{ дин}\cdot\text{с}/\text{см}^2 = 0,010197162 \text{ кгс}\cdot\text{с}/\text{м}^2 = 0,000010197162 \text{ кгс}\cdot\text{с}/\text{см}^2 = 0.1 \text{ Па}\cdot\text{с} = 0,1 \text{ Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$
- $1 \text{ Сантипуаз } [\text{сП}] = 0,0001010197162 \text{ кгс}\cdot\text{с}/\text{м}^2 = 0,01 \text{ П} = 0,001 \text{ Па}\cdot\text{с}$
- $1 \text{ кгс}\cdot\text{с}/\text{м}^2 = 98,0665 \text{ П} = 9806,65 \text{ сП} = 9,80665 \text{ Па}\cdot\text{с}$

Кинематическая вязкость представляет собой отношение динамической вязкости данной жидкости к ее плотности при температуре определения.

За единицу кинематической вязкости в системе СГС принят «стоке (Ст)» (по имени английского ученого Дж. Стокса), а сотая часть называется сантистоксом (сСт). Кинематическая вязкость в Международной системе единиц (СИ) измеряется квадратным метром на секунду и обозначается $\text{м}^2/\text{с}$.

Соотношение между единицами кинематической вязкости:

- $1 \text{ Ст} = 0,0001 \text{ м}^2/\text{с} = 1 \text{ см}^2/\text{с}$
- $1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с} = 0,000001 \text{ м}^2/\text{с}$
- $1 \text{ м}^2/\text{с} = 10000 \text{ Ст} = 1000000 \text{ сСт}$.

Условная вязкость – отношение времени истечения 200 мл испытуемого нефтепродукта из вискозиметра типа ВУ (при температуре испытания) ко времени истечения 200 мл дистиллированной воды при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Единица измерения условной вязкости выражается как число в условных градусах (0 ВУ).

Вязкость дизельных топлив определяется в соответствии с ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-94) «Нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической вязкости и расчет динамической вязкости», ГОСТ 33-2016 «Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической вязкости». Сущность метода заключается в измерении калиброванным стеклянным вискозиметром времени истечения в секундах определенного объема испытуемой жидкости под влиянием силы тяжести при известной и постоянно контролируемой температуре. Кинематическая вязкость является произведением измеренного времени истечения на постоянную вискозиметра.

Вискозиметр заполняют испытуемым нефтепродуктом в соответствии с конструкцией аппарата (рис. 44) аналогично тому, как это осуществлялось при калибровке вискозиметра, и помещают в баню.

Заполненный вискозиметр выдерживают в бане до тех пор, пока он не прогреется до температуры испытания (рис. 45).

Если одна баня используется для нескольких вискозиметров, нельзя погружать или вынимать вискозиметры из бани, пока хотя бы один вискозиметр находится в рабочем состоянии. Так как время нахождения в бане будет меняться в зависимости от оборудования, температуры и кинематических вязкостей, время температурного равновесия определяется экспериментально.

После того, как образец достигнет температурного равновесия, доводят объем образца до требуемого уровня, если этого требует конструкция вискозиметра.

Используя подсос (если образец не содержит летучих веществ) или давление, устанавливают высоту столбика образца в капилляре вискозиметра до уровня, находящегося приблизительно на 7 мм выше первой временной метки М1, если в инструкции по эксплуатации вискозиметра не установлено другое значение.

При свободном истечении образца определяют с точностью до 0,1 с время, необходимое для перемещения мениска от первой до второй метки не менее 200 с. и не более 600 с.). Если время истечения меньше установленного минимального, подбирают вискозиметр с капилляром меньшего диаметра и повторяют определение.

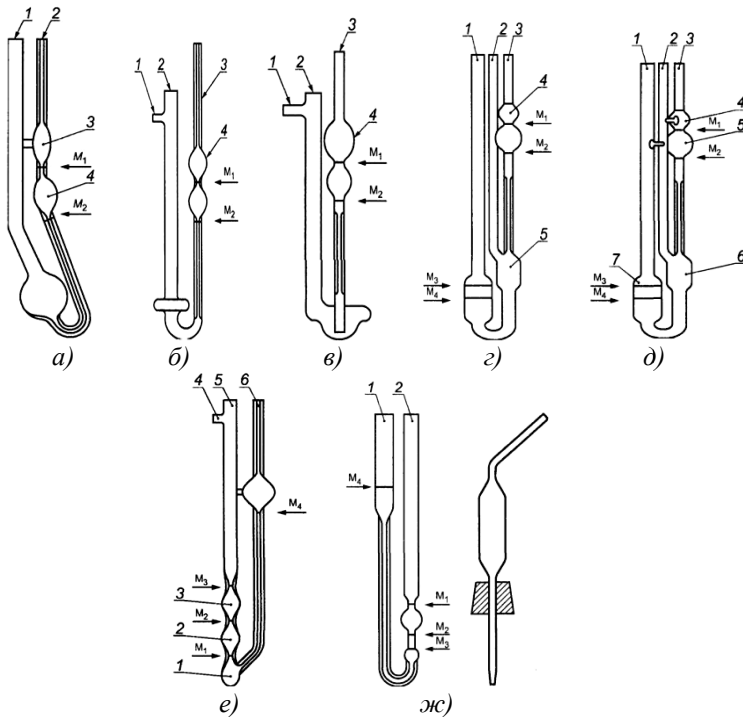


Рис. 44 - Типы вискозиметров:

а - типа Каннон-Фенске: 1 - трубка вискозиметра на которую надевают резиновую трубку; 2 - трубка вискозиметра погружаемая в нефтепродукт; 3 - расширение (ниже уровня нефтепродукта); 4 - расширение в которое засасывается испытуемый нефтепродукт; *б* - типа Пинкевича (ВПЖ-4, ВПЖТ-4 и ВПЖ-2, ВПЖТ-2); *в* - типа Пинкевича ВПЖ-2, ВПЖТ-2; *г* - типов ВПЖТ-1, ВПЖ-1 (BS/IP/SL); 2 - колено, которое зажимается; 3 - колено, погружаемое в нефтепродукт; 4 - расширение (ниже уровня нефтепродукта); *д* - типа Убеллоде: 6 - сосуд для образования "висячего уровня"; *е* - типов ВНЖ, ВНЖТ (Каннон-Фенске-Опакв) 1 - резервуар; 2 - резервуар, по времени наполнения которого определяют вязкость; 3 - контрольный резервуар; 4 - трубка вискозиметра на которую надевают резиновую трубку; 5 - колено, которое зажимается; 6 - колено, погружаемое в нефтепродукт; *ж* - типа BS/IP/RF; M_1 и M_2 - верхняя и нижняя метки для контроля мениска жидкости



Рис. 45 - Термостат для определения кинематической вязкости нефтепродуктов

Если два результата измерения времени истечения согласуются с установленным значением определяемости, то рассчитывают среднеарифметическое значение двух измерений времени истечения как единичный результат. Если же два результата измерения не согласуются, то после фильтрации образца и тщательной очистки и сушки вискозиметра повторяют определения, пока значения времени истечения не будут соответствовать установленным значениям определяемости.

По двум единичным значениям времени истечения вычисляют два значения определяемой кинематической вязкости ν ($\text{мм}^2/\text{с}$).

Кинематическую вязкость ν , $\text{мм}^2/\text{с}$, рассчитывают по формуле

$$\nu = C \cdot t,$$

где C - постоянная вискозиметра, $\text{мм}^2/\text{с}$; t - среднеарифметическое значение времени истечения, с.

Динамическую вязкость η , $\text{мПа} \cdot \text{с}$ рассчитывают на основе кинематической вязкости по формуле:

$$\eta = \nu \cdot \rho \cdot 10^{-3},$$

где ν - кинематическая вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$; ρ - плотность при той же температуре, при которой определялась кинематическая вязкость, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Фракционный состав

Характер процесса горения топлива в двигателе определяется двумя основными показателями - фракционным составом и цетано-

вым числом. На сгорание топлива более легкого фракционного состава расходуется меньше воздуха, при этом благодаря уменьшению времени, необходимого для образования топливоздушная смеси, процессы смесеобразования протекают более полно. Облегчение фракционного состава топлива, например при добавке к нему бензиновой фракции, может привести к жесткой работе двигателя, определяемой скоростью нарастания давления на 1° поворота коленчатого вала. Это объясняется тем, что к моменту самовоспламенения рабочей смеси в цилиндре двигателя накапливается большое количество паров топлива, и горение сопровождается чрезмерным повышением давления и стуками в двигателе.

Влияние фракционного состава топлива для двигателей различных типов неодинаково. Двигатели с предкамерным и вихрекамерным смесеобразованием вследствие наличия разогретых до высокой температуры стенок предкамеры и более благоприятных условий сгорания менее чувствительны к фракционному составу топлива, чем двигатели с непосредственным впрыском. Наддув двигателя, создающий повышенный термический режим камеры сгорания, обеспечивает возможность нормальной работы на топливах утяжеленного фракционного состава. Время прокручивания двигателя при запуске его на топливе со средней температурой кипения 200-225 °С в 9 раз меньше, чем на топливе со средней температурой кипения, равной 285 °С. При испытаниях дизельного топлива утяжеленного фракционного состава с температурой конца кипения на 30 °С выше, чем у стандартного летнего топлива, отмечен повышенный расход топлива в среднем на 3 % и увеличение дымности отработавших газов в среднем на 10 %. Одной из основных причин повышения расхода топлива является более высокая вязкость топлива утяжеленного фракционного состава. Расход топлива зависит не только от температуры конца его кипения, но и от 50 %-ной точки перегонки.

Определение фракционного состава регламентируется ГОСТ 2177-99 (ИСО 3405-88) «Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава», ГОСТ ISO 3405-2013 «Нефтепродукты. Метод определения фракционного состава при атмосферном давлении»,

ГОСТ Р 57036-2016 «Нефтепродукты. Определение фракционного состава при атмосферном давлении».

Сущность метода. В зависимости от состава образца, ожидаемого давления насыщенных паров, ожидаемой конечной точки (ЕР) или температуры конца кипения (FBP), образец относят к одной из четырех групп с определением для каждой группы оборудования, температуры холодильника и параметров процесса.

Перегоняют 100 см³ испытуемого образца в условиях, установленных для группы, к которой относится данный образец. Перегонку проводят на лабораторной установке периодического действия при атмосферном давлении в условиях, обеспечивающих приблизительно одну теоретическую тарелку (рис. 17, 18). Систематически наблюдают за значениями температуры и объемом конденсата. Образующиеся пары охлаждают, конденсат собирают в мерный цилиндр; и в процессе разгонки фиксируют температуру выкипания 50 и 96% топлива. Испытание повторяют, если любое установленное условие не было выполнено.

Результаты испытаний, как правило, выражают в виде процента выпаривания или процента отгона при соответствующей температуре в виде таблицы или графически в виде кривой разгонки (рис. 46).

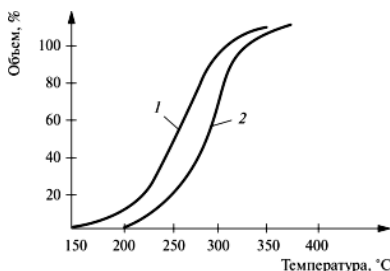


Рис. 71 – Кривая разгонки дизельного топлива:

1 - зимнее ДТ; 2 - летнее ДТ

Температура кипения 50 % топлива определяет наличие пусковых фракций, а 96 % топлива - полноту сгорания и склонность к нагарообразованию. Фракционный состав летнего и зимнего ДТ

(рис. 46) несколько различается, что связано с испаряемостью углеводородов топлива.

Влияние фракционного состава топлива для двигателей различных типов неодинаково.

Двигатели с предкамерным и вихрекамерным смесеобразованием вследствие наличия разогретых до высокой температуры стенок предкамеры и более благоприятных условий сгорания менее чувствительны к фракционному составу топлива, чем двигатели с непосредственным впрыском. Наддув двигателя, создающий повышенный термический режим камеры сгорания, обеспечивает возможность нормальной работы на топливах утяжеленного фракционного состава. Время прокручивания двигателя при запуске его на топливе со средней температурой кипения 200-225 °С в 9 раз меньше, чем на топливе со средней температурой кипения, равной 285 °С.

Температура вспышки

Температурой вспышки является температура, при которой пары нефтепродукта, нагреваемого в определенных стандартных условиях, образуют с окружающим воздухом взрывчатую смесь и вспыхивают при поднесении к ней пламени. Следует отметить, что при определении температуры вспышки топлив определяют верхний предел взрываемости, а для остальных нефтепродуктов – нижний.

Температура вспышки дизельного топлива непосредственно связана с его фракционным составом. Чем выше температура начала кипения топлива, тем выше и температура вспышки. Температура вспышки дизельного топлива является показателем, гарантирующим пожарную безопасность при его хранении, применении и транспорте, но не влияющим на работу двигателя.

Определение температуры вспышки проводят в закрытом тигле ГОСТ 6356-75 «Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле», ГОСТ ISO 2719-2013 «Нефтепродукты. Методы определения температуры вспышки в закрытом тигле Пенски-Мартенса» (испытания остаточных топлив с температурой вспышки выше 40 °С).

Сущность метода заключается в определении самой низкой температуры горючего вещества, при которой в условиях испытания над его поверхностью образуется смесь паров и газов с воздухом, способная вспыхивать в воздухе от источника зажигания, но скорость их образования еще недостаточна для последующего горения. Для этого испытуемый продукт нагревается в закрытом тигле с постоянной скоростью при непрерывном перемешивании и испытывается на вспышку через определенные интервалы температур.

При определении температуры вспышки в закрытом тигле применяют аппарат для определения температуры вспышки нефтепродуктов в закрытом тигле типа ТВЗ (ТВ-1) (рис. 47), а также автоматический прибор типа АТВЗ (АТВ-1) (рис. 48), обеспечивающие точность метода.

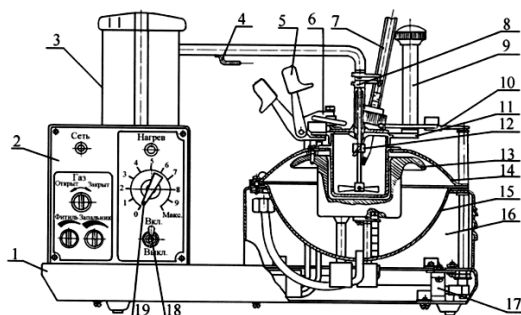


Рис. 47 - Аппарат ТВЗ:

1- основание; 2- блок управления; 3- рукоятка; 4- крючок; 5- прижим; 6- устройство зажигательное; 7- термометр; 8- мешалка; 9- ручка; 10- поводок; 11- крышка; 12- мешалка; 13- баня воздушная; 14- отражатель верхний; 15- отражатель нижний; 16- термоблок; 17- колодка с герконом; 18- тумблер; 19- ручка регулировки нагрева

Нагревательную ванну включают и нагревают испытуемый продукт в тигле. Перемешивание ведут, обеспечивая частоту вращения мешалки от 1,5 до 2,0 с⁻¹, а нагрев продукта - со скоростью от 5 °С до 6 °С в 1 мин. Измеряют барометрическое давление.

Испытания на вспышку проводят при достижении температуры на $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже предполагаемой температуры вспышки, затем при повышении температуры на каждый $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ для продуктов с температурой вспышки до $104\text{ }^{\circ}\text{C}$ и на каждые $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ для продуктов с температурой вспышки выше $104\text{ }^{\circ}\text{C}$.

В момент испытания на вспышку перемешивание прекращают, приводят в действие расположенный на крышке механизм, который открывает заслонку и опускает пламя. При этом пламя опускают в паровое пространство за $0,5\text{ с}$, оставляют в самом нижнем положении 1 с и поднимают в верхнее положение.



Рис. 48 – Анализатор температуры вспышки в закрытом тигле

За температуру вспышки каждого определения принимают показания термометра в момент четкого появления первого (синего) пламени над поверхностью продукта внутри прибора. Не следует принимать за температуру вспышки окрашенный (голубоватый) ореол, который иногда окружает пламя перед тем, как оно вызывает фактическую вспышку.

При появлении неясной вспышки она должна быть подтверждена последующей вспышкой при повышении температуры на 1 или $2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Если при этом вспышки не произойдет, испытание повторяют вновь.

При применении газовой зажигательной лампочки последняя в процессе испытания должна находиться в зажженном состоянии для исключения возможности проникновения газа в тигель. Если в процессе какого-либо испытания на вспышку зажигательная лам-

почка погаснет в момент открытия отверстий крышки, то результат этого определения не учитывают.

Вычисляют температуру вспышки с поправкой на стандартное барометрическое давление 101,325 кПа, 1,013 бар, 760 мм рт.ст. алгебраическим сложением найденной температуры и поправки, определенной по следующим формулам:

- при фактическом барометрическом давлении P в кПа:

$$\Delta t = \frac{101,325 - P}{3,3} \cdot 0,9;$$

- при фактическом барометрическом давлении P в барах:

$$\Delta t = \frac{1,013 - P}{0,033} \cdot 0,9;$$

- при фактическом барометрическом давлении P в мм.рт.ст.:

$$\Delta t = 0,0362 \cdot (760 - P).$$

Цетановое число

Цетановое число - характеристика воспламеняемости дизельного топлива, определяющая период задержки горения рабочей смеси (то есть свежего заряда) (промежуток времени от впрыска топлива в цилиндр до начала его горения). Чем выше цетановое число, тем меньше задержка и тем более спокойно и плавно горит топливная смесь.

Цетановое число численно равно объёмной доле цетана ($C_{16}H_{34}$, гексадекана), цетановое число которого принимается за 100, в смеси с α -метилнафталином (цетановое число которого, в свою очередь, равно 0), когда эта смесь имеет тот же период задержки воспламенения, что и испытуемое топливо в тех же условиях. Именно такая формулировка была принята в первой версии метода ASTM D613 выпуска 1941 года.

В новых версиях ASTM D613, начиная с 1962 года, для смешения используется не α -метилнафталин, а 2,2,4,4,6,8,8-гептаметилнонан, иногда называемый ГМН (англ. HMN) или изоцетан, которому присвоено цетановое число 15. В ГОСТ 3122 до сих пор предписывается использовать смесь n -гексадекана и α -метилнафталина. Для исключения α -метилнафталина из ASTM D613

было несколько причин: во-первых, он легко образует пероксиды, которые меняют цетановое число основанных на нём смесей, во-вторых, возникло подозрение, что он обладает канцерогенным действием. Он также обладает неприятным запахом, и его сложно получить в достаточно чистом виде.

Когда дизельное топливо характеризуется такой же воспламеняемостью, определённой на опытном двигателе (ASTM D613, EN 5165, ISO 5165, ГОСТ 3122), что и модельная смесь этих двух углеводородов, цетановое число данного топлива считается равным проценту доли цетана в этой смеси. Чем оно больше, тем лучше воспламеняемость смеси при сжатии.

Оптимальную работу современных дизельных двигателей обеспечивают дизельные топлива с цетановым числом от 45 до 55. При цетановом числе меньше 40 резко возрастает задержка горения (время между началом впрыскивания и воспламенением топлива) и скорость нарастания давления в камере сгорания, увеличивается износ двигателя. Стандартное топливо характеризуется цетановым числом 48-51, а топливо высшего качества (премиальное) имеет цетановое число 51-55. Согласно российским стандартам и стандарту Таможенного Союза (ГОСТ Р 52368-2005, ГОСТ 32511-2013), цетановое число летнего и зимнего дизтоплива должно быть не менее 48 единиц, согласно ГОСТ 305-2013 - не менее 45 единиц. Кроме того, технические условия для зимних сортов с депрессорными присадками разрешают выпуск арктического топлива с цетановым числом не менее 40.

Премиальное дизельное топливо более лёгкое, содержит больше легковоспламеняющихся лёгких фракций и поэтому более пригодно для запуска двигателя в холодную погоду. Кроме того, отношение водорода к углероду в лёгких фракциях выше, поэтому при сгорании такого дизельного топлива образуется меньше дыма.

При цетановом числе больше 60 снижается полнота сгорания топлива, возрастает дымность выхлопных газов, повышается расход топлива.

Цетановое число зависит от группового состава топлива (доли парафинов, олефинов, нафтенов, ароматики). Парафины, способные

к самовоспламенению при низких температурах, являются полезным компонентом дизельного топлива. Неразветвлённые алифатические углеводороды воспламеняются при низкой температуре и давлении, тогда как более прочные молекулы - например, ароматические углеводороды, - требуют более жёстких условий для воспламенения.

ГОСТ 3122-67 «Топлива дизельные. Метод определения цетанового числа», ГОСТ 32508-2013 «Топлива дизельные. Определение цетанового числа» устанавливают методы определения характеристики воспламеняемости дизельного топлива в единицах условной шкалы цетановых чисел с использованием стандартного одноцилиндрового четырехтактного форкамерного дизельного двигателя с переменной степенью сжатия. В качестве стандартного одноцилиндрового двигателя в настоящее время применяют двигатели моделей CFR F-5 (рис. 49) и ИДТ-90, ИДТ-69 (рис. 50). Цетановое число дизельного топлива определяют сравнением характеристик его сгорания в двигателе с характеристиками сгорания смесей эталонных топлив с известными значениями цетановых чисел при испытании в стандартных рабочих условиях.

При испытаниях на двигателе модели CFR F-5 сравнение проводят по показаниям, полученным на маховике для образца и двух используемых эталонных топлив со значениями цетановых чисел большим и меньшим, чем у образца (процедура "взятия в вилку"), путем изменения степени сжатия для получения требуемого угла задержки воспламенения, что позволяет провести интерполяцию цетанового числа в единицы показаний маховика.

При испытаниях на двигателях моделей ИТД-90, ИТД-69 сравнение проводят по совпадению светящихся полос от неоновых ламп под визирной нитью и фиксируют показание микрометра и значение степени сжатия, соответствующее совпадению вспышек.

В виде эталонных топлив используются смеси цетана (н-гексадекан, цетановое число - 100) (чистотой не менее 99,0 %) с альфаметилнафталином (АМН, чистотой не менее 98 %, цетановое число - 0). Или смесь цетана, альфаметилнафталина и гептаметилнонана (2,2,4,4,6,8,8-гептаметилнонан, чистотой не менее 98%, цетановое число 15).

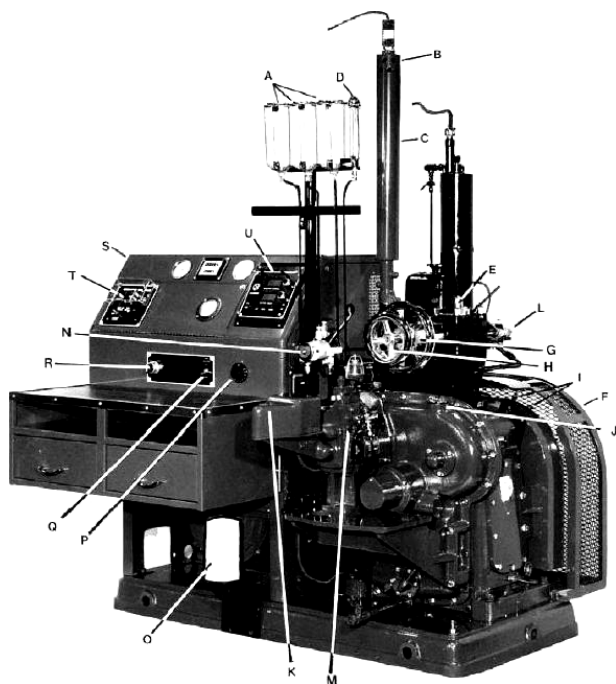


Рис. 49 – Установки для определения цетанового числа CFR F-5:

A - топливные баки; B - кожух нагревателя воздуха; C - глушитель воздухоборника; D - бюретка измерения расхода топлива; E - датчик воспламенения; F - защитное ограждение; G - ручной маховик плунжера переменной степени сжатия; H - стопорное колесо плунжера переменной степени сжатия; I - датчики маховика; J - крышка маслосливной горловины; K - соленоид аварийного отключения топливного насоса высокого давления; L - форсунка; M - топливный насос высокого давления; N - селекторный клапан переключения топливных баков; O - масляный фильтр; P - контроль нагревателя моторного масла; Q - переключатель нагревателя воздуха; R - переключатель запуска-остановки двигателя; S - приборная панель; T - регулятор температуры всасываемого воздуха; U - измеритель цетанового числа с двойной шкалой



Рис. 50 – Установки для определения цетанового числа ИТД-90

А также контрольные топлива *A* - дизельные топлива, соответствующие классу N 2D для дистиллятных топлив; *B* - контрольное топливо "Д" - смесь, состоящая из 80 % декалина (чистотой не менее 85) с 20 % цетана. При определении цетанового числа ходовыми испытаниями используются вторичные эталонные топлива:

- *T*-топливо - дизельное топливо с цетановым числом, как правило, в диапазоне от 73 до 75;

- *U*-топливо - дизельное топливо с цетановым числом, как правило, в диапазоне от 20 до 22;

- *V*-топливо - дизельное топливо с цетановым числом, как правило, в диапазоне от 75 до 77;

- *H*-топливо - дизельное топливо с цетановым числом, как правило, в диапазоне от 17 до 19.

Цетановое число испытуемого топлива вычисляют по формуле

$$V_x = V_1 + (V_2 - V_1) \frac{a_1 - a}{a_1 - a_2},$$

где V_1 - объемная доля цетана в смеси цетана и альфаметилнафталина, самовоспламеняющейся в ВМТ при большей степени сжатия, чем испытуемое топливо (смесь с меньшим цетановым числом), %; V_2 - объемная доля цетана в смеси того же состава, самовоспламеняющейся в ВМТ при меньшей степени сжатия, чем испытуемое топливо (смесь с большим цетановым числом), %; a, a_1, a_2 - средние арифметические значения показаний микрометра, определяющего степень сжатия при самовоспламенении в ВМТ, соответственно испытуемого топлива, смеси первичных эталонных топлив соответствующей V_1 и смеси первичных эталонных топлив, соответствующей V_2 , %.

Объемную долю V_x' в процентах высокоцетанового вторичного эталонного топлива в смеси с низкоцетановым эталонным топливом, эквивалентной по самовоспламеняемости испытуемому топливу, вычисляют по формуле

$$V_x' = V_1' + (V_2' - V_1') \frac{b_1 - b}{b_1 - b_2},$$

где V_1' - объемная доля высокоцетанового вторичного эталонного топлива в смеси вторичных эталонных топлив, самовоспламеняющейся в ВМТ при большей степени сжатия, чем испытуемое топливо (смесь с меньшим цетановым числом), %; V_2' - объемная доля высокоцетанового вторичного эталонного топлива в смеси вторичных эталонных топлив, самовоспламеняющейся в ВМТ при меньшей степени сжатия, чем испытуемое топливо (смесь с большим цетановым числом), %; b, b_1, b_2 - средние арифметические значения показаний микрометра, определяющего степень сжатия при самовоспламенении в ВМТ соответственно испытуемого топлива, смеси вторичных эталонных топлив, соответствующей смеси V_1' вторичных эталонных топлив, соответствующей V_2' , %.

Температуры помутнения, начала кристаллизации, кристаллизации, текучести и застывания

Температуру, при которой топливо или масло мутнеют и теряют прозрачность вследствие выделения капелек воды и кристаллов

парафина, называют *температурой помутнения*. Температура помутнения определяет начало выпадения из топлива в виде кристаллов высокоплавких углеводородов (парафинов, алканов), которых в дизельных топливах значительно больше, чем в бензинах. Возникает опасность забивки топливных фильтров кристаллами парафиновых углеводородов. По изменению температуры помутнения можно установить наличие в топливе или масле растворенной воды и твердых парафинов. В связи с этим температура помутнения дизельных топлив должна быть несколько ниже возможной температуры применения топлива, и обычно на 5 - 10 °С выше его температуры застывания.

Температурой начала кристаллизации топлива называют максимальную температуру, при которой в топливе невооруженным глазом обнаруживаются кристаллы.

Температуры помутнения, кристаллизации и застывания зависят от химического состава дизельных топлив. У парафиновых углеводородов эти температуры очень высокие, часто даже положительные, поэтому нефти парафинового основания используют для получения летних сортов дизельных топлив. Многие нефтеносные углеводороды имеют низкие температуры застывания (ниже минус 50 °С). Зимние сорта дизельных топлив вырабатывают из нефтей с высоким содержанием нефтяных углеводородов. Подбирая сырье, технологию его переработки и очистки, получают зимние сорта дизельных топлив с температурами застывания минус 45 или минус 30 °С. Содержание ароматических и непредельных углеводородов в дизельных топливах крайне нежелательно: первые имеют высокие температуры застывания и ухудшают качество горения, вторые снижают стабильность.

Температурой застывания называют такую температуру, при которой жидкое топливо в процессе охлаждения теряет текучесть. Этим показателем определяется возможность применения топлива при низких температурах. Для большинства дизельных топлив температура застывания находится в пределах от - 10 до - 45 °С.

Температура застывания дизельного топлива, определяемая по ГОСТ 20287-91 "Нефтепродукты. Методы определения темпера-

тур текучести и застывания", имеет большое значение для эксплуатации двигателей, транспортирования и хранения топлива. Температурой застывания дизельных топлив называется температура, при которой топливо, находящееся в лабораторной пробирке, наклоненной под углом 45°, не меняет своего уровня в течение одной минуты. Топливо может застывать из-за наличия в нем большого количества парафиновых углеводородов, выделение которых вызывает помутнение топлива, отложения их на топливных фильтрах и прекращение подачи топлива. Дизельные топлива, насыщенные парафином, применяют только в летнее время. Температура застывания дизельного топлива зависит также от его фракционного состава. Более тяжелое по фракционному составу топливо из одной и той же нефти обладает более высокой температурой застывания. Для нормальной работы дизельных двигателей необходимо, чтобы топливо имело температуру застывания ниже температуры окружающего воздуха на 10-15 °С.

ГОСТ 5066-91 (ИСО 3013-74) "Топлива моторные. Методы определения температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации" предусматривается определение температуры помутнения без обезвоживания и с обезвоживанием топлива.

Определение температуры помутнения без обезвоживания топлива.

Топливо помещается в пробирку с двойными стенками и мешалкой (рис. 51), которая помещается в холодильник (рис. 52). Во время охлаждения перемешивают ручной или механической мешалкой со скоростью от 60 до 200 движений в минуту. При ручном перемешивании непрерывность движений должна составлять не менее 20 с и отдых не более 15 с.

За 5 °С до ожидаемой температуры помутнения пробирку вынимают из бани, быстро опускают в стакан со спиртом, а затем вставляют в прибор с зеркальным отражением света, одновременно включая в нем лампы, и наблюдают сквозь смотровые отверстия в передней стенке ящика состояние топлива по сравнению с прозрачным эталоном.

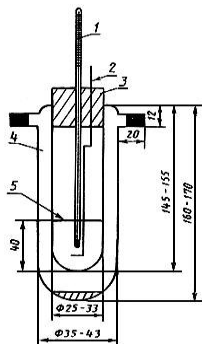


Рис. 51 - Пробирка с двойными стенками и мешалкой:

1 - термометр; 2 - мешалка; 3 - корковая пробка; 4 - пробирка; 5 - кольцевая метка

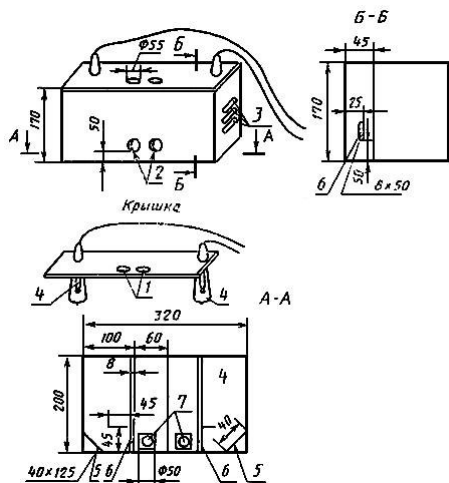


Рис. 52 - Общий вид аппарата с зеркальным отражением света:

1 - отверстия для пробирок; 2 - отверстия для наблюдения; 3 - вентиляционные щели; 4 - электролампы; 5 - зеркала; 6 - щели для прохождения света; 7 - подставки с выемкой для установки пробирок

Продолжительность операции наблюдения помутнения испытуемого топлива от начала извлечения пробирки из охлаждающей смеси до погружения ее обратно в смесь должна быть не более 12 с. После каждого наблюдения выключают лампы.

Если топливо по сравнению с прозрачным эталоном не изменилось (легкая опалесценция - слегка матовый оттенок, не увеличивающийся при дальнейшем понижении температуры, во внимание не принимается), пробирку снова опускают в баню и дальнейшее наблюдение проводят через каждый градус. Сравнительные наблюдения с прозрачным эталоном проводят до тех пор, пока топливо не станет отличаться от эталона, т. е. когда в нем появится муть.

Температуру, при которой в испытуемом топливе наблюдается появление мути, принимают за температуру помутнения данного образца топлива.

Определение температуры начала кристаллизации без обезживания топлива

После определения температуры помутнения испытуемое топливо продолжают охлаждать, поддерживая тот же перепад температуры между температурой охлаждающей смеси и температурой топлива в пробирке. Во время охлаждения топливо продолжают перемешивать. За 5 °С до ожидаемой температуры начала кристаллизации пробирку вынимают из бани, быстро опускают в стакан со спиртом, затем устанавливают в прибор с зеркальным отражением света или в штатив для пробирок и наблюдают состояние испытуемого топлива.

Если кристаллов в топливе не появилось, пробирку снова опускают в баню и дальнейшее наблюдение проводят через каждый градус, соблюдая продолжительность единичного наблюдения не более 12 с.

За температуру начала кристаллизации принимают максимальную температуру, которую показывает термометр при появлении в топливе первых кристаллов, видимых невооруженным глазом. При определении температуры помутнения и начала кристаллизации опыт проводят два раза.

Определение температуры помутнения с обезвоживанием топлива (для дизельных топлив)

Пробирку с испытуемым топливом и термометром, помещают в водяную баню с температурой 80 - 100 °С и выдерживают до тех пор, пока топливо не примет температуру $(50 \pm 1) \text{ }^\circ\text{C}$.

В сосуд для охлаждающей смеси опускают термометр, наливают спирт и охлаждают его добавлением твердой углекислоты так, чтобы температура охлаждающей смеси была на 10 °С ниже назначенной температуры помутнения испытуемого топлива.

Уровень налитой в сосуд охлаждающей смеси должен быть на 30 - 40 мм выше уровня топлива в пробирке.

Пробирку с испытуемым топливом вынимают из водяной бани, охлаждают до температуры 30 - 40 °С, а затем помещают в сосуд с охлаждающей смесью. Температуру охлаждающей смеси в течение всего времени охлаждения поддерживают с точностью $\pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$. За 5 °С до ожидаемой температуры помутнения пробирку вынимают из охлаждающей смеси, быстро протирают ее снаружи спиртом и далее проводят наблюдение помутнения испытуемого топлива.

В настоящее время для оценки температур помутнения, кристаллизации используются полуавтоматические и автоматические приборы (рис. 53).

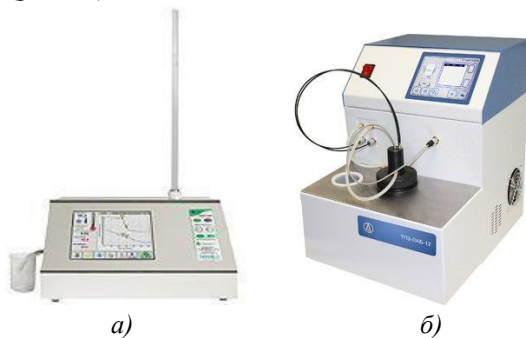


Рис. 53 - Приборы для определения температуры помутнений и кристаллизации топлив:

а - ПЭ-7200А; б - ТПЗ-ЛАБ-12

ГОСТ 20287-91 "Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания" распространяется на нефтепродукты и устанавливает два метода:

А - определение температуры текучести;

Б - определение температуры застывания.

Сущность методов заключается в предварительном нагревании образца испытуемого нефтепродукта с последующим охлаждением его с заданной скоростью до температуры, при которой образец остается неподвижным. Указанную температуру принимают за температуру застывания.

Наиболее низкую температуру, при которой наблюдается движение нефтепродуктов в условиях испытания, принимают за температуру текучести. Для проведения испытаний используются аппараты типа ЛЗН (рис. 54, 55).

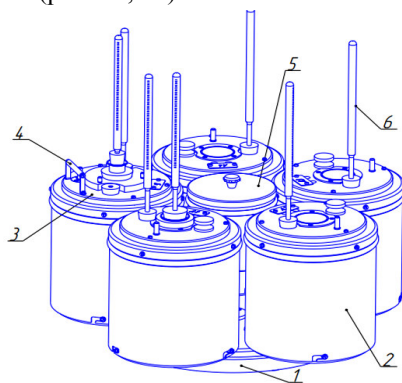


Рис. 54 - Аппарат ЛЗН-75 для определения температуры текучести:

1- поворотное основание; 2- охлаждающая баня; 3-крышка охлаждающей бани метод Б (по отдельному заказу); 4- рукоятка для опрокидывания бани (метод Б); 5- держатель; 6- термометр ТН-8

Пробирку с продуктом и термометром вынимают из водяной бани, насухо вытирают ее снаружи и укрепляют при помощи пробки

в муфте так, чтобы ее стенки находились приблизительно на одинаковом расстоянии от стенок муфты.

Пробирки с муфтой закрепляют в держателе штатива в вертикальном положении и оставляют при комнатной температуре до тех пор, пока нефтепродукт не охладится до температуры $(35 \pm 5)^\circ\text{C}$, затем помещают его в сосуд с охлаждающей смесью, температуру которой предварительно устанавливают на 5°C ниже намеченной для определения температуры застывания. Во время охлаждения продукта установленную температуру охлаждающей смеси поддерживают с погрешностью $\pm 1^\circ\text{C}$.

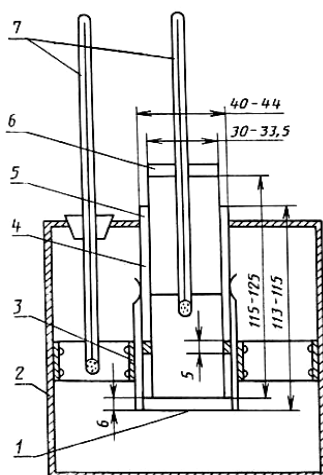


Рис. 55 - Прибор для определения температуры текучести:

1 - диск; 2 - охлаждающая баня; 3 - прокладка; 4 - пробирка; 5 - муфта; 6 - корковая пробка; 7 - термометр

Когда продукт в пробирке примет температуру, намеченную для определения застывания, пробирку наклоняют под углом 45° и, не вынимая из охлаждающей смеси, держат в таком положении в течение 1 мин. После этого пробирку с муфтой осторожно вынимают из охлаждающей смеси, быстро вытирают муфту и наблюдают, не сместился ли мениск испытуемого продукта. При определении температуры застывания ниже 0°C в муфту перед испытанием по-

мещают 0,5-1,0 см³ серной кислоты, олеума или любого другого осушителя.

Если мениск сместился, то пробирку вынимают из муфты, снова подогревают до (50 ± 1) °С и проводят новое определение при температуре на 4 °С ниже предыдущей до тех пор, пока при некоторой температуре мениск не перестанет смещаться.

Если мениск не сместился, то пробирку вынимают из муфты, снова подогревают до (50 ± 1) °С, проводят новое определение застывания при температуре на 4 °С выше предыдущей до тех пор, пока при некоторой температуре мениск будет смещаться.

После нахождения границы застывания (переход от подвижности к неподвижности или наоборот) определение повторяют, понижая или повышая температуру испытания на 2 °С до тех пор, пока не будет установлена такая температура, при которой мениск продукта остается неподвижным, а при повторном испытании при температуре на 2 °С выше он сдвигается. Эту температуру фиксируют, как установленную для данного опыта.

Для установления температуры застывания продукта проводят два определения, начиная второе определение с температуры на 2 °С выше установленной при первом определении.

При проверке температуры застывания, установленной в стандартах на топливо, проверяют, смещается ли мениск этого продукта после его испытания при температуре на 2 °С выше температуры, установленной стандартами на конкретную продукцию. За температуру застывания испытуемого нефтепродукта принимают среднеарифметическое результатов двух определений.

Предельная температура фильтруемости

При низкой температуре в топливе могут содержаться кристаллы льда или может наблюдаться выпадение кристаллов углеводородов из топлив при их охлаждении, что обусловлено ограниченной растворимостью в топливах *n*-парафиновых углеводородов. Наличие твердой фазы в топливе отражается прежде всего на его фильтруемости, определяемой как размерами частиц твердой фазы, так и величиной пор фильтрующего элемента и конструкцией

фильтра. Для оценки этого используется показатель предельной температуры фильтруемости.

Предельная температура фильтруемости - это температура, при которой топливо после охлаждения в определенных условиях перестает проходить через фильтр или продолжительность фильтруемости 20 см³ топлива превышает 60 с.

Предельная температура фильтруемости (на холодном фильтре) - самая высокая температура, при которой данный объем топлива не протекает через стандартизованную фильтрующую установку в течение определенного времени, во время охлаждения в стандартизованных условиях.

Исследования показывают, что дизельных топлив обычно бывает ниже температуры помутнения, но выше температуры застывания. Однако положение ее в этом интервале может быть различным либо ближе к температуре помутнения, либо - к температуре застывания. Работы по сопоставлению предельной температуры фильтруемости с поведением топлива в эксплуатации продолжаются.

Оценка температуры фильтруемости проводится в соответствии с ГОСТ 22254-92 «Топливо дизельное. Метод определения предельной температуры фильтруемости на холодном фильтре», ГОСТ EN 116-2013 «Топлива дизельные и печные бытовые. Метод определения предельной температуры фильтруемости».

Сущность метода. Образец топлива охлаждают при заданных условиях и набирают в пипетку под регулируемым вакуумом через стандартизованный проволочный сетчатый фильтр. Продолжая охлаждать топливо, эту процедуру повторяют с интервалами 1°С. Испытание продолжают до температуры, при которой количество кристаллов парафина, выделившееся из раствора, замедляет протекание топлива так, что время заполнения пипетки превышает 60 с или до момента, когда топливо полностью перестанет стекать в испытательный сосуд до его охлаждения еще на 1°С. Отмеченную температуру начала последнего фильтрования регистрируют как предельную температуру фильтруемости топлива на холодном фильтре.

Определение температуры может проводиться как с использованием ручного оборудования (рис. 56), так и автоматического (рис. 57).

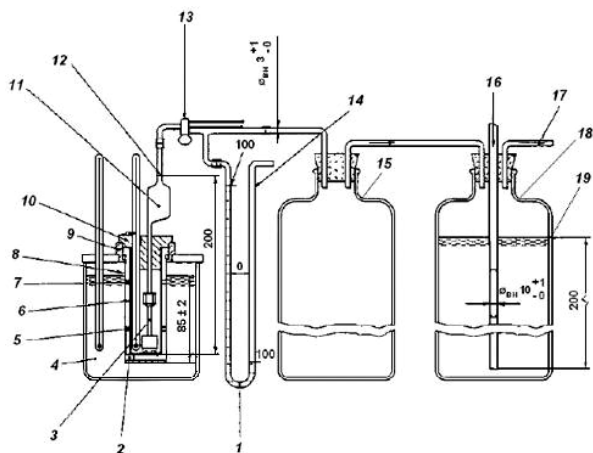


Рис. 56 - Аппарат для определения предельной температуры фильтруемости на холодном фильтре:

1 - вода; 2 - изоляционное кольцо; 3 - комплект фильтра; 4 - охлаждающая баня; 5, 7 - прокладка; 6 - испытательный сосуд; 8 - кожух; 9 - поддерживающее кольцо; 10 - пробка; 11 - тигетка; 12 - метка (20 см^3); 13 - двухходовый запорный кран; 14 - манометр с U-образной трубкой; 15 - дополнительный вакуумный резервуар вместимостью 5 дм^3 ; 16 - вентиляционная трубка; 17 - к источнику вакуума; 18 - вакуумный резервуар; 19 - уровень воды

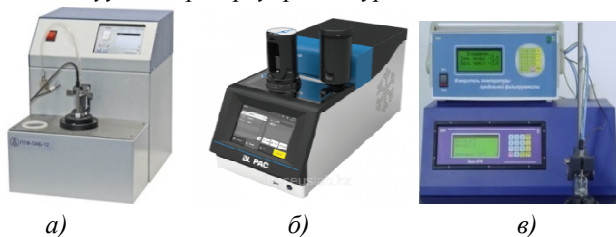


Рис. 57 - Автоматические аппараты для определения предельной температуры фильтруемости на холодном фильтре:

а - ПТФ-ЛАБ-12; б - РАС; в - Крио ИТФ

Наливают профильтрованный испытуемый образец в испытательный сосуд (6) до метки, соответствующей объему 45 см^3 . Закрывают испытательный сосуд пробкой (10), на которой установлены пипетка (11) с фильтром (3) и соответствующим термометром. При ожидаемой предельной температуре фильтруемости на холодном фильтре ниже минус 30°C применяют термометр с узким диапазоном положительных температур. Во время испытания термометры менять нельзя. Аппаратуру устанавливают так, чтобы нижняя часть фильтра касалась дна испытательного сосуда; термометр устанавливают таким образом, чтобы его нижний конец находился на $1,5 \pm 0,2$ мм от дна испытательного сосуда.

Помещают испытательный сосуд в кожух в устойчивом вертикальном положении. При открытом запорном кране (13) соединяют пипетку с вакуумной системой (15, 18). Включают вакуумный насос и устанавливают в регуляторе вакуума (14) скорость воздушного потока $15 \text{ дм}^3/\text{ч}$.

Начинают испытание, если температура помутнения образца известна, допускается подождать пока испытуемый образец не охладится до температуры, которая выше температуры помутнения не менее чем на 5°C . На первом этапе охлаждения всегда применяют баню температурой минус $34,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$. Когда температура испытуемого образца достигнет соответствующего целого значения, устанавливают запорный кран так, чтобы фильтр был подсоединен к вакууму, обеспечивая всасывание испытуемого образца через фильтрующий элемент в пипетку; одновременно включают секундомер. Когда топливо достигнет метки на пипетке, выключают секундомер и устанавливают кран в начальное положение, чтобы продуть пипетку и дать образцу стечь в измерительный сосуд. Если время всасывания топлива до метки превышает 60 с, определение прекращают и повторяют испытание с новым испытуемым образцом, начиная с более высокой температуры бани.

Повторяют процедуру после каждого снижения температуры испытуемого образца на 1°C до достижения температуры, при которой прекратится течение через фильтр или пипетка не наполнится до метки в течение 60 с. Записывают температуру начала этой послед-

ней фильтрации как предельную температуру фильтруемости на холодном фильтре.

Если при температуре испытуемого образца минус 20 °С фильтр не забивается, испытание продолжают, используя вторую охлаждающую баню, обеспечивающую поддержание температуры минус 51±1 °С или регулируя холодильную установку. Повторяют операцию и если ко времени достижения испытуемым образцом температуры минус 51 °С не забивается фильтр, испытание прекращают и результат записывают: "Забивка фильтра отсутствует при минус 51".

Если после охлаждения испытуемый образец заполняет пипетку менее чем за 60 с, но не полностью стекает в испытательный сосуд, когда пипетка соединяется с атмосферой через запорный кран до начала следующего всасывания, регистрируют температуру фильтруемости на холодном фильтре.

Содержание водорастворимых кислот и щелочей

Содержание водорастворимых кислот и щелочей в дизельном топливе не допускается. Их присутствию вызывает образование отложений и нагара в камере сгорания, на клапанах, форсунках и других деталях двигателя. Это приводит к нарушению работы двигателя (перегрев, ухудшение продувки и очистки от отработавших газов), ухудшению топливной экономичности и снижению мощности. Закоксовывание, например, распыливающих отверстий форсунки вызывает нарушение подачи топлива, а иногда обрыв головок форсунок. Причиной образования нагара могут также высокая вязкость и плохая испаряемость топлива. Определение водорастворимых кислот и щелочей регламентируется ГОСТ 6307-75 Нефтепродукты. Метод определения наличия водорастворимых кислот и щелочей. Методика аналогична определению водорастворимых кислот и щелочей в бензине (см. п. 2.4.1).

Испытание на медную пластинку

Испытание на медную пластинку - качественная проба на свободную серу и активные сернистые соединения. Это испытание на коррозию медной пластинки должны выдерживать дизельные топлива. Испытания проводят в соответствии с ГОСТ 6321-92 (ИСО

2160-85) «Топливо для двигателей. Метод испытания на медной пластинке», ГОСТ ISO 2160-2013 «Нефтепродукты. Определение коррозионного воздействия на медную пластинку», ГОСТ 32329-2013 «Нефтепродукты. Определение коррозионного воздействия на медную пластинку». Методика аналогична испытаниям бензинов (см. п. 2.4.1).

Кислотность и кислотное число

Органические кислоты в небольшом количестве всегда присутствуют в нефтепродуктах. Основную массу кислых соединений составляют нафтеновые кислоты - фенолы. Их коррозионная активность гораздо ниже, чем у водорастворимых кислот. Наиболее энергично они взаимодействуют с цветными металлами свинцом и цинком. При повышении температуры активность органических кислот возрастает, особенно в присутствии воды. При длительном хранении содержание кислых органических соединений увеличивается в результате окисления топлива, что приводит к возрастанию коррозионности, ухудшается работу топливоподающей аппаратуры, цилиндров, подшипников и других деталей двигателя и ускоряет их износ. Поэтому кислотность дизельных топлив, также как и бензинов строго нормируется ГОСТом.

Определение содержания органических кислот в топливе регламентируется ГОСТ 5985-79 "Нефтепродукты. Метод определения кислотности и кислотного числа". Сущность метода заключается в титровании кислых соединений испытуемого продукта спиртовым раствором гидроксида калия в присутствии цветного индикатора и определении для светлых нефтепродуктов кислотности, выраженной в мг КОН/100 см³. Методика исследования и используемое оборудование аналогичны как и при определении кислотности и кислотного числа бензина (см. п. 2.4.1).

Содержание серы

Существенное влияние на коррозионный износ деталей и систем двигателя оказывает общее количество пассивных сернистых соединений, содержащихся в топливе. Конечными продуктами сгорания любого топлива всегда является углекислый газ и вода, получающиеся в результате сгорания углеводородов. При сгорании всех

сернистых соединений (активных и пассивных) образуются кислотные окислы – сернистый и серный ангидриды.

Наиболее агрессивен серный ангидрид, содержание его в продуктах сгорания тем больше, чем выше температура, давление и концентрация кислорода. Водяные пары контактируют с холодными поверхностями двигателя и конденсируются. Окислы серы, растворяясь в воде, создают сернистую и серную кислоты, обладающие еще более сильным коррозионным действием. В результате этих явлений, в двигателях может возникать газовая и жидкостная коррозия.

Чувствительность двигателей всевозможных конструкции к сернистой коррозии находится в зависимости от теплонпряженности и удельной мощности. При излишке кислорода и высокой температуры, сернистый ангидрид в значительном количестве переходит в серный, поэтому при повышении теплонпряженности наблюдается более существенная газовая коррозия тарелок выхлопных клапанов, верхней части цилиндров, первого компрессионного кольца и выхлопной системы. При уменьшении температуры данный вид износа снижается.

При существенном понижении теплового режима начинается жидкостная коррозия, особенно сильно она выражается во время пуска и прогрева двигателя в холодное время года. Чем выше количество прорыв газов в картер двигателя и выше содержание серы в топливе, тем сильнее износ от жидкостной коррозии. Значительное влияние на появление данного вида коррозионного износа оказывает режим работы.

В малонагруженных двигателях, когда температура охлаждающей жидкости невелика, создаются благоприятные условия для конденсации паров воды и проявления жидкостной коррозии, при этом больше разрушаются вкладыши подшипников. Тракторные дизели, обычно работающие с высокой нагрузкой, более подвержены газовой коррозии; автомобильные, особенно при работе в городских условиях (движение на небольших скоростях, частые остановки), - жидкостной.

Исходя из выше изложенного, детали двигателя, контактирующие с продуктами сгорания топлива, в зоне высокой температуры разрушаются от газовой коррозии. В зонах низкой температуры, где отмечается конденсация воды, проявляется жидкостная коррозия. При работе двигателя на сернистом топливе надежная работа будет обеспечена только в том случае, когда верно подобран режим его работы, при котором сернистая коррозия будет проявляться незначительно.

Таким образом, скорость коррозионного изнашивания деталей двигателя тесно связана с количеством серы в топливе. Согласно результатам многочисленных исследований, установлено, что при повышении количества серы в топливе с 0,2 до 0,5 % износ увеличивается на 25 – 30 %. При увеличении концентрации серы до 1,0 %, износ повышается вдвое.

Сера вредоносна не только с точки зрения повышения темпа коррозионного изнашивания, но еще и потому, что при работе двигателя на сернистом топливе образуется значительное количество твердого и плотного нагара. Частицы данного нагара, попадая в масло, повышают абразивное механическое изнашивание деталей. Кроме того, сера ускоряет старение моторных масел.

При изготовлении топлива большая масса сернистых соединений перегоняется с углеводородами, выкипающими при высокой температуре (выше 200 °С), и, значит, находится в дистиллятах, из которых получают дизельное топливо. Здесь содержание серы может достигать нескольких процентов.

Испытания дизельных топлив проводят в соответствии с ГОСТ 19121-73 «Нефтепродукты. Метод определения содержания серы сжиганием в лампе», ГОСТ ISO 20846-2012 «Нефтепродукты. Определение содержания серы методом ультрафиолетовой флуоресценции», ГОСТ 32139-2013 «Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии», методика аналогична испытаниям бензинов (см. п. 2.4.1).

Одной из главных причин образования смолистых отложений на иглах распылителей форсунок, вызывающих зависание игл, явля-

ется присутствие в дизельно топливе меркаптанооой серы. Кроме того меркаптан вызывает коррозию, особенно цветных металлов, придает топливу неприятный резкий запах, присутствие меркаптана в топливах не желательно. Вторым элементом, вызывающим такие же последствия, является сероводород и сероводородная сера. Их определение проводится в соответствии с ГОСТ 17323-71 «Топливо для двигателей. Метод определения меркаптановой и сероводородной серы потенциометрическим титрованием», ГОСТ Р 52030-2003 «Нефтепродукты. Потенциометрический метод определения меркаптановой серы». Настоящим стандартом предусмотрено два метода испытаний - метод А (для бензинов, дизельных и реактивных топлив) и метод Б (только для реактивных топлив).

Метод А - предназначен для определения массовой доли меркаптановой и сероводородной серы потенциометрическим титрованием азотнокислым аммиаком серебра. Образец, не содержащий сероводород, растворяют в спиртовом растворе уксуснокислого натрия и титруют потенциометрическим методом спиртовым раствором азотнокислого серебра, используя в качестве индикатора потенциал между стеклянным электродом сравнения и индикаторным электродом серебро-сульфид серебра (сульфидсеребряный или сурьмяный). В этих условиях меркаптановая сера выпадает в осадок в виде меркаптида серебра и конечная точка титрования будет показана большим изменением потенциала элемента.

В стакан для титрования отбирают в соответствии испытуемое топливо с погрешностью взвешивания не более 0,0002 г. В стакан с навеской топлива добавляют 35-75 см³ растворителя до полного растворения топлива. Затем стакан устанавливают на титровальный стенд, опускают в раствор электроды и мешалку, перемешивают 5 мин и измеряют начальное значение потенциала. Затем в него добавляют 0,02 см³ раствора азотнокислого аммиаката серебра. Если при добавлении 0,02 см³ раствора не наблюдается изменение потенциала или потенциал изменяется незначительно (до 5 мВ), то титрование проводят по 0,1 см³ раствора. За конец титрования (скачок потенциала) принимают ту точку в области наиболее резкого изменения потенциала (при минимальной добавке титрованного раствора).

При изменении потенциала более чем на 5-7 мВ титрование проводят каждый раз, приливая по 0,02 см³ титрованного раствора, до скачка потенциала. В области скачка потенциала добавляют еще 2-3 порции по 0,02 см³, затем титрование ведут, добавляя по 0,1 см³ раствора азотнокислого аммиаката серебра до тех пор, пока изменение потенциала от одинаковых добавок будет относительно постоянным.

Начальное значение потенциала выше минус 400 мВ при применении сульфидсеребряного электрода и выше минус 500 мВ при применении сурьмяного электрода указывает на наличие меркаптановой серы и отсутствие сероводородной серы.

Последующие титрование по 0,02 см³, с последующим добавлением по 0,1 см³, до момента изменения потенциала. Начальное значение потенциала ниже минус 400 мВ при применении сульфидсеребряного электрода и ниже минус 500 мВ - сурьмяного электрода указывает на наличие в топливе элементарной или сероводородной серы.

Массовую долю меркаптановой серы (S) в процентах вычисляют по формуле

$$S = \frac{V_1 \cdot T_1 \cdot 100}{m},$$

где V_1 - объем 0,01 моль/дм³ раствора азотнокислого аммиаката серебра, израсходованный на титрование меркаптановой серы в топливе, не содержащем сероводорода, см³; T_1 - титр 0,01 моль/дм³ раствора азотнокислого аммиаката серебра, выраженный в граммах меркаптановой серы на 1 см³; m - масса топлива, не содержащего сероводорода, г

При наличии сероводорода в топливе массовую долю сероводородной серы (S_1) в процентах вычисляют по формуле

$$S = \frac{(V_1 - V_2) \cdot T_2 \cdot 100}{m_1},$$

где V_1 - объем азотнокислого аммиаката серебра, израсходованный на титрование исходного топлива (до обработки топлива раствором сернистого или хлористого кадмия) от нулевого объема

до второго скачка потенциала, см^3 ; V_2 - объем азотнокислого аммиаката серебра, израсходованный на титрование образца до скачка потенциала с сульфидсеребряным электродом (до начала смещения потенциала в положительную сторону с сурьмяным электродом) после обработки его раствором сернокислого или хлористого кадмия, см^3 ; T_2 - титр 0,01 моль/ дм^3 раствора азотнокислого аммиаката серебра, выраженный в г сероводородной серы на 1 см^3 ; m_1 - масса топлива, г.

Коксуемость

Коксуемостью называется свойство топлива образовывать отложения при нагреве без доступа воздуха. Продукты коксования (кокс) состоят в основном из углерода и высокомолекулярных соединений. Они отлагаются в виде твердого нароста главным образом на горячих деталях, не контактирующих непосредственно с зоной горения (внутри форсунок, на юбках поршней в области поршневых колец и др.). Контроль коксуемости осуществляется по содержанию кокса в 10%-ном остатке топлива после перегонки, количество которого не должно превышать 0,3%. Коксуемость является комплексным показателем склонности дизельных топлив к нагарообразованию и характеризует содержание в нем полициклической ароматики и асфальтено-смолистых соединений.

Коксовое число - способность топлива давать углистый остаток после его испарения и разложения без доступа воздуха при температуре 800 °С. Количество остатка зависит от вязкости, фракционного состава топлива и глубины его очистки от смолисто-асфальтовых соединений. Допускается коксовое число не более 0,05 %. Поскольку эта величина очень невелика, часто определяют коксуемость 10 % остатка топлива после его разгонки. В этом случае допустимая величина кокса для топлив, используемых в быстроходных дизелях, будет в 10 раз больше, т. е. 0,5 %.

Склонность топлив к образованию углеродистых отложений оценивают коксуемостью по методу Конрадсона (ГОСТ 19932-99 (ИСО 6615-93) «Нефтепродукты. Определение коксуемости методом Конрадсона»).

Сущность метода заключается в следующем. Взвешенную массу нефтепродукта помещают в тигель и подвергают выпариванию и пиролизу нефтепродукта. Остаток подвергают реакциям распада и коксования при интенсивном нагревании, затем тигель с углеродистым остатком охлаждают в эксикаторе и взвешивают. За результат испытания принимают оставшийся остаток в процентах.

Для определения используют прибор типа ЛТ-1 (рис. 58). 10 % остаточную фракцию топлива помещают в тигель (5) и нагревают.

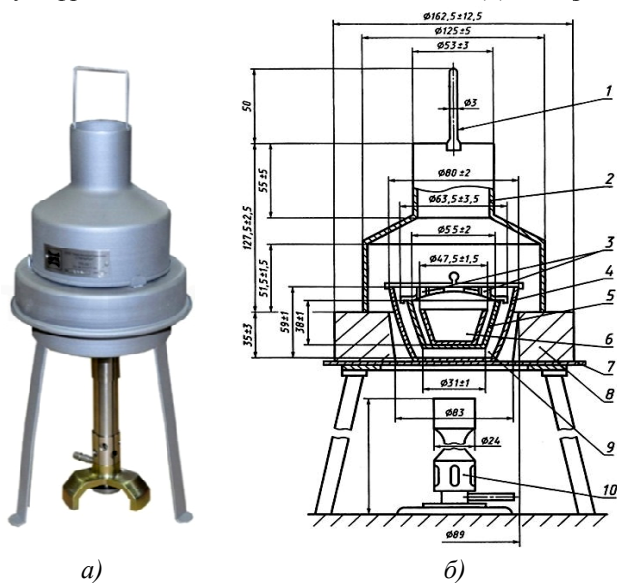


Рис. 58 - Аппарат для определения коксуемости по Конрадсону:

а - общий вид; б - схема; 1 - мостик; 2 - кожух; 3 - горизонтальные отверстия; 4 - наружный стальной тигель; 5 - внутренний стальной тигель Скидмора; 6 - фарфоровый или кварцевый тигель; 7 - треугольник (подставка); 8 - подставка (изолятор); 9 - сухой песок 25 см³; 10 - горелка Меккера или любая другая газовая горелка

При появлении дыма над вытяжной трубой передвигают и наклоняют горелку так, чтобы пламя сосредоточилось на одной сторо-

не тигля и вызвало воспламенение паров. Когда пары загорелись, нагревание временно прекращают, горелку удаляют, и затем перед ее установкой регулируют скорость нагрева так, чтобы пары равномерно горели над вытяжной трубой, но не выше проволочного мостика (50 мм). Если пламя не поднимается выше трубы, нагревание можно увеличить. Для нефтепродуктов с коксуемостью до 1 % период горения должен продолжаться (13 ± 1) мин, при коксуемости выше 1 % - (17 ± 4) мин.

Коксуемость (K) нефтепродукта или 10%-ного остатка при разгонке, %, вычисляют по формуле

$$K = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \cdot 100,$$

где m_1 - масса пустого тигля с двумя стеклянными шариками, г; m_2 - масса тигля с образцом, г; m_3 - масса тигля с двумя стеклянными шариками и остатком, г.

Определенная по этому методу коксуемость плохо отражает фактическое поведение топлив в двигателях, поэтому используется определение по ГОСТ 32392-2013 «Нефтепродукты. Определение коксового остатка микрометодом».

Взвешенный образец помещают в стеклянную пробирку и нагревают в печи (рис. 59) до температуры 500 °С в атмосфере инертного газа (азота) регулируемым способом в течение установленного времени. Образец подвергают коксованию, образовавшиеся летучие вещества уносятся азотом. Оставшийся углеродистый остаток записывают как "коксовый остаток микрометодом" в массовых процентах от исходного образца.

Соответствующую массу образца переносят во взвешенную пробирку, взвешивают с точностью до 0,0001 г и записывают массу. Заполненные пробирки помещают в держатель пробирок, регистрируя положение каждого образца относительно метки-указателя. Помещают держатель пробирок в камеру печи при температуре ниже 100 °С и закрывают крышку (рис. 59). Продувают камеру печи азотом в течение не менее 10 мин со скоростью 600 см³/мин. Затем снижают скорость продувки до 150 см³/мин и медленно нагревают печь до 500 °С со скоростью от 10 до 15 °С/мин.

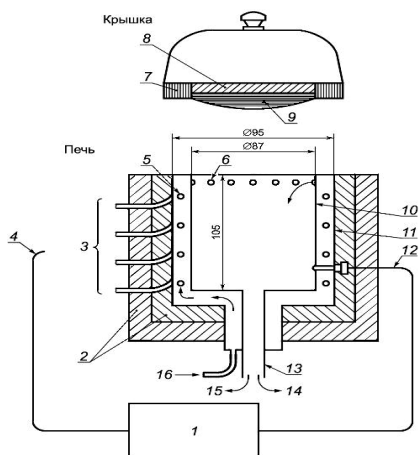


Рис. 59 - Печь для коксования:

1 - микропроцессорный контроллер; 2 - 2 слоя изоляции; 3 - две обмотки трубчатого нагревателя 700 Вт; 4 - провода нагревателя; 5 - поперечное сечение обмотки нагревателя; 6 - 2 отверстия диаметром 1 мм; 7 - керамическое кольцо; 8 - изоляция; 9 - верхняя круглая заглушка из нержавеющей стали марки 304; 10 - внутренний цилиндрический кожух из нержавеющей стали марки 304 толщиной 1,6 мм; 11 - наружный цилиндрический кожух из нержавеющей стали марки 304 толщиной 1,6 мм; 12 - провода терморпары; 13 - трубка из нержавеющей стали диаметром 13 мм; 14 - конденсат; 15 - дым; 16 - азот

Выдерживают образец в печи при температуре (500 ± 2) °С в течение 15 мин. Затем отключают питание и охлаждают печь, продувая ее азотом со скоростью $600 \text{ см}^3/\text{мин}$. После охлаждения температуры печи ниже 250 °С вынимают держатель пробирок и помещают в эксикатор для охлаждения до температуры окружающей среды. Взвешивают охлажденные пробирки с точностью до 0,0001 г.

Вычисляют содержание коксового остатка (*КО*) в исходном образце или в 10%-ном остатке от разгонки, % масс., по формуле

$$КО = \frac{A \cdot 100}{W},$$

где A - масса коксового остатка, г; W - масса испытанного образца, г.

Зольность

Зола - минеральный остаток после сжигания топлива в атмосфере воздуха при температуре 800-850 °С. Наибольшую долю зольных элементов топлив составляют Si, Fe, Си, РЬ, Na, Са. Относительное содержание элементов в золе из различных образцов топлива одного и того же типа может иногда заметно различаться, по-видимому, в зависимости как от сырья, так и от технологических особенностей получения или условий хранения.

Зольность топлива характеризует содержание в нем несгораемых примесей, чем меньше зольность, тем меньше неорганических примесей попадает в нагар. Увеличение массы золы в нагаре ведет к повышению его абразивных свойств и увеличивает износ деталей. Допустимое Содержание золы в дизельных топливахлежит в пределах 0,01-0,02 %.

Определение зольности проводится в соответствии с ГОСТ 1461-75 «Нефть и нефтепродукты. Метод определения зольности». Настоящий стандарт устанавливает метод определения зольности нефти и нефтепродуктов (кроме кокса, битумов, отработанных масел, присадок и смазок, содержащих графит, дисульфид молибдена, металлическую пыль и элементарную серу).

Сущность метода заключается в сжигании массы испытуемого нефтепродукта и прокаливании твердого остатка до постоянной массы.

Пропитывают бумажный фильтр испытуемым топливом. затем фильтр сжигается до получения сухого углистого остатка. Тигель с углистым остатком переносят в электропечь, нагретую не выше 300 °С, постепенно нагревают до (775±25) °С и выдерживают при этой температуре до полного озоления остатка. После озоления тигель вынимают из электропечи, переносят на асбест или треугольную подставку из хромоникелевой проволоки или из фарфоровых трубок на стальном каркасе и охлаждают в течение 5 мин на воздухе, а затем в эксикаторе в течение 30 мин взвешивают и снова переносят в муфель или тигельную печь на 30 мин.

Зольность испытуемого продукта (X) в процентах вычисляют по формуле

$$X = \frac{(m_1 - m_2)}{m} \cdot 100,$$

где m - масса испытуемого продукта, г; m_1 - масса золы, г; m_2 - масса золы двух бумажных фильтров (масса золы фильтра указана на упаковке фильтра), г.

Йодное число

Йодным числом дизельного топлива называется количество йода (в г), присоединившегося к 100г топлива в определенных условиях, йодное число характеризует содержание в топливе непредельных углеводородов, которые способны осмоляться.

Непредельные парафиновые углеводороды, имеющие одну двойную связь, называют олефинами (C_nH_{2n}), а с двумя двойными связями – диолефинами (C_nH_{2n-2}).

Эти углеводороды, являясь непредельными, легко окисляются и осмоляются, так как их двойные связи неустойчивы и склонны к превращению в простые связи с одновременным присоединением атомов кислорода, атомов других элементов и молекул непредельных углеводородов, образуя смолы, органические кислоты и другие соединения. Чем выше температура и больше концентрация кислорода (летом в незначительно заполненных топливных баках), тем быстрее и интенсивнее протекают реакции окисления.

Олефины склонны также к соединению нескольких молекул в одну с большей молекулярной массой (полимеризация) и присоединению отдельных молекул к исходному веществу (конденсация). В результате в топливе накапливаются высокомолекулярные смолисто-асфальтовые соединения, резко ухудшающие их свойства. Непредельные углеводороды значительно снижают стабильность (неизменность состава) нефтепродуктов, их присутствие нежелательно.

Определение йодного числа проводится в соответствии с ГОСТ 2070-82 «Нефтепродукты светлые. Методы определения йодных чисел и содержания непредельных углеводородов». Настоящий стандарт устанавливает два метода (А и Б) определения йодных чисел и массовой доли непредельных углеводородов в дизельных топ-

ливах и других светлых нефтепродуктах. Сущность методов заключается в обработке испытуемого нефтепродукта спиртовым раствором йода, оттитровывании свободного йода раствором тиосульфата натрия и определении йодного числа в граммах йода, присоединяющегося к 100 г нефтепродукта.

Массовую долю непредельных углеводородов определяют по йодному числу и средней молекулярной массе испытуемого нефтепродукта.

Метод А. Взвешивают в стаканчиках необходимое количество нефтепродукта с погрешностью не более 0,0004 г в зависимости от предполагаемого йодного числа. Наливают в коническую колбу вместимостью 500 см³ с притертой пробкой 15 см³ этилового спирта и опускают туда стаканчик с нефтепродуктом, слегка приоткрывая крышку стаканчика.

Из бюретки добавляют 25 см³ спиртового раствора йода, плотно закрывают колбу пробкой, предварительно смоченной раствором йодистого калия, осторожно встряхивают колбу. Прибавляют 150 см³ дистиллированной воды, быстро закрывают колбу пробкой, содержимое колбы встряхивают в течение 5 мин и оставляют в темноте еще на 5 мин. Обмывают пробку и стенки колбы небольшим количеством дистиллированной воды. Добавляют 20-25 см³ раствора йодистого калия и титруют раствором тиосульфата натрия. Когда жидкость в колбе примет светло-желтый цвет, прибавляют от 1 до 2 см³ раствора крахмала и продолжают титровать до исчезновения синевато-фиолетового окрашивания.

Йодное число (*ЙЧ*) испытуемого нефтепродукта, г йода на 100 г нефтепродукта, вычисляют по формуле

$$\text{ЙЧ} = \frac{(V - V_1) \cdot F \cdot 0,01269}{m} \cdot 100,$$

где V - объем раствора тиосульфата натрия 0,1 моль/дм³, израсходованный на титрование в контрольном опыте, см³; V_1 - объем раствора тиосульфата натрия 0,1 моль/дм³, израсходованный на титрование испытуемого нефтепродукта, см³; F - фактор раствора тиосульфата натрия 0,1 моль/дм³; 0,01269 - количество йода, эквива-

лентное 1 см^3 раствора тиосульфата натрия точно $0,1 \text{ моль/дм}^3$; m - масса испытуемого нефтепродукта, г.

Массовую долю непредельных углеводородов (X) в нефтепродукте вычисляют по формуле

$$X = \frac{ЙЧ \cdot M}{254},$$

где $ЙЧ$ - йодное число нефтепродукта, г йода на 100 г нефтепродукта; M - средняя молекулярная масса непредельных углеводородов анализируемого нефтепродукта.

Метод Б. Взвешивают необходимое количество нефтепродукта с погрешностью не более $0,0004 \text{ г}$ в зависимости от предполагаемого йодного числа. В две колбы вместимостью 500 см^3 наливают по 10 см^3 хлороформа в каждую. В одну из них помещают массу нефтепродукта. Вторая колба служит для контрольного опыта, но без нефтепродукта. В обе колбы с помощью пипетки с одинаковой скоростью по каплям добавляют по 10 см^3 раствора йода. Колбы быстро закрывают притертыми пробками, предварительно смоченными раствором йодистого калия, и осторожно встряхивают. Обе колбы оставляют в темном месте на 1 ч , после чего добавляют 20 см^3 раствора йодистого калия и 150 см^3 дистиллированной воды, обмывая пробку и стенки колбы.

Титруют раствором тиосульфата натрия $0,1 \text{ моль/дм}^3$ ($0,10 \text{ н}$). Когда растворы в колбах примут светло-желтый цвет, прибавляют от 1 до 2 см^3 раствора крахмала и титруют до исчезновения синевато-фиолетового окрашивания.

Определение йодного числа и содержание непредельных углеводородов проводят аналогично методу А.

Содержание фактических смол

В составе топливных смол входит значительное количество кислородных, сернистых и азотистых соединений.

В смолы переходит сера даже из малосернистых нефтепродуктов, а азот - из сернистых, в которых содержание азотистых соединений невелико. Так, при длительном хранении дизельных топлив, содержащих $0,89$ и $0,37 \%$ серы, в выпавших из углеводородного раствора смолах обнаружено соответственно серы $4,87$ и $4,08 \%$.

Топливные смолы представляют собой полициклические гетероатомные высокомолекулярные соединения. Следует различать смолы, сохраняющиеся в топливе в виде истинного раствора и уплотненные настолько, что образуют выпадающую из раствора вторую фазу.

Исследованиями установлено, что наибольшую склонность к смолообразованию проявляют ароматические углеводороды. В дизельных топливах при температуре окружающей среды процесс накопления кислородных соединений и смол на некотором этапе приостанавливался за счет ингибирующего влияния части образовавшихся соединений.

Общее количество выделяемых из дизельных топлив смол колеблется в пределах 0,75-3,3 %. Менее 1 % содержится в прямогонных несернистых дизельных топливах, а наибольшее 3,3 % - в топливе, полученном гидрированием каменноугольной смолы.

Превышение нормативного количества смол приводит к увеличению отложений в топливной системе и камере сгорания, образование осадков на фильтре, в трубопроводах в топливном баке, снижению надежности двигателя.

Определение смол проводят по ГОСТ 8489-85 "Топливо моторное. Метод определения фактических смол (по Бударову)". Настоящий стандарт устанавливает метод определения фактических смол в моторном топливе (керосине, дизельном топливе).

Метод заключается в выпаривании испытуемого топлива под струёй водяного пара в условиях испытания и служит для условной оценки склонности топлива к смолообразованию при его применении в двигателе.

В стаканы для воды наливают с помощью измерительного цилиндра 60 см³ дистиллированную воду.

В зависимости от температуры конца кипения измерительным цилиндром или пипеткой отмеряют в два стакана по 10 см³ дизельного топлива.

Стаканы с топливом помещают в гнезда прибора (рис. 60), нагретого до заданной температуры. Гнезда осторожно и плотно закрывают крышками так, чтобы ниппели вошли в каналы на крышке,

а шлифованные плоскости крышек и карманов герметически соприкасались, не пропуская шаров и топлива.



Рис. 60 - Приборы определения содержания смол:
а - ПОС-77; б - ПОС-В

Немедленно после этой операции два стакана с водой ставят в гнезда и также плотно закрывают крышками. Спустя 60 мин после того, как были поставлены стаканы с водой, открывают крышки гнезд и через 2 мин щипцами вынимают стаканы из гнезд.

Стаканы со смолами помещают в эксикатор, охлаждают 40 мин и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г.

Концентрацию фактических смол (X) в миллиграммах на 100 см³ топлива в каждом стакане вычисляют по формуле

$$X = \frac{(m_1 - m_2)}{V} \cdot 100,$$

где m_1 - масса чистого сухого стакана, мг; m_2 - масса стакана со смолами, мг; V - объем топлива, налитого в стакан для испытания, см³.

Содержание воды

Присутствие в дизельном топливе свободной воды даже в небольших количествах ведет к неравномерному его распылению, изменяет поверхностное натяжение капель топлива, что вызывает значительное увеличение их размеров. Присутствие воды отрицательно влияет на процесс испарения топлива в камере сгорания, снижая температуру и уменьшая давление паров топлива.

Вода в дизельном топливе способствует образованию шламов, которые приводят к засорению топливопроводов и фильтров, за-

трудняют запуск двигателя, нарушают подачу в него топлива и заклинивают плунжеры топливного насоса высокого давления. В зимнее время в результате образования кристаллов льда в топливе может прекратиться его подача в двигатель. Присутствие воды резко снижает смазывающие свойства топлива по отношению к прецизионным парам, что повышает их износ. Работа на обводненном топливе может вызвать коррозию топливной аппаратуры, так как если в топливе имеется вода, то содержащиеся в нем активные в коррозионном отношении вещества (кислоты, щелочи, сернистые соединения, перекиси) диссоциируют в водном растворе, образуя электролиты, вызывающие электрохимическую коррозию. Особенно интенсивно протекает процесс электрохимической коррозии в тех случаях, когда обводненное дизельное топливо контактирует с различными металлами, имеющими разный электрохимический потенциал.

При работе на обводненном топливе может снизиться прочность фильтрующих перегородок и произойти их разрушение. Присутствие воды в дизельном топливе способствует его микробиологическому загрязнению. Помимо увеличения общего количества загрязнений за счет образования в топливе биологической массы и его потерь за счет частичного загрязнения, интенсивный рост микроорганизмов вызывает также ухудшение эксплуатационных свойств топлива, влияющих, в свою очередь, на работоспособность двигателя. Исследование влияния микроорганизмов на свойства дизельного топлива показало, что при воздействии микроорганизмов существенно увеличивается кислотность дизельного топлива, содержание в нем смол, йодное число, вязкость, снижаются термическая стабильность и испаряемость. Микробиологическое поражение дизельного топлива повышает его коррозионную активность по отношению к металлам, что объясняется образованием в топливе агрессивных продуктов жизнедеятельности микроорганизмов (аммиак, сероводород, муравьиная и уксусная кислоты), а также повышением концентрации кислорода на тех участках металлической поверхности, где образовались колонии микроорганизмов.

Содержание воды определяется по ГОСТ 2477-2014 Нефть и нефтепродукты. Метод определения содержания воды. Сущность

метода - испытуемый продукт нагревают в колбе с обратным холодильником в присутствии не смешивающегося с водой растворителя, который перегоняется вместе с водой, находящейся в образце. Конденсированный растворитель и вода постоянно разделяются в ловушке, причем вода остается в градуированном отсеке ловушки, а растворитель возвращается в дистилляционный сосуд. Методика аналогична определению воды в бензине.

Содержание механических примесей и массовой доли примесей

Механические примеси, содержащиеся в дизельном топливе, существенно снижают надежность работы агрегатов топливной аппаратуры и двигателя в целом. Размеры частиц, состав и количество примесей могут быть различными. Наиболее вредны кварциты и глиноземы, так как они обладают высокой твердостью и вызывают абразивный износ деталей системы питания двигателей. Прецизионные пары топливных насосов имеют зазоры 1,5 - 3,0 мкм, поэтому даже небольшое количество примесей, проходящих с топливом, вызывает повышенный износ плунжерных пар. В результате снижается цикловой заряд топлива, топливо подтекает, ухудшается качество распыла, нарушается регулировка топливного насоса, появляются перебои в работе двигателя. Механические примеси засоряют также топливные фильтры, затрудняя подачу топлива.

Определение содержания механических примесей регламентируется ГОСТ 10577-78 "Нефтепродукты. Методы определения содержания механических примесей", ГОСТ 6370-83 (СТ СЭВ 2876-81) "Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей". Сущность метода заключается в определении массы механических примесей, задерживаемых мембранными фильтрами при фильтровании через них испытуемого нефтепродукта. Метод не применяют для анализа нефтепродуктов, содержащих более 0,1 % нерастворенной воды. Методика определения аналогично определению механических примесей в бензине.

Смазывающая способность

Смазывающая способность дизельного топлива - показатель, оценивающий изнашивание трущихся пар топливной системы, рабо-

тающих в среде данного топлива. Интенсивность изнашивания зависит от наличия и свойств смазочной пленки на поверхности металла, образованной полярными гетероатомными соединениями топлива. Гидроочищенные низкосернистые дизельные топлива содержат относительно стабильные сернистые соединения, которые не обладают достаточной адсорбционной и хемосорбционной активностью для образования смазочной пленки. Поэтому снижение содержания серы в дизельном топливе - определяющий фактор в ухудшении его смазывающей способности.

Смазывающая способность дизельного топлива зависит не только от содержания серы, но и от содержания ароматических углеводов, фракционного состава и вязкости.

ГОСТ Р ИСО 12156-1-2006 "Топливо дизельное. Определение смазывающей способности на аппарате HFRR. Часть 1. Метод испытаний", ГОСТ ISO 12156-1-2012 "Топливо дизельное. Определение смазывающей способности на аппарате HFRR. Часть 1. Метод испытаний". Сущность метода: образец испытуемого топлива помещают в емкость, в которой поддерживается заданная температура. Металлический шарик прочно закрепляют в вертикально расположенном держателе и прижимают с приложением нагрузки к горизонтально укрепленной металлической пластине. Шарик совершает возвратно-поступательные движения с определенной частотой и длиной хода. При этом поверхность шарика, вступающая в контакт с пластиной, полностью погружена в топливо. Металлические свойства шарика, пластины, температура, нагрузка, прилагаемая к шарiku; частота и длина хода шарика точно заданы.

Для корректировки размера пятна износа, полученного на испытуемом шарике, к стандартному набору условий испытания в процессе испытания учитывают условия окружающей среды. Полученный в результате испытаний диаметр пятна износа является мерой смазывающей способности жидкости.

С помощью пинцета металлическую пластину (блестящей поверхностью вверх) помещают в емкость для испытуемого образца топлива. Пластины закрепляют в емкости, а емкость - в аппарате (рис. 61).

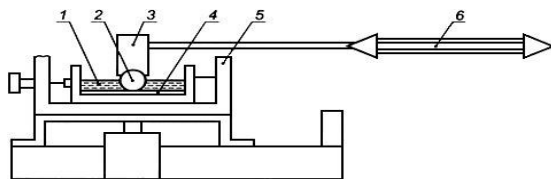


Рис. 61 - Схема аппарата HFRR:

1 - резервуар для топлива; 2 - металлический шарик; 3 - нагрузка; 4 - металлическая пластина; 5 - нагревательный элемент; 6 - направление возвратно-поступательного движения

Стальной шарик закрепляют в держателе, а держатель присоединяют к концу рычага вибратора. Измеряют температуру и относительную влажность окружающего воздуха на расстоянии от 0,1 до 0,25 м от емкости с образцом для испытания. С помощью одноразовой пипетки помещают в емкость 2 см³ испытуемого топлива. Опускают рычаг и подвешивают к нему груз массой 200 г. Устанавливают регулятор температуры - 60±2 °С, длину хода - 1±0,02 мм и частоту колебаний 50±1 Гц. Продолжительность испытания - 75 мин. После окончания испытания отключают вибратор и нагреватель и удаляют прикрепленный груз. Поднимают рычаг и освобождают держатель шарика. Измеряют температуру и относительную влажность на расстоянии от 0,1 до 0,5 м от емкости с образцом топлива.

Держатель шарика перемещают в стакан со свежим ацетоном и на 30 с помещают в ультразвуковую очистительную ванну. После высыхания держателя и шарика на воздухе пятно износа обводят специальным маркером.

Металлический шарик, находящийся в держателе, помещают под микроскоп с 100-кратным увеличением и измеряют диаметр пятна износа (рис. 62).

Некорректированный средний диаметр пятна износа MWSD, мкм, рассчитывают по формуле

$$MWSD = \frac{x + y}{2},$$

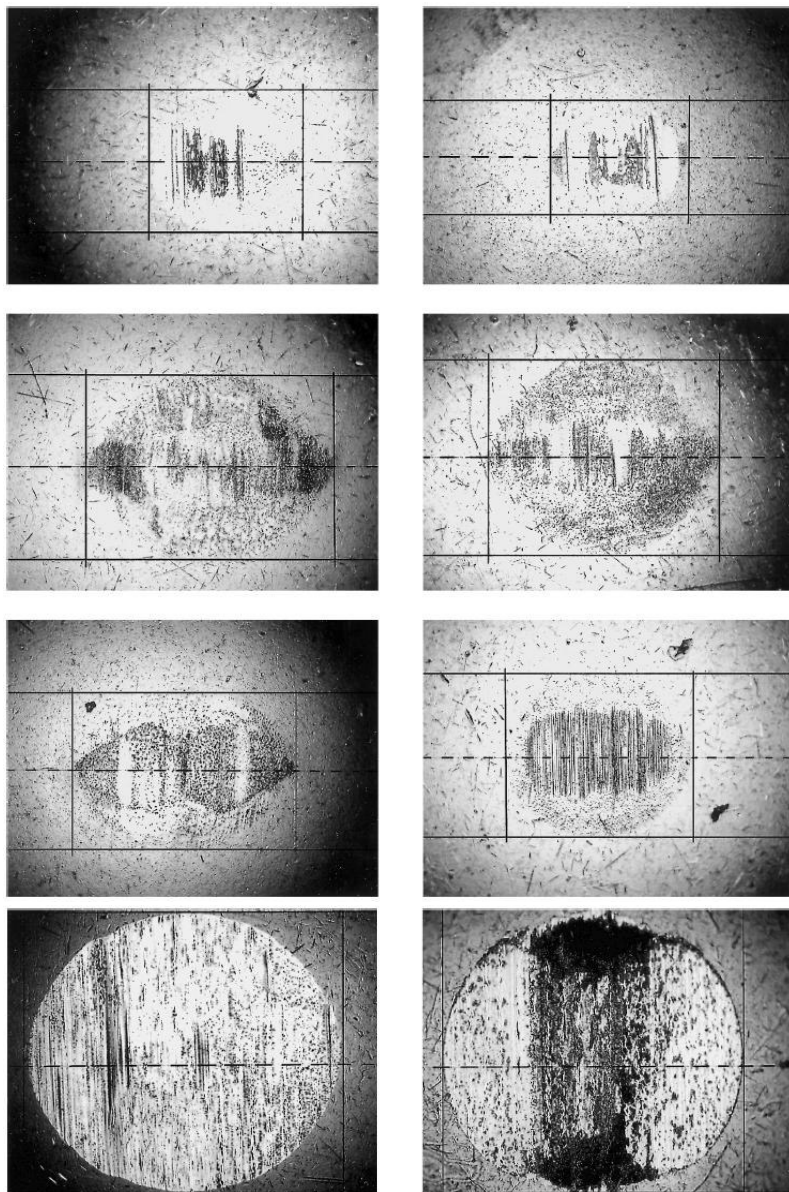


Рис. 62 - Различные формы пятна износа

где x - размер пятна износа, перпендикулярный к направлению возвратно-поступательного движения, мкм; y - размер пятна износа, параллельный направлению возвратно-поступательного движения, мкм.

Исходное абсолютное давление насыщенных паров в момент начала испытания AVP_1 , кПа, рассчитывают по формуле

$$AVP_1 = \frac{RH_1 \cdot 10^v}{750},$$

где RH_1 - относительная влажность в момент начала испытания, %;

$$v_1 = 8,017352 - \frac{1705,984}{231,864 + T_1},$$

где T_1 - температура окружающего воздуха в момент начала испытания, °С.

Абсолютное давление насыщенных паров в конце испытания AVP_2 , кПа, рассчитывают по формуле

$$AVP_2 = \frac{RH_2 \cdot 10^v}{750},$$

где RH_2 - относительная влажность в конце испытания, %;

$$v_1 = 8,017352 - \frac{1705,984}{231,864 + T_2},$$

где T_2 - температура окружающего воздуха в конце испытания, °С.

Среднее значение абсолютного давления AVP , кПа, рассчитывают по формуле

$$AVP = \frac{AVP_1 + AVP_2}{2},$$

Скорректированный диаметр пятна износа $WSI_{1,4}$, мкм, рассчитывают по формуле

$$WSI_{1,4} = MWASD + HCF(1,4 - AVP),$$

где HCF - поправочный коэффициент влажности. Для неизвестного топлива $HCF=60$.

2.4.3 Методы испытаний альтернативных топлив

В США, Европе, Южной Африке и Бразилии биодизельное топливо широко используется, на него введены стандартные спецификации и приняты стандартные методы испытаний. Технические требования к чистому биодизелю в США устанавливаются стандартом ASTM D6751, а в Европе – EN14214. Эквивалент последнего в версии от 2003 года с небольшими редакционными изменениями – наш ГОСТ Р 53605-2009 (ЕН 14214:2003) "Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Общие технические требования".

Методы испытаний биодизеля включают как традиционные методы испытания "классических" дизельных топлив (определение плотности, предельной фильтруемости, вязкости, температуры вспышки, содержания воды, коксового остатка), так и методы, специфичные для собственно метиловых эфиров жирных кислот (FAME). Специфичность этих методов определяется как химической природой FAME, так и факторами, связанными с их производством. Особенности, связанные с технологией производства FAME, т.е., по сути, с чистотой получаемого продукта. Как следует из химизма синтеза FAME, выход чистого продукта зависит от того, насколько полно прошла реакция переэтерификации и насколько хорошо очистили полученную смесь монометиловых эфиров от исходных веществ, продуктов реакции и катализатора. Можно эти факторы сформулировать так:

- полнота превращения триглицеридов в монометиловые эфиры;
- полнота удаления свободного глицерина, выделившегося при реакции переэтерификации;
- полнота удаления остатков катализатора;
- полнота удаления метанола, использовавшегося в качестве реагента;
- отсутствие свободных жирных кислот;

- присутствие значительной доли алкильных групп, содержащих ненасыщенные атомы углерода. Следствие этого – повышенная окисляемость;

- более легкая термическая разлагаемость FAME по сравнению с углеводородами нефтяного топлива;

- высокое содержание кислорода, что ведет к образованию окислов азота при сгорании и негативно влияет на работу двигателя;

- присутствие в химически связанной форме кальция, магния и фосфора, что может приводить к отложениям на деталях двигателя при сгорании;

- возможность размножения микробов, питающихся FAME, особенно в присутствии воды.

Обе эти группы факторов нашли отражение в стандартных спецификациях на чистый биодизель, принятых в США и Европе. В США такой спецификацией является ASTM D6751, а в странах Евросоюза – EN 1421. Эквивалент – наш ГОСТ Р 53605-2009. Рассмотрим показатели, которые требуется контролировать в обеих спецификациях, и методы их определения.

Содержание глицерина, как свободного (неудаленного), так и общего (в составе непрореагировавших глицеридов) – важнейший показатель качества FAME. Его контролируют методом газовой хроматографии по ASTM D6584 в американской спецификации и по EN 14105, эквивалент которого – ГОСТ Р EN 14105. Низкий уровень общего глицерина свидетельствует о высокой глубине превращения масел или жиров в их моноалкиловые эфиры. Высокое содержание общего глицерина говорит о неполном превращении жиров в эфиры. Присутствие свободного глицерина вызывает закупоривание фильтров. Свободный глицерин также может накапливаться на дне топливозхранилищ и топливных систем.

Содержание моно-, ди- и триглицеридов можно охарактеризовать как суммарно, по брутто-содержанию общего глицерида, так и отдельно. Их определяют методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой с фенилполидиметилсилоксаном в качестве неподвижной фазы (ASTM D6584, EN 14105, ГОСТ EN 14105). Остатки плохо сгорающих жи-

ров в топливе могут быть источником серьезных проблем для двигателя. Высокие уровни моноглицеридов, диглицеридов и триглицеридов вызывают образование отложений в форсунках, отрицательно влияют на работу двигателя в холодных условиях и закупоривают фильтры.

В спецификации ASTM D6751 определяют сумму моно-, ди- и триглицеридов, в европейской спецификации EN 14214 эти три компонента определяют отдельно. В EN 14214 определяют хроматографически также содержание полиненасыщенных (число двойных связей более 4 эфиров, которые особенно склонны к окислению и полимеризации. Их содержание ограничивают 1 % мас.

Полноту удаления катализатора, которым служит обычно гидроксид натрия или калия, определяют по содержанию калия и натрия. Для этого как в США, так и в Европе используют метод EN 14538 – атомно-эмиссионную спектрометрию с индуктивно-связанной плазмой. Российский эквивалент этого метода – ГОСТ Р ЕН 14538. Этим же методом определяют содержание кальция и магния, которые могут присутствовать в исходных жирах.

Другой показатель, учитывающий суммарное содержание калия, натрия, кальция и магния – сульфатная зола. Ее определяют по ASTM D 874 в американской спецификации и по ISO 3987 – в европейской (ГОСТ 12417-94 (ИСО 3987-80)). Образец сжигают, удаляют оставшийся углерод, обрабатывают золу серной кислотой и прокаливают до постоянного веса. Изначально эти методы предназначены для определения содержания металлов и присадок в смазочных маслах, однако в применении к биодизелю они хорошо подходят для оценки общего содержания металлов, которые могут образовывать отложения на инжекторах и деталях двигателя.

Полноту удаления метанола контролируют хроматографически по EN 14110 в обеих спецификациях, однако в американской спецификации в качестве дополнительного показателя используют температуру вспышки в закрытом тигле (ASTM D93), которая должна быть не ниже 130 °С.

Содержание свободных жирных кислот оценивают по значению кислотного числа. Его определяют потенциометрическим тит-

рованием по ASTM D664 или титрованием с цветным индикатором по EN 14104.

Кислотное число показывает уровень содержания свободных жирных кислот, а также побочных продуктов разложения, которые отсутствуют в нефтяном дизельном топливе.

Коррозия медной пластины – дополнительный показатель содержания свободных жирных кислот.

Кроме этого, он служит для оценки воздействия на медные и латунные детали топливной системы. В Европе основным источником биодизеля – рапсовое масло, содержащее большое количество связанной линолевой кислоты, которая имеет алкеновые группы и легко подвержена окислению. Поэтому спецификация EN 14214 ограничивает содержание производных линолевой кислоты в биодизеле.

Метиллинолеат определяют методом газовой хроматографии согласно EN 14103.

Сера – источник проблем для двигателей и окружающей среды. В растительных маслах ее обычно мало, менее 15 мг/кг (хотя иногда она может присутствовать в больших количествах в животных жирах). В спецификациях ASTM D 6751 и EN 14214 серу следует определять методом ультрафиолетовой флуоресценции по ASTM D 5453 или EN ISO 20846 (ГОСТ Р EN ISO 20846). В спецификации EN 14214:2009 (и, соответственно, в ГОСТ Р 53605-2009) допускается также использовать метод рентгенофлуоресцентной спектроскопии с дисперсией по длине волны EN 20884.

Содержание воды в биодизеле нужно обязательно контролировать. Вода может быть как источником коррозии, так и средой для размножения бактерий. По спецификации EN 14214 воду следует определять кулонометрическим титрованием по Карлу Фишеру EN ISO 12937, в то время как американская спецификация ASTM D6751 предписывает применять более грубый метод центрифугирования ASTM D2709, в котором одновременно определяют и содержание осадка. В последнем случае результат анализа – суммарное объемное содержание воды и осадка.

В EN 14214 *массовую долю осадка* (механических примесей) определяют отдельно вакуумным фильтрованием через фильтр 0,7

мкм по методу EN 12662, который изначально предназначен для анализа средних нефтяных дистиллятов.

Фосфор содержится в природе во всех растениях. Присутствуя в топливе, он может отравлять катализаторы нейтрализации выхлопных газов, поэтому его содержание должно быть ограничено. Фосфор определяют по ASTM D4951 либо по EN 14107 методом атомно-эмиссионной спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой.

Поскольку молекулярные массы эфиров жирных кислот с линейными цепями 16-18 атомов углерода, из которых в основном и состоит биодизель, близки, то его *фракционный состав* характеризуется не кривой дистилляции, как у нефтяных топлив, а узким диапазоном температур кипения от 330 до 357 °С в атмосферном эквиваленте.

В спецификации ASTM D6751 контролируют температуру 90 % отгона методом дистилляции при пониженном давлении по ASTM D1160. Этот показатель включен, чтобы иметь гарантию от того, что топливо не загрязнено более высококипящими компонентами. В европейской спецификации EN 14214 контроль фракционного состава не предусмотрен.

Один из ключевых показателей качества биодизеля – его *окислительная стабильность*. Продуктами превращения биодизеля могут быть кислоты или полимеры, которые вызывают образование отложений в топливной системе и закупоривают фильтры. Для замедления реакций окисления в биодизель добавляют присадки, препятствующие образованию перекисей. Окислительную стабильность биодизеля определяют методом, ведущим начало от метода Американского общества химиков масложировой промышленности AOCS Cd12b-92. На его основе был разработан сначала метод EN 14112, а затем его модификация под обозначением EN 15751. Через нагретую пробу барботируют воздух, продукты окисления улавливают дистиллированной водой. Измеряют электропроводность принимающей воды. Резкое возрастание электропроводности свидетельствует о начале образования карбоксильных кислот. Время начала образова-

ния кислот называется индукционным периодом: чем он больше, тем стабильнее продукт.

Коксовый остаток – показатель склонности топлива к образованию углеродистых отложений. Его определяют по микрометоду согласно ASTM D4530 в американской спецификации и EN ISO 10370 – в европейской. По существу, это один и тот же метод, заключающийся в прокаливании навески топлива при 500°C в токе азота и определении массы остатка. Для нефтяных дизельных топлив коксовый остаток обычно определяют на 10 %-ном остатке от перегонки для увеличения выхода. Поскольку интервал кипения биодизеля узок, добиться получения 10 %-ного остатка довольно трудно. По требованиям американской спецификации ASTM D 6751 коксовый остаток определяют на 100 %-ном образце. В европейском варианте используют 10 %-ный остаток от перегонки при пониженном давлении (ASTM D1160).

Плотность биодизеля. Ее значения всегда лежат между 0,86 и 0,90 г/дм³. Типичны величины 0,88– 0,90 г/дм³, поэтому плотность как средство контроля качества биодизеля не столь полезна, как для нефтяного топлива. В американской спецификации ASTM D 6751 ее не оценивают. В EN 14214 плотность предписано измерять ареометром согласно EN ISO 3675 либо с помощью автоматического денсиметра согласно EN ISO 12185.

Смазывающую способность биодизеля, в отличие от нефтяного топлива, не оценивают, поскольку она всегда значительно выше, чем у нефтяного топлива. Добавление биодизеля в нефтяное топливо улучшает его смазывающую способность. Ароматические соединения в биодизеле также не определяют ввиду их полного отсутствия.

Йодное число определяют только в европейской спецификации по EN 14111 как меру брутто-содержания ненасыщенных соединений.

Температура вспышки биодизеля напрямую не связана с характеристиками работы двигателя и служит мерой его пожароопасности. В ASTM D6751 ее определяют стандартным методом закрытого тигля Пенски-Мартенса ASTM D93, в EN 14214 – ускоренным методом на образце 2 мл.

Требования к *вязкости* различаются в ASTM D6751 и EN 14214. Американская спецификация допускает более широкие пределы вязкости биодизеля. Слишком низкая вязкость приводит к потере мощности и утечкам из инжекторов. При слишком высокой вязкости инжекторные насосы могут не справляться с перекачиванием топлива, поэтому верхнее значение кинематической вязкости должно быть не более 6 сСт при 40 °С. Измеряют кинематическую вязкость помощью капиллярных стеклянных вискозиметров в обоих случаях.

Один из важнейших показателей топлива для дизельных двигателей – *цетановое число* – у чистого биодизеля обычно имеет высокие значения, больше, чем требуют спецификации. Его определяют моторным методом (ASTM D613, EN ISO 5165). Расчетный метод цетанового индекса, используемый для нефтяных топлив, для биодизеля неприменим.

Низкотемпературные свойства определяют возможность использования топлива в условиях холодного климата. В США показателем холодного поведения служит *температура помутнения*, определяемая по ASTM D2500. Температура помутнения чистого биодизеля обычно выше, чем у нефтяного топлива. В спецификации ее не ограничивают, она имеет значение при приготовлении топливных смесей для оценки их низкотемпературного поведения.

Применяется также дополнительный *показатель фильтруемости* после выдержки при пониженных температурах.

В европейской спецификации для оценки низкотемпературного поведения используют *температуру предельной фильтруемости*, которую определяют методом EN 116. Максимальные значения этого показателя увязаны с сезонно-географическими требованиями использования топлив. Анализ спецификаций на биодизель, определяемых спецификациями США и стран Евросоюза, показывает, что требования к биодизелю частично унифицированы, но, тем не менее, заметно различаются.

Так, спецификация США ASTM D6751 предписывает определять фракционный состав биодизеля, но не требует определения плотности. Европейская норма EN 14214 содержит отдельные

ограничения содержания моно-, ди-, триглицеридов, а также полиненасыщенных соединений. По-разному определяют содержание воды и механических примесей. Есть различия в подходах к определению и других показателей. Предельные значения контролируемых параметров не совпадают. Возможно, тенденцией ближайшего будущего будет углубление унификации спецификаций на биодизель США и Европы.

В России получило развитие направление спиртового биотоплива, которое не является биодизелем в прямом понимании этого термина. В настоящее время действуют следующие нормативные документы, которые предусматривают использование этанола в качестве компонента автомобильного бензина:

- ГОСТ Р 51866-2002 (ЕН 228-99) «Топлива моторные. Бензин неэтилированный. Технические условия». Дата введения с 01.07.2002 года. Марки бензина: Премиум Евро-95, Супер Евро-98, Регуляр Евро-92. Объемная доля этанола не более 5 % ;

- ГОСТ Р 52201-2004 «Топливо моторное этанольное для автомобильных двигателей с принудительным зажиганием. Бензолы. Общие технические требования». Дата введения с 01.07.2004 года. Марки бензолов: БИ 80, БИ 92, БИ 95, БИ 98. Объемная доля этанола 5,0 - 10,0%;

- ТУ 38.401-58-330-2003 «Бензол. Этанольное моторное топливо для двигателей внутреннего сгорания с принудительным зажиганием. Технические условия». Дата введения с 11.08.2003 года. Марки бензола БИ-82, БИ-93, БИ-96. Объемная доля этанола 5,0 - 10,0 %;

- ТУ 0251-346-11605031-2004 «Бензол. Этанольное моторное топливо для двигателей с электронной системой управления». Дата введения с 05.09.2004 года. Марки бензола — Премиум-БИ-95, Супер-БИ-98. Объемная доля этанола 5,0 - 10,0 %;

- ТУ 38.401-58-244-2005 «Бензины автомобильные неэтилированные, содержащие этанол». Дата введения с 10.10.2005 года. Марки АИ-80Э, АИ-92Э, АИ-95Э, АИ-98Э. Объемная доля этанола до 5 %;

Таблица 21

**Требования к метиловым эфирам жирных кислот (FAME)
ГОСТ Р 53605-2009 (ЕН 14214:2003)**

Наименование показателя	Значение показателя		Метод испытания
	мин.	макс.	
1 Массовая доля эфиров, %	96,5	-	ГОСТ Р ЕН 14103-2008
2 Плотность при 15 °С, кг/м ³	860	900	ГОСТ Р ИСО 3675
3 Вязкость кинематическая при 40 °С, мм ² /с	3,5	5,0	ГОСТ Р ЕН 14104-2009
4 Температура вспышки в закрытом тигле, °С	120	-	ГОСТ Р ЕН 14106-2009
5 Содержание серы, мг/кг	-	10	ГОСТ Р ЕН ИСО 20846 ГОСТ Р 52660
6 Коксуемость (10% остатка после разгонки), % масс.	-	0,30	ГОСТ Р ЕН 14107-2009
7 Цетановое число	51,0	-	ГОСТ Р ЕН 14108-2009.
8 Массовая доля сульфатной золы, %	-	0,02	ГОСТ Р ЕН 14109-2009
9 Содержание воды, мг/кг	-	500	ГОСТ Р ЕН 14538-2009
10 Содержание механических примесей, мг/кг	-	24	ГОСТ Р ИСО 3679-2010
11 Коррозия медной пластинки (3 ч при 50 °С)	Класс 1		ГОСТ Р ЕН 14110-2010.
12 Стойкость к окислению, 100 °С, ч	6,0	-	ГОСТ Р ЕН 14111-2010
13 Кислотное число, мг КОН/см ³	-	0,50	ГОСТ Р ЕН 14112-2010
14 Йодное число, г йода/100 г	-	120	ГОСТ Р ЕН 14078-2010
15 Массовая доля метилового эфира линоленовой кислоты, %	-	12,0	ГОСТ Р ЕН 14103:2003
16 Массовая доля метанола, %	-	0,20	ГОСТ Р ИСО 5508-2010
17 Массовая доля моноглицеридов, %	-	0,80	ГОСТ Р ЕН 14105:2008
18 Массовая доля диглицеридов, %	-	0,20	ГОСТ Р ЕН 14105:2008
19 Массовая доля триглицеридов, %	-	0,20	ГОСТ Р ЕН 14105:2008
20 Массовая доля свободного глицерина, %	-	0,02	ГОСТ Р ЕН 14105:2008
21 Общее содержание глицерина, % масс.	-	0,25	ГОСТ Р ЕН 14105:2008
22 Содержание, мг/кг: металлов I группы (Na+K) металлов II группы (Ca+Mg)	- -	5,0 5,0	ГОСТ Р ЕН 14109:2009
23 Содержание фосфора, мг/кг	-	10,0	ЕН 14214:2008

- ТУ 38.401-58-350-2005 «Бензины для автомобилей класса Евро-4. Дата введения с 01.06.2005г. Марки: Регуляр Евро-92/4, Премиум Евро-95/4, Супер Евро -98/4. Объемная доля этанола до 5 %.

2.5 Методы испытаний смазочных масел

2.5.1 Методы испытаний моторных масел

Выбор соответствующего сорта моторного масла и установление сроков замены в двигателе следует рассматривать в непосредственной связи с его эксплуатационными свойствами, которые делятся на следующие группы: физико-химические, вязкостные, смазывающие, противоокислительные, моющие, антикоррозионные свойства; показатели состава; свойства, характеризующие безопасность обращения, хранения и транспортировки.

Определяемые характеристики свойств моторных масел осуществляют несколькими методами испытаний, которые наиболее близко имитируют реальные условия эксплуатации масла:

- *лабораторные методы* химического и физико-химического анализа;

- *стендовые лабораторные испытания* проводят на специальных приборах и оборудовании, имитирующих условия работы агрегатов;

- *стендовые моторные испытания* проводятся на действующих (полноразмерных) агрегатах (двигатель, коробка передач и др.), установленных в лабораториях и оснащенных целым комплексом измерительных устройств;

- *дорожные испытания* проводятся при эксплуатации конкретного автомобиля или другой техники в течение определенного времени и в строго регламентированных условиях.

Комплекс квалификационных методов испытаний моторных масел включает определение следующих показателей:

- *Вязкость* - свойство жидкости оказывать сопротивление перемещению, обусловленное внутренними молекулярными взаимо-

действиями в движущейся среде (кинематическая вязкость, динамическая вязкость, условная вязкость, индекс вязкости);

- *Низкотемпературные свойства* – способность масла сохранять подвижность (текучесть) при низких температурах воздуха окружающей среды (температура помутнения; температура застывания; индекс вязкости; фильтруемость);

- *Испаряемость* – показатель, указывающий потери от испарения при работе масел (фракционный состав; температура вспышки);

- *Высокотемпературные свойства* – способность масла сохранять свои эксплуатационные свойства при повышении температуры (температура вспышки; температура самовоспламенения; стабильность к сдвигу);

- *Склонность к образованию отложений* – способность масла сохранять чистоту деталей двигателя (фактические смолы; коксуемость; зольность; зольность сульфатная; стабильность по индукционному периоду; моющие свойства; моющий потенциал; термоокислительная стабильность; щелочное число);

- *Антикоррозионные свойства* – степень коррозионного действия масел на детали двигателя (кислотное число; коррозионность; коррозионность на стальных и медных пластинках);

- *Стабильность физическая и химическая* – изменение свойств масла в результате физических и химических превращений компонентов (вязкость; количество фактических смол; механическая стабильность; термоокислительная стабильность);

- *Трибологические свойства* - комплекс показателей, характеризующих противоизносные, противозадирные и антифрикционные свойства смазочных масел (вязкость; массовая доля активных элементов; склонность к пенообразованию);

- *Совместимость* - взаимодействие масла с материалами и другими маслами (смазывающая способность; термоокислительная стабильность; воздействие на резину; воздействие на медную пластину);

Загрязненность – присутствие в масле механических примесей и воды (содержание воды и механических примесей; массовая доля механических примесей; степень чистоты; цвет).

Вязкость

Вязкость - это объемное свойство жидкого и полужидкого вещества оказывать сопротивление при течении.

Вязкость моторного масла является показателем его смазывающих свойств, от которых зависят качество смазывания, распределение масла на поверхностях трения и износ деталей. Кроме того, от вязкости зависят потери энергии на трение при работе двигателя.

Вязкость - основная характеристика масла, по величине которой частично выбирают масло для применения в конкретном случае. Вязкость зависит от химического состава масла и структуры составляющих его соединений.

Величина вязкости масла зависит также от внешних факторов - температуры, давления, скорости сдвига, поэтому рядом с численным значением вязкости всегда должны указывать условия ее определения.

Вязкость масла определяют при помощи двух основных типов вискозиметров:

- ***вискозиметры истечения*** (рис. 63), в которых измеряют *кинематическую и динамическую вязкость* по скорости свободного течения масла или под давлением. Для этой цели применяют капиллярный вискозиметр или сосуды с калиброванным отверстием на дне – *вискозиметры Энглера, Сейболта, Редвуда*. Для стандартных определений вязкости применяют капиллярные вискозиметры, которые отличаются простотой, точностью определения и различной скоростью сдвига;

- ***ротационные вискозиметры*** (рис. 64), в которых определяют *динамическую вязкость* по крутящему моменту с установленной скоростью ротора или по скорости вращения ротора при заданном крутящем моменте.

Кинематическая вязкость характеризует текучесть масла при нормальной и высокой температурах. Единицы измерения стокс или

сантистокс: $1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$ обозначают буквой η . Характеризует текучесть масел при нормальной и высокой температурах.

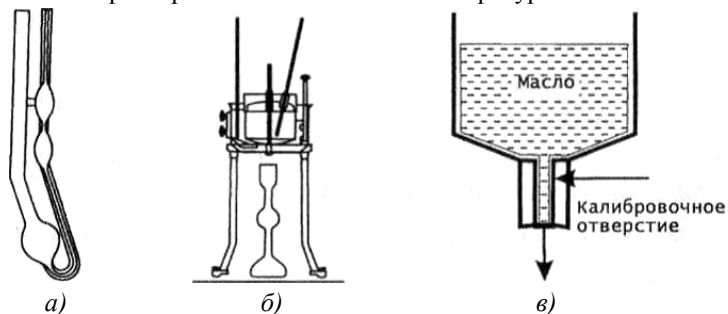


Рис. 63 - Вискозиметры истечения:

а - капиллярный стеклянный вискозиметр; б - вискозиметр

Энглера; в - схема истечения масла

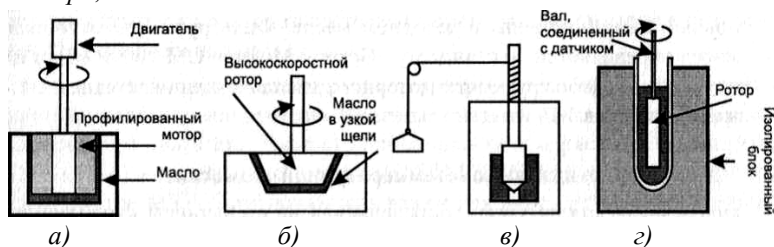


Рис. 64 - Ротационные вискозиметры:

а - имитатор запуска холодного двигателя (CCS); б - имитатор конического подшипника (TBS); в - мини-ротационный вискозиметр (MRV); г - вискозиметр Брукфильда

Динамическая вязкость характеризует текучесть масла в экстремальных условиях:

- при низкой температуре - низкотемпературная вязкость применительно к условиям запуска холодного двигателя;
- при высокой температуре при низкой и высокой скоростях сдвига.

Определяют при температуре и скоростях сдвига, близких к реальным в двигателе.

Численные значения кинематической и динамической вязкости различаются в зависимости от плотности масел. Для парафиновых масел кинематическая вязкость при температуре 20-100 °С превышает динамическую примерно на 15-23 %, а для нефтяных масел эта разница составляет 8-15 %.

Универсальная вязкость Сейболта определяется по стандарту ASTM D 88, выражается в универсальных секундах Сейболта SUS (Saybolt Universal Seconds). Этот метод определения кинематической вязкости более широко применяется в США, а в Европе чаще пользуются секундами Редвуда и градусами Энглера. Градус Энглера - это число, показывающее во сколько раз вязкость масла превышает вязкость воды при 20 °С, или время вытекания воды.

Характеристики низкотемпературной вязкости:

- максимальная низкотемпературная вязкость, обеспечивающая *запуск холодного двигателя*; определяется при помощи имитатора запуска холодного двигателя CCS (ASTM D 5293) (рис. 64 а);

- максимальная низкотемпературная вязкость, обеспечивающая *прокачивание масла в двигателе*; определяется при помощи мини-ротационного вискозиметра MRV по методике ASTM D 4684 (рис. 64 в);

- граничная (предельная) температура прокачивания по ASTM D 3829 и вязкость *при низкой температуре и низкой скорости сдвига*, так называемая тенденция к желеобразованию или индекс желирования. Определяется на сканирующем вискозиметре Брукфильда по методике ASTM D5133 (рис. 64 г);

- *фильтруемость* моторных масел при низкой температуре показывает тенденцию образования твердых парафинов или других частиц, приводящих к закупориванию масляного фильтра. На фильтруемость масел определяется по стандарту "General Motors" GM 9099P "Тест на определение фильтруемое моторного масла" и оценивается как снижение потока в процентах.

Характеристики высокотемпературной вязкости:

- *кинематическая вязкость*, определяемая на стеклянном капиллярном вискозиметре при 40 °С, 100 °С и низкой скорости сдвига (ASTM D 445; ГОСТ 33);

- *вязкость при высокой температуре и высокой скорости сдвига HTHS*, определяемая при 150 °С и скорости сдвига. Определяется с помощью имитатора конического подшипника TBS (рис. 63 б) по методике ASTM D 4683, или на вискозиметре Равенфильда, или конической пробке TBP по методике CEC L-36-A-90 или ASTM D 4741;

- *стабильность к сдвигу* - способность масла сохранять стабильную вязкость при продолжительном воздействии высокой деформации сдвига.

Определяется: в Европе с помощью насос-форсунки Бош, через которую 30 раз пропускают нагретое до 100 °С масло и измеряется снижение вязкости (CEC L-14-A-88); в Америке - ASTM D 6278, или на стендовом бензиновом двигателе CRC L-38 после 10 часовой работы по изменению вязкости масла (ASTM D 5119).

Вискозиметр Брукфильда (рис. 64 г) - это прибор для определения низкотемпературной вязкости при низкой скорости сдвига. Снабжен комплектом роторов разной величины и формы. Скорость можно менять ступенчато в широких пределах. Во время измерения скорость поддерживается постоянной.

Крутящий момент является мерой кажущейся вязкости. Расстояние между статором и ротором сравнительно большое, поэтому считается, что скорость сдвига низка и стенки сосуда вискозиметра не влияют на величину вязкости, которая в этом случае рассчитывается по силе внутреннего трения масла и называется *вязкостью по Брукфильду* (в Па·с), или *кажущейся вязкостью*.

Низкотемпературная вязкость запуска двигателя является показателем способности масла течь и смазывать узлы трения в холодном двигателе.

Определяется при помощи имитатора запуска холодного двигателя CCS (ASTM D 5293) (рис. 64 а), который является ротационным вискозиметром с малым расстоянием между профилированным ротором и прилегающим к нему статором. Таким образом имитируются зазоры в подшипниках двигателя.

Специальным двигателем поддерживается постоянный крутящий момент при заданных температурах, а скорость вращения яв-

ляется мерой вязкости. Вискозиметр калибруется с применением эталонного масла. Применяется для определения вязкости холодного запуска в сантипуазах (сП) при разных

Вязкостные свойства заданных температурах, соответствен-но с предполагаемой степенью вязкости SAE для моторного масла.

Вязкость прокачивания является мерой способности масла течь и создавать необходимое давление в системе смазки в начальной стадии работы холодного двигателя. Вязкость прокачивания измеряется в сантипуазах (сП = мПа·с) и определяется согласно ASTM D 4684 на мини-ротационном вискозиметре MRV. Этот показатель важен для масел, способных желировать при медленном охлаждении. Таким свойством чаще всего обладают всепогодные минеральные моторные масла. При испытании определяется либо напряжение сдвига, необходимое для разрушения желе, либо вязкость при отсутствии напряжения сдвига. Вязкость прокачивания определяется при разных температурах. Прокачивание обеспечивается только для масел с вязкостью не более 60 000 мПа·с. Наименьшая температура, при которой масло может прокачиваться, называется нижней температурой прокачивания, а ее значение близко к наименьшей температуре эксплуатации.

Температурная зависимость вязкости при низкой температуре и низком напряжении сдвига определяется по методике ASTM D 5133 при помощи сканирующего вискозиметра Брукфильда. Этот показатель необходим для оценки способности масла поступать в систему смазки и к узлам трения в холодном двигателе после его длительного пребывания при низкой температуре. Перед измерением масло должно пройти определенный цикл охлаждения, как и при определении равновесной температуры застывания.

Испытание занимает много времени и применяется в основном при разработке новых рецептур масел.

Вязкость моторных масел определяется в соответствии с ГОСТ 33768-2015 "Метод определения кинематической вязкости и расчет динамической вязкости прозрачных и непрозрачных жидкостей", ГОСТ 33-2016 "Нефть и нефтепродукты. Прозрачные и непрозрачные жидкости. Определение кинематической и динамической

вязкости". Настоящий стандарт устанавливает метод определения кинематической вязкости нефти и жидких нефтепродуктов, прозрачных и непрозрачных жидкостей измерением времени истечения определенного объема жидкости под действием силы тяжести через калиброванный стеклянный капиллярный вискозиметр.

Динамическую вязкость η вычисляют как произведение кинематической вязкости жидкости на ее плотность ρ .

Сущность метода заключается в измерении калиброванным стеклянным вискозиметром времени истечения в секундах определенного объема испытуемой жидкости под влиянием силы тяжести при известной и постоянно контролируемой температуре. Кинематическая вязкость является произведением измеренного времени истечения на постоянную вискозиметра. Методика определения вязкости аналогична определению вязкости дизельных топлив (п. 2.4.2), за исключением температуры - +100 °С.

Кинематическую вязкость ν , мм²/с, рассчитывают по формуле

$$\nu = C \cdot t,$$

где C - постоянная вискозиметра, мм²/с²; t - среднеарифметическое значение времени истечения, с.

Динамическую вязкость η , мПа·с рассчитывают на основе кинематической вязкости по формуле:

$$\eta = \nu \cdot \rho \cdot 10^{-3},$$

где ν - кинематическая вязкость, мм²/с; ρ - плотность при той же температуре, при которой определялась кинематическая вязкость, кг/м³.

ГОСТ Р 52257-2004 "Масла моторные. Метод определения предела текучести и кажущейся вязкости при низкой температуре". Настоящий стандарт устанавливает метод измерения предела текучести и вязкости моторных масел, охлаждаемых в течение 45 ч с установленной скоростью до конечной температуры испытания от минус 10 °С до минус 40 °С. Вязкость измеряют при напряжении сдвига 525 Па и скорости сдвига от 0,4 до 15 с⁻¹. Сущность метода заключается в выдерживании образца моторного масла при температуре 80 °С и последующем охлаждении с запрограммированной скоростью до конечной температуры испытания.

Для измерения предела текучести на валу ротора создают небольшой крутящий момент (рис. 65). Крутящий момент большего значения используют для определения кажущейся вязкости образца.

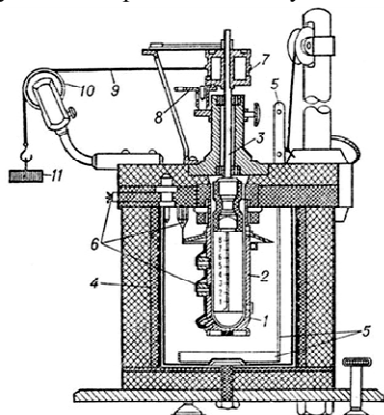


Рис. 65 - Ротационный вискозиметр РВ-7 (с заданным крутящимся моментом):

1 - внутренний вращающийся цилиндр; 2 - внешний неподвижный цилиндр; 3 - ось вращающейся системы; 4 - термостат; 5 - мешалка термостата; 6 - терморезисторы; 7 - шкив; 8 - тормоз; 9 - нить; 10 - блок; 11 - груз, вращающийся шкив. Скорость вращения шкива определяют по скорости опускания груза

В ячейку заливают $(10 \pm 1,0)$ см³ образца масла. Нагревают образцы масла до $80 \text{ }^\circ\text{C} \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ и выдерживают при этой температуре в течение 2 ч. По окончании выдержки начинают цикл охлаждения образцов в соответствии с таблицей 22.

Определение предела текучести

Совмещают опору шкива с риской на линейке, соответствующей испытательной ячейке, таким образом, чтобы струна (нить) свешивалась с блока напротив вала ротора.

Снимают струну (нить) с верхней опоры подшипников и осторожно укладывают ее на шкив так, чтобы не потревожить измерительную ячейку (не позволяют валу ротора вращаться). Прикрепляют груз массой 10 г к струне (нити) и аккуратно его подвешивают. Визуально наблюдают за движением перекладки ротора.

Таблица 22

Температурный профиль для температур испытания

от минус 20 °С до минус 40 °С		минус 10 °С и минус 15 °С	
Продолжительность цикла, ч:мин	Температурный интервал, °С	Продолжительность цикла, ч:мин	Температурный интервал, °С
0:20	Св. 20 до 80	0:20	Св. 20 до 80
2:00	От 80 " 80	2:00	От 80 " 80
0:20	" 80" 0	0:20	" 80 " 10
0:03	"0" -3,0	0:03	" 10 " 7,0
0:07	" -3,0 " -4,0	0:07	Св. 7,0 до 6,0
0:10	" -4,0 " -5,0	0:10	" 6,0 " 5,0
6:00	" -5,0 " -8,0	6:00	" 5,0 " 2,0
36:00	" -8,0 " -20,0	36:00	" 2,0 " 10,0
Поддерживать в этой точке температуру испытания минус 20 °С		Поддерживать в этой точке температуру испытания минус 10 °С	
2:00	" -20,0 " -25,0	2:00	" -10,0 " -15,0
Поддерживать в этой точке температуру испытания минус 25 °С		Поддерживать в этой точке температуру испытания минус 15 °С	
2:00	" -25,0 " -30,0	Продолжительность цикла, ч:мин	Температурный интервал*, °С
Поддерживать в этой точке температуру испытания минус 30 °С		0:20	Св. 20 до 80
Поддерживать в этой точке температуру испытания минус 35 °С		2:00	От 80 " 80
2:00	От -35,0 " -40,0	0:20	" 80 " 10
Поддерживать в этой точке температуру испытания минус 40 °С		0:03	" 10 " 7,0

Когда конец перекладины не сдвигается хотя бы на 3 мм в течение 15 с (это соответствует приблизительно двум диаметрам перекладины или повороту на 13°), записывают, что образец имеет предел текучести.

Измерение кажущейся вязкости

Прикрепляют гирию массой 150 г к струне (нити) и осторожно подвешивают. Включают таймер (секундомер) в момент, когда переключатель вала ротора указывает прямо вперед, и продолжают измерять время следующим образом:

- если первый полуоборот вала произойдет за время менее 10 с, измеряют и фиксируют время, необходимое для первых трех оборотов;

- если время, требуемое для полуоборота вала, 10 с или более, записывают время полного оборота и фиксируют его как время одного оборота;

- если время одного оборота превышает 60 с, заканчивают эксперимент и регистрируют его как время одного оборота "более 60". Записывают, что вязкость больше значения, рассчитанного.

Время первых трех оборотов менее 4 с регистрируют как "менее 4 с". Записывают, что вязкость меньше значения.

Кажущуюся вязкость η_a , сП (мПа·с), рассчитывают по формуле

$$\eta_a = C \cdot t \cdot \frac{3}{r},$$

где C - постоянная ячейки вискозиметра; t - время для числа полных оборотов ротора, с; r - число полных оборотов ротора.

Индекс вязкости

С повышением температуры вязкость масла понижается. Характер изменения вязкости выражается параболой (рис. 66 а). Такая зависимость неудобна для экстраполяции и для расчетов вязкости. Поэтому кривую зависимости вязкости от температуры строят в полупологарифмических координатах, в которых эта зависимость приобретает практически прямой характер (рис. 66 б). Зависимость вязкости от температуры определяется индексом вязкости.

Индекс вязкости VI (viscosity index) - эмпирический, безразмерный показатель для оценки зависимости вязкости масла от температуры. Чем выше численное значение индекса вязкости, тем меньше вязкость масла зависит от температуры и тем меньше наклон кривой.

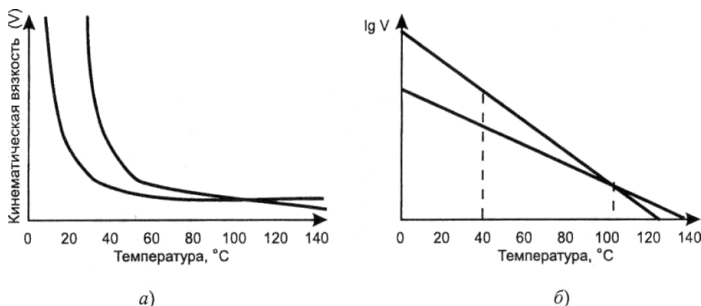


Рис. 66 - Зависимость вязкости масла от температуры:

а - в прямоугольных координатах; б - в полулогарифмических координатах

Масло с высоким индексом вязкости имеет лучшую текучесть при низкой температуре (запуск холодного двигателя) и более высокую вязкость при рабочей температуре двигателя. Высокий индекс вязкости необходим для всесезонных масел. Индекс вязкости определяется по стандартам ASTM D 2270, DIN ISO 2909 при помощи двух эталонных масел. Вязкость одного из них сильно зависит от температуры и индекс вязкости принимается равным нулю, $VI = 0$, а вязкость другого мало зависит от температуры и индекс вязкости принимается равным 100 единицам, $VI = 100$. При температуре 100 °C вязкость обоих эталонных масел и исследуемого масла должна быть одинаковой. Шкала индекса вязкости получается делением разницы вязкостей эталонных масел при температуре 40 °C на 100 равных частей. Индекс вязкости исследуемого масла находят по шкале после определения его вязкости при температуре 40 °C, а если индекс вязкости превышает 100, его находят расчетным путем.

Индекс вязкости сильно зависит от молекулярной структуры соединений, составляющих базовые минеральные масла. Наивысший индекс вязкости бывает у парафиновых базовых масел (около 100), у нафтеновых масел - значительно меньше (30-60), а у ароматических масел - даже ниже нуля. При очистке масел их индекс вязкости, как правило, повышается, что в основном связано с удалением из масла ароматических соединений. Высоким индексом вязкости обладают

масла гидрокрекинга. Гидрокрекинг является одним из основных способов получения масел с высоким индексом вязкости. Высокий индекс вязкости у синтетических базовых масел: у полиальфаолефинов - до 130, у полиалкиленгликолей - до 150, у сложных полиэфиров - около 150.

Индекс вязкости масел можно повысить введением специальных присадок - полимерных загустителей.

Определение индекса вязкости проводится расчетным методом в соответствии с ГОСТ 25371-97 (ИСО 2909-81) "Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости". Настоящим стандартом предусмотрено два метода расчета индекса вязкости.

Метод А (для нефтепродуктов с индексом вязкости от 0 до 100 включительно):

- если кинематическая вязкость нефтепродуктов при 100 °С ниже или равна 70 мм²/с, значения, соответствующие L (кинематическая вязкость при 40 °С нефтепродукта с индексом вязкости 0, обладающего той же кинематической вязкостью при 100 °С, что и испытуемый нефтепродукт, мм²/с) и D (величина разности между L и H - кинематическая вязкость при 40 °С нефтепродукта с индексом вязкости 100, обладающего той же кинематической вязкостью при 100 °С, что и испытуемый нефтепродукт, мм²/с), определяют по специальной таблице (указана в ГОСТ 25371-97). Если значения в таблице отсутствуют, но находятся в диапазоне таблицы, их рассчитывают методом линейной интерполяции;

- если кинематическая вязкость нефтепродуктов при 100 °С выше 70 мм²/с, L и D вычисляют по формулам:

$$L = 0,8353 \cdot Y^2 + 14,67 \cdot Y - 216;$$

$$D = 0,6669 \cdot Y^2 + 2,82 \cdot Y - 119,$$

где Y - кинематическая вязкость при 100 °С нефтепродукта, индекс вязкости которого требуется определить, мм²/с.

Индекс вязкости VI нефтепродукта вычисляют по формулам:

$$VI = \frac{L-U}{L-H} \cdot 100;$$

$$VI = \frac{L-U}{D} \cdot 100,$$

где U - кинематическая вязкость при 40 °С нефтепродукта, индекс вязкости которого требуется определить, мм²/с.

Метод В (для нефтепродуктов с индексом вязкости от 100 и выше):

Индекс вязкости вычисляют по формулам:

$$VI = \frac{(\text{anti log } N) - 1}{0,00715} + 100;$$

$$N = \frac{\log H - \log U}{\log Y},$$

где U и Y - кинематические вязкости при 40 и 100 °С соответственно для испытуемых нефтепродуктов; H - кинематическая вязкость при 40 °С нефтепродукта с индексом вязкости 100, обладающего той же кинематической вязкостью при 100 °С, что и испытуемый нефтепродукт.

Значение H определяют по таблице (указана в ГОСТ 25371-97). Если кинематическая вязкость нефтепродукта при 100 °С выше 70 мм²/с, H вычисляют по формуле

$$H = 0,1684 \cdot Y^2 + 11,85 \cdot Y - 97.$$

Стабильность к сдвигу

Стабильность к сдвигу - способность масла сохранять постоянную величину вязкости под воздействием высокой деформации сдвига при эксплуатации.

При быстром скольжении поверхностей трения достигается высокая скорость течения масла в узких зазорах и проявляется высокая деформация сдвига, которая вызывает деструкцию молекул полимеров (загустителей), входящих в состав масла. Устойчивость к деформации сдвига является важным показателем для масел, применяемых в современных высокоскоростных, высоконагруженных, мощных и малогабаритных двигателях. Способность масла сохранять стабильную вязкость определяется временем, в течение которо-

го вязкость изменяется до определенной величины. Иногда пользуются показателем индекса стабильности к сдвигу SSI, который определяется соотношением потери вязкости и эффекта загущения полимерным загустителем, выраженным в процентах.

При сравнительно небольшой деформации сдвига полимерные молекулы только раскручиваются, а после снятия напряжения со временем могут восстановить свою конфигурацию и вязкость. Такое снижение вязкости называется временным и иногда наблюдается при определении НТНС вязкости на ротационном вискозиметре - имитаторе конического подшипника (рис. 64 б).

Фильтруемость

Метод оценки фильтруемости масел GM P9099 разработан фирмой "General Motors" в 1980 г. Он имитирует закупоривание масляного фильтра осадком, образующимся в присутствии воды и конденсата прорывающихся в картер газов при краткосрочной работе после длительной стоянки. Фильтруемость оценивают по относительному снижению скорости потока через фильтр при последовательном испытании масла и смеси масла с водой. Смесь приготавливают медленным перемешиванием в течение 30 с в закрытой мешалке 49,7 г масла, 0,3 г деионизированной воды и приблизительно 10 г сухого льда. После перемешивания смесь в открытом сосуде выдерживают в печи при температуре 70 °С в течение 30 мин. Затем ее охлаждают до 20-24 °С и выдерживают при этой температуре 48-50 ч. Снижение скорости потока не должно быть более чем на 50 %.

Температура вспышки

Температура вспышки - самая низкая температура, при которой пары нагреваемого масла образуют с окружающим воздухом такую смесь, которая вспыхивает от открытого огня, но быстро гаснет из-за недостаточно интенсивного испарения. При дальнейшем нагревании достигается температура воспламенения, при которой масло горит не менее 5 с (ГОСТ 4333).

Температура вспышки связана с фракционным составом масла и структурой молекул базовых компонентов и является важной по нескольким причинам.

Во-первых, это показатель пожароопасности масла, поэтому предпочтительнее более высокое значение температуры вспышки. Во-вторых, она показывает присутствие летучих фракций в масле, которые быстрее испаряются в работающем двигателе и определяют расход масла и угар. В-третьих, при анализе работающего масла по понижению температуры вспышки легко определяется степень разбавления масла топливом. В сочетании со снижением вязкости масла понижение температуры вспышки служит сигналом для поиска неисправностей системы зажигания или системы подачи топлива.

Температура вспышки масла определяется двумя методами - в открытом и в закрытом тигле. *Метод открытого тигля* называется *методом Кливленда СОС* (ISO 2592, ASTM D 92, ГОСТ 4333) (рис. 67), *метод закрытого тигля* – *методом Пенски-Мартенса РСМ* (ISO 2719, ASTM D 93, ГОСТ 6356). Численные значения, найденные этими двумя методами, различаются примерно на 20 °С.

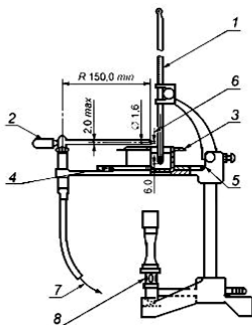


Рис. 67 - Аппарат с открытым тиглем Кливленда:

1 - термометр; 2 - зажигательное устройство; 3 - тигель; 4 - металлический шарик диаметром от 3,2 до 4,8 мм; 5 - нагревательная пластина; 6 - отверстие диаметром 0,8 мм; 7 - к источнику газа; 8 - нагревательный прибор пламенного типа или резистивный электронагреватель

Для масел чаще всего применяется метод открытого тигля по Кливленду, а для топлива - закрытого тигля по Пенски-Мартенсу.

Температура вспышки определяется в соответствии с ГОСТ Р 51634-2000 "Масла моторные автотракторные. Общие технические

требования" по ГОСТ 4333-2014 (ISO 2592:2000) "Нефтепродукты. Методы определения температур вспышки и воспламенения в открытом тигле". Заполняют тигель при температуре окружающей среды или повышенной температуре таким образом, чтобы верх мениска точно совпадал с меткой на тигле. Удаляют пузырьки воздуха или пену с поверхности образца, поддерживая необходимый объем испытательного образца в тигле.

Зажигают испытательное пламя и регулируют его таким образом, чтобы диаметр пламени был 3,2-4,8 мм. Пламя сравнивают с шариком-шаблоном, если он установлен в аппарате.

В начале испытания образец нагревают со скоростью 14 °С/мин - 17 °С/мин. Когда образец достигает температуры примерно на 56°С ниже предполагаемой температуры вспышки, скорость нагрева уменьшают так, чтобы она при достижении температуры, которая на (23 ± 5) °С ниже предполагаемой температуры вспышки, составляла 5 - 6 °С/мин.

Начиная с температуры не менее чем на (23 ± 5) °С ниже предполагаемой температуры вспышки каждый раз при повышении температуры образца на 2 °С применяют зажигательное устройство. Плавным, непрерывным движением в течение примерно 1 с проводят пламенем по прямой линии или дуге радиусом не менее 150 мм в одном направлении через центр тигля перпендикулярно диаметру, который проходит через термометр. Центр пламени должен перемещаться в горизонтальной плоскости на расстоянии не более 2 мм выше верхнего края. При последующем применении источника зажигания пламя перемещают в обратном направлении.

За температуру вспышки принимают показываемую термометром температуру, при которой применение источника зажигания вызывает воспламенение паров образца и распространение пламени по поверхности жидкости. За истинную вспышку не следует принимать голубоватый венец вокруг пламени зажигательного устройства.

Для определения температуры воспламенения после выполнения процедуры по разделу 10 продолжают нагревание образца со скоростью 5 - 6 °С/мин. Повторяют применение источника зажигания с интервалами 2°С до воспламенения паров образца и устойчи-

вого горения в течение не менее 5 с. Регистрируют температуру в этот момент как наблюдаемую температуру воспламенения образца.

Если пламя сохраняется в течение более 5 с, его гасят крышкой с ручкой из металла или другого огнестойкого материала.

ГОСТ 6356-75 "Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в закрытом тигле". Испытание проводят с использованием аппарата типа ТВЗ (рис. 68).

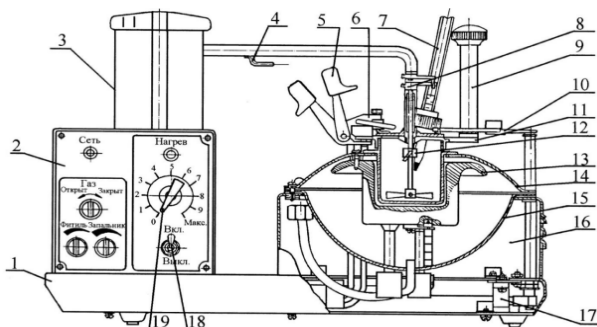


Рис. 68 - Аппарат ТВЗ:

1- основание; 2- блок управления; 3- рукоятка; 4- крючок; 5- прижим; 6- устройство зажигательное; 7- термометр; 8- мешалка; 9- ручка; 10- поводок; 11- крышка; 12- мешалка; 13- баня воздушная; 14- отражатель верхний; 15- отражатель нижний; 16- термоблок; 17- колодка с герконом; 18- тумблер; 19- ручка регулировки нагрева

Нагревательную ванну включают и нагревают испытуемый продукт в тигле. Перемешивание ведут, обеспечивая частоту вращения мешалки от 1,5 до 2,0 с⁻¹, а нагрев продукта - со скоростью от 5 до 6 °С в 1 мин.

Испытания на вспышку проводят при достижении температуры на 17 °С ниже предполагаемой температуры вспышки. Испытание на вспышку проводят при повышении температуры на каждый 1 °С для продуктов с температурой вспышки до 104 °С и на каждые 2 °С для продуктов с температурой вспышки выше 104 °С. В момент испытания на вспышку перемешивание прекращают, приводят в

действие расположенный на крышке механизм, который открывает заслонку и опускает пламя. При этом пламя опускают в паровое пространство за 0,5 с, оставляют в самом нижнем положении 1 с и поднимают в верхнее положение.

За температуру вспышки каждого определения принимают показания термометра в момент четкого появления первого (синего) пламени над поверхностью продукта внутри прибора. Не следует принимать за температуру вспышки окрашенный (голубоватый) ореол, который иногда окружает пламя перед тем, как оно вызывает фактическую вспышку.

Температура застывания

Температура застывания или *температура потери текучести* - это самая низкая температура, при которой температуры застывания масло еще обладает способностью течь. По зарубежным стандартам температурой застывания называется температура, которая на 3 °С выше действительной *температуры затвердевания*, при которой в течение 5 с. масло находится в неподвижном состоянии (ISO 3016, ASTM D 97, ГОСТ 20287). ГОСТ 20287-91 «Нефтепродукты. Методы определения температур текучести и застывания» ИСО 3016. «Масла нефтяные. Метод определения температуры текучести».

Температура застывания указывает только на возможность переливания масла (например, из тары), не прибегая к предварительному подогреву.

Однозначной взаимосвязи температуры застывания масла с его пусковыми свойствами на холоде не существует. Температура застывания обязательно должна быть ниже той температуры, при которой определяют прокачиваемость согласно классификации SAE J 300.

Минеральное масло - многокомпонентная система, застывание которой является сложным и многостадийным процессом, зависящим от взаимодействия составляющих ее компонентов. В минеральном масле при понижении температуры в первую очередь зарождаются и растут кристаллы парафина.

С появлением мелких кристаллов масло мутнеет и эта температура называется *температурой помутнения*. В дальнейшем кристаллы парафина растут, соединяются, слипаются и в конечном итоге образуют кристаллический каркас и масло становится неподвижным, желеобразным. Таким образом, температура застывания фактически является температурой желеобразования. Между кристаллическим каркасом масло еще остается жидким и при перемешивании текучесть всей массы масла может частично восстановиться.

Такой процесс застывания, как специфический процесс кристаллизации зависит от скорости охлаждения и от термической и механической стабильности масла, температурного режима, интенсивности и продолжительности принудительной обработки. Поэтому при определении температуры застывания требуется строгое соблюдение предписанной процедуры охлаждения и выдержки масла.

Равновесная температура застывания определяется после многочасовой (пятидневной) низкотемпературной обработки масла по заданной программе между 0 °C и -40 °C. Методика призвана исключить влияние масла на текучесть при низкой температуре (FTM Standard No.791C, Method 203.1; SAE J300 APR95, Appendix B). Эта процедура становится основной при разработке новых масел и для полной температурной характеристики базовых и моторных масел. Недооценка важности этой процедуры со стороны производителей масел не раз приводила к серьезным рекламациям на рынке масел и выходу из строя агрегатов.

Низкая температура застывания важна для зимних и всесезонных масел.

При запуске холодного двигателя или в начале движения с непрогретым двигателем моторное масло в первый же момент своей работы должно поступать в самые узкие и отдаленные места трения. Поэтому температура застывания должна быть ниже минимальной предполагаемой температуры окружающей среды.

Температура застывания часто служит показателем предельной минимальной температуры заливки, переливки и, частично, эксплуатации масла.

Поэтому она включается в список типовых характеристик масел и гидравлических жидкостей для автотранспорта. Минимальная температура эксплуатации моторных масел согласно спецификации SAE J300 определяется по низкотемпературным характеристикам вязкости и прокачиваемости.

Стандарт ГОСТ 20287-91 распространяется на нефтепродукты и устанавливает два метода: А - определение температуры текучести; Б - определение температуры застывания. Сущность методов заключается в предварительном нагревании образца испытуемого нефтепродукта с последующим охлаждением его с заданной скоростью до температуры, при которой образец остается неподвижным. Указанную температуру принимают за температуру застывания. Наиболее низкую температуру, при которой наблюдается движение нефтепродуктов в условиях испытания, принимают за температуру текучести.

Пробирку с продуктом и термометром вынимают из водяной бани, насухо вытирают ее снаружи и укрепляют при помощи пробки в муфте так, чтобы ее стенки находились приблизительно на одинаковом расстоянии от стенок муфты (рис. 69).

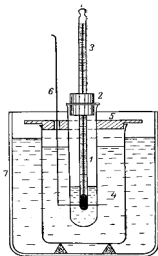


Рис. 69 - Аппарат для определения температуры застывания:

1 - пробирка с кольцевой меткой; 2, 5 - корковая пробка; 3 - термометр; 4 - пробирка-муфта; 6 - штатив крепления пробирки; 7 - сосуд для охлаждающей жидкости

Пробирки с муфтой закрепляют в держателе штатива в вертикальном положении и оставляют при комнатной температуре до тех пор, пока нефтепродукт не охладится до температуры $(35 \pm 5)^\circ\text{C}$, за-

тем помещают его в сосуд с охлаждающей смесью, температуру которой предварительно устанавливают на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже намеченной для определения температуры застывания. Во время охлаждения продукта установленную температуру охлаждающей смеси поддерживают с погрешностью $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Когда продукт в пробирке примет температуру, намеченную для определения застывания, пробирку наклоняют под углом 45° и, не вынимая из охлаждающей смеси, держат в таком положении в течение 1 мин. После этого пробирку с муфтой осторожно вынимают из охлаждающей смеси, быстро вытирают муфту и наблюдают, не сместился ли мениск испытуемого продукта. При определении температуры застывания ниже $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в муфту перед испытанием помещают $0,5\text{-}1,0\text{ см}^3$ серной кислоты, олеума или любого другого осушителя.

Если мениск сместился, то пробирку вынимают из муфты, снова подогревают до $(50\pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$ и проводят новое определение при температуре на $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже предыдущей до тех пор, пока при некоторой температуре мениск не перестанет смещаться.

Если мениск не сместился, то пробирку вынимают из муфты, снова подогревают до $(50\pm 1)\text{ }^{\circ}\text{C}$, проводят новое определение застывания при температуре на $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше предыдущей до тех пор, пока при некоторой температуре мениск будет смещаться.

После нахождения границы застывания (переход от подвижности к неподвижности или наоборот) определение повторяют, понижая или повышая температуру испытания на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ до тех пор, пока не будет установлена такая температура, при которой мениск продукта остается неподвижным, а при повторном испытании при температуре на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше он сдвигается. Эту температуру фиксируют, как установленную для данного опыта.

При проверке температуры застывания, установленной в стандартах на нефтепродукты, проверяют, смещается ли мениск этого продукта после его испытания при температуре на $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше температуры, установленной стандартами на конкретную продукцию.

Определение температуры текучести проводят с использованием прибора, изображенного на рисунке 70.

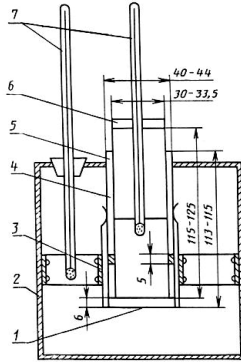


Рис. 70 - Прибор для определения температуры текучести:

1 - диск; 2 - баня; 3 - прокладка; 4 - пробирка; 5 - муфта; 6 - корковая пробка; 7 - термометр

В пробирку наливают светлое масло до отметки уровня или между двумя вытравленными отметками. Температуру в охлаждающей бане поддерживают от минус 1 °С до плюс 2 °С. Устанавливают муфту с пробиркой в охлаждающую баню в вертикальном положении так, чтобы не более 25 мм муфты выступало из охлаждающей среды.

Начиная с температуры, которая на 9 °С выше предполагаемой температуры текучести масел, имеющих температуру текучести выше 33 °С или на 12 °С выше температуры текучести для остальных масел, через каждые 3 °С осторожно вынимают сосуд из муфты и проверяют подвижность масла при наклоне.

Полный цикл, при котором пробирку извлекают из муфты и помещают на место, не должен превышать 3 с. Если при достижении температуры 9 °С наблюдается подвижность масла, пробирку помещают в другую муфту во вторую баню с температурой от минус 15 до минус 18 °С. Если при температуре минус 6 °С наблюдается подвижность масла, сосуд в другой муфте переносят в баню с температурой от минус 31,5 до минус 34,5 °С.

Для определения очень низкой температуры текучести необходимы дополнительные бани, при этом температура каждой бани должна быть на 17 °С ниже температуры предыдущей бани. Пробир-

ку переносят в следующую баню, если температура масла на $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше температуры новой бани. Как только прекращается текучесть масла в пробирке, последнюю устанавливают в горизонтальном положении и наблюдают за поведением масла. Если в течение 5 с будет обнаружено какое-либо смещение поверхности масла (измерение времени проводят секундомером), сразу же помещают пробирку в муфту и повторяют испытание при температуре на $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже предыдущей.

Испытание продолжают до достижения того момента, при котором масло не течет, если сосуд находится в горизонтальном положении в течение 5 с. Записывают показания термометра.

Щелочность и кислотность масел

Очищенное минеральное масло, как правило, является химически нейтральным. Для нейтрализации кислот, образующихся во время работы при сгорании сернистого топлива или окисления углеводов масла, в моторные масла добавляют щелочные присадки.

Обычно эту задачу выполняют моющие и диспергирующие присадки.

Чем больше щелочность масла, тем больше его рабочий ресурс. Поэтому для моторных масел в качестве эксплуатационного показателя указывается *общее щелочное число TBN*. В некоторые индустриальные масла добавляют активные присадки, которые имеют слабую кислотную реакцию. В связи с этим в качестве показателя химических свойств указывается *общее кислотное число TAN*. Этот показатель иногда определяется и при анализе работающего масла как показатель степени окисления масла и накопления кислых продуктов сгорания топлива и масла.

Щелочность и кислотность масел выражают через количество (в мг) гидроксида калия (KOH), эквивалентное содержанию всех видов щелочей в 1 г масла или необходимое для нейтрализации всех кислот в 1 г масла.

Для определения кислотности проводят титрование гидроокисью калия (KOH), а для определения щелочности - соляной кислотой (HCl). В настоящее время для этих целей используют метод потенциометрического титрования.

В документах, сопровождающих товарные продукты смазочных материалов, щелочность и кислотность выражают через:

- общее щелочное число (Total Basic Number - TBN),
- число нейтрализации,
- общее кислотное число (Total Acid Number - TAN),
- число сильных кислот (Solid Acid Number - SAN).

Общее щелочное число, TBN показывает общую щелочность масла, включая вносимую моющими и диспергирующими присадками, которые обладают щелочными свойствами. Общее щелочное число выражается через количество гидроокиси калия в мг, эквивалентное количеству всех щелочных компонентов, находящихся в 1 г масла (мг KOH/г).

Моторное масло должно обладать определенной щелочностью для сохранения моющих свойств, способности к нейтрализации кислот и подавления процессов коррозии. Чем больше щелочное число, тем большее количество кислот, образующихся при окислении масла и сгорании топлива, может быть переведено в нейтральные соединения. В противном случае эти кислоты вызывают коррозионный износ деталей двигателя и усиливают процессы образования отложений. При работе масла в двигателе щелочное число неизбежно снижается, а нейтрализующие присадки срабатываются.

Такое снижение имеет допустимые пределы, по достижении которых масло считается утратившим работоспособность. Считают, что при уменьшении щелочности масла примерно на 50 % от начальной величины, масло следует заменить. TBN масла определяется потенциометрическим титрованием соляной кислотой по стандартам ASTM D 664, ГОСТ 30050-93, ISO 6619. Более новые методы - потенциометрическое титрование перхлоровой кислотой по стандартам DIN ISO 3771, ASTM D 2896, по которым значение TBN примерно на 2-3 единицы выше, чем по ASTM D 664. Для анализа работающих масел предпочтение отдается методу ASTM D 4739.

Число нейтрализации. Показывает щелочность или кислотность масла и выражается через количество соляной кислоты (HCl) или гидроокиси калия (KOH) в мг, необходимое для нейтрализации оснований или кислот, находящихся в 1 г масла. Число нейтрализа-

ции определяется потенциометрическим титрованием по ASTM D 664 или колориметрическим титрованием (ISO 6619, ISO 7537, DIN 51 558, ASTM D 974, ГОСТ 11362-96 (рис. 71) (ИСО 6619-88)).

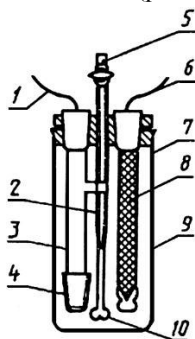


Рис. 71 - Устройство для потенциометрического титрования:

1 - провод для сравнительного электрода; 2 - удлиненный конец бюретки; 3 - электрод сравнения; 4 - трубка со стеклянным шлифом у основания; 5 - бюретка; 6 - экранированный провод для стеклянного электрода; 7 - бакелитовая основа; 8 - стеклянный электрод (защищен внутри); 9 - стакан; 10 - пропеллерная мешалка

Общее кислотное число TAN. Моторное масло может содержать кислотные и щелочные компоненты, количество которых может быть определено раздельно. Кислотные компоненты свежего масла имеют слабую кислотность, которая не оказывает заметного влияния на коррозию металлов. Такая кислотность называется общим кислотным числом масла TAN и выражается через количество гидроксида калия (KOH) в мг, необходимое для нейтрализации слабых кислот, находящихся в 1 г масла. Определяют TAN по стандартам ASTM D 664 и ГОСТ 32328-2013. Иногда определяют TAN, как показатель, характеризующий образование кислот работающего масла.

Число сильных кислот SAN. В моторных маслах сильные кислоты должны отсутствовать, но они могут образовываться при продолжительной работе. Появление в масле сильных кислот означает необходимость замены масла, так как такие кислоты вызывают ин-

тенсивный коррозионный износ и образование шлама. SAN, как и TAN, выражают через количество KOH, необходимое для нейтрализации сильных кислот (ГОСТ 32328-2013 "Нефтепродукты и смазочные материалы. Определение кислотного и щелочного чисел титрованием с цветным индикатором").

Сущность метода. Для определения кислотного или щелочного числа растворяют образец в смеси толуола и обезвоженного изопропилового спирта, полученный однофазный раствор титруют при комнатной температуре стандартными спиртовыми растворами щелочи или кислоты соответственно до конечной точки титрования, которую определяют по изменению цвета введенного раствора *n*-нафтолбензеина (оранжевый - в кислотом и зелено-коричневый - в щелочном).

Для определения кислотного числа сильных кислот отдельную порцию образца экстрагируют горячей водой и титруют водный экстракт раствором гидроксида калия, используя в качестве индикатора метиловый оранжевый

Определение кислотного числа сильных кислот

В колбу Эрленмейра или химический стакан соответствующей вместимости помещают взвешенную пробу масла. Добавляют 100 см³ растворителя для титрования и 0,5 см³ раствора индикатора и, не закрывая, перемешивают до полного растворения образца. В делительную воронку вместимостью 250 см³ помещают приблизительно 25 г представительного образца, взвешенного с точностью до 0,1 г. и добавляют 100 см³ кипящей воды. Энергично встряхивают, после разделения фаз сливают водную фазу в фильтровальную колбу вместимостью 500 см³. Пробу экстрагируют еще два раза порциями по 50 см³ кипящей воды, соединяя все экстракты в колбе для титрования. К объединенному экстракту добавляют 0,1 см³ раствора индикатора метилового оранжевого и. если раствор окрашивается в розовый или красный цвет, титруют 0,1 М (стандартный спиртовой раствор гидроксида калия) раствором KOH до получения золотисто-коричневого цвета. Если первоначальный цвет экстракта не имеет розовой или красной окраски, кислотное число сильных кислот регистрируют как равное нулю.

Определение щелочного числа

Если растворитель для титрования, содержащий растворенный образец, после введения индикатора приобретает зеленый или зеленовато-коричневый цвет, титрование проводят с использованием 0,1 М раствора HCl и титруют до перехода зелено-коричневого цвета в оранжевый.

Определение кислотного числа сильных кислот

В делительную воронку вместимостью 250 см³ помещают приблизительно 25 г представительного образца, взвешенного с точностью до 0.1 г. и добавляют 100 см³ кипящей воды. Энергично встряхивают, после разделения фаз сливают водную фазу в фильтровальную колбу вместимостью 500 см³. Пробу экстрагируют еще два раза порциями по 50 см³ кипящей воды, соединяя все экстракты в колбе для титрования. К объединенному экстракту добавляют 0,1 см³ раствора индикатора метилового оранжевого и. если раствор окрашивается в розовый или красный цвет, титруют 0,1 М раствором КОН до получения золотисто-коричневого цвета. Если первоначальный цвет экстракта не имеет розовой или красной окраски, кислотное число сильных кислот регистрируют как равное нулю.

Вычисляют кислотное число, мг КОН/г, по формуле

$$КЧ = \frac{(A - B) \cdot M \cdot 56,1}{W},$$

где A - объем раствора КОН, необходимый для титрования образца, см³; B - объем раствора КОН, необходимый для холостого титрования, см³; M - молярность раствора КОН; W - масса образца, г.

Кислотное число сильных кислот

$$КЧ = \frac{(C - D \cdot m) \cdot M \cdot 56,1}{W},$$

где C - объем раствора КОН, необходимый для титрования водного экстракта, см³; D - объем раствора HCl, необходимый для холостого титрования, см³; m - молярность раствора HCl.

Вычисляют щелочное число, мг КОН/г. по формуле

$$ЩЧ = \frac{(E \cdot m + F \cdot M) \cdot 56,1}{W},$$

где E - объем раствора HCl, необходимый для титрования пробы, см³; F - объем КОН, необходимый для титрования при холостом титровании при определении кислотного числа, см³.

В последние годы появились новые методы определения кислотного числа - *определение методом термометрии и определение на основе хеометрической модели.*

Определение методом термометрии

Для проведения термометрии (методика разработана компанией OELCHECK) в качестве проекта стандартной методики DIN и ASTM - к смеси образца и растворителя перед началом титрования прибавляют специальный индикатор. Однако вместо того, чтобы изменять цвет в точке нейтрализации, индикатор вступает в реакцию с выделением тепла. Этот скачок температуры регистрируют особо чувствительным датчиком температуры. Результат подобен изменению цвета и скачку электродного потенциала. Датчик температуры срабатывает так же быстро, как происходит изменение цвета. Скачок температуры происходит в равной степени для всех масел и не ограничивается одними лишь светлыми и прозрачными маслами.

Определение на основе хеометрической модели

Содержание кислот в масле можно определить даже без проведения какой бы то ни было реакции с основанием. Если для определенного сорта масла выполнено достаточно много (как правило, более 5000) обычных титрований и одновременно записаны подробные ИК-спектры, полученные данные могут послужить основой для корреляции в рамках так называемой хеометрической модели. При старении, окислении и разложении присадок в масле образуются всевозможные кислоты. Все это находит отражение в ИК-спектре образца масла. Указанное изменение, однако, не сосредоточено в какой-то одной области спектра (как, например, при обнаружении окисления), а охватывает широкий диапазон. Для хеометрического расчета первым делом нужно найти все изменяющиеся области спектра. После этого изменения калибруют по результатам обычного кислотно-основного титрования. Эта модель (статистическая формула расчета) может использоваться для определения кислотного числа

тех сортов масла, для которых она была разработана, по их ИК-спектру.

Содержание серы

Содержание серы - показатель для оценки сернистости масла.

Содержание серы зависит от природы нефти, из которой выработано масло, а также глубины его очистки. При применении процессов гидрооблагораживания содержание серы в масле указывает на глубину процесса гидрирования. В очищенных маслах из сернистых нефтей сера содержится в виде органических соединений, не вызывающих в обычных условиях коррозии черных и цветных металлов. Агрессивное действие серы возможно при высоких температурах, например, при использовании масел в качестве закалочной среды, контактирующей с раскаленной поверхностью металла. Масла с присадками, в состав которых входит сера, содержат больше серы, чем базовые масла. Серусодержащие присадки вводят в масло для улучшения его смазывающих свойств.

По содержанию серы в масле без присадок делаются выводы об антикоррозионных свойствах базового масла. При наличии серосодержащих присадок сера указывает на присутствие присадки.

Определение серы в маслах проводится в соответствии с ГОСТ Р 51859-2002. «Стандартный метод определения серы в нефтепродуктах ламповым методом», ГОСТ Р ЕН ИСО 20846:2004. «Нефтепродукты. Определение содержания серы методом ультрафиолетовой флуоресценции», ГОСТ 32139-2013 «Нефть и нефтепродукты. Определение содержания серы методом энергодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектрометрии», ГОСТ Р 56342-2015 «Углеводороды легкие, топлива для двигателей с искровым зажиганием и дизельных двигателей, масла моторные. Определение общего содержания серы методом ультрафиолетовой флуоресценции». Методика определения аналогична при определении серы в бензине (п. 2.4.1) и дизельного топлива (п. 2.4.2).

Коксуемость, склонность к коксованию

При высокой температуре масло разлагается и образуются твердые углеродистые продукты. Термостойкость масла определяется его склонностью к коксованию.

Коксование - образование твердого кокса при нагревании масла без доступа кислорода.

Коксуемость - склонность масла при нагревании образовывать остаток после испарения летучих фракций с последующим термическим разложением остатка масла в отсутствие воздуха. Этот показатель определяется для масел без присадок, которые могут оказать значительное влияние на коксуемость.

Поэтому коксуемость определяется только для базовых масел. Основные методы - Конрадсона - в Европе (DIN 51 551, ГОСТ 19932), и Рамсботтома (ISO 4262) - в Америке.

ГОСТ 8852-74 "Нефтепродукты. Метод определения коксуемости на аппарате типа ЛКН-70" (рис. 72).

В тигли, предварительно доведенные до постоянной массы, помещают пробу испытуемого нефтепродукта ($4,0 \pm 0,1$ г) с помощью шприца и загрузочного устройства и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г.

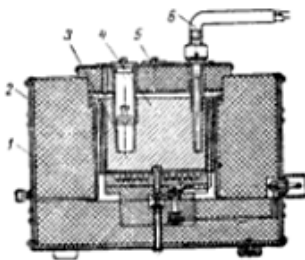


Рис. 72 - Аппарат определения коксуемости ЛКН:

1, 2 - обогревательные элементы электропечи; 3 - тигли; 4 - стержень крепления тиглей; 5 - крышка; 6 - термопара

Тигли с навесками испытуемых нефтепродуктов специальными щипцами опускают в гнезда аппарата, при этом наблюдается незначительное снижение температуры, которая быстро поднимается до первоначального значения. Включают сигнальные часы.

При нагревании нефтепродукта из капилляров тиглей выделяются пары, которые поджигают. По окончании горения паров отверстия гнезд аппарата закрывают крышками. Остаток испытуемого нефтепродукта прокаливают при (520 ± 5) °С.

Нагревание испытуемого нефтепродукта, горение выделяющихся паров и прокаливание остатка должно длиться 30 мин по сигнальным часам. По истечении 30 мин тигли вынимают из гнезд, охлаждают 1-2 мин на воздухе, затем 30 мин - в эксикаторе. После охлаждения в эксикаторе тигли тщательно протирают снаружи сухой тканью и взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г.

Поверхность коксового остатка в тиглях должна быть блестящей. В противном случае прокаливание повторяют. Результат повторного испытания является окончательным.

Коксуемость нефтепродукта (X) в процентах вычисляют по формуле

$$X = \frac{m \cdot 100}{m_1},$$

где m - масса коксового остатка, г; m_1 - масса испытуемого нефтепродукта (в случае испытания дизельных топлив - масса 10 %-ного остатка), г.

Методика определения коксуемости по ГОСТ 19932-99 (ИСО 6615-93) «Нефтепродукты. Определение коксуемости методом Конрадсона» аналогична определению коксуемости дизельных топлив (п. 2.4.2).

Зольность

Зольность характеризует количество золы, образующееся при сгорании масла. Чистое свежее масло без присадок должно сгорать без остатка.

Образование золы из масла без присадок является показателем его засоренности.

Присадки в товарном масле значительно увеличивают зольность. Зольность определяется путем сжигания установленного количества масла в открытом тигле с последующим прокаливанием остатка и выражается в процентах от начальной массы масла (ISO 6245, EN 7, DIN EN 7, ASTM D 482, ГОСТ 1461).

Сульфатная зольность. Косвенно характеризует содержание присадок и органических соединений металлов. Зола составляют продукты окисления соединений металлов - окиси (например BaO, CaO, MgO) и сульфаты металлов (например BaSO₄, CaSO₄, MgSO₄).

При испытании все окиси металлов переводят в сульфаты. Для этого масло нагревают до образования твердого углеродистого остатка, который обрабатывают серной кислотой для превращения окисей металлов в сульфаты. Затем сульфаты прокаливают при температуре 775 °С до образования сульфатной золы. Сульфатная зольность для автомобильных масел определяется по стандартам ASTM D 874, ГОСТ 12417 или DIN 51 575 и выражается в процентах от начальной массы масла.

Сульфатная зольность является косвенным показателем количества присадок в масле, поэтому присутствие присадок проверяется именно по сульфатной зольности. Высокая сульфатная зольность моторных масел в основном обусловлена наличием в их составе моющих присадок, содержащих металлы. Эти присадки необходимы для предотвращения отложений на поршнях и придания маслам способности нейтрализовывать кислоты. Излишне зольное масло может привести к образованию отложений в камере сгорания, неблагоприятно влияя на работоспособность свечей зажигания, способствовать повышенному износу деталей вследствие абразивного воздействия на поверхности трения.

Сульфатная зольность ограничивается нормативной документацией на производство моторных масел для бензиновых двигателей не более 1,3 %, для дизельных двигателей малой мощности - 1,8 % и для дизельных двигателей высокой мощности - 2,0 %.

Определение зольности проводится в соответствии с ГОСТ 1461-75 «Нефть и нефтепродукты. Метод определения зольности». Настоящий стандарт устанавливает метод определения зольности нефти и нефтепродуктов (кроме кокса, битумов, отработанных масел, присадок и смазок, содержащих графит, дисульфид молибдена, металлическую пыль и элементарную серу).

Сущность метода заключается в сжигании массы испытуемого нефтепродукта и прокаливании твердого остатка до постоянной массы.

ГОСТ 12417-94 (ИСО 3987-80) "Нефтепродукты. Метод определения сульфатной золы". Настоящий стандарт устанавливает метод определения сульфатной золы не менее 0,005 % (по массе) в то-

варных смазочных маслах с присадками и в присадках, применяемых при компаундировании. Присадки могут содержать один или несколько металлов (барий, кальций, магний, цинк, калий, натрий и олово). Элементы сера, фосфор и хлор могут присутствовать в соединении. Метод применяется также для масел с беззольными присадками при массовой доле сульфатной золы ниже 0,02 % и для других нефтепродуктов.

Сущность метода. Массу сжигают до углистого остатка. После охлаждения остаток обрабатывают концентрированной серной кислотой и прокаливают при 775 °С до полного окисления углерода. Затем золу охлаждают, снова обрабатывают разбавленной серной кислотой и прокаливают при 775 °С до постоянной массы.

Выпарительную чашку или тигель прокаливают в муфельной печи при температуре 775±25 °С в течение 10 мин. Охлаждают до комнатной температуры в эксикаторе и взвешивают с погрешностью не более 0,0001 г. Взвешивают в чашке с погрешностью не более 0,0001 г необходимую массу образца в соответствии с предлагаемой массовой долей сульфатной золы. Выпарительную чашку или тигель и массу образца нагревают, избегая выплескивания, пока содержимое не воспламенится при контакте с пламенем. Поддерживают температуру на таком уровне, чтобы горение пробы продолжалось при постоянной умеренной скорости. Когда горение прекратится, продолжают нагревание до тех пор, пока не будет больше выделяться дым или копоть.

Охлаждают чашку до комнатной температуры, затем остаток полностью смачивают, добавляя по каплям концентрированную серную кислоту. Осторожно нагревают чашку на плитке или газовой горелке продолжают нагревать до прекращения выделения дыма.

Чашку помещают в печь, температура которой 775±25 °С, и продолжают нагревать до полного или почти полного окисления углерода (до 1 ч). Чашку охлаждают до комнатной температуры, добавляют 3 капли воды и 10 капель раствора серной кислоты так, чтобы смочить весь остаток. Чашку помещают в печь при температуре 775±25 °С и прокаливают при этой температуре 30 мин. Охлаждают чашку до комнатной температуры в эксикаторе.

Остаток в чашке взвешивают с погрешностью не более 0,0001 г. Массовую долю сульфатной золы исходного образца вычисляют по формуле

$$\frac{m_2}{m_1} \cdot 100,$$

где m_1 - масса продукта, г; m_2 - масса золы, г.

Результат выражают для образцов с массовой долей сульфатной золы ниже 0,02 % с точностью до 0,001 %, для образцов с большей массовой долей сульфатной золы с точностью до 0,01 %.

Химический состав масла

Качество масла в значительной степени зависит от его группового химического состава, т.е. от соотношения парафинов, ароматических соединений и нафтенов. При оценке качества масла химический состав масла не определяют, так как многие свойства масла существенно улучшаются введением соответствующих присадок. Иногда в описаниях масла производители указывают основной класс соединений, так как они характеризуют некоторые общие эксплуатационные свойства. Например, парафиновые масла отличаются высоким индексом вязкости, хорошей стойкостью к окислению, а нафтенковые масла - высокой липкостью, хорошими смазывающими свойствами и т. д.

Химический состав моторных масел определяют при помощи инфракрасной спектроскопии, хроматографии и других физических методов анализа.

Химические методы анализа чаще применяют при анализе работающего масла для идентификации и определения количества продуктов окисления и загрязнения. Например, по результатам определения количества металлов делают выводы о процессах износа деталей двигателя, по содержанию карбонильных групп (ИК спектроскопия) - о степени окисления масла и ресурсе работы.

Летучесть, испаряемость, потери от испарения

Во время работы двигателя вследствие высокой температуры, наиболее легкие фракции масла улетучиваются. Склонность масла к испарению оценивается методом NOACK (*Noack volatility test*, СЕС-L-40-A-93, DIN 51 581 ASTM D 5800) при температуре масла 250 °С

в течение 1 часа. Для определения испаряемости масел для бензиновых двигателей наряду с методом NOASK применяют *метод воздушной струи* (ASTM D 972), метод вакуумной дистилляции (ASTM D 1160) и *хроматографии* при температуре 371 °С (ASTM D 2887). Для масел дизельных двигателей определяют общие потери масла от испарения в моторных испытаниях (1 К, IN, T8) в г/кВт·ч. Согласно ГОСТ 10306-75 "Масла смазочные. Метод определения потерь от испарения в динамических условиях" потери от испарения определяют пропуская воздух через нагретое масло. Испаряемость определяется по ГОСТ 32391-2013 "Масла моторные. Определение испаряемости методом капиллярной газовой хроматографии".

По ГОСТ 10306-75 сущность метода заключается в пропуске воздуха через массу испытуемого масла и в последующем определении потерь массы масла. Скорость пропускаемого воздуха, температура, давление и продолжительность испытания предусматриваются в нормативно-технической документации на масла.

После сборки аппарата и проверки его герметичности закрывают дверцу термостата и включают электрообогрев (рис. 73). Одновременно пускают воду в холодильник.

При достижении маслом заданной температуры с погрешностью не более ± 2 °С включают подачу воздуха и отмечают время начала опыта.

Контроль за температурой ведут по термометру 9 или с помощью термопары, погруженных в масло.

Воздух, нагретый в змеевике, пропускают через прибор с установленной скоростью нагнетанием его через тройник 1 со стороны цилиндра-колонки или просасыванием, присоединяя тройник 20 к вакуумному насосу.

При нагнетании воздух подают сначала в ресивер, затем в цилиндр-колонку 3 с поглотителем, реометр 4, буферную склянку 5 и в змеевик-подогреватель воздуха 10. При пропуске воздуха путем просасывания включают вакуумный насос при закрытом зажиме 6 и открытом зажиме 19. Постепенно, открывая зажим 6 и закрывая зажим 19, регулируют подачу воздуха со скоростью, установленной

стандартами на масла, в цилиндр-колонку, реометр, буферную склянку и змеевик.

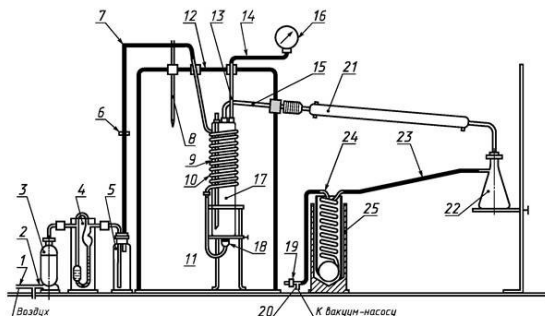


Рис. 73 - Прибор для определения испаряемости масел:

1, 20 - тройник стеклянный; 2, 6, 19 - зажимы винтовые; 3 - цилиндр-колонка; 4 - реометр; 5 - склянка буферная; 7 - штатив; 8, 9 - термометры ртутные типа ТЛ-2 1-А 5 или ТЛ-2 1-А 4 или термомпара хромель-капель; 10 - змеевик-подогреватель воздуха; 11 - подставка для испарителя; 12 - термостат с электрообогревом; 13 - стеклянная трубка со шлифом; 14 - трубка мановакуумметра; 15 - насадка; 16 - мановакуумметр; 17 - испаритель; 18 - пористая пластинка; 19 - кран; 21 - холодильник; 22 - приемник конденсата; 23 - вакуумная резиновая трубка; 24 - приемник-ловушка; 25 - сосуд-термос

Нагретый в змеевике воздух поступает через стеклянную пористую пластинку 18 в испаритель 17 и равномерно мелкими пузырьками распределяется по всей массе масла.

Пары масла и воздух поступают в отводную трубку 15, затем в холодильник 21 и, конденсируясь, стекают в приемник конденсата 22. Несконденсировавшиеся пары масла поступают в приемник-ловушку 24, где они полностью конденсируются.

По истечении времени испытания выключают обогрев термостата, прекращают подачу воздуха и открывают дверцу термостата. Испаритель вынимают из термостата, охлаждают до комнатной температуры и взвешивают с погрешностью не более 0,01 г.

Потери от испарения испытуемого масла (X) в процентах вычисляют по формуле

$$X = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100,$$

где m_1 - масса испытуемого масла до испарения, г; m_2 - масса испытуемого масла после испарения, г.

По ГОСТ 32391-2013 проводится количественная оценка испаряемости моторных масел при температуре 371 °С (700 °F) методом капиллярной газовой хроматографией (рис. 74).



Рис. 74 - Газовый хроматограф "Хроматек"

Помещают примерно от 0,1 до 1,0 г алиquotы пробы в пузырек-виалу с обжимным или завинчивающимся колпачком. Разбавляют растворителем алиquotу образца до содержания образца приблизительно 2% масс. Герметично закрывают пузырек-виалу колпачком и тщательно перемешивают содержимое до получения однородной смеси. В соответствии с программой проведения испытания вводят алиquotу образца в газовый хроматограф. Записывают время измерения пиков при испытании (режим измерения площади пиков).

Плотность

Плотность необходима при перерасчете объема масла в массу и наоборот.

При повышении температуры плотность нефтепродуктов снижается и, тем сильнее, чем меньше плотность. По плотности можно примерно судить об углеводородном составе масла, так как

наименьшей плотностью отличаются парафины, а наибольшей - нафтеновые соединения. По плотности работающего масла определяют попадание в него топлива. Плотность может помочь идентифицировать неизвестное масло при сравнении нескольких сортов или марок.

Плотность масел определяется в соответствии с ГОСТ 3900-85 "Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности".

Сущность метода заключается в погружении ареометра в испытуемый продукт, снятии показания по шкале ареометра при температуре определения и пересчете результатов на плотность при температуре 20 °С (см. плотность бензина п. 2.4.1, дизельного топлива п. 2.4.2).

Иногда плотность масла, как и сырой нефти, выражается в *градусах плотности API*. Соотношение градусов API° с относительной плотностью *d* измеряется при температуре 15,6 °С и определяется по формуле:

$$API^{\circ} = (141,5/rd) - 131,5.$$

Соотношение API⁰ и относительной плотности при 20 °С:

API°	24	26	28	30	31	34	37	39	40	41	44
d	0,910	0,898	0,887	0,876	0,871	0,855	0,840	0,830	0,825	0,820	0,806

Определение плотности в градусах API проводят по ГОСТ Р 57037-2016 "Нефтепродукты. Определение плотности, относительной плотности и плотности в градусах API цифровым плотномером". Настоящий стандарт устанавливает метод определения плотности, относительной плотности и плотности в градусах API нефтяных дистиллятов и вязких масел в жидком состоянии при температуре испытания с использованием ручного или автоматического ввода образца.

Сущность метода - в осциллирующую трубку вводят небольшой объем жидкого образца, примерно от 1 до 2 см³, измеряют частоту колебаний, вызванных изменением массы трубки, и с калибровочными данными используют для определения плотности, относительной плотности или плотности образца в градусах API.



а)



б)

Рис. 74 - Плотномеры

а - с ручным вводом образцов; б - с автоматическим вводом образцов

Для проведения исследований используют цифровые плотномеры с ручным вводом испытуемых образцов (рис. 74 а) и автоматизированным (рис. 74 б).

Смазывающие свойства

Смазывающие свойства моторного масла являются главными, так как обеспечивают основное функциональное предназначения масла снижать потери на трение и предотвращать изнашивание двигателя.

Эффективность процесса смазывания пар трения зависит от многих факторов, от которых зависит вид трения и режим смазки.

В нормальных условиях между поверхностями трения находится жидкий слой масла, который обеспечивает *гидродинамический режим смазывания*, при котором сила трения зависит только от вязкости масла.

В зависимости от нагрузки, скорости скольжения, состояния поверхности материала и качества масла могут возникнуть различные виды трения и режимы смазки.

Испытания смазывающих свойств показывают, в какой мере масло выполняет свои основные функции - уменьшает силу трения и предохраняет детали от износа. При испытаниях имитируются реальные условия режимов трения. На практике существует много ча-

стных случаев смазывания и поэтому имеется относительно много методов испытаний смазывающих свойств.

Наиболее часто моделируется трение скольжения на небольшой поверхности.

В ходе испытания постепенно повышается нагрузка и/или скорость скольжения (деформация сдвига) и измеряются сила трения и ее изменение, а также измеряется износ поверхностей трения. Из полученных данных рассчитываются критические параметры - *критическая нагрузка, нагрузка сваривания, нагрузочная способность масла, показатель степени износа, показатель скорости износа* и др.

Метод четырех шариков. Это наиболее распространенный и информативный метод определения смазывающих свойств масел и смазок. Четырехшариковая машина трения (ЧШМТ) с точечным контактом, была разработана компанией "Shell" (DIN 51 350, ASTM D 2266, ГОСТ 32502-2013, РД 50- 531) (рис. 75).

Методом ЧШМТ определяются:

- характер износа, кривая износа, показатель износа в условиях граничного трения - по пятнам износа шариков (ASTM D 2266, DIN 51350, Teil 3);

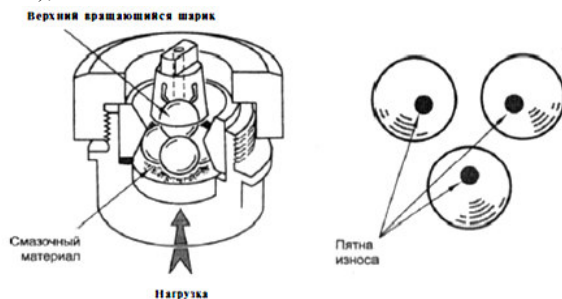


Рис. 75 - Принцип работы четырехшариковой машины для испытаний смазывающих свойств

- критическая нагрузка, нагрузка сваривания и нагрузочная (несущая) способность - по точкам перегиба на кривой износа;

- индекс задира (нагрузки) - по предельному давлению (ASTM D 2596, DIN 51350, Teil 2).

Характер изменения степени износа от нагрузки показывает противоизносные свойства масла при постоянной нагрузке, которая ниже критической.

В ходе испытания периодически измеряется диаметр пятен износа на нижних шарах и рассчитывается среднее значение износа (в мм). Зависимость износа (D) от нагрузки (P) характеризуется кривой износа (рис. 76).

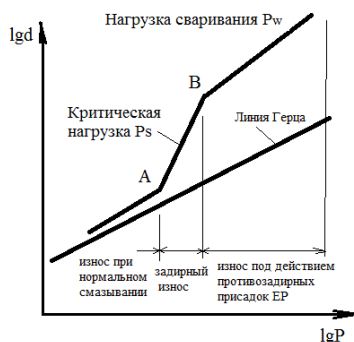


Рис. 76 - Кривая износа, полученная при помощи четырехшариковой машины. Зависимость диаметра пятна износа d от нагрузки P

Интенсивность износа от начала и до сваривания зависит от способности смазочного материала уменьшать износ и характеризуется индексом задира.

В начальном интервале нагрузки износ поверхностей трения происходит в условиях граничного трения и пропорционален нагрузке. В этом режиме соотношение между нагрузкой и соответствующим ей износом является постоянной величиной и может характеризовать противоизносные свойства масла. Индекс задира выражается в ньютонах.

По точкам перегиба кривой износа определяются критические точки износа:

критическая нагрузка P_s - такая нагрузка, при превышении которой начинается интенсивный износ, вызванный задиром в результате разрушения адсорбционного слоя смазки. Критическая на-

грузка показывает предельные возможности смазывания масла и называется несущей способностью;

предельная нагрузка P_w или нагрузка сваривания - такая нагрузка, при превышении которой шары схватываются (свариваются).

Метод FZG, называемый также методом Нимана (СЕС L-07-A-95, DIN 51 354, IP 334) (рис. 77). Это один из основных методов определения противоизносных и противозадирных свойств трансмиссионных масел.

Свойства масла определяются при помощи двух цилиндрических шестерней, погруженных в исследуемое масло. Шестерни, находящиеся под нагрузкой прокручиваются по 15 мин при постепенном повышении нагрузки и измерении потери массы шестерен. Испытание заканчивается по достижении потери массы в 10 мг или после 12 циклов (если потери массы не достигают 10 мг).

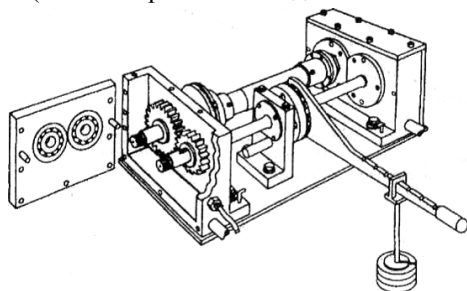


Рис. 77 - Схема прибора FZG по определению износа шестерней

Смазывающие свойства масла выражаются через число выдержанных циклов повышения нагрузки. Кроме этого, определяется предельная нагрузка, при которой шестерни начинают застревать, которая называется ОК нагрузкой и выражается в ньютонах. Аналогичный метод применяется в США - тест Ридера (ASTM D/ANSID 1947).

Метод Тимкена EP (ASTM D 2782) (рис. 78), который определяет противозадирные свойства масла при предельной нагрузке, т.е. критическую нагрузку задира или Timken ОК нагрузку, которая выражается в ньютонах.

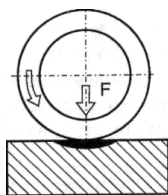


Рис. 78 - Схема метода Тимкена по определению противозадирных свойств масла

Это нагрузка, которую может выдержать масляная пленка на поверхности трения до появлением задира в условиях данного эксперимента. Такая нагрузка показывает *нагрузочную способность масла*.

Метод Фалекса (ASTM D 3233). Валик имитирует шейку подшипника, который зажимается двумя V-образными зажимами (рис. 79), изготовленными из высокопрочной стали, т.е. валик зажимается четырьмя прямолинейными поверхностями-контактами, и прокручивается с постоянной скоростью.

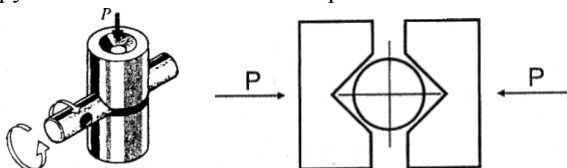


Рис. 79 - Схема метода Фалекса

Система погружена в исследуемое масло с установленной постоянной температурой, скорость вращения - 330 мин^{-1} (скорость скольжения - $10,4 \text{ см/с}$). Сила сжатия (нагрузка) может быть увеличена как непрерывно, так и через определенные интервалы. Измеряется сила трения и износ.

По полученным данным определяются антифрикционные и противозадирные характеристики масла.

Метод Алмен-Виланда. Аналогичный методу Фалекс, но зажимы имеют форму полувтулок и изготовлены из того же металла, что и валик (рис. 80).

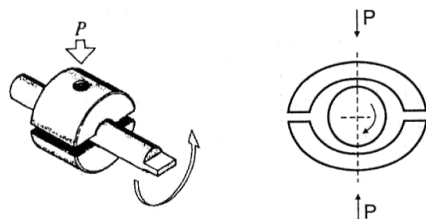


Рис. 80 - Схема метода Алмен-Виланда

В этом случае контактирующая поверхность трения не линейная, а плоская. В ходе испытания при постоянной скорости вращения валика (200 мин^{-1} , скорость скольжения $6,6 \text{ см/с}$), непрерывно увеличивают нагрузку до начала задира или до окончания ресурса прижимной силы.

Измеряется сила трения и максимальная нагрузка до начала задира.

Ни один из приведенных методов не позволяет определить абсолютные параметры трения и износа или подобрать масло для конкретного применения в двигателях внутреннего сгорания, но дает возможность сравнивать качество применяемых присадок в определенных рабочих условиях.

Смазывающие свойства товарных моторных масел оцениваются на реальных двигателях.

Стабильность к окислению

Окисление моторного масла является основным источником его старения в процессе работы двигателя и образования различных отложений в камере сгорания, на горячих поверхностях масляной системы и в объеме масла.

Окисление масла происходит под воздействием кислорода воздуха в условиях высокой температуры, каталитического воздействия металла и механического напряжения в условиях большой скорости сдвига.

Количество и характер отложений в двигателе зависит от состава и свойств топлива и моторного масла, конструкции двигателя и условий эксплуатации. Окисление углеводородов является многостадийным процессом и протекает по цепному механизму. В начале

процесса образуются и накапливаются гидроперекиси, которые в последствии резко ускоряют окисление за счет образования свободных радикалов.

В зависимости от температурного режима работы двигателя различают два основных вида окисления моторного масла.

Высокотемпературное окисление, которое имеет место при работе двигателя на полной мощности и магистральной езде.

Низкотемпературное окисление, которое в большей степени происходит при работе двигателя на холостом ходу, при частых остановах, когда двигатель и масло не успевают полностью прогреться.

Первый этап окисления моторного масла практически не вызывает заметных изменений физических свойств масла и называется *индукционным периодом*. Его продолжительность служит показателем стойкости масла к окислению. Изучение хода реакции окисления по расходу кислорода является одним из наиболее простых и точных методов изучения окисления. Определяются два показателя - индукционный период расхода кислорода и скорость расхода кислорода после индукционного периода. Стабильность к окислению моторного масла определяется по ГОСТ 11063-77 Исследования проводят на приборе типа НК-НАМИ (рис. 81).

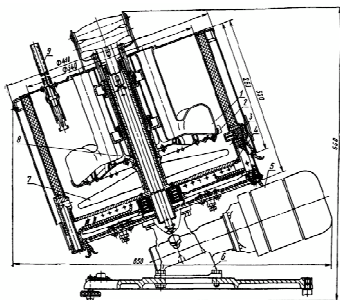


Рис. 81 - Прибор ДК-НАМИ:

1 - реакционная колба; 2 - кассета для реакционных колб; 3 - термостат; 4 - нагревательный элемент; 5 - электродвигатель; 6 - редуктор; 7 - мешалка; 8 - подъемный механизм; 9 - контактный термометр

После индукционного периода протекают другие, самоускоряющиеся реакции окисления, заметно изменяющие химические и физические свойства масла. Образуются кислоты, смолы, увеличивается вязкость масла

Из смол на нагретых поверхностях образуются углеродистые отложения нагар, лак, накопление которых может привести к повышенному износу, заклиниванию колец, толкателей и др. Кислые продукты окисления способствуют коррозии деталей двигателя и старению резиновых деталей.

Окисление масла в двигателе при высокой температуре называется термоокислением. *Стабильность к термоокислению* характеризует стойкость моторного масла к образованию нагара на горячих поверхностях цилиндропоршневой группы.

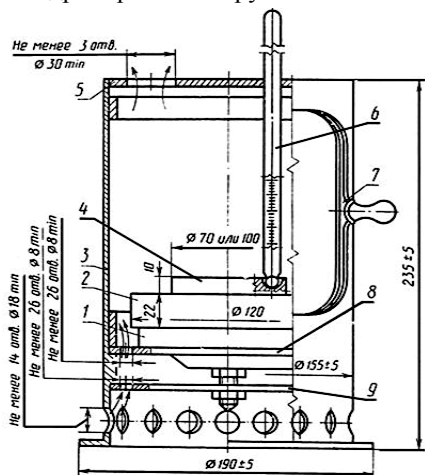


Рис. 82 - Аппарат Папок:

1 - электронагревательный элемент (мощность 650 Вт min);
 2 - нагревательная пластина; 3 - металлический корпус; 4 - диск; 5 - верхняя крышка; 6 - термометр; 7 - подвижная стеклянная дверца; 8 - накладка; 9 - нижняя крышка

Определяют ее по ГОСТ 23175-78 "Масла смазочные. Метод оценки моторных свойств и определения термоокислительной ста-

бильности" при нагревании металлической поверхности с тонким слоем масла до испарения летучих фракций. Остаток масла разделяют на фракцию масла и нагар. Стабильность масла к термоокислению оценивается временем, в течение которого масло, нагретое до температуры 250 °С превращается в остаток, состоящий из 50 % фракции масла и 50 % нагара. Испытания проводят на аппарате Папок (рис. 82).

Моющие свойства

Моющими свойствами моторных масел называют их способность противостоять образованию отложений на горячих поверхностях двигателя.

В процессе работы двигатель интенсивно загрязняется продуктами окисления и сгорания масла и топлива. Для нормальной работы чистыми должны оставаться кольцевые канавки поршней, сами поршни, масляные каналы, клапанный механизм, кулачки и другие трущиеся детали.

Ресурс работы масла обусловлен главным образом его моющими свойствами.

Так как базовые масла по моющим свойствам не удовлетворяют предъявляемым требованиям по чистоте двигателя, то к ним добавляют моющие и диспергирующие присадки, которые удерживают продукты окисления в масле во взвешенном состоянии, переводят нерастворимые в масле вещества в коллоидный раствор, либо препятствуют их налипанию на поверхность нагретых деталей.

Отложения в двигателе, их состав и строение зависят от температуры поверхностей металла, свойств масла и условий эксплуатации. Различают: нагар, лак, смолистые вещества, шлам.

Образование и накопление отложений на поверхностях деталей двигателя является результатом не только недостаточной окислительной и термической стабильности масла, но и недостаточных его моющих свойств.

Нагар - это продукты термической деструкции и полимеризации масла и топлива, на сильно нагретых поверхностях камеры сгорания (450-950 °С). Нагар имеет характерный черный цвет, иногда может быть другого цвета.

Толщина слоя отложений периодически изменяется, нагар ухудшает отвод тепла. При высокой температуре он сгорает. Меньше отложений образуется в разогретом двигателе, работающем под нагрузкой. По структуре нагар бывает монолитным, плотным или рыхлым.

Нагар оказывает отрицательное влияние на работу и состояние двигателя.

Отложения в канавках поршня вокруг колец препятствуют их движению и вызывают *заклинивание, залипание, прихватывание колец*. В результате затруднения движения кольца не прижимаются к стенкам и не обеспечивают компрессию в цилиндрах. Мощность двигателя падает, возрастает прорыв газов в картер, увеличивается расход масла, что приводит к чрезмерному износу цилиндров.

Полирование стенок цилиндров. Отложения на верхней части поршней полируют внутренние стенки цилиндров. Полирование препятствует сохранности масляной пленки на стенках и значительно ускоряет износ цилиндров.

Лак - твердые или клейкие углеродистые отложения от желтого до черного цвета, которые образуются на умеренно нагретых поверхностях вследствие полимеризации тонкого слоя масла в присутствии кислорода.

Лак покрывает юбку и внутреннюю поверхность поршня, шатуны и поршневые пальцы, стержни клапанов и нижние части цилиндров. Лак ухудшает отвод тепла (особенно поршня), снижает прочность и сохраняемость масляной пленки на стенках цилиндров.

Отложения в камере сгорания образуются из частиц углерода, в результате неполного сгорания топлива, солей металлов, входящих в состав присадок, и термического разложения остатков масла. Отложения накаляются и могут вызвать преждевременное возгорание рабочей смеси (калильное зажигание).

Это создает дополнительные напряжения в двигателе, что приводит к ускоренному износу подшипников и коленчатого вала, перегреваются отдельные части двигателя, снижается мощность, повышается расход топлива.

Засорение свечей зажигания. Отложения, скопившиеся вокруг электрода свечи, замыкают искровой промежуток, искра становится слабой, а зажигание нерегулярным. В результате этого снижается мощность двигателя и повышается расход топлива.

Смолистые вещества образуются в масле в результате окислительных реакций и полимеризации продуктов окисления и неполного сгорания топлива. Образование смол усиливается при работе недостаточно прогретого двигателя. Продукты неполного сгорания топлива прорываются в картер двигателя при продолжительной работе на холостом ходу или в режиме стоп-старт. При высокой температуре и интенсивной работе двигателя, топливо сгорает полнее. Для уменьшения смолообразования в моторные масла вводят диспергирующие присадки, которые предотвращают коагуляцию и осаждение смол. Смолы, углеродистые частицы, водяной пар, тяжелые фракции топлива, кислоты и другие соединения конденсируются, коагулируют в более крупные частицы и образуют в масле черный шлам (*black sludge*).

Шлам - это суспензия и эмульсия в масле из нерастворимых твердых и смолистых мазеобразных веществ от коричневого до черного цвета. Картерный шлам состоит из:

- масло - 50-70 %,
- вода - 5-15 %,
- топливо, продукты окисления масла и неполного сгорания топлива, твердые частицы - остальное.

В зависимости от температуры двигателя и масла различают низкотемпературный и высокотемпературный шлам.

Низкотемпературный шлам образуется при взаимодействии в картере с маслом прорывных газов, содержащих остатки топлива и пары воды на непрогретом двигателе. Шлам в картере является причиной: возрастания вязкости масла, закупоривания каналов системы смазки, нарушения подачи масла.

Шлам в коробке распределительного механизма является причиной недостаточной ее вентиляции. Мягкий и рыхлый шлам при продолжительной поездке становится твердым и хрупким.

Высокотемпературный шлам образуется в результате взаимодействия окисленных молекул масла под влиянием высокой температуры. Молекулярная масса масла повышается и вязкость увеличивается.

В дизельном двигателе образование шлама и увеличение вязкости масла вызывается накоплением сажи. Образованию сажи способствуют перегрузки двигателя и обогащение рабочей смеси.

Масло должно препятствовать образованию продуктов окисления и не допускать их отложений в двигателе. Если при продолжительной работе двигателя детали не загрязняются, то считается, что масло обладает хорошими моющими свойствами. Моющие свойства моторных масел оцениваются непосредственно чистотой двигателя и косвенно общим щелочным числом и коксуемостью.

Моющие свойства определяются по ГОСТ 5726-2013 "Масла моторные. Метод определения моющих свойств". Настоящий стандарт устанавливает метод определения моющих свойств по методу Папок, Зарубина и Виппера на установке типа ПЗВ (метод ПЗВ, рис. 83) моторных масел с присадками. Сущность метода: испытание масла проводят на установке типа ПЗВ в высокотемпературном режиме без подачи топлива с последующей визуальной оценкой отложений (лака и нагара) в баллах на боковых поверхностях поршня, условно разделенных на две зоны (рис. 84).

Чистота двигателя - это комплексная характеристика, включающая в себя не только моющие свойства масла, стойкость к окислению, а также способность подавлять коксо- и смолообразование. Смолистые отложения практически не образуются, пока в масле находятся моющие присадки. Чистота каждого типа двигателя определяется разными методами испытаний на разных режимах работы двигателя и оценки количества загрязнений на отдельных деталях после его разборки. При моторных испытаниях моющая способность масла определяется по следующим показателям.

1. *бензиновый двигатель*:

- отложения при высокотемпературном окислении (150 °С): заклинивание колец; заклинивание толкателей; лакообразование; отложения на межкольцевой части поршня, подушках коромысла

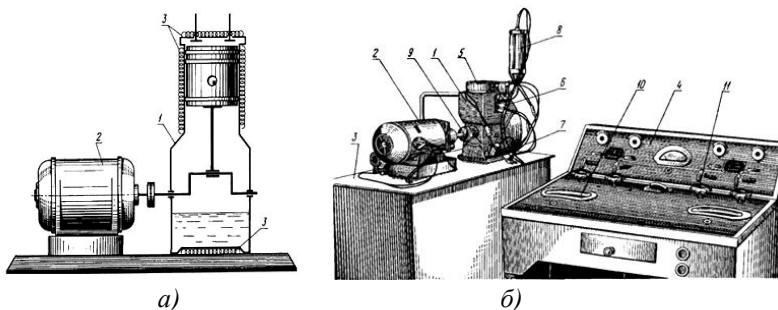


Рис. 83 - Установка ПЗВ:

а - принципиальная схема: 1 - двигатель; 2 - электромотор; 3 - электронагревательные элементы; б - общий вид установки ПЗВ: 1 - двигатель; 2 - электромотор; 3 - станина; 4 - пульт управления; 5 - нагреватель головки цилиндра; 6 - нагреватель середины цилиндра; 7 - нагреватель масла в картере; 8 - нагреватель всасываемого воздуха; 9 - соединительная муфта; 10 - гальванометр; 11 - реоста


Баллы ПЗВ →	0	1	2	3	4	5	6
	чистый поршень	Светло-желтый	Светло-коричневый	Коричневый	Темно-коричневый	Черный	Черный
	чистый металл	Лака нет	Светло-желтый	Коричневый	Темно-коричневый	Черный	Черный
		Лака нет	Светло-желтый	Светло-коричневый	Коричневый	Темно-коричневый	Черный

Рис. 84 - Шкала визуальной оценки отложений (лака и нагара) в баллах на боковых поверхностях поршня

- отложения при низкотемпературном окислении (46-100 °С): лакообразование на юбке поршня и в двигателе; заклинивание колец; отложения на крышке клапанного механизма и на поршне.

2. *дизельный двигатель*: засорение верхней кольцевой канавки: отложения на поршне; отложения кокса на верхней части поршня.

Основные стандартные стендовые и моторные испытания для определения моющей способности моторного масла:

- для дизельного двигателя, работающего в высокотемпературном режиме с применением сернистого топлива, оценивается чистота поршня и подвижность колец по стандартам СЕС L-12-A-76 "Оценка чистоты поршня в испытательном дизельном двигателе MWM KD 12E";

- для дизельного двигателя с турбонаддувом, работающего под нагрузкой, оценивается образование отложений на поршнях по стандарту СЕС L-24-A-78 "Оценка моторных масел в отношении образования отложений на поршне при тяжелом режиме работы, Petter AV-B дизельный испытательный двигатель с супернаддувом";

- для мощного дизельного двигателя с турбонаддувом, работающего в условиях неполного прогрева оценивается образование отложений на поршне и полирование стенок цилиндра по стандарту СЕС L-42-A-92 "Отложения на поршне и полирование стенок цилиндров мощного дизельного двигателя MB OM 364A";

- образование высокотемпературных отложений и прихватывание колец в бензиновом двигателе оценивается по стандарту СЕС L-55-T-95 "Высокотемпературные отложения и прихватывание колец в бензиновом двигателе";

- высокотемпературное окисление моторного масла в бензиновом двигателе оценивается по стандарту ASTM STP 315H Sequence ШЕ, F;

- склонность к низкотемпературному нагарообразованию в бензиновом двигателе оценивается по стандарту ASTM STP 3 1 5H Sequence VE, G;

- склонность к образованию отложений в условиях высокой скорости и высокой температуры в бензиновом двигателе оценивается по стандарту ASTM STP 509A CRC L-38.

В США моющая способность масла по прихватыванию колец и по количеству загрязнений в кольцевых канавках оценивается моторными испытаниями на двигателях "Caterpillar" в разных режимах работы (1-H2, 1-D, 1-G2) согласно стандарту ASTM STP 509A.

Отечественные методы оценки качества масла

Метод испытаний	Критерии оценки
ИТ-9	Лакообразующие и коррозионные свойства, срабатываемость присадки
ОД-9	Высокотемпературные отложения на поршне. Антиокислительная стабильность. Моющие свойства
НАМИ-1	Низкотемпературные отложения
ИМ-1 по методу ВНИИ НП ЯМЗ-238 НБ	Моющие и антиокислительные свойства
УИМ-НАТИ УИМ-6-НАТИ	Склонность дизельных масел к образованию отложений на поршне. Противоизносные свойства. Моющие и антиокислительные свойства
НАТИ-69	Моющие и диспергирующие свойства
СМД-14	Моющие и противоизносные свойства. Лаковые отложения. Низко- и высокотемпературные отложения
ЯАЗ-204	Антикоррозионные и противоизносные свойства. Низко- и высокотемпературные отложения
ДК-НАМИ ДК-2-НАМИ ДК-3-НАМИ	Коррозионные свойства масел. Высокотемпературные отложения на поршне

Срабатывание присадок

Срабатывание присадок является определяющим процессом снижения сроков смены масла. Под срабатыванием (или срабатываемостью) присадок в более широком смысле понимают потерю их функциональных свойств, что возможно в результате термического разложения присадок, адсорбции их на металлических поверхностях различных деталей, на масляных фильтрах и т. д.

Моющие, диспергирующие присадки расходуются на нейтрализацию кислотных соединений, задерживаются в фильтрах вместе с продуктами окисления и разлагаются при высоких температурах. О расходе присадок косвенно можно судить по уменьшению общего щелочного числа. Кислотность масла повышается вследствие образования продуктов окисления масла и сгорания топлива, которые реагируют с присадками и понижают щелочность масла.

Противоокислительные и моющие свойства масла особенно важны при форсировании двигателей. Бензиновые двигатели форсируются путем увеличения степени сжатия и частоты вращения коленчатого вала, а дизельные - увеличением эффективного давления и частоты вращения коленчатого вала. При увеличении частоты вращения коленчатого вала на 100 оборотов в минуту или при повышении эффективного давления на 0,03 МПа температура поршня увеличивается на 3 °С. Уменьшение массы двигателя приводит к увеличению механических и тепловых нагрузок на детали.

В большинстве работ степень срабатываемости присадок определяли по зольности, щелочности, кислотности, содержанию металла присадки в масле и пр., т. е. по показателям, не дающим полного представления об изменении действительной эффективности присадок. Наиболее известным в нашей стране является испытание масел *методом Серия поршней*.

Сущность метода Серия поршней заключается в проведении длительного испытания двигателя на одной и той же порции масла, в течение которого через равные периоды времени поршни заменяют новыми с таким расчетом, чтобы в течение одного испытания получить серию поршней, каждый из которой работал одинаковое время на масле различной степени отработанности.

По методу Серия поршней испытывают 3 кг масла в течение 30 ч и 4 кг масла в течение 40 ч. Испытания проводят при более высоком температурном режиме (температура охлаждающей жидкости 240 °С). Полученные результаты хорошо согласуются с результатами 20-часовых испытаний этих масел. Экспериментальные данные показывают, что по методу Серия поршней можно легко проследить за срабатываемостью присадок при работе масла в двигателе.

Метод Серия поршней может быть использован для установления оптимальных сроков и условий долива свежего масла.

Для сравнительной оценки срабатываемости моющих и антиокислительных присадок предлагается использовать метод Серия поршней в следующем варианте. Образец масла с присадками в количестве 2 кг при температуре охлаждающей жидкости 220 °С испытывают на одноцилиндровой установке ИТ9-5 по методике, приве-

денной выше, в течение 20 ч со сменой поршней через каждые 5 ч испытания. Таким образом, за время испытания получают серию поршней с различным количеством лака на их боковой поверхности. Полученные результаты выражают в процентах черного лака и по ним строят кривую лакообразования в зависимости от продолжительности испытания (рис. 85).

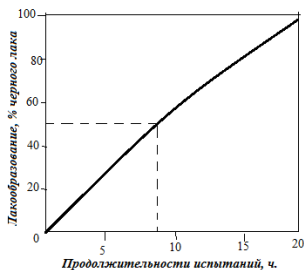


Рис. 85 - Кривая лакообразования

Для построения кривой лакообразования берут такую серию поршней, в которой на последнем поршне содержится не менее 70 % черного лака. На кривой лакообразования находят точку, соответствующую 50 % черного лака, и, опустив из нее перпендикуляр на ось абсцисс, определяют время в часах, за которое поршень при работе на испытуемом масле покрывается на 50 % черным лаком. [

Таким образом, по методу Серия поршней при испытании масел, содержащих 0,5-2 % присадки, удается получить (максимум за 20 ч испытания) кривую лакообразования, позволяющую оценить срок действия присадок. Следует отметить, что срок действия масел без присадок по методу Серия поршней равен 2-6 ч.

Совместимость с материалами

Совместимость с материалами связана с двумя основными свойствами моторных масел - коррозионной активностью и защитной способностью.

Коррозионная активность характеризует скорость коррозионного воздействия масел и продуктов их превращения на металлы. Процессы, обусловленные коррозионной активностью, подчиняются законам химической и электрохимической коррозии.

Углеводороды, составляющие масло, коррозионно не активны. Активными являются продукты окисления масла, продукты сгорания сернистого топлива, попадающие в моторное масло, вода, попадающая в масло с продуктами сгорания или из внешней среды, некоторые хлор-, фтор- и серосодержащие противозадирные присадки.

Органические кислоты корродируют цветные металлы вкладышей подшипников, а коррозионный износ металлов и ржавление усиливаются в присутствии воды.

При попадании продуктов сгорания топлива в картер вода конденсируется.

Оксиды серы превращаются в серную и сернистые кислоты, а оксиды азота образуют азотную и азотистую кислоты, которые разрушают металл вследствие химического и электрохимического воздействия.

Химическая коррозия протекает при прямом взаимодействии металла с химически активными компонентами моторного масла. Продуктами взаимодействия являются окиси металлов, соли и гидратированные соединения.

Электрохимическая коррозия сопровождается появлением электрического тока вследствие образования электрических зарядов на катодных и анодных участках металла в присутствии электролита. Наличие электропроводящей среды в сочетании с термодинамической неустойчивостью металла и его неоднородностью приводят к возникновению электрохимической коррозии.

Защитная способность моторного масла заключается в защите металла от коррозии.

В основе снижения коррозионных процессов лежит *процесс поляризации* - изменение величины катодных и анодных потенциалов, приводящее к уменьшению силы тока. В результате поляризации металл переходит в *пассивное состояние*. Согласно пленочной теории, это происходит за счет образования защитной многослойной пленки продуктов взаимодействия металла с активными компонентами масла или в результате адсорбции поверхностно активных веществ.

Защитные свойства моторных масел могут быть улучшены с помощью ингибиторов коррозии, тормозящих анодные и катодные процессы электрохимической коррозии и образующих на поверхности металла после вытеснения молекул воды прочные адсорбционно-хемосорбционные защитные пленки.

Лабораторными методами коррозионность моторного масла оценивают по следующим показателям:

- содержание водорастворимых кислот и щелочей;
- кислотное число;
- содержание серы;
- содержание воды;
- характер коррозии медной или другой металлической пластинки.

Коррозионность масла чаще всего определяют методом воздействия на металлическую пластинку тех металлов, которые контактируют с маслом и являются наиболее чувствительными к коррозии. Коррозионность масла в присутствии воды определяется по стандарту ASTM D 665/Proc.A, ГОСТ 19199 показателями "соответствует" или "не соответствует".

Способность масла предохранять детали клапанной системы от коррозии в недостаточно прогретом двигателе, потребляющем сернистое топливо определяют по стандарту ASTM STP 315H "Моторное испытание на многоцилиндровом двигателе для оценки автомобильных моторных масел. Часть первая, последовательность IID".

Коррозию подшипников и склонность к образованию отложений в условиях высоких скоростей и температур определяют по американскому стандарту ASTM STP 509L P4 "Испытания для оценки моторных масел" и стандарту CEC L-02-A-78 "Моторное испытание окисления масла и коррозии подшипников. Одноцилиндровый бензиновый двигатель Petter W 1" на медных и свинцовых пластинах по изменению поверхности пластин и потере массы.

Склонность к пенообразованию

При интенсивном перемешивании и взбалтывании работающего масла может образовываться пена, которая ухудшает его смазывающие и защитные свойства масла, ускоряет окисление, умень-

шает производительность масляного насоса. Вспениваемость зависит от химического состава масла, вязкости, поверхностного натяжения, наличия присадок, условий эксплуатации и др.

По стандарту ASTM D 892 вспениваемость определяют по двум показателям

- склонность к пенообразованию и стабильность пены.

Склонность к пенообразованию определяют как объем (мл) пены, образующийся в масле в градуированном мерном цилиндре, прогретом до 24 °С (последовательно до 94 °С) и продуваемом воздухом в течение 5 мин.

Стабильность пены определяют по объему пены после определенного интервала времени отстаивания (по ASTM D 892 - 10 минут).

Склонность к пенообразованию увеличивается, а стабильность пены уменьшается при повышении температуры и уменьшении плотности масла.

Моющие, вязкостные, противоизносные, антикоррозионные присадки усиливают вспениваемость масел. Склонность к пенообразованию значительно увеличивается при наличии в масле воды.

Вспениваемость масел уменьшают путем введения в их состав противопенных присадок (в основном силиконовых жидкостей).

Цвет и прозрачность.

Качество и товарный вид масла иногда оценивается по его цвету и прозрачности. В большинстве случаев, за исключением применения твердых модификаторов трения (дисульфид молибдена и т. п.), прозрачность масла должна быть полной без видимых механических включений.

Цвет масла зависит от присутствия темных смолистых веществ и от свойств нефти, из которой изготовлено масло. Нет прямой зависимости между цветом масла и содержанием смолистых веществ, особенно если масло выработано из нефти разных месторождений. По цвету масла можно лишь приблизительно судить о качестве его очистки. Иногда цвет является показателем товарного вида масла, так как покупатель склонен оценивать качество масла по его цвету. Готовое товарное масло в большинстве случаев не окра-

шивается и бывает от светло-желтого до темно-коричневого цвета. Такой натуральный цвет масла определяется и выражается численно по стандартам ISO 2049, ASTM D 1500, ГОСТ 20284 и др. при сравнении цвета масла с набором цветных эталонов, которые нумеруются от 0,0 (белый) до 8,0 (очень темный коричневый) через 0,5 единицы (всего 16 номеров). Приблизительные значения цвета масла приведены в табл. 24.

Таблица 24

Номера цвета масла по стандарту ISO 2049

Номер цвета	Цвет
0,0	Белый
1,0	Светло-желтый
2,0	Желтый
3,0	Темно-желтый
4,0	Очень светлый коричневый
6,0	Светло-коричневый
7,0	Темно-коричневый
8,0	Очень темный коричневый

Некоторые масла окрашиваются в яркие цвета. Масла для двухтактных двигателей окрашивают в зеленый, синий или красный цвет для отличия топливно-масляной смеси от чистого топлива.

По старой традиции бытует мнение, что масло очень высокого качества, выработанное из парафиновой нефти, должно иметь слабый флуоресцирующий зеленый оттенок. По этой причине некоторые производители специально вводят в масло флуоресцирующие красители. При необходимости масла подкрашивают масломрастворимыми органическими красителями.

Диспергирующие свойства масел

В процессе работы двигателя циркуляционное масло непрерывно загрязняется нерастворимыми в нем веществами. По мере накопления загрязнений снижается эффективность моющего действия находящихся в масле присадок.

Моюще-диспергирующие и стабилизирующие присадки, являясь полярно активными соединениями, адсорбируются на поверхности деталей, частицах нагара, продуктах износа и неполного сгорания топлива, на других нерастворимых в масле примесях, пре-

пятствую их слипанию (коагуляции) в крупные агломераты и предотвращая оседание последних на деталях двигателя. Кроме того, присадки адсорбируются на средствах очистки, а часть присадок расходуется на нейтрализацию кислот, попадающих в масло при работе ДВС на сернистом топливе.

Метод предназначен для определения диспергирующих свойств масла, характеризующих его способность препятствовать к слипанию высокодисперсных нерастворимых частиц, а также разрушать крупнодисперсные агломераты загрязнений.

Сущность метода заключается в оценке внешнего вида масляного пятна, полученного нанесением на фильтровальную бумагу капельной пробы масла (рис. 86). Соотношение двух основных характеристик пятна - зоны диффузии и центрального ядра (рис. 87) - позволяет оценить диспергирующую способность масла (ДС) качественно визуальным сравнением масляных пятен для среднещелочных масел, а также в альбоме номограмм и рисунков.

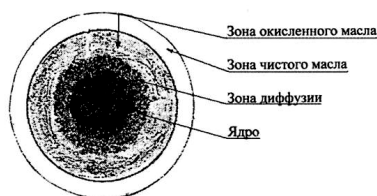


Рис. 86 - Структура пятна масла с присадкой

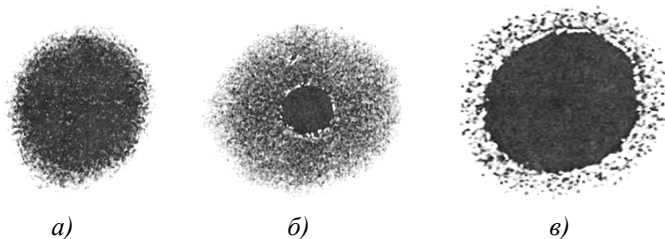


Рис. 87 - Образцы с диспергирующей способностью:

а - хорошая; б - средняя; в - плохая

Количественно оценка диспергирующих свойств проводится по формуле:

$$ДС = 1 - \frac{d^2}{D^2},$$

где d - средний диаметр центрального ядра, мм; D - средний диаметр зоны диффузии, мм.

$ДС$ измеряется в условных единицах. Средние диаметры (d и D) подсчитываются, как среднее арифметическое двух измерений у двух пятен, произведенных в двух взаимно перпендикулярных направлениях (как показано на рис. 88).

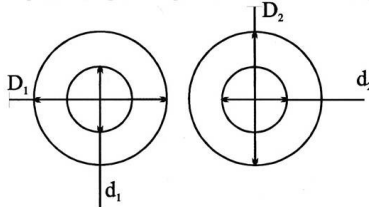


Рис. 88 - Пятна параллельных измерений

На основе оценки внешнего вида масляного пятна могут быть сделаны следующие выводы:

1) наличие вокруг центрального ядра сплошной зоны диффузии указывает на присутствие в работающем масле моюще-диспергирующей присадки;

2) наличие ядра, увеличение его размеров и уменьшение ширины зоны диффузии - снижение диспергирующей способности масла;

3) размер ядра равен размеру нанесенной капли (отсутствие зоны диффузии) - полное срабатывание присадки;

4) наличие ярко-жёлтого или светло-коричневого ореола вокруг ядра - масло подвергалось воздействию высокой температуры ;

5) появление ярко выраженной чёрной окантовки с рваными краями вокруг ядра - наличия воды в масле;

Содержание механических примесей

Механические загрязнения в масле состоят из твердых частиц, которые вызывают износ деталей и участвуют в образовании отложений и шлама.

Механические примеси удерживаются фильтром, однако частицы размером менее 25-40 мкм накапливаются в масле и участвуют в процессе износа.

Загрязнения в масле определяются, чаще всего путем фильтрации бензинового раствора (ГОСТ 12275) или фотометрически (ГОСТ 24943). Для предварительной оценки удобно определение на просвете или на фильтровальной бумаге. Для этого масло нагревают до 50-60 °С и наносят две-три капли масла на фильтровальную бумагу, на которой хорошо видны загрязнения. На бумажной хроматограмме измеряют диаметры трех зон капли, определяют их цвет и рисунок, равномерность растекания масла и изучают такие четыре составные части «капельной пробы»:

ГОСТ 10577-78 "Нефтепродукты. Методы определения содержания механических примесей", ГОСТ 6370-83 (СТ СЭВ 2876-81) "Нефть, нефтепродукты и присадки. Метод определения механических примесей". Сущность метода заключается в определении массы механических примесей, задерживаемых мембранными фильтрами при фильтрации через них испытуемого нефтепродукта. Метод не применяют для анализа нефтепродуктов, содержащих более 0,1 % нерастворенной воды (пп 2.4.1, 2.4.2).

Содержание воды

Вода в масле является нежелательным загрязнением. Вода в масло попадает при загрязнении извне: с грязью, при конденсации в картере атмосферной влаги и паров воды из продуктов сгорания топлива. Вода может быть в масле в растворенном и в свободном виде. Растворенная вода существенного влияния на свойства масла не оказывает. Растворенная вода в маслах определяется путем ее взаимодействия с гидридом кальция (ГОСТ 7822).

Свободная вода может образовать эмульсию и этим существенно изменить вязкость масла. Вода взаимодействует с присадками и нарушает их работоспособность.

Содержание свободной воды не допускается. Наличие свободной воды определяют несколькими способами: отстаиванием в пробирке - вода оседает в нижнем слое (ISO 3733, ГОСТ 2477), нагреванием масла в пробирке до 105-120 °С (ГОСТ 1547) - при нали-

чии воды образуется пена и возникает потрескивание или диэлектрическим методом путем измерения диэлектрической проницаемости (ГОСТ 1473).

Способность масла и воды отделяться друг от друга определяется по ГОСТ 32324-2013. Перемешивают в специальной градуированной делительной воронке 360 см³ образца масла и 90 см³ дистиллированной воды в течение 5 мин при температуре 82 °С. После перемешивания выдерживают в течение 5 ч, затем измеряют и регистрируют процентное содержание воды в масле и объемы воды и эмульсии, отделяющихся от масла.

Совместимость с эластомерами

Совместимость масел с эластомерами оценивают по результатам продолжительного воздействия масла на резиновые детали уплотнений (сальники, манжеты, прокладки и др.).

Для повышения стойкости к высокой температуре и уменьшения трения в эластомеры вводят противоокислительные, антифрикционные и другие добавки. При воздействии масел эластомерные детали могут набухать или терять свою эластичность (стареть). Интенсивность старения зависит от свойств эластомеров, от температуры и химического состава масла. Отрицательное влияние на эластомеры оказывают противозадирные (EP) присадки. Сера, входящая в состав таких присадок, вулканизирует резину, которая от этого твердеет и уменьшается по объему. В лучшем случае изменение объема эластомеров не должно превышать 6 %, на практике допускается иногда 15 %.

Воздействие масла на эластомеры определяется стандартными методами по CEC L-39-X-95, ISO 1817, DIN 53 521, ASTM D 471, ASTM D 2240, IP 278, ГОСТ 9.030 и др. Оценочные показатели: увеличение твердости, ед. DIDC; изменение напряжения разрыва, %; изменение удлинения до разрыва, %; . изменение объема, %, (увеличение (+), уменьшение (-)).

Содержание активных элементов присадок

Вводимые в моторное масло присадки, для улучшения их эксплуатационных свойств, изготавливаются на основе химически активных элементов. Металлосодержащие присадки, которые дейст-

вуют как моющие средства, антиокислители, противоизносные средства и т. д. Некоторые присадки содержат один или несколько металлов - барий, кальций, цинк и магний. Поэтому возникает необходимость в определении содержания металлов и подтверждения наличия в масле присадки.

ГОСТ 13538-68 "Присадки и масла с присадками. Метод определения содержания бария, кальция и цинка комплексонометрическим титрованием". Настоящий стандарт распространяется на присадки и масла с присадками и устанавливает метод определения массовых долей бария, кальция и цинка.

Метод заключается в разложении солей металлов в приборе (рис. 86), содержащихся в присадках и маслах с присадками, или в их золе, соляной кислотой и комплексонометрическом оттитровании бария, кальция и цинка.

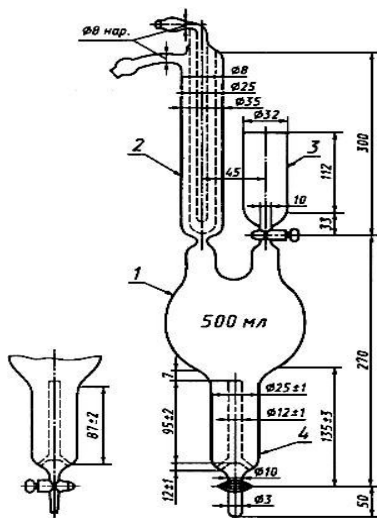


Рис. 86 - Аппарат для разложения:

1- колба; 2 - дефлегматор; 3 - загрузочная воронка; 4 - нагревательная часть с внутренней трубкой

ГОСТ 33904-2016 "Масла смазочные. Определение содержания бария, кальция, магния и цинка методом атомно-абсорбционной

спектрометрии". Сущность метода. Взвешивают образец и добавляют базовое масло до общей массы ($0,25 \pm 0,01$) г, затем добавляют 50 см³ раствора (соли калия в керосине), подавляющего ионизацию; полученную смесь перемешивают до полного растворения. Полученные растворы сжигают в пламени атомно-абсорбционного спектрофотометра. Используют пламя ацетилен/оксид азота.

Фосфор - часто встречается в маслах в виде противоизносной присадки (цинк диалкил дитиофосфат). Эта присадка обладает противоизносными, антизадирными, антиокислительными и антикоррозионными функциями. На сегодняшний день одна из самых применяемых противоизносных присадок, которая присутствует практически во всех маслах. Так же фосфор присутствует в модификаторах трения. Определение фосфора проводят по ГОСТ Р 52240-2004 и ГОСТ 33251-2015. Настоящими стандартами предусмотрены следующие методы определения фосфора. Органическую составляющую в образце удаляют, а фосфор переводят в фосфат-ион окислением серной кислотой, азотной кислотой и перекисью водорода. Затем определяют массовую долю фосфора фотометрическим (молибдено-диванадиевым) методом или гравиметрическим методом.

Фотометрический метод используют при определении массовой доли фосфора до 2 %. После окисления органического материала в испытуемом образце и количественного преобразования фосфора в фосфаг-ион регулируют кислотность обрабатываемой смеси и разбавляют до необходимого объема. Добавляют растворы ванадата аммония и молибдата аммония в указанном порядке. Добавление раствора молибдата аммония к кислой смеси фосфата ванадия приводит к образованию молибдованадофосфорной гетерополикислоты желтого цвета. Несмотря на то, что точный состав молибдованадофосфорной кислоты не определен, было установлено, что растворы этого соединения, полученные при точном соблюдении определенных условий, соответствуют закону Бугера-Ламберта-Бера при измерении пропускания в области 420-470 нм в зависимости от содержания фосфора.

Гравиметрический метод используется при определении массовой доли фосфора 2 % и более. После окисления органического

материала в испытуемом образце и количественного превращения фосфора в фосфат-ион отделяют его от мешающих металлов осаждением в виде молибдофосфата аммония в растворе азотной кислоты. После получения аммиачного раствора фосфат-иона фосфор осаждают в виде магний-аммоний-фосфата, прокаливают и взвешивают полученный пиррофосфат магния.

Биологическая разлагаемость

Биологическая разлагаемость - способность масел разлагаться микроорганизмами на нетоксичные водорастворимые соединения. Это свойство становится все более актуальным. Обычные минеральные масла и некоторые синтетические не разлагаются биологически и наносят существенный вред окружающей среде в течение продолжительного времени.

В США разработана новая методика определения биоразлагаемости (ASTM D 5864), согласно которой биоразлагаемыми считаются те масла, которые через 28 дней (не считая акклиматизационного периода) разлагаются на 60 %. В Европе пока нет такого метода, поэтому биологическая разлагаемость нефтепродуктов временно определяется по методике СЕС (СЕС-L-33- А-93), предназначенной для определения биоразлагаемости моторных масел для двухтактных двигателей, а также по отраслевому стандарту Германии VDMA 24 568, предназначенному для определения биологической разлагаемости гидравлических жидкостей.

2.5.2 Методы испытаний трансмиссионных масел

Трансмиссионные масла предназначены для механизмов агрегатов трансмиссии автомобилей, тракторов и других транспортных средств. Условия работы трансмиссионных масел имеют ряд особенностей: высокие удельные давления в зоне зацепления зубчатых колес, условия граничного трения, тепловые вспышки в зоне контакта, высокие скорости относительного скольжения зубьев и др. К тому же условия работы смазочных материалов в различных механизмах трансмиссий не одинаковы.

Кроме этого, трансмиссионные масла должны обладать высокими антипенными свойствами, минимально возможной коррозионной агрессивностью, хорошими защитными свойствами, высокой стабильностью, т. е. неизменностью первоначальных свойств, и не должны разрушать уплотнительные материалы узлов трансмиссии.

Одновременно трансмиссионные масла должны удовлетворять требованиям, к которым относят:

- уменьшение износа всех деталей трансмиссии;
- снижение потерь энергии, передаваемой от двигателя к ходовой части автомобиля;
- отвод тепла, вымывание и удаление из зон трения продуктов износа и других загрязняющих масло примесей;
- отсутствие коррозионной агрессивности по отношению к деталям трансмиссии;
- снижение вибрации и шума шестерен и защита их от ударных нагрузок;
- отсутствие вспенивания и меньшее изменение свойств масла.

Длительная работа узлов и механизмов трансмиссии может быть обеспечена в том случае, если масла будут обладать набором положительных эксплуатационных свойств.

- *Вязкость* - свойство жидкости оказывать сопротивление перемещению, обусловленное внутренними молекулярными взаимодействиями в движущейся среде (кинематическая вязкость, динамическая вязкость, условная вязкость, индекс вязкости);

- *Низкотемпературные свойства* – способность масла сохранять подвижность (текучесть) при низких температурах воздуха окружающей среды (температура помутнения; температура застывания; индекс вязкости; фильтруемость);

- *Испаряемость* – показатель, указывающий потери от испарения при работе масел (фракционный состав; температура вспышки);

- *Высокотемпературные свойства* – способность масла сохранять свои эксплуатационные свойства при повышении температуры (температура вспышки; температура самовоспламенения; стабильность к сдвигу);

- *Склонность к образованию отложений* – способность масла сохранять чистоту деталей двигателя (фактические смолы; коксующесть; зольность; зольность сульфатная; стабильность по индукционному периоду; моющие свойства; моющий потенциал; термоокислительная стабильность; щелочное число);

- *Антикоррозионные свойства* – степень коррозионного действия масел на детали трансмиссии (кислотное число; коррозионность; коррозионность на стальных и медных пластинках);

- *Стабильность физическая и химическая* – изменение свойств масла в результате физических и химических превращений компонентов (вязкость; количество фактических смол; механическая стабильность; термоокислительная стабильность);

- *Трибологические свойства* - комплекс показателей, характеризующих противоизносные, противозадирные и антифрикционные свойства смазочных масел (вязкость; массовая доля активных элементов; склонность к пенообразованию);

- *Смазывающая способность* – образование прочных пленок на зубчатых зацеплениях – обеспечивается противоизносными и антифрикционными свойствами (вязкость и ее изменение в процессе работы узла, которые рассмотрены в разделе 5).

- *Совместимость* - взаимодействие масла с материалами и другими маслами (смазывающая способность; термоокислительная стабильность; воздействие на резину; воздействие на медную пластину);

Загрязненность – присутствие в масле механических примесей и воды (содержание воды и механических примесей; массовая доля механических примесей; степень чистоты; цвет).

Вязкость

Вязкостно-температурные свойства трансмиссионного масла имеют большое значение для его эксплуатационной характеристики. От вязкости зависят потери мощности на трение, а также способность масла удерживаться в смазываемом узле. Между вязкостью и потерями мощности в агрегатах трансмиссии автомобиля существует прямая связь. Чем меньше вязкость масла, тем меньше потери энергии на внутреннее трение, тем больше КПД трансмиссии. Общие

потери энергии в трансмиссии значительны. Если 25 % полезной мощности автомобиля поступает от двигателя к трансмиссии, то в общей системе агрегатов трансмиссии вследствие собственных потерь эта мощность, передаваемая колесам, снижается уже до 12 %.

Поэтому для обеспечения снижения расхода топлива понятно стремление разработчиков к созданию масла минимальной вязкости. Однако с уменьшением вязкости масла существует опасность увеличения задира, истирания и питтинга. Кроме этого, уменьшение вязкости масла ниже определенного уровня может привести к повышению его расхода из-за несовершенства уплотнений или недостаточной герметичности трансмиссии. В связи с этим к маслу при его разработке предъявляют противоречивые требования. Для обеспечения холодного пуска трансмиссии при возможно низких температурах и минимуме потерь на преодоление трения в передачах вязкость масла должна быть минимальной, а для обеспечения высокой несущей способности масляной пленки и для снижения утечек через уплотнения -- максимальной. Однако по мере совершенствования конструкций агрегатов трансмиссий, повышения интенсивности их работы доминирующими режимами работы узлов становятся граничное и смешанное трение, при которых вязкость масла теряет свое прежнее значение, а первостепенное значение приобретает введение в масло эффективных функциональных присадок, благодаря которым осуществляется защита поверхностей трения от задира и износа. Улучшение материалов уплотнений также позволяет использовать маловязкие масла в агрегатах трансмиссий.

Таким образом, при сочетании хороших низкотемпературных свойств и минимально допустимой вязкости при рабочей температуре трансмиссионного масла достигается заметная экономия топлива особенно в период пуска и разогрева автомобиля.

Вязкость трансмиссионных масел определяется в соответствии с ГОСТ 1929-87, ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-94), ГОСТ 33768-2015, ГОСТ 33-2016. Настоящий стандарт устанавливает метод определения кинематической вязкости измерением времени истечения определенного объема жидкости под действием силы тяжести через калиброванный стеклянный капиллярный вискозиметр. Динамиче-

скую вязкость η вычисляют как произведение кинематической вязкости жидкости на ее плотность ρ . Методика определения аналогична приведенной в пп. 2.4.2, 2.5.1).

Индекс вязкости (ИВ) - безразмерный показатель, характеризующий изменения вязкости жидкостей в зависимости от изменения температуры. Чем выше индекс, тем меньше изменение вязкости при изменении температуры. Несмотря на то, что жидкости становятся менее вязкими по мере повышения температуры, вязкость жидкости с более высоким ИВ изменяется в меньшей степени, чем вязкость масла с более низким ИВ. Эта стойкость вязкости к изменениям температуры имеет важные последствия в реальной жизни. Жидкость с высоким ИВ может использоваться всесезонно. Высокоиндексная жидкость позволяет работать при более низких температурах, исключая неплановые простои из-за перегрева: она также позволяет эффективно и бесперебойно работать при высоких температурах и обеспечивает легкий низкотемпературный запуск. Это увеличивает температурный диапазон эксплуатации трансмиссий. Высокоиндексные жидкости обладают лучшими низкотемпературными свойствами, чем стандартные трансмиссионные гидравлические жидкости. Это означает, что при низких температурах жидкость данного класса вязкости будет иметь вязкость, аналогичную вязкости жидкости более низкого класса. Подбором этих характеристик можно идентифицировать жидкость, отвечающую требованиям, предъявляемым к высокоиндексным (всесезонным) маслам

Самая низкая и самая высокая температура эксплуатации оценивается:

- по температуре, при которой вязкость жидкости по Брукфильду доходит до показателя 150 000 сП (сантипуазов);
- по температуре, при которой кинематическая вязкость «трансмиссионки» определяется при температуре 100 градусов.

Благодаря этому удастся определить нагрузку (приблизительную) с которой сможет справиться защитная масляная пленка.

Температура вспышки

Температура вспышки. Этот показатель характеризует наличие в масле легкокипящих фракций, и, соответственно, связан с ис-

паряемостью масла в процессе эксплуатации. У хороших масел температура вспышки должна быть выше 225°C. У недостаточно качественных масел маловязкие фракции быстро испаряются и выгорают, ведя к высокому расходу масла и ухудшению его низкотемпературных свойств.

Температура вспышки определяется в соответствии с ГОСТ Р 51634-2000, ГОСТ 4333-2014 (ISO 2592:2000), методика проведения изложена в п. 2.5.1.

Температура застывания и текучести

Температура застывания - это температура, при которой масло практически полностью теряет текучесть (подвижность). Температура застывания характеризует момент резкого увеличения вязкости при снижении температуры, или кристаллизации парафина вместе с повышением вязкости в такой степени, что масло становится твердым.

Однозначной взаимосвязи температуры застывания масла с его пусковыми свойствами на холоде не существует. При обозначенной в маркировке трансмиссионного масла температуре застывания часть легких фракций ещё находится в жидком состоянии и, хотя застывшее масло в идеале представляет собой твердое тело, предел его механической прочности относительно не велик. Все это означает, что даже при застывшем масле сохраняется возможность проворачивания шестерен без приложения к ним опасных крутящих моментов.

Исходя из этого следует, что хотя температура застывания должна быть ниже той температуры при которой определяют динамическую вязкость для масел отдельного класса, на самом - же деле температурный предел применения масла данного класса ниже температуры его застывания. При дальнейшем понижении температуры масло становится настолько прочным, что без его предварительного подогрева затрудняется перемещение деталей агрегатов и может, соответственно, привести к их поломке.

Определение температур застывания и текучести проводится по ГОСТ 20287-91, методика изложена в п. 2.5.1.

Стабильность к окислению

Трансмиссионные масла в процессе работы в зубчатых передачах вследствие трения интенсивно разогреваются. Повышенная температура в сочетании с активным действием кислорода воздуха и каталитическим действием металлических поверхностей приводит к усиленному окислению масла, образованию в нем нерастворимых веществ, выпадающих в осадок. В результате окисления масла изменяются его физико-химические и эксплуатационные свойства: увеличивается вязкость, возрастает коррозионная агрессивность, ухудшаются противозадирные свойства. Скорость и глубина окисления масла зависят от длительности окисления, температуры масла, каталитического действия металла, концентрации кислорода. Наибольший ускоряющий эффект на окисление масла оказывает его температура. Состав базового масла также оказывает влияние на окисляемость трансмиссионного масла. Так, при уменьшении в основе содержания остаточного компонента наблюдается пропорциональное увеличение термоокислительной стабильности масла.

При работе смазочного масла в трансмиссии окисляются все его компоненты, в том числе и содержащиеся в нем присадки. При этом эксплуатационные свойства масла ухудшаются. Особенно опасно уменьшение содержания в масле противозадирной присадки, что может привести к выходу механизма из строя. Для замедления процесса окисления в трансмиссионные масла вводят антиокислительные присадки. Антиокислители уменьшают степень окисления масла, вступая в реакцию со свободными радикалами и гидроперекисями, образуя неактивные вещества, растворимые в масле, или разлагая эти материалы, образуя менее реакционноспособные продукты.

Для оценки термоокислительной стабильности трансмиссионных масел в лабораторных условиях использовали приборы, сделанные из стекла. Метод определения сводился к тому, что в стеклянный сосуд помещали навеску испытуемого масла, вводили в него в качестве катализатора стальные и медные пластинки и в течение десятков и сотен часов выдерживали при заданной температуре, пропуская через масло воздух или кислород. ГОСТ 23175-78 "Масла смазочные. Метод оценки моторных свойств и определение термо-

окислительной стабильности" определение термоокислительной стабильности проводят на аппарате Папок.

При стендовом испытании трансмиссионное масло легковых автомобилей подвергается окислению в шестеренчатой машине. Американский стандарт CRC L-60 (FTM 2504) «Метод испытания стойкости к термическому окислению TOST» (Thermal Oxidation Stability TEST) или спецификации MIL-L-2105B (рис. 87) оценивает изменение свойств трансмиссионного масла при воздействии сильного окисления. Определяется увеличение вязкости, общего кислотного числа и нерастворимой части масла. В Европе стойкость к окислению трансмиссионных масел оценивается стандартом CEC L-48-A-95 «Определение окислительной стабильности масел, используемых в коробках передач автомобилей, путем искусственного старения».

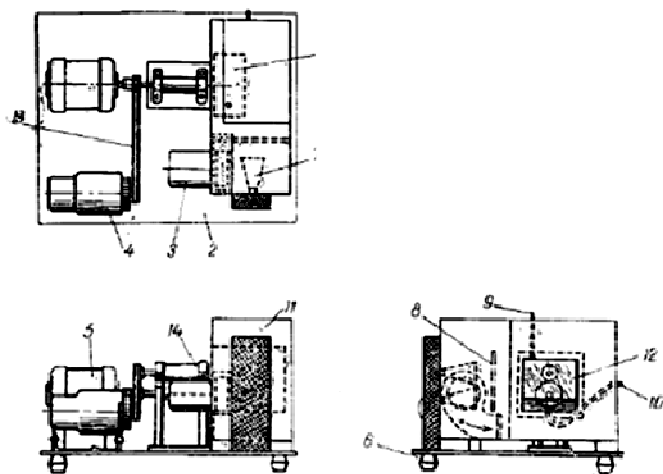


Рис. 87 - Стенд для оценки термоокислительной стабильности по спецификации MIL-L-2105B:

1 - редуктор; 2 - плита; 3 - привод вентилятора; 4 - нагрузочный генератор; 5 - электродвигатель привода; 6 - антивибрационные подставки; 7 - нагревательный элемент; 8 - термоизолирующая стенка; 9 10 - сапун; трубка подвода воздуха; 11 - корпус нагревателя; 12 - окно; 13 - ременная передача; 14 - блок подшипников

Масла (жидкости) для автоматических коробок передач (АТФ) должны иметь высокую стойкость к термоокислению. Как и в трансмиссионных маслах механических передач, рабочая температура жидкостей АТФ достигает 150 °С и более. Жидкости подвергаются интенсивному перемешиванию в присутствии катализирующих окисление сплавов меди. При этом жидкости АТФ 27 должны иметь большой ресурс работы (интервал замены через 30000...50000 км пробега). Кроме того, автоматическая коробка передач - агрегат высокой точности, работа которого в значительной степени зависит от чистоты деталей. Любые отложения продуктов окисления масла могут испортить автоматическую коробку передач. Стойкость к термоокислению жидкостей Dexron определяется при помощи лабораторной машины «GM» («General Motors») окислением жидкости при 135 и 163 °С. Жидкости Mercon исследуются при помощи прибора АВОТ (Aluminum Beaker Oxidation Test) компании «Ford Motor».

Стендовые испытания ведут при следующих условиях. Время испытания - 50 ч., либо столько, чтобы вязкость испытываемого масла увеличилась в два раза, температура - 163 °С, расход воздуха - 1,11 л/ч. Масло считается выдержавшим испытание если его вязкость увеличилась в двое более чем за 50 ч., а количество нерастворимого в бензоле осадка не превышало 0,3 %.

В соответствии с ГОСТ 23652-79 "Масла трансмиссионные. Технические условия" термоокислительную стабильность определяют на шестеренной машине изготовленную по чертежам ВАЗ. Сущность метода заключается в окислении масла при повышенной температуре в течение 50 ч и последующем определении увеличения вязкости окисленного масла и содержания в нем веществ, нерастворимых в петролейном эфире или бензине.

Отмечают время и включают электродвигатель. Устанавливают выходную мощность генератора 128 Вт и скорость подачи воздуха 1 дм³/ч. Подогревают масло до 155 °С и поддерживают температуру с точностью ± 1 °С. После 30 мин работы машины отбирают пробу масла (2 см³) и определяют кинематическую вязкость при 50 °С (ГОСТ 33). Затем пробы масел для определения вязкости отбирают через каждые 10 ч работы машины. По окончании 50 ч испытания

машину останавливают, масло сливают в чистую колбу или стакан и определяют вязкость при 50 °С и количество веществ, нерастворимых в петролейном эфире и бензине (раздельно), по ГОСТ 6370. Извлекают шестерни и медную пластинку, осматривают их и описывают состояние частей и деталей коробки, шестерен подшипников и медной пластинки. Удаляют отложения с пластинки-катализатора и взвешивают ее для определения активности масла по отношению к меди.

Антикоррозионные свойства

В агрегатах трансмиссии автомобилей используют детали, изготовленные из алюминия, меди и их сплавов, свинца, стали, различных сплавов, содержащих олово. Детали из цветных металлов относительно легко подвергаются коррозии в результате их химического взаимодействия с кислыми продуктами, которые образуются в процессе окисления масла. Чем сильнее окисляется масло, тем интенсивнее оно корродирует металл. Следовательно, коррозионная агрессивность масла зависит от тех же факторов, что и его окисление. Коррозия поверхности металла увеличивается также в присутствии воды.

Для защиты деталей из цветных металлов от воздействия кислых продуктов в трансмиссионное масло вводят ингибиторы коррозии. Эти присадки или тормозят процесс окисления, снижая в масле концентрацию агрессивных элементов, или нейтрализуют образовавшиеся в масле кислые продукты, или образуют на поверхности металла плотную защитную пленку, которая предотвращает прямой контакт с ним агрессивных продуктов. Такая пленка одновременно пассивирует металл, предупреждая его каталитическое воздействие на окисление масла. Поэтому большинство ингибиторов коррозии являются также дезактиваторами металла.

Коррозионная агрессивность масла оценивается его *кислотным числом* (ГОСТ 5985–79), определяемым по количеству мг КОН, которое нейтрализует все кислоты, содержащиеся в 1 г масла. Кислотное число базовых нефтяных масел обычно не превышает 0,04...0,1 мг КОН/г масла, товарных минеральных масел – 0,2...0,5, у синтети-

ческих основ этот показатель может быть более высоким и достигать 5,0...6,0 мг КОН/г масла.

Оценка коррозионных свойств свежего масла по кислотному числу не дает представления об истинной коррозии, которую может вызвать масло при его применении. В процессе эксплуатации масла содержание кислот в нем возрастает в 3...5 раз, и эти кислоты наиболее коррозионно опасны, вследствие растворимости в воде и лучшей диссоциации. Поэтому действующими стандартами коррозионную агрессивность масла рекомендуется оценивать не только кислотным числом, но и определять ее по методу Пинкевича, по методу НАМИ (ГОСТ 20502–75), на установке ПЗЗ (ГОСТ 13300–67) и по другим методикам (ГОСТ 19199–73, ГОСТ 2917–76, ГОСТ 32327–2013). Сущность большинства методов заключается в определении потери веса пластинки (в г/м²) из свинца или других металлов, подвергающейся попеременному воздействию нагретого масла и воздуха при комнатной температуре.

Содержание водорастворимых кислот и щелочей проводят по ГОСТ 6307-75 с использованием рН-метр любого типа с погрешностью измерения не более 0,1 рН, со стеклянными хлорсеребряными или каломельными электродами.

Испытания на медную пластинку проводят по ГОСТ 6307-75.

Содержание серы

Содержание серы повышает противозадирные свойства трансмиссионных масел, поэтому широко используются присадки, содержащие серу. В результате содержание серы в трансмиссионных маслах достигает 1,2-3,6 % (по массе). ГОСТ 1437-75. Сущность метода заключается в сжигании нефтепродукта в струе воздуха, улавливании образующихся сернистого и серного ангидридов раствором перекиси водорода с серной кислотой и титровании раствором гидроксида натрия.

Навеску масла помещают в кварцевую трубку (рис. 88) и сжигают в печи при 900-950 °С в течение 30-40 мин. с продувкой воздухом. Затем прокаливают в самом горячем месте печи 15 мин. По окончании сжигания трубку с лодочкой постепенно в течение 10-15 мин отодвигают в обратном направлении, отсоединяют приемник от

трубки и промывают кварцевое колено 25 дм³ дистиллированной воды, сливая ее в приемник.

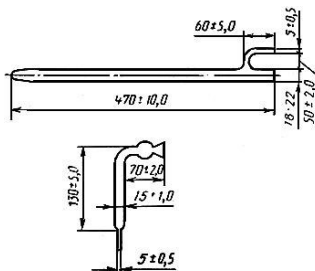


Рис. 88 - Трубка кварцевая с кварцевым коленом

Содержимое приемника титруют 0,02 моль/дм³ (0,02 н.) раствором гидроксида натрия в присутствии 8 капель смешанного индикатора до перехода фиолетовой окраски раствора в ярко-зеленую. Если продукт содержит более 2 % серы, то для титрования применяют бюретку вместимостью на 25 см³. Определение серы проводят расчетом по специальным формулам.

Смазывающая способность

Для обеспечения возможно меньшего износа высоконагруженных зубчатых передач трансмиссионные масла должны обладать хорошими смазывающими свойствами. Смазывающая способность (маслянистость) трансмиссионных масел зависит от их состава, определяемого методом получения: путем смешения маловязких масел с остаточными маслами или с экстрактом (смолкой), получаемым после селективной очистки, в которых сохраняются естественные поверхностно-активные вещества, находящиеся в исходном сырье. Повышению смазочных свойств трансмиссионных масел, кроме того, способствует добавление антифрикционных, противоизносных и противозадирных присадок.

Роль антифрикционных присадок - снижение или стабилизация коэффициента трения соприкасающихся поверхностей. Для этого используют вещества, обладающие поверхностной активностью: животные или растительные жиры, жирные кислоты и их эфиры, нафтенческие кислоты, мыла жирных кислот и др.

Если противоизносные присадки применяют для предотвращения интенсивного износа трущихся поверхностей при нормальных режимах трения, когда еще сохраняется масляная пленка, то противозадирные присадки (они и снижают интенсивность износа, и предотвращают заедание трущихся поверхностей, образуя на них тонкие пленки, изолирующие детали и предотвращающие сваривание и заедание зубьев шестерен) - при сверхвысоких нагрузках, когда граничная масляная пленка разрушается из-за чрезмерного выделения тепла в зоне трения. Таков же и механизм действия противоизносных присадок.

Смазочные свойства масел в качестве присадок улучшают органические вещества (серо-, фосфор-, галоид- и азотсодержащие соединения); металлоорганические соединения свинца, цинка, алюминия, молибдена, вольфрама и др.; сложные соединения (в их молекуле содержится одновременно несколько активных элементов, например, сера, хлор, фосфор), эффективность действия которых зависит от их активности (характера) и концентрации в масле.

Смазывающую способность, противозадирные и противоизносные свойства оценивают экспериментальным путем на машинах трения. В ходе испытания постепенно повышается нагрузка и/или скорость скольжения (деформация сдвига) и измеряются сила трения и ее изменение, а также измеряется износ поверхностей трения. Из полученных данных рассчитываются критические параметры - *критическая нагрузка, нагрузка сваривания, нагрузочная способность масла, показатель степени износа, показатель скорости износа* и др.

Исследования проводят:

- методом четырех шариков (ЧШМТ) с точечным контактом, была разработана компанией "Shell" (DIN 51 350, ASTM D 2266, ГОСТ 32502-2013, РД 50- 531);

- методом FZG, называемый также методом Нимана (CEC L-07-A-95, DIN 51 354, IP 334);

- методом Тимкена EP (ASTM D 2782);

- методом Фалекса (ASTM D 3233);

- методом Алмен-Виланда. Аналогичный методу Фалекс.

Методика аналогична испытаниям мотоорных масел (п. 2.5.1).

Защитные свойства

Во время эксплуатации автомобиля смазочное масло может обводняться. Это происходит вследствие поступления воды через зазоры в уплотнениях и вследствие конденсации паров воды из воздуха. Часто в воде содержатся неорганические соли и коррозионно-агрессивные компоненты. Все это создает условия для появления электрохимической коррозии, поскольку вода играет роль проводящего ток электролита.

Электрохимическую коррозию частично устраняют введением в состав масла защитных присадок, называемых противоржавейными. Механизм действия защитных присадок сводится к вытеснению влаги и других электролитов с поверхности металла и образованию на нем прочной адсорбционной пленки, предотвращающей контакт металла с агрессивной средой. Таким образом, эта пленка, в отличие от пленки, образованной антикоррозионными присадками, устойчива к действию не только органических кислот, но и воды.

Стойкость к пенообразованию

В процессе работы зубчатых передач смазочное масло подвергается интенсивному перемешиванию, вследствие чего в него попадает воздух и образуется пена. Стойкость масел к вспениванию в значительной степени зависит от углеводородного состава масла, способа и глубины его очистки, природы функциональных присадок, давления и температуры.

В нефтяных маслах растворимость воздуха больше, чем в парафиновых. Растворимость воздуха в масле снижается с уменьшением температуры и давления. При повышении температуры процесс образования пены интенсифицируется, причем тем эффективнее, чем меньше вязкость масла. Загрязняющие примеси и в некоторых случаях функциональные присадки увеличивают поверхностное натяжение пленки, повышая степень устойчивости пены, в результате чего зубчатые колеса смазываются только масловоздушной смесью, что приводит к отказам зубчатых передач через короткий период времени. Основное назначение антипенных присадок -- предупреждение образования стабильной пены в работающем агрегате. Антипен-

ные присадки вызывают уменьшение поверхностного натяжения пленок, разделяющих мелкие пузырьки воздуха. Вследствие этого пузырьки объединяются в более крупные, легко разрываются, и пена гасится.

Вспениваемость оценивают двумя показателями:

- склонность к пенообразованию;
- стабильность пены.

Склонность к пенообразованию определяют как объем пены (мл), образующийся в стандартных условиях.

Стабильность пены определяют как объем пены после определенного интервала времени отстаивания.

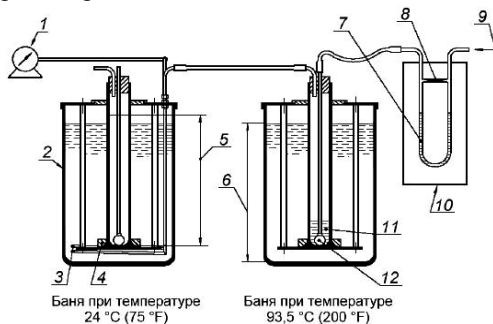


Рис. 89 - Аппарат для определения вспениваемости:

1 - прибор для измерения объема; 2 - сосуд из пирекса (боросиликатного стекла) диаметром приблизительно 300 мм, высотой приблизительно 450 мм; 3 - змеевик из медной трубки, не менее одного оборота; 4 - свинцовое кольцо; 5 - высота до отметки 1000 см^3 от 335 до 385 мм; 6 - необходимый минимальный уровень жидкости для погружения цилиндра до отметки 900 см^3 ; 7 - н-бутилфталат; 8 - капилляр диаметром 0,4 мм, длиной 16 мм; 9 - поток воздуха расходом от 89 до 99 $\text{см}^3/\text{мин}$; 10 - дифманометр-расходомер; 11 - мерный цилиндр вместимостью 1000 см^3 ; 12 - диффузор газа

По стандарту ASTM D 892 склонность к пенообразованию оценивают при температуре 24 °C в градуированном мерном цилиндре, продуваемом воздухом в течение 5 мин, а стабильность пены определяют через 10 мин отстаивания.

По ГОСТ 21058-75 пенообразующие свойства оценивают по высоте столба пены в мм при температуре 25 °С и 95 °С и времени разрушения пены в С при этих же температурах.

По ГОСТ 32344-2013 оценка вспениваемости проводится на специальном аппарате (рис. 89) в три этапа.

Этап I: Часть образца при температуре бани (24,0±0,5) °С продувают воздухом с постоянной скоростью (94±5) см³/мин в течение 5 мин, затем отстаивают в течение 10 мин. Объем пены измеряют в конце каждого периода.

Этап II: Вторую часть образца при температуре бани (93,5±0,5) °С испытывают при скорости потока, времени продувки и отстаивания.

Этап III: Для этапа III применяют часть образца, использованного при выполнении этапа II. На этом этапе исчезает любая оставшаяся пена, а образец перед установкой испытательного цилиндра в баню, поддерживаемую при температуре (24,0±0,5) °С, охлаждают до температуры ниже 43,5 °С, выдерживая испытательный цилиндр с образцом на воздухе при комнатной температуре.

Содержание механических примесей и воды

Механические загрязнения в масле состоят из твердых частиц, которые вызывают износ деталей и участвуют в образовании отложений и шлама.

Загрязнения в масле определяются, чаще всего путем фильтрации бензинового раствора (ГОСТ 12275) или фотометрически (ГОСТ 24943). Для предварительной оценки удобно определение на просвете или на фильтровальной бумаге. Для этого масло нагревают до 50-60 °С и наносят две-три капли масла на фильтровальную бумагу, на которой хорошо видны загрязнения. На бумажной хроматограмме измеряют диаметры трех зон капли, определяют их цвет и рисунок, равномерность растекания масла и изучают такие четыре составные части «капельной пробы»:

ГОСТ 10577-78, ГОСТ 6370-83 (СТ СЭВ 2876-81). Сущность метода заключается в определении массы механических примесей, задерживаемых мембранными фильтрами при фильтрации через них испытуемого нефтепродукта. Методика определения аналогично

определению механических примесей в бензине и дизельном топливе (пп 2.4.1- 2.5.1).

Качественная точная оценка чистоты масла определяется микроскопическим подсчетом частиц по ISO 4407 и кодированием их числа по ISO 4406.

Вода в масле является нежелательным загрязнением. Вода в масло попадает при загрязнении извне: с грязью, при конденсации в картере атмосферной влаги и паров воды. Вода может быть в масле в растворенном и в свободном виде. Растворенная вода существенного влияния на свойства масла не оказывает. Растворенная вода в маслах определяется путем ее взаимодействия с гидридом кальция (ГОСТ 7822).

Свободная вода может образовать эмульсию и этим существенно изменить вязкость масла. Вода взаимодействует с присадками и нарушает их работоспособность.

Содержание свободной воды не допускается. Наличие свободной воды определяют несколькими способами: отстаиванием в пробирке - вода оседает в нижнем слое (ISO 3733, ГОСТ 2477), нагреванием масла в пробирке до 105-120 °С (ГОСТ 1547) - при наличии воды образуется пена и возникает потрескивание или диэлектрическим методом путем измерения диэлектрической проницаемости (ГОСТ 1473).

Способность масла и воды отделяться друг от друга определяется по ГОСТ 32324-2013. Перемешивают в специальной градуированной делительной воронке 360 см³ образца масла и 90 см³ дистиллированной воды в течение 5 мин при температуре 82 °С. После перемешивания выдерживают в течение 5 ч, затем измеряют и регистрируют процентное содержание воды в масле и объемы воды и эмульсии, отделяющихся от масла.

Совместимость с эластомерами

Стойкость эластомерных деталей (сальников, манжет, прокладок и др.) при продолжительном контакте с маслом оценивается в зависимости от состава и типа эластомера. Так как в эластомеры вводят противоокислительные, антифрикционные и другие добавки, при воздействии масла и смазки эластомерные детали могут набу-

хоть, терять свою эластичность или твердеть. Интенсивность старения зависит от свойств эластомеров, химического состава масла и температуры. Эластомеры быстро стареют при воздействии на них продуктов окисления масла. Отрицательное влияние на эластомеры, особенно при повышенной температуре, оказывают противозадирные (EP) присадки. Сера, входящая в состав таких присадок, вулканизует резину, которая от этого твердеет и уменьшается по объему. Воздействие масла для гипоидных передач на эластомеры всегда проверяется. В лучшем случае изменение объема эластомеров не должно превышать 6 %, на практике допускается до 15 %.

Воздействие масла на эластомеры определяется стандартными методами по СЕС L-39-X-95, ISO 1817, DIN 53521, 31 ASTM D 471. ASTM D 2240, IP 278, ГОСТ 9.030 и др. Оценивается, например, изменение свойств образцов четырех эталонных резин при выдерживании их в масле в течение установленного времени при определенных условиях. Оценочные показатели: увеличение твердости, ед. DIDC; изменение напряжения разрыва, %; изменение удлинения до разрыва, %; изменение объема, %, (увеличение (+), уменьшение (-)).

2.5.3 Методы испытаний жидкостей ATF

Жидкости для автоматической трансмиссии (ATF) - это хорошо очищенные и специально подобранные минеральные или синтетические масла с присадками, придающими маслу требуемые свойства. Статический и динамический коэффициенты трения должны иметь постоянные значения в ходе всей эксплуатации для обеспечения легкого переключения передач и избежания рывков при работе трансмиссии. Плавная работа трансмиссии без рывков обеспечивается применением модификаторов трения, которые вводятся почти во все жидкости гидродинамических передач и имеют особое значение для жидкостей автоматической коробки передач. Параметры трения жидкостей автоматической коробки передач определяются в машине трения SAE No.2. Высокий индекс вязкости (180 и более) обеспечивается модификаторами индекса вязкости или специально подобранными базовыми минеральными или синтетическими маслами. Цено-

образование должно быть минимальным при самых больших оборотах и нагрузках. Жидкости для автоматической трансмиссии должны обладать быстрой деаэрацией (выделением воздуха). Иротнвоокислительная стойкость должна обеспечить стабильность свойств масла в ходе моею периода эксплуатации масла (30000-50000 км пробега).

Фрикционные свойства жидкостей АТФ определяются: в Европе - на машине трения "DKA" (по стандарту CEC L-11 -T-72), в Америке - на машине трения "SAE No. 2.

Фрикционные свойства жидкостей АТФ определяются: в Европе - на машине трения " (по стандарту CEC L-11 -T-72), в Америке - на машине трения "SAE No. 2" (специфи "Gepetal Motors" THM 4L60) (рис. 90). Эти же методы применяются для определения фрикционных свойств других масел гидромеханических передач.

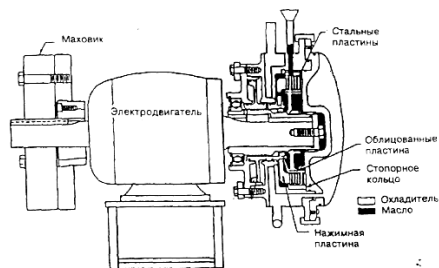


Рис. 90 - Схема машины трения SAE No.2

SAE No.2 (Clutch Friction Test Machine)GM THM 4L60. Эта машина трения позволяет оценить показатели качества масел для трансмиссионных агрегатов с мокрыми сцеплениями. В состав машины входит двигатель, вращающий маховик, фрикционные сцепления (тормоза), которые могут быть барабанными или ленточными, установка регистрации параметров управления и торможения. Когда при помощи двигателя маховик достигает определенной скорости вращения (3600 мин^{-1}), двигатель отклк начинается торможение маховика фрикционным сцеплением. После этого цикл повторяется до 18000 циклов при испытании GM Dexron III дискового сцепления (Plate Friction Test) до 24000 циклов при испытании GM Dexron III ленточного сцепления (Band Friction Test) и до 15000 циклов при

испытании "Ford" Мерсоп устойчивости сцепления (Clutch Friction Durability Tes).

На машине трения SAE No. 2 регистрируется кривая торможения маховика от момента включения сцепления до полной остановки маховика. Кривая зависимости вращательного момента (GM Dexгон) или коэффициента трения ("Ford Dexгон) от времени.

По этой кривой определяются:

- динамический момент вращения, M_a (мера мощности включения), определяемый по среднему значению момента вращения; чем выше значение M_a , тем лучше;

- статический момент вращения, $M_{ст}$ (мера истинной мощности сцепления), определяемый по конечному значению момента вращения, $M_{кн}$; после достижения $M_{кн}$ кривая зависимости момента вращения от времени падает; истинную мощность сцепления можно определить по моменту статического вращения (*static breakaway torque*), который, в свою очередь, определяется по требованиям спецификации "Рого", этот момент вращения должен быть как можно больше;

- максимальный момент вращения, M_{max} (наибольшая мощность сцепления, которая наблюдается во второй части кривой); иногда M_{max} и $M_{кн}$ бывают одинаковой величины;

- разница моментов вращения DM и между M_{max} в конце процесса сцепления и M ; этот параметр указывает на чувствительность конечной фазы переключения сцепления; если его значение положительное и большое, сцепление будет работать с визжащим шумом и рывками; если M большой и отрицательный, сцепление может проскальзывать и даже исчезать;

- время торможения - промежуток времени между началом и окончанием соединения сцепления, показывает скорость соединения и иногда называется временем сцепления;

- стабильность сцепления, на которую указывает совпадение кривых торможения при многоцикловом испытании; чем больше стабильности, тем лучше.

Важным показателем эксплуатации автоматической коробки передач, зависящим от свойств трения АТР, является чувствительность включения передачи (shift feel). Эта характеристика обычно

определяется при езде на испытательном автомобиле по сравнению с эталонным АТР и является обязательным показателем для жидкостей Dexron III и Mercon.

Требования к качеству жидкостей для автоматической коробки передач мощных автомобилей (тягачей, автобусов) приводятся в рекомендациях SAE-SAE J1285 JAN85 (Fluid for Passenger Car Type Automatic Transmissions).

2.6 Методы испытаний гидравлических и промышленных масел

Комплекс квалификационных методов испытаний гидравлических масел включает определение следующих эксплуатационных свойств и показателей:

- *Вязкость* - свойство жидкости оказывать сопротивление перемещению, обусловленное внутренними молекулярными взаимодействиями в движущейся среде (кинематическая вязкость, динамическая вязкость, условная вязкость, индекс вязкости);

- *Низкотемпературные свойства* – способность масла сохранять подвижность (текучесть) при низких температурах воздуха окружающей среды (температура помутнения; температура застывания; индекс вязкости; фильтруемость; время прохождения пузырька воздуха через слой жидкости);

- *Испаряемость* – показатель, указывающий потери от испарения при работе масел (массовая доля летучих; состояние остатка после испарения летучих веществ; температура кипения сухой жидкости; температура кипения увлажненной жидкости);

- *Высокотемпературные свойства* – способность масла сохранять свои эксплуатационные свойства при повышении температуры (температура вспышки; температура самовоспламенения; стабильность к сдвигу);

- *Склонность к образованию отложений* – способность масла сохранять чистоту деталей двигателя (фактические смолы; коксуемость; зольность; зольность сульфатная; стабильность по индукции

онному периоду; моющие свойства; моющий потенциал; термоокислительная стабильность);

- *Антикоррозионные свойства* – степень коррозионного действия масел на детали двигателя (кислотное число; коррозионность; коррозионность на стальных и медных пластинках);

- *Стабильность физическая и химическая* – изменение свойств масла в результате физических и химических превращений компонентов (вязкость; количество фактических смол; механическая стабильность; термоокислительная стабильность; содержание воды);

- *Трибологические свойства* - комплекс показателей, характеризующих противозносные, противозадирные и антифрикционные свойства смазочных масел (вязкость; массовая доля активных элементов; критические нагрузки схватывания и заедания);

- *Совместимость* - взаимодействие масла с материалами и другими маслами (воздействие на резину; воздействие на медную пластину; показатель концентрации водородных ионов pH; изменение свойств материалов: твердость, прочность, внешний вид, масса и габариты);

Загрязненность – присутствие в масле механических примесей и воды (содержание воды и механических примесей; массовая долей механических примесей; степень чистоты; цвет).

Вязкость

Вязкость - свойство жидкого и полужидкого вещества оказывать сопротивление при течении. Это внутреннее трение между слоями жидкости, которое определяется как зависимость между напряжением сдвига и скоростью сдвига:

$$\eta = \tau / (dv/dx),$$

где η - абсолютная или динамическая вязкость; τ - напряжение сдвига; dv/dx - скорость сдвига.

Жидкости, вязкость которых *не зависит* от скорости сдвига в уравнении Ньютона для вязкости ($\tau = \eta \cdot dv/dx$), называют *ньютоновскими жидкостями*. Жидкости, вязкость которых *зависит* от скорости сдвига, называют *неньютоновскими жидкостями*.

Вязкость рабочей жидкости оказывает непосредственное влияние на рабочие процессы и явления, происходящие как в отдельных

элементах, так и в целом гидроприводе. Действие вязкости неоднозначно и требуются тщательные исследования для рекомендации оптимальной вязкости для конкретного гидропривода. Изменение вязкости является критерием достижения предельного состояния рабочей жидкости. При чрезмерно высокой вязкости силы трения в жидкости настолько значительны, что могут привести к нарушению сплошности потока. При этом происходит незаполнение рабочих камер насоса, возникает кавитация, снижается подача, ухудшаются показатели надежности. Но помимо этого, высокая вязкость рабочей жидкости позволяет снизить утечки через зазоры, и щелевые уплотнения. При этом объёмный КПД увеличивается.

Но высокая вязкость одновременно увеличивает и трение в трущихся парах и снижает механический КПД. Одновременно снижается и гидравлический КПД, так как возрастают гидравлические потери. Рекомендуется выбирать рабочую жидкость таким образом, чтобы кинематическая вязкость при длительной эксплуатации в гидроприводе с шестеренными насосами находилась в пределах 18-1500 сСт, в гидроприводе с пластинчатыми насосами 10 -4000 сСт и в гид рабочей жидкости связаны с прочностью маропроводе с аксиально-поршневыми насосами 6 - 2000 сСт.

Чистые минеральные и синтетические масла, применяемые в качестве гидравлических жидкостей, представляют собой *ньютоновские жидкости*, которые не изменяют вязкостных свойств при скоростях сдвига до 10^6 с^{-1} .

Присадки, добавляемые в базовые минеральные и синтетические масла для улучшения вязкостных и депрессорных свойств, превращают их в *неньютоновские жидкости* за счет создания структурной вязкости, которую еще называют эффективной вязкостью.

Зависимость структурной вязкости от скорости сдвига, давления и температуры определяют экспериментально в ротационных вискозиметрах как функцию времени при постоянной скорости сдвига.

Изменение вязкости жидкостей, содержащих полимерные вещества, имеет "обратимый" и "необратимый" характер. Восстановление вязкости после снятия напряжения сдвига объясняется восста-

новлением структур, определяющих вязкость. Необратимые потери вязкости могут произойти при экстремально высоких напряжениях сдвига, которые вызывают механическое разложение полимерных загустителей.

Зависимость вязкости от давления

Относительно низкая сжимаемость минеральных и синтетических жидкостей приводит к значительному увеличению вязкости при высоких давлениях. Это имеет большое практическое значение, так как жидкость в гидравлических системах подвергается большому давлению.

Минеральные масла уменьшают свой объем и увеличивают вязкость под давлением. При температуре 60-80 °С и давлении ниже 20 МПа вязкость возрастает незначительно и практически одинакова для парафиновых и для нафтенных масел. При более высоких давлениях вязкость нафтенных масел растет сильнее, чем парафиновых.

Нафтенные масла способны компенсировать или даже превышать снижение вязкости при нагревании увеличением ее под давлением.

Сжимаемость гидравлических жидкостей выражают коэффициентом сжимаемости.

Зависимость вязкости от температуры. При повышении температуры вязкость уменьшается, при понижении увеличивается. Для обеспечения работоспособности гидравлической жидкости в широком интервале температур необходимо, чтобы эта зависимость была минимальной.

Индекс вязкости ИВ. Чем выше численное значение индекса вязкости, тем меньше вязкость масла зависит от температуры и тем меньше наклон кривой.

Индекс вязкости зависит от молекулярной структуры химических соединений, составляющих жидкость. Высокий индекс вязкости бывает у парафиновых базовых масел (около 100), у нафтенных масел - невысокий (30-60), а у ароматических масел - ниже нуля. При очистке масел от ароматических соединений их индекс вязкости повышается.

Изготовители насоса рекомендуют максимальный, минимальный и оптимальный предел вязкости жидкости.

Максимальный предел - наибольшая вязкость, при которой насос и состоянии прокачивать масло. Она зависит от мощности насоса, диаметра и протяженности трубопровода.

Минимальный предел - наименьшая вязкость, при которой гидросистема работает достаточно надежно. При вязкости ниже минимального предела растут объемные утечки жидкости в насосе и клапанах, соответственно падает мощность и ухудшаются условия смазывания.

Определение вязкости гидравлических жидкостей проводят по ГОСТ 33-2000 (ИСО 3104-94), ГОСТ 33768-2015, ГОСТ 33-2016. Сущность метода заключается в измерении калиброванным стеклянным вискозиметром времени истечения в секундах определенного объема испытуемой жидкости под влиянием силы тяжести при известной и постоянно контролируемой температуре. Кинематическая вязкость является произведением измеренного времени истечения на постоянную вискозиметра. Методика определения аналогична пп. 2.4.2-2.5.3.

Также данным стандартом предусмотрен альтернативный расчетный метод определения кинематической вязкости на вискозиметре Штабингера по измеренным плотности и динамической вязкости (рис. 91).

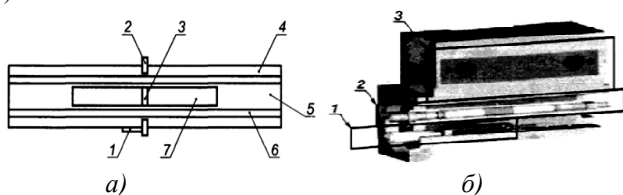


Рис. 91 - Вискозиметр Штабингера

а - вискозиметрическая ячейка: 1 - датчик на основе эффекта Холла; 2 - кольцо из мягкого железа; 3 - магнит; 4 - медный корпус; 5 - образец; 6 - трубка; 7 - ротор; *б* - блок ячеек: 1 - цифровой анализатор плотности; 2 - датчик на основе эффекта Холла; 3 - термоэлектрическая система нагрева и охлаждения

Не менее 3 см³ испытуемого образца помещают в шприц. Вводят не менее 2 см³ испытуемого образца в измерительные ячейки. Оставляют шприц во впускном отверстии и начинают измерение. Выдерживают требуемое время, пока прибор не будет указывать, что определение действительное, и регистрируют значения.

Температура вспышки

Температура вспышки определяется в соответствии с ГОСТ Р 51634-2000 "Масла моторные автотракторные. Общие технические требования" по ГОСТ 4333-2014 (ISO 2592:2000) (пп. 2.5.4, 2.5.2).

Низкотемпературные свойства

Низкотемпературные свойства жидкостей в зависимости от их состава и предназначения характеризуют несколькими показателями:

- температурой застывания;
- температурой помутнения;
- временем прохождения пузырька воздуха через слой жидкости.

Температура застывания или температура потери текучести - самая низкая температура, при которой жидкость обладает способностью течь. По зарубежным стандартам температура застывания на 3 °С выше *температуры затвердевания* (solidification temperature), неподвижное состояние жидкости в пробирке, наклоненной под углом 45° (стандарты ISO 3016, ASTM D97, ГОСТ 20287-74).

Температура застывания указывает на возможность переливания жидкости, не прибегая к дополнительному подогреву.

Температура помутнения - температура при которой жидкость мутнеет. При определении этой температуры, требуется строгое соблюдение предписанной процедуры охлаждения и выдержки жидкости.

Помутнение жидкости происходит в результате появления мелких кристаллов компонентов жидкости при ее охлаждении и жидкость теряет прозрачность - мутнеет. При дальнейшем понижении температуры появляется кристаллический каркас, в котором остается еще низкозастывающая часть жидкости и при перемешивании текучесть может частично восстановиться.

Стандарт ГОСТ 20287-91 распространяется на нефтепродукты и устанавливает два метода: А - определение температуры текучести; Б - определение температуры застывания. Сущность методов заключается в предварительном нагревании образца испытуемого нефтепродукта с последующим охлаждением его с заданной скоростью до температуры, при которой образец остается неподвижным. Указанную температуру принимают за температуру застывания. Наиболее низкую температуру, при которой наблюдается движение нефтепродуктов в условиях испытания, принимают за температуру текучести. Методика определения изложена в пп. 2.5.1, 2.5.2.

Время прохождения пузырька воздуха через слой жидкости

Время прохождения пузырька воздуха через слой жидкости - показатель, применяемый для оценки низкотемпературных свойств гидравлической жидкости. Сущность определения заключается в измерении времени, за которое пузырек воздуха достигает поверхности жидкости при переворачивании пробирки вверх дном, предварительно заполненной жидкостью (100 см³) и охлажденной до заданной температуры (обычно минус 40 °С, минус 50 °С) в течение определенного времени. Чем меньше время прохождения пузырька воздуха, тем выше текучесть жидкости. Чем меньше зависимость изменения времени прохождения пузырька воздуха от температуры и выдержки жидкости при низкой температуре, тем выше стабильность испытуемой жидкости.

Испаряемость

Испаряемость - эксплуатационное свойство, характеризующее особенности и результат перехода из жидкого состояния в парообразное.

В отличие от топлив, для которых процесс испарения выполняет главную функциональную роль в подготовке топлива к воспламенению и горению, а образование паровых пробок является нежелательным сопутствующим процессом, нарушающим подачу топлива, в гидравлических системах испарение играет только отрицательную роль, ухудшая прокачиваемость. Испаряемость гидравлических жидкостей оценивают по следующим показателям:

- массовая доля летучих;

- состояние остатка после испарения;
- температура кипения сухой жидкости;
- температура кипения увлажненной жидкости.

Массовая доля летучих характеризует склонность жидкости к образованию паровых пробок в гидросистеме, ухудшающих прокачиваемость.

Состояние остатка после испарения характеризует, наряду с прокачиваемостью, стабильность жидкости при повышенной температуре.

Температуры кипения сухой и увлажненной жидкости - показатели, используемые для оценки прокачиваемости тормозных жидкостей, о чем будет сказано в гл. 3. По этим показателям можно оценивать совместимость тормозных жидкостей с водой и стабильность.

Чистота

Чистота жидкости зависит от количества загрязнений, и в первую очередь, от содержания механических примесей и содержания воды.

Механические примеси всегда ухудшают прокачиваемость. Они не только забивают фильтры, но могут явиться центрами кристаллизации йоды и компонентов жидкости при пониженных температурах.

Вода в жидкости может находиться в растворенном и в свободном виде. Вода является нежелательным загрязнением жидкости. Может попасть извне, при конденсации атмосферной влаги. Если количество воды превышает ее растворимость в жидкости при данных условиях, она выделяется в виде капель и жидкость мутнеет. При температуре ниже нуля капли воды превращаются в кристаллы льда. Растворенная вода всегда находится в динамическом равновесии с окружающей средой и содержание ее может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от температуры и влажности воздуха. При понижении относительной влажности вода переходит в атмосферу. Опасные условия для забивки фильтров и ухудшения прокачки жидкости создаются в случае заполнения гидросистем при положительной температуре с последующей эксплуатацией их при низкой температуре.

Вода оказывает существенное влияние на многие эксплуатационные свойства гидравлических жидкостей, как правило, ухудшая их.

Характер влияния зависит от химического состава жидкости и условий работы. Для многих жидкостей содержание воды ограничивают техническими условиями, предельным содержанием массовой доли. Для некоторых видов жидкостей техническими требованиями контролируется свойство - *совместимость с водой*. Разные характеристики этого свойства: наличие осадка, расслоение, степень изменения текучести, число омыления и др. Наряду с прокачиваемостью, вода влияет на химическую стабильность, коррозионную агрессивность, защитные свойства. Разница между температурами кипения сухой и увлажненной жидкости характеризует степень ее обводнения и допустимую рабочую температуру.

Фильтруемость

Фильтруемость - эксплуатационное свойство жидкости, характеризующее способность ее проходить через фильтр. Процесс фильтрования жидкости через пористые среды зависит от пористости фильтра n , скорости фильтрования U , перепада давления на фильтре ΔP , времени фильтрации t , количества фильтруемой жидкости Q и ее свойств.

Пористость фильтра зависит от общего объема пор, объема проходящих пор, объема монолитного фильтрующего материала.

Механизм фильтрования жидкости зависит от размеров механических примесей, их количества и размеров пор фильтрующего элемента.

Основной причиной нарушений при прохождении фильтра является наличие в жидкости твердой фазы - механических примесей, продуктов износа и коррозии, а также способность жидкости смачивать поверхность каналов, электризоваться, взаимодействовать с фильтрующим материалом, образовывать пузырьки пара или газа.

Фильтруемость, как отдельно взятое эксплуатационное свойство для гидравлических жидкостей, не оценивают. Однако в случае необходимости при наличии в системе фильтра фильтруемость гидравлической жидкости можно оценить, используя коэффициент

фильтруемости и предельную температуру фильтруемости по аналогии с топливом.

Коэффициент фильтруемости характеризует изменение пропускной способности фильтра в стандартных условиях испытаний по причине присутствия в жидкости всех видов загрязнений.

Предельная температура фильтруемости - температура, при которой жидкость, после охлаждения в определенных условиях, способна еще проходить через фильтр с установленной скоростью.

Стабильность к сдвигу

Это способность жидкости сохранять постоянную величину вязкости под воздействием высокой деформации сдвига. При быстром скольжении поверхности трения достигается высокая скорость течения жидкости в узких зазорах и проявляется высокая деформация сдвига, которая может вызвать деструкцию молекул. Особенно подвержены деструкции высокомолекулярные соединения, входящие в состав полимерных загустителей.

Вспениваемость

При интенсивном перемешивании жидкости образуется пена, которая ухудшает работу гидравлической системы. Пена нарушает подачу жидкости, интенсифицирует окисление ее углеводородной части, вызывает кавитационное повреждение насосов, перегрев гидротривода и его повышенный износ.

Вспениваемость зависит от химического состава жидкости и показателей ее физико-химических свойств - вязкости, поверхностного натяжения, количества поверхностно активных веществ. Антипенные свойства жидкости улучшают при помощи антипенных присадок.

Эффективной присадкой является полиметилсилоксан, который снижает поверхностное натяжение на границе раздела жидкость - воздух и ускоряет разрушение пузырьков воздуха.

Присадки, добавляемые в жидкость для улучшения эксплуатационных свойств - моющие, вязкостные, противоизносные, антикоррозионные усиливают вспениваемость жидкости при работе. Повышение температуры и наличие воды увеличивают склонность жидкости к пенообразованию.

Пенообразующие свойства гидравлической жидкости зависят от растворимости газов. Доля растворенного воздуха в минеральном масле в интервале 0-100 °С практически постоянна и составляет 0,9 % (об.). При более высоких давлениях (более 30 МПа) и при избытке воздуха количество растворенного в масле воздуха значительно возрастает.

Воздух, растворенный в масле, под давлением не мешает работе гидравлической системы. При падении давления воздух начинает выделяться, образуя в системе пену или пузырьки. Быстрое и значительное падение давления может привести к повреждению системы.

При вновь возросшем давлении пузырьки газа растворяются в масле медленно, что может содействовать нагреву масла, вызванному адиабатическим сжатием.

Физическая и химическая стабильность

Стабильность - способность жидкости сохранять в процессе эксплуатации и длительного хранения установленный уровень качества с целью обеспечения нормируемых показателей эффективности техники.

Для этого гидравлическая жидкость должна обладать совокупностью физико-химических свойств, обеспечивающих: *физическую стабильность* от изменения фазового состояния под воздействием температуры и давления; *химическую стабильность* от окисления кислородом воздуха; *термическую стабильность* от воздействия высокой температуры; *циклическую стабильность* против воздействия повторяющихся циклических рабочих процессов.

Способность жидкости противостоять изменению качества под действием физических процессов называют *физической стабильностью*.

Способность жидкости противостоять изменению качества под воздействием химических процессов называют *химической стабильностью*. Основными химическими процессами являются реакции окисления, разложения, полимеризации, конденсации.

Химические и физические процессы изменения качества протекают не изолированно, а в сложной взаимосвязи, поэтому правильнее их называть физико-химическими процессами.

Физическую и химическую стабильность гидравлических жидкостей оценивают часто по определяющему фактору изменения качества:

- стабильность при отрицательных температурах;
- стабильность при высокой температуре;
- антиокислительная стабильность;
- высокотемпературная циклическая стабильность;
- стабильность при длительном хранении;
- совместимость с водой при низкой и высокой температуре.

Для оценки стабильности используют нормативные показатели физико-химических свойств и допустимую степень изменения их величины под воздействием фактором - температуры, кислорода воздуха, воды, продолжительности испытания.

Антиокислительную стабильность углеводородных жидкостей оценивают по изменению кислотного числа и показателю концентрации водородных ионов рН. Стабильность при отрицательных температурах оценивают по изменению показателей текучести и внешнему виду.

Среди общих закономерностей изменения качества особо следует выделить *процессы окисления* углеводородных гидравлических жидкостей. Окисление углеводородов кислородом воздуха протекает по цепному механизму. В начальной стадии процесса (индукционный период) протекают химические реакции инициирования без заметного изменения качества жидкости. В дальнейшем окисление автокаталитически ускоряется с образованием кислых и смолистых продуктов окисления.

Низкую антиокислительную стабильность имеют непредельные углеводороды и гетероорганические составляющие: сернистые, азотистые и кислородные соединения. Особенно много нестабильных соединений в дистиллятах термических процессов переработки остаточного сырья, меньше - в дистиллятах каталитического крекинга, мало в дистиллятах прямой перегонки нефти.

Химическую стабильность жидкостей нефтяного происхождения оценивают по времени индукционного периода, содержанию

органических кислот, смолистых веществ и нестабильных соединений и др.

Однокомпонентные жидкости однородного химического состава имеют более высокую физическую стабильность, чем многокомпонентные, так как они не изменяют своего состава в процессе испарения и не расслаиваются при охлаждении.

Термическая стабильность характеризует сохраняемость свойств жидкости при высокой температуре в условиях эксплуатации. Оценивают по изменению нормативных показателей качества, либо по содержанию вновь образующихся примесей при термической обработке жидкости (содержание кислых и смолистых веществ, количество осадка).

Стабильность при длительном хранении характеризует сохраняемость показателей качества при хранении. Оценивают показателями физической и химической стабильности дифференцированно для каждого вида гидравлической жидкости. При этом контроль за сохраняемостью ведут по показателям наиболее склонным к изменению при хранении.

Смазывающая способность

Смазывающая способность - свойство жидкости уменьшать сопротивление движению трущихся деталей и предупреждать их изнашивание в условиях жидкофазного и граничного трения.

Это свойство жидкости должно находиться в соответствии с тем режимом трения, который имеет место в каждом конкретном случае смазки.

Режим трения зависит от свойств жидкости, качества трущихся поверхностей, скорости движения поверхностей, толщины и свойств граничного слоя смазки, площади скольжения, удельного давления на поверхности скольжения и температуры.

Основные режимы трения: гидродинамический и граничный. Им соответствуют основные виды смазки: гидродинамическая и граничная.

Гидродинамическая смазка - жидкостная смазка, при которой имеет место полное разделение трущихся поверхностей смазывае-

мой жидкостью и трение происходит между слоями перемещаемой жидкости.

При гидродинамическом режиме смазки частицы жидкости, соприкасающиеся с трущимися поверхностями, прочно прилипают к ним, а промежуточные слои смазки текут в зазоре между трущимися поверхностями, подчиняясь законам гидродинамики. Износ трущихся поверхностей при гидродинамическом режиме зависит только от свойств ν в жидкости в объеме.

Граничная смазка имеет место в том случае, когда разделение трущихся поверхностей происходит при помощи тонкой пленки, определяющий граничный режим трения, переходящий в сухое трение при дальнейшем снижении толщины пленки. При граничной смазке величина трения и износ зависят от свойств поверхностей и свойств смазочного материала. Граничная смазывающая пленка образуется в результате процессов: адсорбции поверхностно-активных молекул смазывающей жидкости; электризации и образования потенциалов электронов на поверхностях раздела фаз; химического взаимодействия поверхностей трения и смазывающей жидкости с образованием новых химических веществ, уменьшающих силу трения и полирующих поверхности трения.

Смазывающие свойства жидкости по характеру своего влияния на трение и износ можно разделить на три группы:

- антифрикционные;
- противоизносные (ГОСТ ISO 20623-2013);
- противозадирные (ГОСТ 32502-2013).

Методы испытаний аналогичны пп 2.4.2, 2.5.1, 2.5.2.

Совместимость с материалами

Совместимость с материалами характеризует способность жидкости взаимодействовать с конструкционными материалами гидравлической системы.

Совместимость с материалами связана с двумя основными свойствами жидкости: коррозионной агрессивностью и защитной способностью.

Коррозионная агрессивность характеризует скорость и характер коррозионного взаимодействия жидкости с металлом. *Коррозия*

представляет собой гетерогенный процесс, протекающий на границе двух фаз: металл - окружающая среда. Причиной коррозии является термодинамическая неустойчивость металлов в различных средах, вследствие чего металл разрушается в результате химического и электрохимического взаимодействия с окружающей средой.

Химическая коррозия протекает при прямом взаимодействии металла с окружающей средой, при котором окисление металла и восстановление окислительного компонента происходит в *одном акте*.

Электрохимическая коррозия сопровождается появлением электрического тока вследствие электрохимического взаимодействия металла с электрически проводящей окружающей средой, когда ионизация атомов металла и восстановление окислительного компонента среды протекают *не в одном акте*.

Защитные свойства характеризуют способность жидкости защищать металл от коррозии, снижать скорость электрохимической коррозии.

Температура вспышки

Температура вспышки - самая низкая температура жидкости (в стандартных условиях испытания), при которой над поверхностью образуются пары или газы, способные вспыхнуть (воспламениться) в воздухе от источника зажигания, однако скорость образования паров или газов недостаточна для длительного горения.

Пожароопасные свойства горючей жидкости при отсутствии открытого пламени характеризует *температура самовоспламенения* - самая низкая температура, при которой жидкость воспламеняется без открытого пламени при попадании на горячую поверхность.

Возможность распространения пламени в случае воспламенения горючей смеси характеризуют:

- областью воспламенения паров (газов) в воздухе;
- концентрационными пределами распространения пламени;
- температурными пределами воспламенения.

Область воспламенения паров (газов) в воздухе характеризуют границами, в пределах которых смесь паров (газов) с воздухом спо-

собна воспламеняться от внешнего источника зажигания с последующим распространением пламени.

Методы испытаний аналогичны пп 2.5.1, 2.5.2.

2.7 Методы испытаний пластичных смазок

Пластичные смазки представляют собой пастообразные смазочные материалы. Основной причиной применения пластичных смазок являются условия, при которых смазывание обычными жидкими маслами невозможно, либо нецелесообразно.

Суть смазывания пластичными смазками заключается в том, что благодаря своей структуре они обладают прекрасными адгезионными свойствами, постепенно выделяют для смазывания трущихся поверхностей масло, входящее в их состав, и длительное время удерживаются в узлах, в которых обычные жидкие масла не способны удерживаться.

Для оценки качества пластичных смазок имеется большое количество физико-химических показателей, которые характеризуют химическую природу смазки или служат для контроля технологии производства.

Внешний вид и текстура

Внешний вид смазки оценивается визуально и показывает ее состояние. Поверхность смазки, особенно вновь образованная, может быть:

- ровная и однородная, шероховатая, гранулированная, изломанная, с выделившимся маслом липкая;

- определенного цвета и флуоресцирующая в отраженном свете, блестящая или тусклая.

Текстура смазки оценивается на ощупь и характеризует ее структуру. Текстура может быть: мягкая и пластичная; хрупкая и ломкая; маслоподобная; волокнистая; в форме длинных или коротких волокон; эластичная и упругая; тягучая, но не образующая нитей.

Текстура зависит от загустителя, вязкости жидкой фазы, соотношения компонентов, присадок и способа изготовления смазки. Стандартные методы оценки текстуры отсутствуют. Приблизитель-

ная оценка проводится визуально, при наблюдении отрыва друг от друга двух пластинок, склеенных смазкой. Упрощенно можно проводить подобное наблюдение, разъединяя пальцы, склеенные смазкой. Наблюдается, вытягивается ли смазка длинными или короткими волокнами, ровная или шероховатая разорванная поверхность и т.д.

Загуститель образует отдельную волокнистую дисперсную фазу. Волокна переплетаются между собой и, соединяясь структурными связями, создают определенную пространственную структуру каркаса, впитавшую в себя масло. Волокна могут быть короткими или длинными и с разной степенью переплетения. От структуры каркаса и длины волокон зависят механические свойства: густота, структурная и рабочая стабильность, вытекание масла. Если длина волокон или частиц мыла меньше длины световой волны, свет не рассеивается и смазка прозрачная.

Механические свойства

Основные характеристики механических свойств: консистенция смазки, тиксотропия, предел текучести и давление течения, предел прочности и термоупрочнения; стабильность качения, структурная стабильность.

Консистенция смазки - условная мера механической прочности, твердости. Выражается в номерах или степенях консистенции по системе NLGINLGI (NLGI consistnesy), которые устанавливаются по пенетрации (ГОСТ ISO 11007-2013).

Под пенетрацией понимают глубину погружения в пластичную смазку стандартного конуса в течение пяти секунд при температуре 25 °С, выраженную в десятых долях миллиметра. Пенетрацию измеряют пенетрометром Ричардсона (рис. 91).

Пенетрация – показатель условный, не имеющий точного физического смысла и не определяющий поведение смазок в эксплуатации, однако широко используемый в практике в силу дорогостоящей аппаратуры для измерения вязкости.

При измерении пенетрации происходит сразу несколько явлений, потому что движение конуса в смазке вызывает упругопластические деформации и течение.

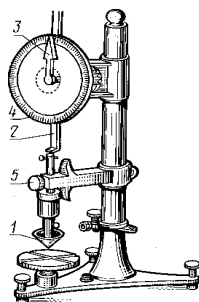


Рисунок 91 - Прибор для определения пенетрации пластичных смазок:

1 – конус; 2 - кремальера; 3 - стрелка циферблата; 4 – циферблат; 5 – кнопка пусковая

Разрушающиеся и самопроизвольно восстанавливающиеся дисперсные системы в коллоидной химии называют *тиксотропными*. Чем выше тиксотропные свойства смазок, тем они более стабильны. Сильно разупрочняющиеся при механическом воздействии смазки вытекают из узлов трения при небольших нагрузках.

Повышенное уплотнение смазки после разрушения приводит к затруднению поступления смазки к контактным поверхностям. Тиксотропные превращения смазок оценивают *механической стабильностью* (ГОСТ 19295-73 "Смазки пластичные. Метод определения механической стабильности"), определение которой основано на разрушении смазки в ротационном приборе – тиксметре (рис. 92), а ее оценка проводится по специальным коэффициентам: K_p – индекс разрушения; K_v – индекс тиксотропного восстановления.

Механическая стабильность смазок зависит от типа загустителя, состава и свойств дисперсионной среды, присутствия наполнителей и композиций присадок, размеров, формы и прочности связи между дисперсными частицами. Смазки с большей концентрацией загустителя или имеющие мыльные волокна с большим отношением длины к диаметру более стабильны.

Предел текучести и давление течения - оценивают способность смазок сохранять свою форму, практически - сохраняться в открытых соединениях, на вращающихся валах и на вертикальных

поверхностях. Внешняя сила сдвига, под действием которой смазка начинает течь и переходить из твердого состояния в пластичное называется пределом текучести. При повышении температуры предел текучести смазки уменьшается. Если предел текучести мал, смазка плохо сохраняется в подшипниках, если большой - затрудняется доставка смазки к зоне трения.

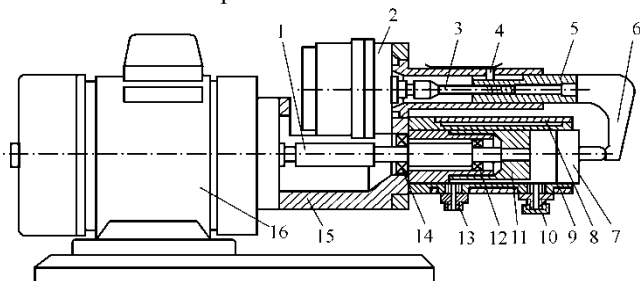


Рис. 92 - Тиксометр типа ТМС для определения механической стабильности пластичных смазок:

1 – муфта; 2 – электродвигатель реверсивный; 3 – винт; 4 – защелка; 5 – гайка ходовая; 6 – кронштейн; 7 – поршень; 8 – статор реверсивного двигателя; 9 – статор основного двигателя; 10, 13 – капилляры; 11 – ротор; 12, 14 – подшипники; 15 – корпус; 16 – электродвигатель

Предел текучести смазок при температуре $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ бывает от 10 до 150 ГПа, а при низкой температуре ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) 600-1000 ГПа. Максимальный предел текучести, при котором еще возможно смазывание, считается 1400 ГПа. Температура, при которой предел текучести смазки увеличивается до 1400 ГПа, считается минимальной рабочей температурой. Давление течения устанавливается методом Кестерниха (ОШ 51 805), при двух температурах - $+20^{\circ}$ и -20° .

Предел прочности и термоупрочнения ГОСТ 7143-73. Настоящий стандарт распространяется на пластичные смазки и устанавливает методы определения предела прочности и термоупрочнения (методы А и Б).

Метод А применяется для определения предела прочности и термоупрочнения, если нормативно-технической документацией

предусмотрено определение только предела прочности, применяют метод Б.

Метод А основан на измерении максимального крутящего момента. При определении предела прочности и термопрочнения пластичных смазок применяются: прочномер СК (рис. 93 а, б).

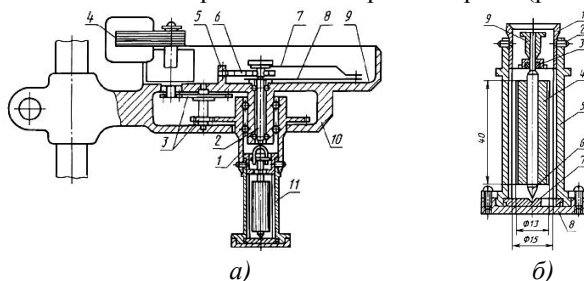


Рис. 93 - Прочномер СК:

а - общий вид: 1 - приводная втулка; 2 - ось; 3 - понижающий редуктор; 4 - электродвигатель; 5 - цилиндрическая колонка; 6 - пружина; 7 - контрольная стрелка; 8 - стрелка-фиксатор; 9 - шкала; 10 - корпус; 11 - съемный датчик; б - съемный датчик: 1 - стакан; 2 - винт штыкового крепления; 3 - втулка подшипника; 4 - внутренний цилиндр; 5 - внешний цилиндр; 6 - игольчатая опора; 7 - пята; 8 - съемное дно; 9 - головка внутреннего цилиндра

Определение предела прочности. Датчик помещают в жидкостный термостат (или баню) и выдерживают его 15 мин при температуре, указанной в стандарте или технических условиях на смазку.

Включают электродвигатель прочномера и наблюдают за поворотом контрольной стрелки. При достижении предела прочности контрольная стрелка остановится или начнет поворачиваться в обратную сторону.

Определение термопрочнения. Один из датчиков, заполненный испытуемой смазкой, помещают в термостат и выдерживают в нем 1 ч при температуре, указанной в стандарте или технических условиях на смазку. Затем датчик охлаждают до температуры окружающей среды. Второй датчик термообработке не подвергается. Выдерживая

каждый датчик в жидкостном термостате 15 мин при 20 °С определяют предел текучести до термообработки и после.

Метод Б основан на определении давления, при котором при заданной температуре происходит сдвиг смазки в капилляре пластометра К-2 (рис. 94).

Закрывают кран воронки для масла, включают электропечь, обогревающую резервуар с маслом, и наблюдают за манометром. Скорость повышения давления в системе должна быть не более 5 кПа (0,05 кгс/см²) в 1 мин при использовании длинного капилляра и 5 кПа (0,05 кгс/см²) в 2 мин при использовании короткого капилляра.

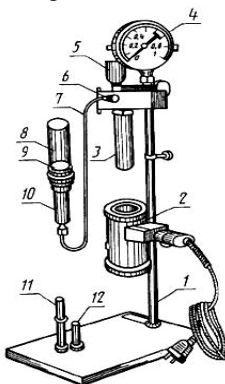


Рис. 94 - Пластомер К-2:

1 - основание со стойкой; 2 - электропечь; 3 - резервуар с маслом; 4 - манометр; 5 - воронка для добавления масла; 6 - кран; 7 - трубка для присоединения корпуса к крану; 8 - защитное стекло; 9 - гайка для крепления капилляра в корпусе 10; 11 - капилляр с оправой (длинный - 100 мм); 12 - капилляр с оправой (короткий - 50 мм)

После того, как давление в системе, достигнув максимума, начнет снижаться, выключают электропечь, открывают кран воронки для залива масла и медленно вынимают оправу с капилляром из корпуса пластометра, после чего кран закрывают.

Динамическая вязкость смазки - это соотношение между напряжением сдвига и скоростью деформации при установленной температуре и постоянной скорости деформации. Динамическая вяз-

кость зависит от вязкости базового масла и уменьшается при увеличении температуры и скорости деформации. Динамическая вязкость влияет на подвижность и распределение смазки, а так же на потери трения во время работы. Температура, при которой динамическая вязкость равна 2 кПа с, считается минимальной рабочей температурой смазки.

Динамическая вязкость смазки определяется стандартным методом по ASTM D 1092 (в интервале температур от -54° до $+38^{\circ}$ °C) или ротационным конусным вискозиметром Хааке при температуре 25° °C и скорости сдвига 300 с^{-1} .

ГОСТ 7163-84 устанавливает метод определений эффективной вязкости пластичных смазок и динамической вязкости жидких нефтепродуктов с использованием вискозиметра капиллярного автоматического АКВ-2.

Для определения вязкости нефтепродукта на диаграмму зависимости перемещения штока (h) от времени (t) накладывают прозрачный трафарет с нанесенной на него наклонной линией, соответствующей данному капилляру и заданному градиенту скорости деформации сдвига. Трафарет передвигают вдоль диаграммы до касания наклонной линии со снятой во время испытания кривой, при этом горизонтальная линия трафарета должна совпадать с горизонтальной линией миллиметровой бумаги. Замечают, какой высоте (h) соответствует точка касания, и по таблице определяют вязкость нефтепродукта.

Стабильность качения определяется в машине стабильности качения «Shell» (Shell Roller) по методу ASTM D 1331 (Roll Stability Test). Этим испытанием имитируются условия работы подшипников качения. Смазка перетирается в пустотелом цилиндре диаметром 100 мм, валиком массой 5 кг и диаметром 60 мм. Цилиндр вращается 2 ч со скоростью 160 мин^{-1} при определенной температуре. После такой работы определяется число пенетрации, которое сравнивается с пенетрацией неработавшей смазки. Механическая стабильность смазки связана также с ее склонностью к взбиванию с воздухом, которая ухудшает смазочные свойства. Наряду с механической стабильностью может определяться водостойкость смазки. Для этого смазка

перемешивается с 20 % дистиллированной или синтетической морской воды и после перемешивания определяется пенетрация. Густота водостойких смазок изменяется незначительно, на несколько единиц пенетрации.

Структурная стабильность – это способность смазки сохранять начальную консистенцию и текстуру в течение времени и под влиянием разных факторов (температуры, испарения, окисления, загрязнения, перемешивания), а также способность смазки возвращаться в начальное состояние по окончании действия этих факторов.

Испаряемость

Испаряемость смазок, определяемая летучестью жидкой среды, достаточно высокая, хотя давление их насыщенных паров при обычных эксплуатационных температурах невелико.

Из-за увеличения скорости испарения жидкой среды повышается вязкость смазки, и ухудшаются низкотемпературные свойства, а при высыхании -- уменьшается адгезия к металлу.

Испаряемость оценивают ГОСТ 9566-74 потерей массы смазки в нормированных условиях (рис. 95).

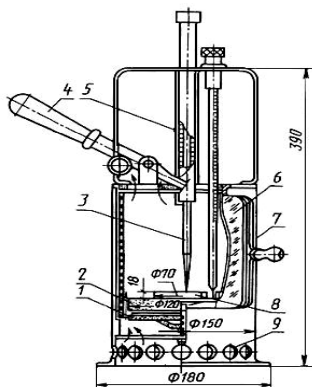


Рис. 95 - Термостат для определения испаряемости пластичных смазок:

1 - электроподогревающий элемент; 2 - нагревательная пластина; 3 - шток; 4 - рукоятка; 5 - пружина; 6 - стеклянная дверца; 7 - металлический корпус; 8 - стальной диск; 9 - отверстие

Чашечки-испарители со смазкой выдерживают в термостате 1 ч или в течение времени, предусмотренного техническими требованиями на смазку. По истечении времени испытания чашечки-испарители со смазкой переносят на керамическую плитку, установленную в эксикаторе, и после охлаждения до температуры окружающей среды взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г.

Химическая стабильность

Химическая стабильность оценивается стойкостью смазки к окислению кислородом воздуха.

Окисление приводит к изменению кислотного числа и уменьшению предела прочности на сдвиг, как правило, при повышенных температурах (более 100 °С). Кроме того, смазки окисляются из-за возможной коррозии металлических поверхностей деталей узла трения.

Оценку химической стабильности смазки производят по увеличению ее кислотного числа (ГОСТ 32335-2013). Для этого подготовленную медную пластинку полностью погружают в образец пластичной смазки и нагревают в термостате или жидкостной бане при заданной температуре в течение установленного периода времени. Испытания проводят при температуре $(100 \pm 1) \text{ } ^\circ\text{C}$ [$(212^\circ\text{F} \pm 2^\circ\text{F})$] в течение $24 \text{ ч} \pm 5 \text{ мин}$. После нагревания пластинку вынимают, промывают и сравнивают с эталонами коррозии медных пластинок.

Противокоррозионные свойства смазок характеризуют их коррозионное воздействие на металлические поверхности деталей узла трения. Если свежие смазки обладают устойчивыми противокоррозионными свойствами, то в процессе их применения или после длительного хранения их свойства ухудшаются.

По ГОСТ ISO 11007-2013 для оценки противокоррозионных свойств пробу смазки испытывают на специализированной тщательно очищенной испытательной установке (рис. 96) при определенных условиях в течение 24 ч (трех отдельных периодов по 8 ч) с использованием водной испытательной жидкости. После завершения испытания разбирают аппарат и осматривают состояние дорожки качения наружного кольца подшипника на наличие коррозии, оцениваемой по условной шкале.

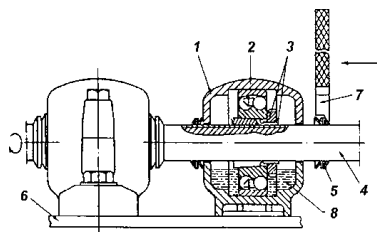


Рис. 96 - Установка для определения противокоррозионных характеристик:

1 - опора подшипника; 2 - подшипник; 3 - переходная втулка и гайка; 4 - вал; 5 - кольцевые уплотнители V-образного сечения; 6 - пластина из обработанной стали; 7 - инструмент для правильной установки уплотнителей; 8 - вода

Защитные (консервационные) свойства определяют способность смазки предохранять трущиеся металлические поверхности от коррозионного воздействия внешней среды (вода, растворы солей и др.).

Консервационные свойства смазок определяются и зависят от следующих факторов: способности удерживаться на поверхности металла, не стекая; коллоидной и химической стабильности; водостойкости и воздухопроницаемости. Пленка консервационной смазки толщиной около 0,01 мм может предотвращать коррозию металла в условиях 100-процентной относительной влажности в течение многих месяцев, а иногда и лет.

При оценке защитных свойств смазок по ГОСТ 9.054-75 металлические пластинки, покрытые слоем смазки, выдерживают в определенных условиях. Стандартом предусмотрено шесть методов испытаний:

1-й - при повышенных значениях относительной влажности и температуры воздуха, без конденсации, с периодической или постоянной конденсацией влаги;

2-й - при повышенных значениях относительной влажности и температуры воздуха и воздействии сернистого ангидрида с периодической конденсацией влаги;

3-й - при воздействии соляного тумана;
4-й - при постоянном погружении в электролит;
5-й - при воздействии бромистоводородной кислоты;
6-й - при повышенных значениях относительной влажности и температуры, с постоянной конденсацией в первой части цикла в условиях контакта разнородных металлов.

Коррозионным разрушением считают коррозионные очаги на поверхности металлических пластинок в виде отдельных точек, пятен, нитей, язв, а также изменение цвета на меди до зеленого, темно-коричневого, фиолетового, черного, на алюминии - до светло-серого.

Защитную способность пластичных смазок оценивают визуально за время, указанное в нормативно-технической документации на испытуемый материал.

Смазка считается выдержавшей испытание, если на больших поверхностях пластинок на расстоянии не менее 3 мм от отверстия и краев нет заметных невооруженным глазом зелени, пятен или точек. Если следы коррозии будут замечены только на одной пластинке, испытание повторяют. При повторном обнаружении следов коррозии хотя бы на одной пластинке смазку считают не выдержавшей испытание.

По ГОСТ 9.080-77 выдерживают металлические пластинки (стальные, медные, латунные и бронзовые) в пластичной смазке при определенной температуре, зависящей от температуры каплепадения смазки, и фиксации изменения внешнего вида пластинки.

Смазка считается выдержавшей испытание, если на больших поверхностях стальных, алюминиевых и цинковых пластинок на расстоянии более 1 мм от отверстий и краев нет заметных невооруженным глазом пятен или точек, за исключением обведенных иглой или электрографом.

Термические свойства

Термические свойства пластичных смазок определяются температурой каплепадения, интервалом рабочей температуры, минимальной рабочей температурой.

Температура каплепадения – это температура падения первой капли нагреваемой смазки (ГОСТ 32394-2013), помещенной в чашечку специального прибора (рис. 97).

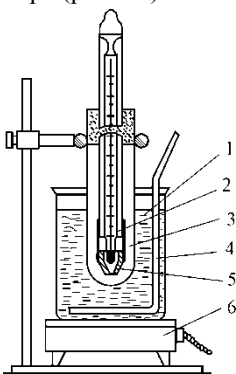


Рис. 97 - Прибор для определения температуры каплепадения:

1 – стакан с водой или глицерином; 2 – термометр с гильзой; 3 – пробирка; 4 – мешалка; 5 – капсюль для смазки; 6 – электроннагреватель

При высокой температуре смазки разжижаются и могут вытекать из подшипников, сползать с поверхностей под действием силы тяжести или разбрызгиваться под воздействием центробежных сил.

Температура плавления зависит в основном от загустителя. Температура каплепадения не является прямым показателем рабочей температуры, но по ней приблизительно можно установить верхнюю допустимую температуру нагрева смазки. При температуре каплепадения смазки до + 100 °С максимальная рабочая температура на 15...20° ниже, при температуре каплепадения до + 150 °С - рабочая ниже на 30...40 °С, и при каплепадении до + 200 °С - рабочая будет ниже на 60...80 °С.

Интервал рабочей температуры - температура, при которой смазка может выполнять свои функции и обладает свойствами, декларируемыми изготовителем.

Минимальная рабочая температура определяется более четко. Она ограничивается не температурой застывания смазки, а показателями консистенции и механических свойств.

Основным показателем низкотемпературных свойств смазки является *давление течения*, определяемое по DIN 51 805. Давление течения в 1400 ГПа считается предельным, более твердые смазки уже не пригодны для смазывания. Температура, при которой достигается давление течения смазки в 1400 ГПа, принимается за минимальную рабочую температуру смазки и определяется по низкотемпературному моменту вращения (*low temperature torque*) по методу ASTM D 1478 для смазок, используемых в подшипниках качения.

Смазывающие свойства

Смазывающие свойства смазок, в отличие от масла, понимают шире, чем способность уменьшать трение и изнашивание. В смазке во время эксплуатации накапливаются продукты износа и другие посторонние загрязнения, которые не должны ухудшать смазывающих свойств и увеличивать изнашивание. Методы испытаний аналитичны пп 2.4.2, 2.5.1.

Коллоидная стабильность, синерезис

Коллоидная стабильность, синерезис - способность масла не отделяться (опрессовываться) от загустителя и не вытекать при хранении и работе. Появление небольшого количества выделенного масла при хранении масла не является недостатком. Незначительное выделение масла желательно, особенно для смазывания подшипников качения. Если масло легко вытекает в процессе работы, смазка может потерять большую часть масла и повредить механизмы. Слишком большая утечка масла проявляется при неправильном соотношении загустителя и масла, плохой их совместимостью и нестабильностью коллоидной структуры смазки.

Коллоидная стабильность смазок определяется в разных условиях при незначительном давлении в 1,72 кПа, температуре 25 °С в течение 50 часов (ASTM D 1742); или при температуре 100 °С (FTM 791b 321/2); в других условиях по стандартам ВШ 51 8! 7, 1Р 121 (168 ч при температуре 40 °С). Допускаемая норма выделения масла по стандарту ASTM O 1742- от 6 до 10 %.

По ГОСТ 7142-74 испытание заключается в определении количества масла, отпрессованного из смазки на аппарате для определения коллоидной стабильности (рис. 98).

На смазку в чашечке кладут пропитанный маслом беззольный бумажный фильтр. Чашечку со смазкой сверху прижимают стальной шайбой во избежание выдавливания смазки за края чашечки на фильтр во время испытания.

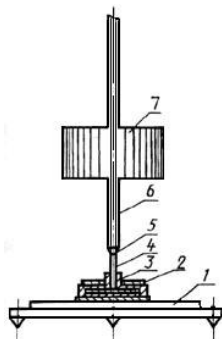


Рис. 98 - Аппарат определения коллоидной стабильности:

1 - шток; 2 - металлическая скоба крепления чашки; 3 - чашечки для смазки; 4 - поршень; 5 - стальной шарик; 6 - кронштейн для крепления груза; 7 - груз

На шток надевают груз, нажимают пусковую кнопку, закрепляют ее скобой и отмечают время начала испытания. По истечении 30 мин груз снимают, чашечку со смазкой и фильтром взвешивают с погрешностью не более 0,0002 г.

Определение количества масла, отпрессованного из смазки, также проводят с помощью аппаратов КСА или АКС-1 (рис. 99). Испытание проводят в чашечках с поршнем. Смазку помещают в чашечку, накрывают сверху фильтром, пропитанным маслом. Чашечку с пробой устанавливают на стопку бумажных фильтров, положенных на стекло, и прикладывают нагрузку.

По истечении 30 мин груз снимают, чашечку со смазкой и фильтром взвешивают и определяют количество отпрессованного из смазки масла.

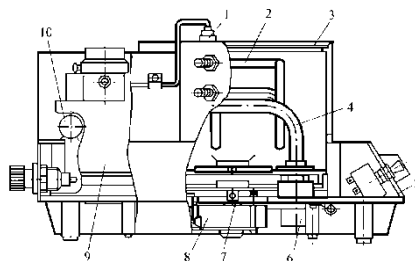


Рис. 99 - Аппарат АКС-1:

1 – датчик температуры; 2 – трубка охлаждения; 3 – бак термостата; 4 – электродвигатель; 5 – панель управления; 6 – гнездо; 7 – мешалка; 8 – электропривод мешалки; 9 – регулятор температуры; 10 – потенциометр подстройки

Зольность

Зольность пластичных смазок определяют в соответствии с ГОСТ 32323-2013 "Смазки пластичные. Методы испытаний".

Помещают во взвешенный фарфоровый тигель образец пластичной смазки массой 2-5 г, взвешенной с точностью до 0,1 г. Если известно, что смазка не содержит свинцовое или цинковое мыло, удобнее использовать платиновый тигель. Медленно сжигают горючие компоненты, затем прокаливают остаток до полного удаления из золы углеродистых веществ. Охлаждают тигель с остатком в эксикаторе, взвешивают, определяют массу остатка в тигле, вычисляют и записывают содержание золы в процентах.

Водостойкость

Водостойкость смазки является одной из основных ее характеристик. В зависимости от способа взаимодействия с водой смазки бывают:

- водостойкие - вода не поглощается смазкой или поглощается в незначительном количестве и не оказывает воздействия на свойства; попавшая в смазку вода выделяется в отдельную фазу; при интенсивном перемешивании структура и свойства смазки не меняются; лучше, когда смазка не позволяет воде накапливаться на поверхности металла; наиболее водостойкими являются смазки на основе

кальциевых, литиевых, алюминиевых мыл и на углеводородных загустителях;

- абсорбирующие воду - поглощают значительное ее количество, но консистенция и свойства смазки меняются незначительно; такие смазки не позволяют накапливать свободную воду в смазке или на поверхности деталей; это смазки на основе натриевых мыл;

- растворимые в воде - поглощают воду, теряют гелиевую структуру и разжижаются (смазки на натриевых мылах).

Исследования пластических смазок на водостойкость включают определение содержания воды; стойкости к вымыванию водой. Определение содержания воды проводят по ГОСТ 1547-84. В пробирку помещают испытуемую смазку до высоты 40 - 60 мм, опускают термометр на 20 мм ниже уровня смазки. Пробирку со смазкой нагревают. Появление толчков и треска при нагревании смазки указывает на наличие в ней воды.

ГОСТ ISO 11009-2013. Сущность метода - набивают смазку в шарикоподшипник (рис. 100), затем вставляют его в гнездо с установленным зазором и вращают со скоростью (63 ± 3) рад/с.

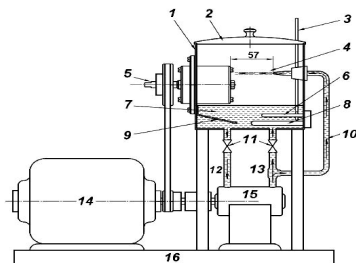


Рис. 100 - Аппарат для определения стойкости консистентных смазок к вымыванию водой:

1 - резервуар; 2 - крышка; 3 - термометр; 4 - капилляр водяной; 5 - ось; 6 - термостат; 7 - резервуар; 8 - нагреватель; 9 - направляющая перегородка; 10 - система подачи воды; 11 - клапаны регулирования расхода воды; 12 - обратная линия; 13 - обходная линия; 14 - двигатель; 15 - жидкостный насос; 16 - основание аппарата

На гнездо подшипника направляют поток воды температурой 38 °С или 79 °С со скоростью $(5,0 \pm 0,5)$ см³/с. Стойкость смазки к вымыванию водой оценивают по количеству смазки, вымытой за 60 мин.

Совместимость

Совместимость смазок – способность к их смешиванию без ухудшения свойств.

Некоторые смазки не совмещаются друг с другом, в результате смеси могут образовывать смолы, твердеть, разжижаться и др. Для ориентации в таблице 25 приводятся данные по совместимости базовых масел, а в таблице 26 – загустителей. Совместимость базовых масел разных смазок служит предпосылкой для совместимости их загустителей.

Таблица 25

Совместимость базовых масел

Базовое масло	Минеральное	Эфирное	Полигликолевое	Силиконовое	Полифенилэфирное
Минеральное	О	С	Н	Н	Н
Эфирное	С	О	С	Н	С
Полигликолевое	Н	С	О	Н	Н
Силиконовое	Н	Н	Н	О	Н
Полифенилэфирное	Н	С	Н	Н	О

Примечание. С – совместимые; Н – несовместимые.

Совместимость с пластиками. Большинство смазок на основе минеральных масел являются инертными по отношению к термопластикам. Наоборот, специальные синтетические смазки оказывают воздействие на некоторые виды термопластиков. При оценке совместимости пластиков и смазок необходимо учитывать продолжительность контакта и температуру.

Совместимость с эластомерами. Смазки на основе эфирных или полиальфаолефиновых масел более агрессивны по отношению к эластомерам, чем смазки на основе минеральных масел.

Совместимость загустителей

Загустители	Li-мыло	Li-компл.	Ca-мыло	Ca-компл.	Na-мыло	Na-компл.	Al-компл.	Va-компл.	Бен-тонит	Поликарбамид
Li-мыло	О	С	чС	Н	Н	Н	С	С		Н
Li-компл.	С	О	С	чС	Н		С		Н	Н
Ca-мыло	чС	С	О	Н	Н		Н		Н	Н
Ca-компл.	Н	чС	Н	О	Н		Н		С	С
Na-мыло		Н	Н	Н	О	С	Н	С	Н	Н
Na-компл.					С	О	чС	С	Н	С
Al-компл.	С	С	Н	Н	Н	чС	О	С	Н	Н
Va-компл.	С				С	С	С	О	С	Н
Бентонит	Н	Н	С	Н	Н	Н	Н	С	О	С
Поликарбамид	Н	Н	Н	С	Н	С	Н	Н	С	О

Примечание. С – совместимые; Н – несовместимые; чС – частично совместимые.

Смазка может вызывать значительное набухание или усадку эластомеров. Совместимость проверяется стандартными испытаниями. Эластомер погружается в смазку и выдерживается при определенных условиях в течение установленного времени, после этого оценивается его набухание, уменьшение массы и изменение твердости. По результатам делается вывод о пригодности смазки для работы в контакте с проверяемым эластомером.

2.8 Методы испытаний низкотемпературных охлаждающих жидкостей

В двигателях внутреннего сгорания в блоке и головке блока цилиндров между двойными стенками находится рубашка системы охлаждения, заполняемая жидкостью. Охлаждающая жидкость отводит тепло от стенок и отдаёт тепло воздуху, проходящему через радиатор. При этом охлаждающая жидкость циркулирует в замкнутом

пространстве системы охлаждения, нагреваясь в блоке и головке цилиндров и охлаждаясь в радиаторе. Для обеспечения нормальной работы двигателя охлаждающая жидкость должна удовлетворять определённым требованиям.

Основными являются следующие требования:

- минимальная температура замерзания;
- максимальная температура кипения;
- минимальный коэффициент объёмного расширения;
- минимальная вязкость;
- отсутствие воспламеняемости;
- отсутствие вспенивания;
- физическая и химическая стабильность;
- не вызывать изменения свойств конструкционных материалов;
- высокая теплоёмкость и теплопроводность.

Внешний вид

Внешний вид охлаждающей жидкости определяют визуально в проходящем свете в пробирке П2-19-150 ХС или П1-16-150 ХС по ГОСТ 25336 из бесцветного стекла.

Охлаждающая жидкость должна быть прозрачной, однородной и не содержать видимых механических примесей.

Цвет охлаждающей жидкости и метод его определения установлен в НТД на конкретный вид охлаждающей жидкости.

Плотность

Плотность охлаждающей жидкости является одним из важных показателей. Она позволяет определять состав и температуру кристаллизации охлаждающей жидкости. В процессе эксплуатации автомобиля плотность этиленгликолевого антифриза может меняться как в большую, так и в меньшую сторону, что приводит к изменению температуры замерзания охлаждающей жидкости. Для приведения плотности антифриза к нормируемым показателям состав смеси корректируют путем добавления воды или этиленгликоля. Кроме того плотность влияет на теплопередачу. Снижение плотности охлаждающей жидкости приводит к перегреву двигателей.

Плотность охлаждающих жидкостей определяют по ГОСТ 18995.1. Настоящим стандартом предусмотрено определение плот-

ности с помощью ареметра или пикнометра. Методика проведения изложена в пп. 2.4.1, 2.5.1.

Температура начала кристаллизации

Температура начала кристаллизации – один из важнейших показателей качества охлаждающей жидкости. Это температура, при которой начинают появляться первые кристаллы льда. Значение этого показателя определяет ту температурную границу, ниже которой могут возникнуть проблемы, связанные с замерзающей охлаждающей жидкостью. По ГОСТ температура начала кристаллизации тосола или антифриза должна быть не выше -40°C .

Метод заключается в том, что испытуемую жидкость охлаждают и фиксируют температуру, при которой невооруженным глазом можно заметить помутнение как признак начала кристаллизации. В зависимости от диапазона определяемых температур кристаллизации используют следующие приборы (ГОСТ 18995.5-73 (СТ СЭВ 2336-80, СТ СЭВ 2343-80) (рис. 101):

- от минус 30°C до плюс 150°C в приборе Баумана-Фрома;
- от минус 10°C до плюс 140°C в приборе Жукова;
- от минус 50°C до плюс 250°C в приборе, состоящем из двух пробирок.

Во внутреннюю пробирку прибора Баумана-Фрома или прибора, состоящего из двух пробирок, наливают 20 см^3 испытуемой жидкости и закрывают ее пробкой с термометром и мешалкой. В наружную пробирку наливают ацетон в таком количестве, чтобы его уровень был на 10 мм выше уровня испытуемой жидкости во внутренней пробирке. Прибор помещают в сосуд Дьюара, заполненный охлаждающей смесью температурой на $(12\pm 5)^{\circ}\text{C}$ ниже ожидаемой температуры начала кристаллизации испытуемой жидкости. Температуру охлаждающей смеси поддерживают на заданном уровне в течение всего испытания.

Испытуемую жидкость во время охлаждения осторожно перемешивают со скоростью 20-30 движений в минуту. При приближении к ожидаемой температуре начала кристаллизации (за $5-10^{\circ}\text{C}$) прибор вынимают и наблюдают в проходящем свете состояние испытуемой жидкости.

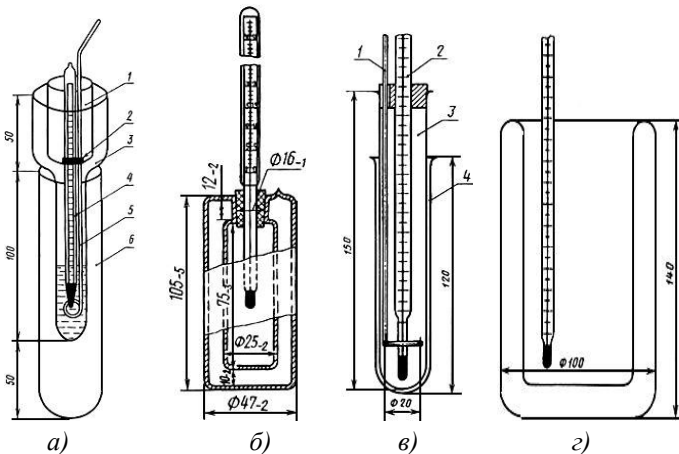


Рис. 101 - Приборы для определения температуры кристаллизации:

а - прибор Баумана-Фрома: 1 - насадка с отверстиями для термометра и мешалки; 2 - резиновое кольцо; 3 - толстстенный сосуд; 4 - термометр; 5 - мешалка; 6 - пробирка диаметром 40-45 мм; *б* - прибор Жукова; *в* - прибор, состоящий из двух пробирок: 1 - металлическая мешалка с диаметром кольца не более 20 мм; 2 - термометр; 3 - внутренняя пробирка с наружным диаметром 25 мм и длиной около 150 мм; 4 - защитная пробирка; *г* - сосуд Дьюара с термометром

За результат испытания принимают среднеарифметическое результатов двух параллельных определений, расхождение между которыми не должно превышать 2 °С. Абсолютная суммарная погрешность результата испытания $\pm 1,2$ °С при доверительной вероятности $P=0,95$.

Фракционный состав

Фракционный состав является определяющим показателем для установления условий применения охлаждающих жидкостей. определение фракционного состава позволяет установить предельные температуры использования жидкостей в двигателях без изменения их состава. При этом надо учитывать, что температурв начала пере-

гонки не является температурой кипения охлаждающей жидкости в системе охлаждения двигателя.

Метод заключается в определении температуры начала перегонки и измерении массовой доли жидкости, перегоняемой до достижения температуры 150 °С. Испытания проводят на приборах перегонки с вертикальным или наклонным холодильником (ГОСТ 18995.7). Методика определения аналогична пп 2.5.1, 2.5.2.

Коррозионного воздействия

Обязательный компонент любой охлаждающей жидкости - вода, которая при длительном контакте с металлическими сплавами вызывает разрушение. Подавляющее большинство современных охлаждающих жидкостей изготавливается на базе этиленгликоля, весьма токсичного вещества, способного вступать в реакцию даже с хромированными поверхностями. Именно поэтому в любом антифризе есть антикоррозийные присадки.

Продукты коррозии образуют на стенках радиатора и каналов двигателя равномерный слой ржавчины, которая намного хуже проводит тепло. Двигатель будет постоянно перегреваться, а из-за сужения диаметра каналов возрастает гидравлическое сопротивление, что вызовет дополнительное перегревание двигателя. Частицы ржавчины, находящиеся в охлаждающей жидкости могут засорить радиатор, и даже каналы двигателя, разгерметизировать подшипник помпы, разрушить ее крыльчатку, заклинить термостат и способны привести к значительным дефектам двигателя.

Метод заключается в том, что в испытуемую жидкость помещают образцы металлов в установленном наборе и определенных размеров и выдерживают их в ней непрерывно указанное время при заданной температуре. Затем по изменению массы образцов определяют коррозионное воздействие испытуемой жидкости.

В чистый сухой сосуд установки (рис. 102) для испытания. В сосуд наливают 200-300 см³ испытуемой охлаждающей жидкости. Уровень жидкости должен быть выше держателя с набором образцов металлов на 10-15 мм.

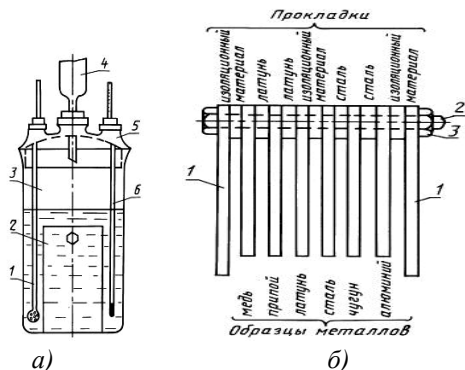


Рис. 102 - Установка для определения коррозионного воздействия на металлы:

а - общий вид установки: 1 - электрод; 2 - держатель образцов металлов; 3 - сосуд; 4 - обратный холодильник; 5 - шлифованная крышка; 6 - термометр; б - держатель образцов металлов с набором пластин: 1 - латунные подставки; 2 - крепежный винт; 3 - гайка

Установку помещают в термостат, температуру охлаждающей жидкости доводят до $(88 \pm 2)^\circ\text{C}$ и выдерживают непрерывно при этих условиях 336 ч. Затем образцы вынимают, очищают и взвешивают, записывая результат в граммах до четвертого десятичного знака. Если в процессе испытания на образцах металлов появляются стойкие продукты коррозии и пленки, то эти образцы металлов подвергают дополнительной очистке.

Вспениваемость

Вспениваемость - свойство жидкости образовывать пену при больших скоростях движения. Охлаждающие жидкости в процессе использования могут вспениваться по причине перегрева, что приводит к закипанию воды и выделению газов, либо при попадании газов из двигателя. Поэтому для установления режимов работы проводят испытания на вспениваемость.

Метод заключается в том (ГОСТ 28084-89), что объем испытуемой охлаждающей жидкости при заданной температуре продувают воздух с установленным объемным расходом в течение заданного

времени, а затем измеряют объем образовавшейся пены и время, в течение которого она сохраняется устойчиво. Методика приведена в п. 2.6.

Концентрация водородных ионов (рН)

Водородный показатель (рН) характеризует активную кислотность охлаждающих жидкостей. Водородные ионы оказывают сильное влияние на течение многих химических процессов, они являются наиболее активными ионами. Под влиянием водородных ионов изменяются основные физико-химические свойства веществ и растворов.

Водородный показатель (рН) определяют потенциометрическим методом по ГОСТ 22567.5 с использованием стеклянного и хлорсеребряного электродов. Для испытания охлаждающую жидкость концентрат разбавляют дистиллированной водой в объемном соотношении 1:1, товарные рабочие охлаждающие жидкости испытывают без разбавления. Методика приведена в п. 2.5.2.

Щелочное число

Метод заключается в определении объема титрованного раствора соляной кислоты концентрации 0,1 моль/дм³, израсходованного на потенциометрическое титрование 10 см³ охлаждающей жидкости до рН=5,5. Методика приведена в п. 2.5.1.

Устойчивость в жесткой воде

Определяется в соответствии с ГОСТ 28084-89. Метод заключается в наблюдении за состоянием раствора испытуемой охлаждающей жидкости концентрата в жесткой воде и визуальном установлении возможного расслоения или образования осадка в этом растворе в течение определенного времени при заданной температуре.

100 см³ испытуемой охлаждающей жидкости концентрата смешивают со 100 см³ приготовленной жесткой воды и разливают поровну в два стакана. Содержимое одного стакана нагревают до температуры (88±2)°С, а затем оба стакана накрывают чистым стеклом и выдерживают в темноте при комнатной температуре в течение 24 ч. По истечении времени визуально устанавливая наличие или отсутствие в них расслоения или осадка. За положительный результат испы-

тания принимается отсутствие расслоения жидкости и отсутствие осадка.

Совместимость с эластомерами

Влияние охлаждающих жидкостей на уплотнительные элементы систем охлаждения определяются исследованиями на их совместимость. Определение набухания резины проводят по ГОСТ 9.030 объемным гидростатическим методом. Испытания проводят на образцах резины марок: 57-5006 класса ТРП 100-60; 57-7011 класса ТРП-160 или других резинах по требованию потребителя. Испытание проводят при температуре (100 ± 2) °С в течение 70 ч.

2.9 Методы испытаний тормозных жидкостей

Тормозные жидкости служат для передачи от поршня главного тормозного цилиндра давления к исполнительным механизмам в гидроприводе тормозной системы автотракторной техники.

Рабочее давление в гидроприводе тормозов достигает более 10 МПа. Развиваемое в главном тормозном цилиндре давление передается на поршни колесных цилиндров, которые прижимают тормозные накладки к тормозным дискам или барабанам. При торможении кинетическая энергия автомобиля из-за трения колодок о барабан или диск превращается в тепловую энергию.

При этом в зоне трения выделяется тепло, величина которого зависит от массы и скорости автомобиля, а также от интенсивности и длительности торможения. При экстренном торможении автомобиля, когда температура тормозных колодок может достигать 600 °С, тормозная жидкость нагревается до 150 °С и выше. Высокие температуры в тормозах и гигроскопичность жидкости приводит к ее обводнению (насыщению водой) и преждевременному старению. В этих условиях жидкость отрицательно влияет на ресурс резиновых манжет уплотнения тормозных цилиндров и вызывает коррозию металлических поверхностей. Но наибольшую опасность при работе тормозов представляет процесс образования в жидкости пузырьков газа и пара, возникающих при высоких температурах режима

эксплуатации из-за понижения температуры кипения самой жидкости ниже установленной, а также при наличии в ней воды.

Надежность и безотказность работы гидропривода тормозов, а следовательно, и безопасность движения автомобилей, в значительной степени зависят от эксплуатационных свойств применяемых тормозных жидкостей. К ним относятся вязкостно-температурные, антикоррозионные, противозносные и смазывающие свойства, совместимость с резиновыми уплотнениями, а также стабильность при высоких и низких температурах.

Чистота, прозрачность

Тормозные жидкости могут быть как неокрашенными, так и окрашенными. Цвет определяется визуально. Для определения цвета необходимо иметь прозрачный чистый стеклянный цилиндр или колбу вместимостью 100...250 мл. лист плотной белой однотонной бумаги и образцы цвета.

Определение цвета осуществляется следующим образом. Проверив чистоту стенок цилиндра (колбы), наливается в него 100 мл исследуемой жидкости. Затем, установив цилиндр (колбу) с жидкостью перед листом белой бумаги, определите цвет исследуемой жидкости при равномерном (лучше естественном) освещении.

О наличии или отсутствии механических примесей судят визуально, то есть качественно, следующим образом. Отстаивают образец в течение 3...5 мин, после чего проводят наблюдение. Качественная жидкость должна быть однородна по цвету и не должна содержать взвешенных и (или) осевших на дно частиц механических примесей.

Температура кипения.

Это важнейший показатель, определяющий предельно допустимую рабочую температуру гидропривода тормозов. Для большей части современных тормозных жидкостей (ТЖ) температура кипения в процессе эксплуатации снижается из-за их высокой гигроскопичности. К этому приводит попадание воды, главным образом за счет конденсации из воздуха. Поэтому наряду с температурой кипения «сухой» ТЖ определяют температуру кипения «увлажненной» ТЖ, содержащей 3,5% воды.

Температура кипения «увлажненной» ТЖ косвенно характеризует температуру, при которой ТЖ будет «закипать» через 1,5–2 года ее работы в гидроприводе тормозов автомобиля. Для надежной работы тормозов необходимо, чтобы она была выше рабочей температуры жидкости в тормозной системе.

В легковых автомобилях с дисковыми тормозами температура ТЖ при движении по магистральным автострадам составляет 60–70 °С, в городских условиях достигает 80–100 °С, на горных дорогах – 100–120 °С, а при высоких скоростях движения, температурах воздуха и при интенсивных торможениях – до 150 °С.

Следует отметить, что начало образования паровой фазы ТЖ при нагреве, а следовательно, и паровых пробок в гидроприводе тормозов происходит при температуре на 20–25 °С ниже температуры кипения жидкостей.

Температура кипения определяется в соответствии с ГОСТ 18995.6-73. "Продукты химические органические. Методы определения температуры кипения". Настоящим стандартом предусмотрено три метода определения температуры кипения.

Определение температуры кипения по Павлевскому.

В пробирку прибора помещают 1-1,5 см³ испытуемой жидкости (туда же помещают небольшой кусочек прокаленного, пористого, неглазурованного фарфора или маленькие запаянные с одной стороны стеклянные капилляры) и укрепляют в ней при помощи корковой пробки термометр так, чтобы ртутный резервуар находился на высоте 2 см над уровнем жидкости в пробирке (рис. 103). В колбу прибора наливают жидкий теплоноситель так, чтобы уровень его был выше уровня жидкости в пробирке и нагревают. За 10-15 °С до предполагаемой температуры кипения скорость нагрева уменьшают до 2 °С в минуту. При дальнейшем нагревании температура повышается и, достигнув определенной точки, некоторое время остается постоянной.

За температуру кипения принимают наблюдаемую постоянную температуру, приведенную к нормальному давлению с учетом поправок. За результат анализа принимают среднеарифметическое ре-

зультатов двух параллельных определений, абсолютное расхождение между которыми не должно превышать расхождение, равное $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$

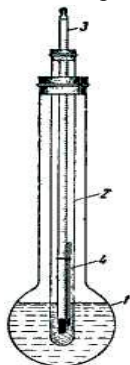


Рис. 103 - Прибор определения температуры кипения:

1 - колба с нагревательной жидкостью; 2 - пробирка с испытуемой жидкостью; 3 - термометр; 4 - стеклянный капилляр

Допускаемая абсолютная суммарная погрешность результата анализа $\pm 0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ при доверительной вероятности $P = 0,95$.

Определение температуры кипения в приборе (рис. 104).

Прибор для определения температуры кипения (рис. 104), состоящий из круглодонной колбы 1 с отростком, к которому присоединяют с помощью корковой пробки или на шлифе обратный холодильник. В колбу вставляют с помощью корковой пробки или шлифа насадку 3 с отверстиями, а в нее помещают термометр 2 на корковой пробке. Прибор помещают в баню 4 с жидким теплоносителем или обогревают электронагревателем с закрытой спиралью.

10-15 см³ испытуемой жидкости помещают в колбу, на дне которой находится несколько капилляров, запаянных с одного конца, вставляют насадку с отверстиями так, чтобы расстояние от уровня жидкости до нижних отверстий в насадке было 25 мм. Внутри насадки помещают термометр (рис. 104). При этом термометр должен полностью находиться в парах испытуемой жидкости, чем исключается необходимость внесения поправки на выступающий столбик ртути. Прибор соединяют с обратным холодильником.

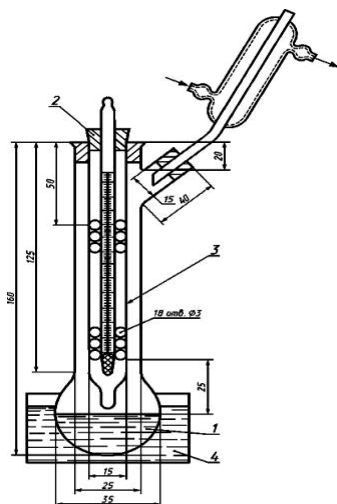


Рис. 104 - Прибор для определения температуры кипения
(пояснения в тексте)

При определении температур кипения ниже $170\text{ }^{\circ}\text{C}$ через рубашку холодильника пропускают воду; для более высококипящих жидкостей применяют воздушное охлаждение.

Шарообразную часть колбы нагревают или на бане с жидким теплоносителем, или электрообогревом. При этом пары испытуемой жидкости проходят через отверстия внутрь насадки и омывают термометр. Интенсивность нагрева регулируют так, чтобы количество капель, падающих с конца холодильника, было 60-80 в минуту.

За температуру кипения принимают наблюдаемую температуру, которая при данных условиях определения остается постоянной в течение 5-8 мин, приведенную к нормальному давлению с учетом поправок.

Определение температуры кипения в эбуллиометре.

Эбуллиометр (рис. 105), состоящий из резервуара 1, в который через отверстие 2 наливают испытуемую жидкость. К внутренней стенке резервуара припаяно толченное стекло для поддержания равномерного кипения жидкости. Нагрев резервуара осуществляется нихромовой спиралью, подключенной к автоматическому трансфор-

матору, или при помощи стеклянной кольцевой газовой горелки, которая охватывает нижнюю часть резервуара.

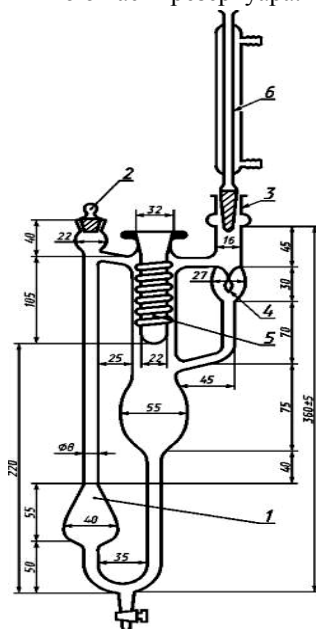


Рис. 105 - Эбулиометр (пояснения в тексте)

Интенсивность нагрева измеряют количеством капель, падающих в минуту со счетчика 4, помещенного в правой части прибора. Над счетчиком находится отверстие 3 для соединения с обратным холодильником. В верхней части прибора находится ячейка 5, представляющая собой впаянную в прибор пробирку, обвитую стеклянной спиралью. Ячейку заполняют ртутью и вставляют в нее с помощью корковой пробки термометр так, чтобы ртутный резервуар был полностью погружен в ртуть. Поверхность ртути покрывают слоем вазелинового масла, следя за тем, чтобы ртуть всегда находилась под слоем масла.

Все части прибора, за исключением счетчика капель и нижней части резервуара 1, обматывают асбестовым шнуром во избежание

охлаждения прибора. Все места соединений частей прибора должны быть пришлифованы. Прибор помещают в кожух.

В прибор через отверстие 2 (рис. 105) наливают 50 см³ испытуемой жидкости, закрывают притертой стеклянной пробкой, подводят воду в холодильник и начинают обогрев. Кипящая жидкость и ее пары омывают ячейку и попадают на счетчик капель. Как только со счетчика начинают падать капли, нагрев регулируют так, чтобы в минуту падало 60-80 капель. После установления постоянной скорости кипения температуру измеряют через каждые 2 мин. Наблюдение прекращают, когда последние пять измерений по своей величине совпадают.

За температуру кипения принимают наблюдаемую постоянную температуру, приведенную к нормальному давлению. За результат анализа принимают среднеарифметическое результатов двух параллельных определений, абсолютное расхождение между которыми не превышает расхождение, равное 0,1 °С.

Допускаемая абсолютная суммарная погрешность результата анализа $\pm 0,13$ °С при доверительной вероятности $P = 0,95$.

Вязкостно-температурные свойства

Процесс торможения обычно длится несколько секунд, а в экстренных условиях – доли секунды. Поэтому необходимо, чтобы сила, прилагаемая водителем к педали тормоза, с помощью рабочей жидкости быстро передавалась на колесные тормоза. Это условие обеспечивается необходимой текучестью жидкости и определяется максимально допустимой вязкостью при температуре минус 40°С: не более 1500 мм²/с для ТЖ общего назначения и не более 1800 мм²/с – для высокотемпературных жидкостей. ТЖ для севера должны иметь вязкость не более 1500 мм²/с при минус 55°С.

Вязкость тормозных жидкостей определяется в соответствии с ГОСТ 33768-2015, ГОСТ 33-2016. Настоящий стандарт устанавливает метод определения кинематической вязкости нефти и жидких нефтепродуктов, прозрачных и непрозрачных жидкостей измерением времени истечения определенного объема жидкости под действием силы тяжести через калиброванный стеклянный капиллярный

вискозиметр. Методика измерений представлена в пп. 2.4.2, 2.5.1-2.5.5.

Смазывающие свойства

Смазывающие свойства тормозных жидкостей должны обеспечивать долговечную работу металлических и резиновых деталей гидропривода тормозов. Между рабочими поверхностями поршня и цилиндра наблюдается щелевая коррозия, которая усиливается из-за проникновения в зазор воды с химически активными веществами. Щелевая коррозия оценивается по нагрузке извлечения поршня из цилиндра (на модельной установке) и выражается в баллах. При оценке «0» баллов считается, что тормозная жидкость не склонна вызывать щелевую коррозию.

Смазочная способность определяется на машинах трения (п. 2.5.1). Также смазочные свойства исследуют на стендах имитирующих рабочие узлы тормозной системы с определением степени износа трущихся поверхностей.

Антикоррозионные свойства

В гидроприводе тормозов детали из различных металлов соединяются между собой, что создает условия для протекания электрохимической коррозии. Для предотвращения коррозии ТЖ должны содержать ингибиторы, защищающие сталь, чугун, белую жечь, алюминий, латунь, медь от коррозии.

Показатель коррозионной агрессивности жидкости к металлам – концентрация водородных ионов pH , численное значение которого должно быть не ниже 7.

Эффективность ингибиторов коррозии оценивается по изменению массы и состоянию поверхности пластин из стали, чугуна, белой жести, алюминия, латуни, меди после их выдерживания в тормозной жидкости, содержащей 3,5 % воды, в течение 120 ч при 100 °С.

Совместимость с резиновыми уплотнениями и материалами

Для обеспечения герметичности гидросистемы на поршни и цилиндры ставят резиновые уплотнительные манжеты. Необходимое уплотнение обеспечивается, когда под воздействием ТЖ манжеты несколько набухают и их уплотнительные кромки плотно прилегают

к стенкам цилиндра. При этом происходит частичная компенсация потери массы манжет за счет их изнашивания. Однако чрезмерное набухание ведет к разрушению этих деталей. Усадка манжет недопустима, т.к. приводит к подтеканию и потере жидкости.

Испытание на набухание резины осуществляется при выдерживании манжет или образцов резины в жидкости при 70 и 120 °С. Затем определяется изменение объема, твердости и диаметра манжет.

Совместимость с материалами тормозной системы определяют погружением образца в тормозную жидкость на 48 ч. затем проверяют изменение толщины образца в контрольных точках.

Стабильность при высоких и низких температурах.

Тормозные жидкости в интервале рабочих температур от минус 50 до 150 °С должны сохранять исходные показатели, т.е. противостоять окислению и расслаиванию при хранении и применении, образованию осадков и отложений на деталях гидропривода тормозов.

Для улучшения эксплуатационных свойств тормозных жидкостей к ним добавляют композицию присадок.

Метод определения стабильности при хранении заключается в переменном воздействии на продукт высоких и низких температур, последующем центрифугировании и определении степени его расслоения по выделившемуся осадке.

Гигроскопичность

Тормозные жидкости гигроскопичны - они поглощают влагу. Пространство, в котором работает тормозная жидкость, замкнутым можно назвать достаточно условно. В системе есть компенсационные отверстия, которые впускают в него воздух при нажатии на педаль, и выпускают при обратном ее ходе. В результате тормозная жидкость впитывает влагу из окружающего воздуха. Это приводит к снижению температуры кипения. В самой жидкости также происходят необратимые химические реакции, а присадки, входящие в состав тормозной жидкости, теряют свои свойства.

Наличие в тормозной жидкости всего 2–3 % воды снижает температуру ее кипения примерно на 70 °С. На практике это означает, что при торможении жидкость закипит ниже 160 °С, в то время как в «сухом» (то есть без влаги) состоянии это произойдет при 230 °С.

Гигроскопичность для тормозной жидкости в то же время является необходимостью. Ведь если попавшая из конденсата или другим путем вода не будет поглощена тормозной жидкостью, она будет собираться в наиболее низких местах тормозной системы. Дальше, в случае снижения температуры ниже 0°C она замерзнет, образовав пробку, тормоза перестанут действовать. Также температура кипения воды намного ниже, чем тормозной жидкости. Нагрев тормозной жидкости и воды во время торможения приведет к закипанию воды и образованию паровых пробок.

Наличие влаги внутри гидравлической системы приводит и к образованию очагов коррозии на внутренних стенках тормозных механизмов, соприкасающихся с манжетами, которые также приходят в негодность от трения об острые края коррозионных раковин. В итоге начинается утечка тормозной жидкости.

Кроме того, тормозная жидкость выполняет функцию смазки и защиты деталей системы от коррозии – поршни должны легко перемещаться, а цилиндры – не ржаветь. И, конечно, она должна быть совместима с резиновыми уплотнениями и шлангами.

Исследование гигроскопичности проводят следующим образом. Стаканчики для взвешивания с элементарными пробами помещают в эксикатор с водой, в котором предварительно установлена относительная влажность воздуха $(98\pm 1)\%$. Выдерживают элементарные пробы в эксикаторе в открытых стаканчиках для взвешивания в течение 4 ч. Затем стаканчики для взвешивания закрывают, вынимают из эксикатора, взвешивают и высушивают до постоянной массы при температуре $(107\pm 2)^{\circ}\text{C}$. После высушивания и охлаждения в эксикаторе, заполненном обезвоженным хлоридом кальция, стаканчики для взвешивания с элементарными пробами взвешивают.

IV ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ ПРОГРАММА КУРСА

1. Что такое плотность вещества, как ее определяют?
2. Как зависит плотность от температуры?
3. В каких пределах находится плотность бензинов?
4. Каким показателем оценивается наличие органических ки-

слот в топливе?

5. Что такое фракционный состав топлива и как он определяется?

6. Какое свойство топлива характеризует фракционный состав?

7. Какие свойства топлив характеризует температура 10-, 50- и 90%-го отгона?

8. Как влияет давление насыщенных паров на испарение бензина?

9. Что характеризует вязкость жидкости?

10. Как определяется кинематическая и динамическая вязкость?

11. Как влияет вязкость на эксплуатационные свойства дизельного топлива?

12. Какие температуры принимаются за температуры помутнения и застывания топлива?

13. Какие явления вызывают помутнение и застывание дизельного топлива?

14. При какой температуре наружного воздуха может применяться данный образец топлива?

15. Что является сырьем для получения газовых и альтернативных топлив?

16. Каковы преимущества газовых топлив?

17. Перечислите недостатки газовых топлив.

18. Какие углеводороды входят в состав автомобильного топлива «сжиженный нефтяной газ» (СНГ) и в каком агрегатном состоянии находится СНГ в баллоне?

19. Под каким давлением находится СНГ в баллоне автомобиля? Для чего служит паровой вентиль в баллоне?

20. Назовите марки сжиженных нефтяных газов и чем они отличаются

21. Основной углеводород в составе сжатого природного газа? Под каким давлением находится СПГ в баллонах? Требования к баллонам.

22. Какие виды спиртовых топлив можно применять для автомобилей и в чем их недостатки?

23. Рекомендации по использованию спиртовых топлив для автомобилей. Каковы их преимущества?

24. Охарактеризуйте водород как автомобильное топливо с его достоинствами и недостатками.

25. Как получают биодизтопливо? Чем оно лучше дизтоплива нефтяного происхождения?

26. Технические, энергетические, экологические, экономические, ресурсные требования химмотологии к двигателям.
27. Виды эксплуатационных материалов?
28. Получения из нефти топлив и смазочных материалов методом прямой перегонки.
29. Приведите формулу углеводородов парафинового, нафтенового и ароматического ряда, входящего в состав нефти.
30. Почему нафтеновые и ароматические углеводороды предпочтительнее для изготовления бензинов, а парафиновые – для дизельных топлив?
31. Что понимают под термином "сгорание" применительно к автомобильным двигателям?
32. Что характеризует параметр называемый коэффициентом избытка воздуха?
33. Что такое теплота сгорания топлива?
34. Опишите фазы сгорания двигателя с искровым зажиганием?
35. От каких факторов зависит скорость сгорания в двигателях с искровым зажиганием при нормальном развитии процесса?
36. Чем характеризуется детонационное сгорание рабочей смеси?
37. Каковы основные причины возникновения детонации?
38. Перечислите основные эксплуатационные требования, предъявляемые к автомобильным бензинам, расшифруйте А-88 и АИ-98?
39. Какие свойства автомобильных бензинов оказывают влияние на процесс образования горючей смеси?
40. Каким образом определяется плотность жидких нефтепродуктов?
41. Что характеризует свойства жидкостей называемой вязкостью?
42. В каких единицах величины может быть выражена вязкость жидкостей?
43. Дайте определение динамической вязкости жидкости.
44. Как связаны между собой динамическая и кинематическая вязкость жидкости?
45. Каким образом характеризуется испаряемость бензинов?
46. Какое влияние оказывают показатели испаряемости автомобильных бензинов на эксплуатационные характеристики двигателя?
47. Дайте определение параметру называемому октановым числом топлива?

48. Какие существуют методы определения октанового числа?
49. От чего зависит детонационная стойкость бензинов?
50. Назовите основные методы повышения детонационной стойкости автомобильных бензинов?
51. Что понимают под стабильностью топлива?
52. Назовите основные марки бензинов отечественного и зарубежного производства, приведите пример их маркировки.
53. Какими особенностями характеризуются процессы смесеобразования и сгорания в дизелях?
54. Перечислите основные требования, предъявляемые к качеству дизельных топлив?
55. Какие характерные точки и периоды можно выделить на индикаторной диаграмме, описывающей процесс сгорания в дизельном двигателе?
56. Каким образом оценивается жесткость процесса сгорания дизельного топлива?
57. Каким образом оценивается самовоспламеняемость дизельного топлива?
58. Дайте определение цетанового числа дизельного топлива, связь между цетановым и октановым числами.
59. В каких пределах находится цетановое число дизельных топлив, применяемых для быстроходных дизелей, как влияют отклонения от нормы на показатели работы двигателя?
60. Назовите основные методы улучшения низкотемпературных свойств дизельных топлив.
61. Как влияют отклонения вязкости дизельного топлива от нормы на показатели работы двигателя?
62. Какие свойства дизельного топлива оказывают влияние на процесс смесеобразования?
63. Каким образом оцениваются низкотемпературные свойства дизельного топлива?
64. Каким образом характеризуется испаряемость дизельных топлив?
64. Какое влияние оказывают показатели испаряемости дизельных топлив на эксплуатационные характеристики двигателя?
65. От каких факторов зависят коррозионные свойства дизельных топлив?
66. Каким образом классифицируются и маркируются дизельные топлива отечественного производства, расшифруйте Л- 45- 0.2 и З- 30- 0.2?

ЛИТЕРАТУРА

1. Ассад, М.С. Продукты сгорания жидких и газообразных топлив. Образование, расчет, эксперимент [Электронный ресурс]: монография/ Ассад М.С., Пенязьков О.Г.- Электрон. текстовые данные.- Минск: Белорусская наука, 2010.- 305 с.- Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/12312>
2. Веревкин, Н.И. Экономия топливно-энергетических ресурсов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Веревкин Н.И., Давыдов Н.А., Джерихов В.Б.- Электрон. текстовые данные.- СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2011.- 38 с.- Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/19057>
3. Геленов, А.А. Автомобильные эксплуатационные материалы : рекомендовано Федеральным государственным учреждением "Федеральный институт развития образования" в качестве учебного пособия/А.Д. Шеремет, В.П. Суйц. - М.: Академия, 2010. - 304 с.
4. ГОСТ 4.24. Система показателей качества продукции. Масла смазочные. Номенклатура показателей.
5. ГОСТ 17479.1-85. Обозначение нефтепродуктов. Масла моторные.
6. ГОСТ 33-2000. Нефтепродукты. Метод определения кинематической вязкости и расчет динамической вязкости.
7. ГОСТ 4333-87. Нефтепродукты. Метод определения температуры вспышки в открытом тигле.
8. ГОСТ 11362-96. Присадки и масла с присадками. Определение кислотных и щелочных чисел методом потенциометрического титрования.
9. ГОСТ 13538-68. Присадки и масла с присадками. Метод определения присадок в маслах.
10. ГОСТ 20287-81. Нефтепродукты. Метод определения температуры застывания.

11. ГОСТ Р 53605-2009 (ЕН 14214-2003). Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME) для дизельных двигателей. Общие технические требования.

12. ГОСТ Р ЕН 14103-2008. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение содержания эфиров и метилового эфира линоленовой кислоты.

13. ГОСТ Р ЕН 14105-2008. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение содержания свободного и общего глицерина, моно-, ди-, триглицеридов (метод сравнения).

14. ГОСТ Р ЕН 14104-2009. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение кислотного числа.

15. ГОСТ Р ЕН 14106-2009. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение содержания свободного глицерина.

16. ГОСТ Р ЕН 14107-2009. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение содержания фосфора методом эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP).

17. ГОСТ Р ЕН 14108-2009. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение содержания натрия методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

18. ГОСТ Р ЕН 14109-2009. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение содержания калия методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

19. ГОСТ Р ЕН 14538-2009. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение содержания Са, К, Mg и Na методом оптической эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой (ICP OES).

20. ГОСТ Р ИСО 3679-2010. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Ускоренный метод определения температуры вспышки в равновесных условиях в закрытом тигле.

21. ГОСТ Р ЕН 14110-2010. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение содержания метанола.
22. ГОСТ Р ЕН 14111-2010. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение йодного числа.
23. ГОСТ Р ЕН 14112-2010. Производные жиров и масел. Метилловые эфиры жирных кислот (FAME). Определение окислительной стабильности (в условиях ускоренного окисления).
24. ГОСТ Р ЕН 14078-2010. Нефтепродукты жидкие. Определение метиловых эфиров жирных кислот (FAME) в средних дистиллятах методом инфракрасной спектроскопии.
25. ГОСТ Р ИСО 5508-2010. Животные и растительные жиры и масла. Определение метиловых эфиров жирных кислот (FAME) газовой хроматографией.
26. ГОСТ Р ЕН 14331-2010. Нефтепродукты жидкие. Идентификация метиловых эфиров жирных кислот (FAME) в средних дистиллятных топливах методом жидкостной и газовой хроматографии.
27. Джерихов В.Б. Автомобильные эксплуатационные материалы [Электронный ресурс]: учебное пособие/ В.Б Джерихов.- Электрон. текстовые данные.- СПб.: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет, ЭБС АСВ, 2013.- 135 с.- Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/26869>.
28. Методы совершенствования технологических процессов нефтепродуктообеспечения- Режим доступа <http://www.dissercat.com.ru/>
29. Оборудования для регенерации нефтепродуктов - Режим доступа [http:// www. 5fan.ru/](http://www.5fan.ru/)
30. Оборудования для регенерации нефтепродуктов - Режим доступа [http://www. vevivi.ru/](http://www.vevivi.ru/)
31. Редина М.М. Эколого-экономическая диагностика устойчивости предприятий нефтегазового комплекса [Электронный ресурс]: монография/ Редина М.М.- Электрон. текстовые данные.- М.:

Российский университет дружбы народов, 2011.- 172 с.- Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/11533>

32. Рудик, Ф.Я., Монтаж, эксплуатация и ремонт оборудования перерабатывающих предприятий [Текст] : допущено Мин. с.-х. РФ в качестве учебника для студентов высших с.-х. учеб. заведений / Ф.Я. Рудик, В.Н. Булов, Н.В. Юдаев. - СПб. : ГИОРД, 2008. - 352 с.

33. Солнцев Ю.П., Специальные материалы в машиностроении [Электронный ресурс]: учебник для вузов/ Солнцев Ю.П., Пряхин Е.И., Пирайнен В.Ю.- Электрон. текстовые данные.- СПб.: ХИМИЗДАТ, 2014.- 639 с.- Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/22544>

34. Технологии оценки нефтепродуктов - Режим доступа <http://www.tekhnosfera.com.ru/>

35. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости : допущено Мин. с.х. РФ в качестве учебного пособия для студентов вузов, обучающихся по специальности 110301 "Механизация сельского хозяйства" и 110304 "Технология обслуживания и ремонт машин в АПК" / В.В. Остриков, А.П. Уханов, К.У. Сафаров и др. - Ульяновск : УГСХА, 2009. - 575

36. Холманов, В.М. Эксплуатационные материалы для автомобильного хозяйства: учеб. пособие / В.М. Холманов, А.А. Глущенко/. Ульяновск.: УГСХА, 2012. - 151 с.

37. ASTM D6751-12. Standard Specification for Biodiesel Fuel Blend Stock (B100) for Middle Distillate Fuels.

38. EN 14214:2008. Automotive Fuels Fatty Acid Methyl Esters (FAME) for Diesel Engines. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.

СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	3
I	ОРГАНИЗАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКИЙ РАЗДЕЛ.....	4
II	ГЛОССАРИЙ.....	5
III	ЛЕКЦИОННЫЙ КУРС.....	13
1	АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ВИДЫ ТОПЛИВ.....	13
1.1	Биотопливо.....	14
1.2	Солярно-водные и бензо-водные смеси.....	22
1.3	Спирты.....	24
1.4	Синтетические жидкие топлива.....	34
1.5	Топливные элементы.....	35
1.6	Водород.....	41
2	ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ТОПЛИВО- СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ.....	43
2.1	Общие понятия.....	43
2.2	Методы исследования качества ТСМ.....	45
2.3	Отбор проб нефтепродуктов.....	52
2.4	Методы испытаний топлив.....	61
2.4.1	Методы испытаний бензинов.....	61
2.4.2	Методы испытаний дизельных топлив.....	114
2.4.3	Методы испытаний альтернативных топлив.....	166
2.5	Методы испытаний смазочных масел.....	175
2.5.1	Методы испытаний моторных масел.....	175
2.5.2	Методы испытаний трансмиссионных масел.....	241
2.5.3	Методы испытаний жидкостей ATF.....	258
2.6	Методы испытаний гидравлических и промышленных масел.....	261
2.7	Методы испытаний пластичных смазок.....	276
2.8	Методы испытаний низкозамерзающих охлаждающих жидкостей.....	293
2/9	Методы испытаний тормозных жидкостей.....	300
IV	ЭКЗАМЕНАЦИОННАЯ ПРОГРАММА КУРСА.....	309
	ЛИТЕРАТУРА.....	313

Глущенко Андрей Анатольевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ КАЧЕСТВА ТОПЛИВО-
СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ПРИМЕНЕНИЕ
АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВ**

Учебное пособие для студентов, магистров и аспирантов инженерно-
физического факультета высоких технологий.-

Ульяновск: УлГУ, 2019.- 318 с.

Подписано в печать _____

Формат 60x90/16 Бумага офсетная №1

Гарнитура Times New Roman. Усл. печ. л. 19,87

Тираж 150 Заказ _____

Адрес издателя: г. Ульяновск,