

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Тракторы и автомобили»

## ТОПЛИВО, СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ

Учебно-методическое пособие

Минск  
БГАТУ  
2010

УДК 621.892(07)  
ББК 31.35я7  
Т58

*Рекомендовано научно-методическим советом  
агротехнического факультета БГАТУ.  
Протокол № 16 от 15 мая 2009 года*

Авторы:  
заведующий кафедрой, доктор технических наук *А. И. Бобровник*;  
старший преподаватель *Н. А. Поздняков*;  
старший преподаватель *Т. А. Варфоломеева*;  
ассистент *В. М. Головач*

Рецензенты:  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Автомобили» БНТУ  
*В. А. Сергеенко*;  
заведующий кафедрой «Технология металлов» БГАТУ, доктор  
технических наук, профессор *В. М. Канцевич*

**Топливо, смазочные материалы и технические  
Т58 жидкости** : учебно-методическое пособие / А. И. Бобровник  
[и др.]. – Минск : БГАТУ, 2010. – 212 с.  
ISBN 978-985-519-236-8.

В издании описаны виды топлива, масел, смазок и технических жидкостей, рассмотрены вопросы их качества, эксплуатационных свойств и рационального применения в тракторах, автомобилях и другой сельскохозяйственной технике.

Пособие предназначено для студентов агроинженерных специальностей, учащихся агротехнических колледжей и рекомендовано инженерам сельскохозяйственного производства для использования в практической деятельности.

УДК 621.892(07)  
ББК 31.35я7

ISBN 978-985-519-236-8

© БГАТУ, 2010

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение .....	5	3.2.5. Компрессорные масла .....	155
1. НЕФТЬ И ТЕХНОЛОГИЯ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ .....		3.2.6. Электроизоляционные масла .....	159
1.1. Нефть и ее состав .....	7	3.3. Пластичные смазки .....	160
1.2. Технология переработки нефти и нефтепродуктов .....	10	3.3.1. Эксплуатационные свойства пластичных смазок .....	162
1.3. Теплота сгорания жидкого топлива .....	17	3.3.2. Классификация и маркировка смазок .....	172
2. ХИММОТОЛОГИЯ ТОПЛИВ .....		3.3.3. Ассортимент пластичных смазок .....	176
2.1. Автомобильные бензины .....	22	4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ .....	
2.1.1. Эксплуатационные свойства автомобильных бензинов .....	23	4.1. Гидравлические масла и требования к ним .....	183
2.1.2. Ассортимент автомобильных бензинов .....	54	4.2. Охлаждающие жидкости .....	187
2.2. Дизельное топливо .....	57	4.3. Тормозные жидкости .....	194
2.2.1. Эксплуатационные свойства дизельного топлива .....	57	4.4. Амортизаторные жидкости .....	198
2.2.2. Ассортимент дизельных топлив .....	76	4.5. Пусковые жидкости .....	200
2.3. Газообразные топлива .....	78	Список рекомендуемой литературы .....	202
2.3.1. Сжиженные газы .....	81	Приложения .....	203
2.3.2. Природный и генераторный газы. Биогаз .....	86		
2.3.3. Особенности применения газообразных топлив .....	89		
2.4. Токсичность отработавших газов двигателей .....	90		
2.5. Мероприятия по снижению выбросов вредных веществ .....	92		
3. ХИММОТОЛОГИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ .....			
3.1. Моторные масла и требования к ним .....	103		
3.1.1. Способы получения моторных масел .....	103		
3.1.2. Эксплуатационные свойства моторных масел .....	106		
3.1.3. Присадки к маслам .....	120		
3.1.4. Классификация моторных масел .....	126		
3.1.5. Ассортимент моторных масел .....	128		
3.1.6. Синтетические масла .....	128		
3.1.7. Зарубежные классификации моторных масел .....	130		
3.1.8. Изменение качества моторных масел при эксплуатации двигателей .....	140		
3.2. Трансмиссионные и индустриальные масла .....	145		
3.2.1. Эксплуатационные требования к трансмиссионным маслам .....	145		
3.2.2. Классификация трансмиссионных масел .....	146		
3.2.3. Ассортимент трансмиссионных масел .....	150		
3.2.4. Индустриальные масла .....	152		

## ВВЕДЕНИЕ

Подъем экономики страны связан с развитием топливно-энергетической базы, с наращиванием объема добычи нефти и повышением качества продукции, выпускаемой нефтеперерабатывающими заводами.

Несмотря на интенсивное освоение альтернативных топлив и источников энергии, современные сельскохозяйственные производства расходуют значительную часть дизельного топлива, автомобильного бензина, моторных и трансмиссионных масел, специальных жидкостей и других нефтепродуктов, производимых в стране. Только стоимость потребленных топлив и смазочных материалов в структуре себестоимости конечной продукции доходит до 30 % и более.

Экономичность, надежность и долговечность работы тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин в большой степени зависит от качества нефтепродуктов и правильного выбора их сортов и марок при эксплуатации техники.

Технический прогресс в нефтеперерабатывающей промышленности позволил существенно улучшить качество бензина и дизельных топлив. Возросло производство высокоэффективных моторных и трансмиссионных масел, пластичных смазок и других нефтепродуктов. Это произошло в значительной мере за счет широкого использования эффективных присадок, повышающих эксплуатационные свойства нефтепродуктов. Значительно изменился ассортимент нефтепродуктов, вырабатываются новые высококачественные сорта масел для бензиновых и дизельных двигателей.

Большое значение имеет экономное, бережное использование топлива и смазочных материалов. Во многих хозяйствах построены типовые нефтесклады, применяется закрытая механизированная заправка с помощью топливораздаточных колонок и передвижных заправочных агрегатов. Хорошо организована работа нефтехозяйств, налажен учет расходующего топлива и смазочных материалов, применяются технически обоснованные нормы выработки и расхода топлива.

В нашей стране постоянно ведутся исследовательские работы по улучшению качества выпускаемых нефтепродуктов, что в значительной мере способствует их экономному использованию. Трудности в решении проблемы рационального расходования топлив и масел в двигателях внутреннего сгорания связаны со сложностью протекающих в них процессов. В связи с этим появилось новое на-

правление в науке и технике – теория и практика рационального применения топлив, масел, смазок и специальных жидкостей. По предложению советского ученого К.К. Папка и инженера В.В. Никитина, это направление было названо «химмотологией» – производное от слов «химия», «мото» и «логос» (наука). Следовательно, *химмотология – это наука об эксплуатационных свойствах, качестве и рациональном применении в технике топлива, смазочных материалов и технических (специальных) жидкостей.*

Главные задачи химмотологии следующие:

- исследование процессов, происходящих в двигателях и механизмах при использовании топлив и смазочных материалов;
- изучение и улучшение эксплуатационных свойств топлив, масел, смазок и технических жидкостей;
- создание методов квалификационной оценки нефтепродуктов и совершенствование методов их испытаний;
- разработка требований к конструкциям двигателей и механизмов, а также к условиям эксплуатации техники с позиций достигнутого оптимального уровня качества топлив и смазочных материалов;
- разработка теории и количественных критериев химмотологической надежности и определение требований к ней.

Совместное решение вопросов повышения качества товарных нефтепродуктов, совершенствование конструкций тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин, улучшение условий их эксплуатации будет способствовать повышению надежности и долговечности техники, рациональному использованию топлив и смазочных материалов.

Основной целью курса «Топливо, смазочные материалы и технические жидкости» является обобщение и систематизация сведений об эксплуатационных свойствах, качестве и рациональном применении топлива, масел, смазок и технических жидкостей в тракторах, автомобилях, комбайнах и другой сельскохозяйственной технике.

Инженер-механик сельскохозяйственного производства должен уметь технически грамотно подбирать сорта и марки топлива, смазочных материалов и специальных жидкостей для всех видов сельскохозяйственной техники в зависимости от конструктивных особенностей и условий ее эксплуатации, а также контролировать качество топлив, смазочных материалов и жидкостей с использованием современных методик и оборудования.

# 1. НЕФТЬ И ТЕХНОЛОГИЯ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ

## 1.1. Нефть и ее состав

По определению Д. И. Менделеева, *топливо* – это «горючее вещество, умышленно сжигаемое для получения теплоты». По агрегатному состоянию различают топливо твердое, жидкое и газообразное. Топливо может быть органическим и ядерным, а по происхождению – природным и искусственным.

В табл. 1.1 приведена классификация топлива по его происхождению и агрегатному состоянию.

Таблица 1.1

Общая классификация топлива

Агрегатное состояние топлива	Происхождение топлива	
	природное	искусственное
Газообразное	Природный и попутный газы	Газы: генераторный, доменный, светильный, коксовый, биогаз и пр.
Жидкое	Нефть	Топочные мазуты, топливо печное бытовое, дизельное топливо, бензины, керосины и пр.
Твердое	Антрацит, каменный уголь, горючие сланцы, торф, дрова, отходы сельскохозяйственного производства	Кокс, полукокс, торфяные и каменноугольные брикеты, древесный уголь

Основным источником для производства автотракторных топлив и смазочных материалов является нефть. От метода переработки и состава нефти зависят эксплуатационные свойства производимых нефтепродуктов. Нефть представляет собой маслянистую жидкость с характерным запахом, коричневого, темно-коричневого, реже – красного или желтого цвета.

Плотность нефти колеблется от 730 до 1000 кг/м<sup>3</sup>. Температура застывания нефти зависит от содержания в ней твердых углеводородов и смолистых веществ и находится в пределах от +20

до –80 °С. Вязкость зависит от свойств углеводородов и количества смолистых веществ, входящих в состав нефти. Нефть может быть легкоподвижной или очень вязкой жидкостью или полутвердым веществом. Теплота сгорания составляет 43,2–45,7 МДж/кг, теплоемкость – 1,66–2,09 кДж/(кг·К).

Элементный химический состав нефтей различных месторождений неодинаковый. Основные элементы нефти – углерод (85–87 %) и водород (12–14 %). Кроме того, в нефти содержатся кислород (0,1–0,3 %), сера (от 0,01 % в малосернистых нефтях до 5–7 % в высокосернистых), азот (0,02–1,7 %), а также незначительное количество других элементов.

На мировом рынке продают нефть двух сортов – Brent и Urals. Нефть первого сорта добывают в странах Аравийского полуострова, в Венесуэле и Мексике, второго сорта – в России и странах Северной Европы. Brent дороже Urals, так как содержит меньшее количество серы, что облегчает нефтепереработку, и имеет более высокую теплоту сгорания.

Впервые в 1763 г. М.В. Ломоносов выдвинул гипотезу о происхождении нефти из растительных остатков, подвергшихся обугливанию и давлению в глубине земли. В.И. Вернадский доказал исключительную способность живых организмов концентрировать в земле запасы углерода, а также большое значение последнего в геологических процессах. Н.Д. Зелинский установил, что некоторые соединения углерода, входящие в состав растений и животных, при определенных условиях могут образовывать продукты, сходные с нефтью по физико-химическим свойствам. И.М. Губкин пришел к выводу, что процесс образования нефти непрерывен и неотделим от процессов формирования в недрах земли. Наиболее благоприятные зоны земли для образования нефти – участки земной коры на границах областей опускания и поднятия.

По химическому составу нефть представляет собой смесь различных углеводородов, сернистых, кислородных и азотистых соединений. В состав нефти входят углеводороды трех классов: парафиновые, нафтеновые и ароматические. В нефтепродуктах могут содержаться, иногда в значительных количествах, непредельные углеводороды, образующиеся в процессе переработки нефти и нефтепродуктов.

Парафиновые углеводороды являются гомологами простейшего углеводорода метана (СН<sub>4</sub>). При последовательном замещении атомов водорода метана на радикал (СН<sub>3</sub>), называемый метильной

группой, получается гомологический ряд парафиновых углеводородов. Общая формула парафиновых углеводородов  $C_nH_{2n+2}$ . Начиная с метана ( $CH_4$ ), эти углеводороды газообразные, начиная с пентана ( $C_5H_{12}$ ) – жидкие, а с гексадекана ( $C_{16}H_{34}$ ) – твердые.

Твердые и газообразные углеводороды растворены в жидких. При повышении температуры испаряются газообразные углеводороды, а при понижении температуры выпадают твердые парафины.

Нафтенковые углеводороды имеют циклическое строение. Общая эмпирическая формула их  $C_nH_{2n}$ . В молекулы нафтенковых углеводородов входят замкнутые кольца атомов углерода. Циклическое строение этих углеводородов обуславливает их высокую химическую прочность.

Ароматические углеводороды имеют общую формулу  $C_nH_{2n-6}$ . Наиболее важным ароматическим углеводородом является бензол ( $C_6H_6$ ). Ароматические углеводороды легко вступают в реакции замещения, образуя фенол, нитробензол и пр.

Непредельные углеводороды образуются в результате переработки нефти. Между атомами углерода существуют двойные или тройные непрочные связи, легко разрушаемые под действием температуры. В связи с малой стабильностью непредельных углеводородов из них образуются оксиды, кислоты, смолисто-асфальтовые вещества.

Кислородные соединения в нефти, как правило, состоят из органических кислот и смолисто-асфальтовых веществ. Органические кислоты чаще всего представлены нафтенковыми кислотами, которые хорошо растворяются в нефти и сильно корродируют цветные металлы (например, свинец, цинк).

Смолисто-асфальтовые вещества обычно делят на нейтральные смолы, асфальтены, карбены, карбоиды и асфальтогеновые кислоты. Нейтральные смолы представляют собой высокомолекулярные компоненты нефти с нейтральными свойствами. В различных нефтях может содержаться от 1,5 до 40 % смол.

Асфальтены – это твердые хрупкие вещества обычно черного цвета, не плавящиеся при нагревании и нерастворимые в бензине.

Карбены представляют собой продукты уплотнения асфальтенов. Это твердые вещества с плотностью больше единицы. Они нерастворимы в бензоле.

Карбоиды образуются в результате уплотнения и полимеризации углеводородов при термическом разложении нефти. Они состоят в основном из углерода и небольшого количества

водорода, практически нерастворимы в органических и минеральных растворителях.

Асфальтогеновые (полинафтенковые) кислоты – это полутвердые или твердые вещества, малорастворимые в бензине.

## 1.2. Технология переработки нефти и нефтепродуктов

*Классификация и способы получения нефтяных топлив.*  
В табл. 1.2 представлена классификация нефтяных топлив класса F по ГОСТ 28577.0–90 (ИСО 8216–0–86). В класс, в зависимости от типа топлива, включены нефтепродукты пяти групп. Продукты обозначены символом, состоящим из групп букв, например ИСО-F-DST 2. В обозначение входят: аббревиатура ИСО (Международная ассоциация по стандартизации); буква, обозначающая класс (F – для топлив), которую отделяют дефисом от аббревиатуры и последующих букв; буквы (от одной до четырех), обозначающие категорию топлива; цифра, указывающая на особое свойство топлива. Обозначение записывают полностью – ИСО-F-DST 2 или сокращенно – F-DST 2.

Таблица 1.2

*Классификация нефтяных топлив (класс F)*

Группа топлива	Характеристика топлива
G	Газообразные топлива. Газообразные топлива нефтяного происхождения, состоящие в основном из метана и (или) этана
L	Сжиженные газообразные топлива. Газообразные топлива нефтяного происхождения, состоящие в основном из пропана и пропена и (или) бутана и бутена
D	Дистиллятные топлива. Топлива нефтяного происхождения (бензины, керосины, газойли и дизельные топлива), за исключением сжиженных нефтяных газов и топлив. Тяжелые дистилляты, которые могут содержать небольшое количество остатков
R	Остаточные топлива. Нефтяные топлива, содержащие остаточные фракции процесса перегонки
C	Нефтяные коксы. Твердые топлива нефтяного происхождения, состоящие в основном из углерода и полученные в процессе крекинга

Более 90 % нефти используют для получения автотракторных эксплуатационных материалов (топлив и смазочных материалов). При этом применяют физические и химические способы переработки, зависящие от вида сырья и получаемых продуктов. Физические способы переработки заключаются в разделении сырья на составные части по температурам кипения без изменения первоначального химического состава. К ним относится прямая (атмосферная и вакуумная) перегонка нефти. Химические способы основаны на изменении первоначального химического состава перерабатываемого сырья, в результате чего образуются продукты с заранее заданными свойствами. На нефтеперерабатывающих и нефтехимических заводах все способы переработки сырья взаимосвязаны. При этом комплексно используются электроэнергия, теплота, вода.

Принципиальная схема переработки нефти изображена на рис. 1.1.

Добытую из недр земли нефть обезвоживают и обессоливают, а также стабилизируют, то есть удаляют из нее растворенные газы.

Первичный процесс переработки нефти – прямая перегонка. Это процесс первичного разделения углеводородов нефти по температурам их кипения. На рис. 1.2 показана схема установки для прямой перегонки нефти непрерывного действия. Нефть в трубчатой печи 1 нагревается до температуры 350 °С. Смесь паров и горячей нефти поступает в среднюю часть ректификационной колонны 2, где разделяется на жидкий остаток и пары при атмосферном давлении. Пары нефти поднимаются вверх по колонне, жидкий остаток – мазут стекает в нижнюю ее часть. Пары постепенно охлаждаются и конденсируются, причем сначала конденсируются тяжелые углеводороды. По мере перемещения паров вверх выделяются все более легкие фракции (дистилляты) нефти. Для постепенного охлаждения паров по мере их подъема в верхнюю часть колонны подается легкий бензин.

В ректификационных колоннах размещаются тарелки с колпачками и трубкой для слива жидкости, с помощью которой поддерживается постоянный уровень жидкости. Пары из-под колпачка попадают в нижнюю часть слоя жидкости, проходят через нее в виде мелких пузырьков и поднимаются вверх.

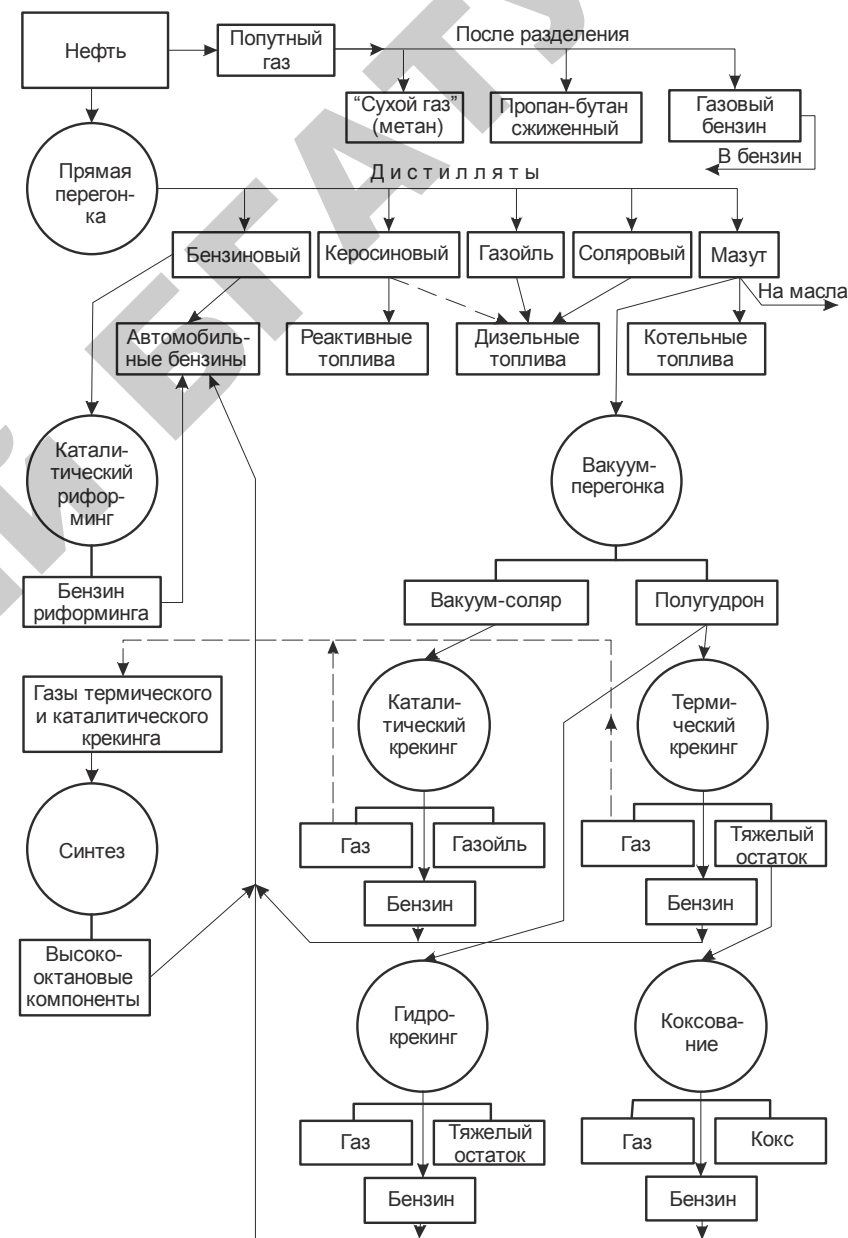


Рис. 1.1. Принципиальная схема переработки нефти

Этот процесс многократно повторяется на большом количестве тарелок. На каждой тарелке тяжелые углеводороды паров конденсируются, а более легкие углеводороды испаряются. Самые тяжелые углеводороды с высокой температурой кипения конденсируются сразу же на первых тарелках ректификационной колонны, а низкокипящие углеводороды, не конденсируясь, поднимаются до верха колонны в виде паров. Таким образом, углеводороды с высокой температурой кипения в ректификационной колонне постепенно с одной тарелки на другую перемещаются вниз, а с низкой температурой кипения – вверх.

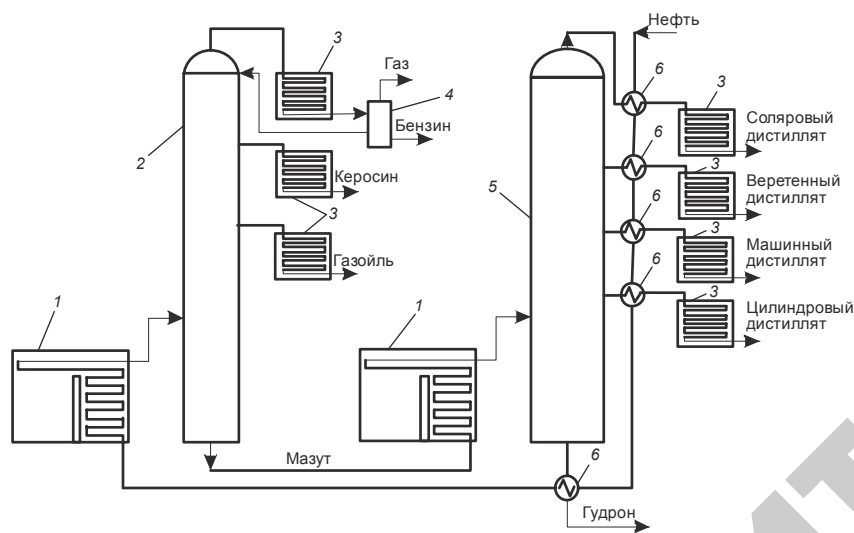


Рис. 1.2. Схема установки для прямой перегонки нефти:

1 – трубчатая печь; 2 – ректификационная колонна; 3 – погружные холодильники; 4 – газоотделитель; 5 – вакуумная колонна; 6 – теплообменники

Для более полного выделения паров из мазута в нижнюю часть колонны подается перегретый пар. В процессе прямой перегонки в ректификационной колонне нефть разделяется на различные фракции в зависимости от температуры их кипения.

Из верхней части колонны отводятся бензиновые фракции (дистилляты) с температурами кипения 30–180 °С, которые используются как базовый бензин. Ниже из фракций, выкипающих при 150–280 °С, получают керосин и реактивные топлива. Еще ниже отводятся тя-

желые фракции, выкипающие при 230–360 °С. Это газойлевые и соляровые (280–380 °С) дистилляты, из которых получают дизельные и моторные топлива.

В результате прямой перегонки нефти получается до 50 % мазута, используемого в виде топлива (топочные мазуты) и сырья для установок крекинга или же перегоняемого на масляные фракции в вакуумной колонне 5.

Мазут сначала направляется в трубчатую печь 1, где подогревается до температуры 430 С, а затем подается в ректификационную вакуумную колонну 5, работающую под разрежением (абсолютное давление в колонне составляет 6–13 кПа). При этом температура кипения углеводородов снижается, благодаря чему перегонка мазута происходит без его термического разложения.

В процессе вакуумной перегонки мазута в верхней части колонны отбирают соляровый дистиллят, служащий сырьем для каталитического крекинга. Ниже отбирают веретенный, машинный и цилиндрический дистилляты, из которых готовят смазочные масла. Из нижней части колонны отбирают неиспарившуюся часть мазута – гудрон или полугудрон. Полугудроном называют остаток, получаемый в результате неглубокого отбора масляных фракций. Полугудрон после глубокой очистки используют для производства высоковязких, так называемых остаточных масел, а гудрон – для дорожных покрытий.

*Вторичные процессы переработки нефти.* Первичные процессы переработки нефти (прямая перегонка и т. п.) не могут удовлетворять потребности народного хозяйства в количестве и качестве светлых нефтепродуктов. Так, выход бензина в этом случае не превышает 25 % исходного сырья. Увеличения количества и качества светлых нефтепродуктов можно достичь только при широком использовании вторичных процессов. К ним относятся процессы преобразования нефти под действием высокой температуры (термические процессы), высокой температуры и катализатора (термокаталитические процессы) или только катализатора (низкотемпературные каталитические процессы).

Термические процессы делят на термический крекинг, коксование и пиролиз. К термокаталитическим процессам относят каталитический крекинг, каталитический риформинг, каталитическую изомеризацию и гидрогенизационные процессы (гидроочистку, гидрообессеривание, гидрокрекинг).

*Крекинг* называется процесс деструктивной переработки нефти или ее отдельных фракций с целью увеличения выхода легких углеводородов и повышения их качества (то есть легкие углеводороды можно получить из более тяжелых за счет реакций разложения при повышенных температурах).

Термический крекинг жидкого сырья проводят при температуре 470–540 °С под высоким давлением (2–4 МПа) для получения автомобильного бензина. Сырьем могут служить различные фракции нефти – лигроин, керосин, газойль и пр. Чем легче сырье, тем более высокими температурами характеризуется крекинг. Обычно сырьем служит полугудрон, а целевым продуктом – котельное топливо.

Выход бензина при термическом крекинге составляет 25–30 %. В полученном бензине содержится много непредельных углеводородов, поэтому для него характерны низкие стабильность (при хранении накапливается много смол) и детонационные свойства. Доля бензина термического крекинга в товарных бензинах сокращается.

*Коксование тяжелых остатков или высокоароматизированных дистиллятов проводится при низком давлении.* Процесс осуществляется при давлении около 0,5 МПа и температуре 510–550 °С с последующим нагреванием кокса до 620 °С. Выход светлых нефтепродуктов (бензина, керосина, газойля и т. п.) значительно увеличивается, если термический крекинг тяжелого сырья (гудрона и пр.) вести с получением большого количества кокса, в котором концентрируется углерод исходного сырья. Например, при коксовании гудрона образуется примерно 24 % кокса, 16 – бензина, 26 – керосиново-газойлевой фракции и 23 % тяжелого газойля. Все эти дистилляты нестабильны и нуждаются в облагораживании. Получаемый в процессе коксования бензин обладает низкой детонационной стойкостью.

*Пиролиз (высокотемпературный крекинг) нефтяного и газового сырья проводится при низком давлении (0,2–0,3 МПа) и температуре 700–900 °С с целью получения газа для нужд промышленности.*

Каталитический крекинг характеризуется одновременным воздействием на сырье высокой температуры и катализаторов. Процесс ведут при температуре 470–540 °С, используя синтетические алюмосиликатные катализаторы. Продолжительность контакта перерабатываемого сырья с катализатором составляет всего 2–4 с. Сырьем обычно служит вакуум-соляр. Каталитический крекинг с алюмосиликатами – наиболее распространенный процесс глубокой переработки нефти. Цель каталитического крекинга – получение базового бензина высокого качества.

Каталитический риформинг представляет собой процесс ароматизации низкооктановых утяжеленных бензиновых фракций, протекающий в результате преобразования нафтеновых и парафиновых углеводородов в ароматические. Продуктами процесса являются высокооктановый ароматизированный бензин, а также индивидуальные ароматические углеводороды – бензол, толуол, ксилол.

Каталитическая изомеризация легких бензиновых углеводородов повышает их детонационную стойкость. Такие углеводороды используют в качестве компонентов товарных бензинов.

Гидрогенизационные процессы проводят с целью присоединения водорода к углеводородам под влиянием катализаторов и получения нефтепродуктов улучшенного состава. К широко распространенным гидрогенизационным процессам относятся:

*гидроочистка – удаление из бензинов, дизельных топлив и смазочных масел сернистых соединений и непредельных углеводородов;*

*гидрообессеривание – удаление серы из тяжелых остатков сернистых нефтей, которые затем используются в качестве котельного топлива;*

*гидрокрекинг – глубокое термокаталитическое преобразование в основном тяжелых сернистых дистиллятов для получения бензина, дизельного и реактивного топлива.*

Низкотемпературный каталитический процесс ведется при низких температурах (0–30 °С) и давлении 0,4–0,5 МПа. Исходным продуктом является алкилат, который представляет собой высокооктановый компонент автомобильных бензинов.

Очистка щелочью применяется при производстве бензинов и дизельных топлив. С помощью щелочи из нефтяных дистиллятов удаляются кислородные соединения, сероводород и т. п. Вещества, получаемые в результате взаимодействия этих продуктов со щелочью, растворимы в воде, а потому удаляются вместе в ней из дистиллятов. Затем нефтепродукт промывают водой с целью удаления следов щелочи.

Очистка серной кислотой применяется для удаления ненасыщенных углеводородов, смолистых, азотистых и сернистых соединений. Серная кислота реагирует с указанными веществами, образуя смолистую массу – так называемый кислый гудрон, который отделяется от нефтепродукта. Далее следует обработка нефтепродукта щелочью и промывка водой.

Очистка при помощи растворителей (селективная очистка) основана на различной растворяющей способности растворителей, (нитро-



бензола, фурфурола и пр.) в отношении различных примесей и углеводородов. Этот способ очистки применяют при производстве масел.

Адсорбционная очистка нефтепродуктов происходит при помощи адсорбентов, в качестве которых используют природные облеивающие глины, силикагель и т.п. Адсорбенты обладают высокой пористостью и способностью удерживать на своей поверхности различные примеси, содержащиеся в нефтепродуктах. Адсорбционную очистку широко применяют при производстве масел.

### 1.3. Теплота сгорания жидкого топлива

Топливо состоит из горючей и негорючей частей.

Горючая часть представляет собой различные углеводороды и другие соединения, в которые входят углерод (С), водород (Н), кислород (О), азот (N), сера (S).

Негорючая часть (балласт) в жидком топливе – это влага и зола. Зола представляет собой негорючий остаток, образующийся после сгорания топлива. В основном золу составляют минеральные механические примеси, попадающие в топливо извне: частицы пыли, песка и т. п.

Топливо, которое подается в двигатель внутреннего сгорания в естественном состоянии и содержит горючую часть (С, Н, О, N, S), влагу  $W$  и золу  $A$ , называется рабочим топливом. Элементный состав рабочего топлива определяется уравнением:

$$C^P + H^P + O^P + N^P + S^P + A^P + W^P = 100 \%. \quad (1.1)$$

Теплоту сгорания топлива иногда пересчитывают по горючей массе, которая не содержит влаги и золы. Горючая масса топлива выражается уравнением:

$$C^Г + H^Г + O^Г + N^Г + S^Г = 100 \%. \quad (1.2)$$

Тепловая ценность топлива характеризуется его удельной теплотой сгорания.

Удельная теплота сгорания  $Q$  (кДж/кг, или кДж/м<sup>3</sup>) – это количество теплоты, выделяемой при полном сгорании 1 кг жидкого или твердого топлива или 1 м<sup>3</sup> газообразного. Этот показатель можно определить двумя методами: расчетным и опытным.

При расчетном методе важно знать элементный состав топлива. Согласно закону Г.И. Гесса, теплота сгорания топлива зависит только

от начальных и конечных продуктов сгорания и не зависит от характера промежуточных реакций. Следовательно, *теплота сгорания топлива равна суммарной теплоте сгорания составляющих его элементов.*

В связи с тем, что топливо представляет собой не механическую смесь различных элементов, а сложное химическое соединение, при его сгорании выделяется несколько меньше теплоты. Часть ее идет на разрушение связей между молекулами. Вода, образующаяся от сгорания водорода топлива, превращается в пар, и на этот процесс также затрачивается определенное количество теплоты. При сгорании 1 кг водорода топлива образуется 9 кг воды. Поэтому различают высшую  $Q_v$  и низшую  $Q_n$  удельную теплоту сгорания.

*Высшая удельная теплота сгорания топлива* выделяется при полном сгорании 1 кг жидкого или 1 м<sup>3</sup> газообразного топлива, если образующиеся водяные пары конденсируются.

*Низшая удельная теплота сгорания топлива* представляет собой теплоту, выделяемую при полном сгорании 1 кг или 1 м<sup>3</sup> топлива, за вычетом теплоты, которая затрачена на испарение влаги, образующейся при сгорании водорода, и влаги, содержащейся в топливе.

Таким образом, если в продуктах сгорания топлива влага находится в виде жидкости, то выделяется высшая теплота сгорания, если в виде пара – низшая.

Связь между низшей и высшей теплотой выражается уравнением:

$$Q_n = Q_v - 25(9H + W), \quad (1.3)$$

где  $25(9H + W)$  – количество теплоты, которое затрачивается на парообразование влаги, содержащейся в топливе, и удаляется с продуктами сгорания в атмосферу;

$25$  – коэффициент, указывающий на потерю теплоты в количестве  $2512$  кДж при выносе в атмосферу 1 кг пара, если влага находится в парообразном состоянии при охлаждении выпускных газов до  $20$  °С. Количество теплоты  $2512$  разделено на  $100$ , так как значения величин  $H$  и  $W$  указаны в процентах;

$9H$  – масса влаги, образующаяся при сгорании единицы массы водорода;

$H$  и  $W$  – содержание в топливе водорода и воды, %.

При определении удельной теплоты сгорания по элементному составу используют формулы, предложенные Д. И. Менделеевым. Эти формулы показывают, что теплота сгорания топлива равна

суммарной теплоте, выделяемой при сгорании его отдельных элементов. Высшая удельная теплота сгорания жидкого или твердого топлива

$$Q_g = 339C + 1256H - 109(O - S). \quad (1.4)$$

Низшая удельная теплота сгорания жидкого или твердого топлива

$$Q_n = 339C + 1030H - 109(O - S) - 25W. \quad (1.5)$$

В формулах (1.4) и (1.5) содержание различных элементов и влаги в топливе указывают в процентах, а числа рядом с буквенными обозначениями элементов выражают теплоту сгорания этих элементов, деленную на 100.

Для определения теплоты сгорания топлива опытным методом используют калориметрическую установку, основными элементами которой являются бомба (рис. 1.3) и калориметр. Сущность метода заключается в сжигании навески испытуемого жидкого топлива в калориметрической бомбе (при постоянном объеме) в среде сжатого кислорода и определении количества теплоты, выделившейся при сгорании.

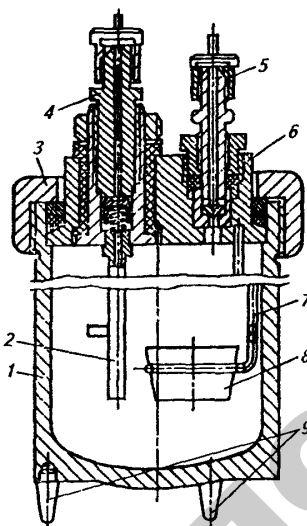


Рис. 1.3. Калориметрическая бомба:

1 – цилиндрический корпус; 2 – труба для заполнения бомбы кислородом, служащая одновременно электродом; 3 – накидная гайка; 4 – штуцер; 5 – колпачок; 6 – крышка; 7 – токоведущий стержень (электрод); 8 – чашечка; 9 – ножки

Калориметрическая бомба, изготовленная из нержавеющей стали, представляет собой толстостенный цилиндрический сосуд, закрытый крышкой 6, которую крепят к корпусу накидной гайкой 3. В канал, выполненный в крышке для впуска и выпуска газов, ввернут штуцер 4 с колпачком 5. Труба 2 предназначена для заполнения бомбы кислородом. Одновременно она служит электродом. Выпускной штуцер снабжен игольчатым вентилем. В крышку 6 ввернут токоведущий стержень 7 (электрод) с кольцом для удержания чашечки 8. Бомба самоуплотняется под давлением наполняющего ее газа.

Калориметр состоит из калориметрического сосуда и термостатической оболочки. Калориметрический сосуд цилиндрической формы выполнен из тонкого, тщательно отполированного листа из нержавеющей стали. Оболочка представляет собой двустенный металлический кожух, защищающий калориметрический сосуд от воздушных потоков и колебаний температуры окружающей среды.

В чашечку 8 наливают 0,5–0,6 г испытуемого нефтепродукта. Затем прикрепляют запальную проволоку (железную, никелиновую, константановую или медную) диаметром 0,1–0,2 мм. Ее изгибают в виде петли, в которой укрепляют полоску запальной пленки.

Бомбу устанавливают на дно калориметрического сосуда, в который наливают дистиллированную воду до полного погружения бомбы. Температуру воды в калориметре замеряют специальным термометром. Затем замыкают цепь электрического тока, подсоединенную к клеммам бомбы. Происходит запал топлива, вместе с ним сгорают запальная проволока и полоска запальной пленки.

Удельную теплоту сгорания (кДж/кг) испытуемого нефтепродукта в бомбе вычисляют по формуле:

$$Q_6 = \frac{C(t_2 - t_1 + \Delta t) - (qm_1 + Q_{пл}m_2)}{m}, \quad (1.6)$$

где  $C$  – теплоемкость калориметрической системы (определяют для каждой установки опытным способом), кДж/с;

$t_1, t_2$  – соответственно начальная и конечная температура воды;

$\Delta t$  – поправка к показаниям термометра, учитывающая теплообмен калориметра с окружающей средой;

$q$  – удельная теплота сгорания запальной проволоки, кДж/кг;

$m_1$  – масса проволоки для запала, кг;

$Q_{пл}$  – удельная теплота сгорания пленки, кДж/кг;

$m_2$  – масса пленки, кг;

$m$  – масса навески (испытуемого нефтепродукта), кг.

Низшая теплота сгорания в среднем составляет: бензина – 44–44,5 МДж/кг; керосина – 43,2; дизельного топлива – 42,6; печного бытового топлива – 41,16; топочного сернистого мазута – 39,9 МДж/кг.

### Контрольные вопросы и задания:

1. Назовите элементный состав нефти.
2. Углеводороды каких классов составляют основную массу нефти?
3. Как осуществляется прямая перегонка нефти?
4. Расскажите о вторичных процессах переработки нефти.
5. Как определяют теплоту сгорания топлива по элементному составу?
6. Что называют низшей теплотой сгорания?
7. Как определяют теплоту сгорания жидкого топлива опытным методом?

## 2. ХИММОТОЛОГИЯ ТОПЛИВ

### 2.1. Автомобильные бензины

Бензины предназначены для применения в качестве основного топлива в поршневых двигателях внутреннего сгорания с принудительным воспламенением (от искры).

«Классическая» технология производства автомобильного бензина на современных НПЗ предполагает его компаундирование (смешение) из нескольких составляющих, главными из которых являются:

- прямогонный бензин (бензиновый дистиллят);
- изомеризат (продукт изомеризации предыдущего);
- риформат (продукт риформинга тяжелого бензинового дистиллята);
- бензин каталитического крекинга (продукт разложения тяжелых фракций первичной перегонки);
- алкилат (продукт алкилирования предыдущего);
- бензин гидрокрекинга (продукт разложения наиболее тяжелых жидких фракций, уцелевших после атмосферной, а затем вакуумной перегонки);
- модифицирующие присадки и добавки.

Автомобильные бензины должны удовлетворять следующим требованиям: хорошо испаряться и образовывать горючую смесь, однородную по составу во всех цилиндрах; обеспечивать легкий пуск и устойчивую работу двигателя на различных режимах, высокую экономичность; обладать высокой детонационной стойкостью, то есть сгорать без детонации при различных режимах работы двигателя; иметь высокую физическую и химическую стабильность в баке автомобиля, при хранении, транспортировке и т. п.; не вызывать коррозии емкостей, средств заправки, двигателей (продукты сгорания бензина также не должны вызывать коррозии деталей двигателя); иметь высокую теплоту сгорания, обеспечивать максимальную мощность двигателя, полностью сгорать с минимальным образованием токсичных и канцерогенных веществ; иметь минимальную склонность к образованию нагара на деталях двигателя; обладать хорошими низкотемпературными свойствами; не иметь повышенной гигроскопичности и склонности к образованию льда; не вызывать обледенения карбюратора; не содержать механических

примесей и воды; обеспечивать минимальный расход масла. В последние годы экологические свойства топлива выдвигаются на первый план.

Для обеспечения этих требований бензины должны обладать определенными эксплуатационно-техническими свойствами, характеризующимися рядом физико-химических показателей качества.

### 2.1.1. Эксплуатационные свойства автомобильных бензинов

Мощность бензинового двигателя, его экономичность, надежность, расход топлива и масла, токсичность отработавших газов во многом зависят от качества применяемого топлива.

В бензины, предназначенные для двигателей с высокой степенью сжатия, добавляют различные высокооктановые компоненты. Чтобы улучшить пусковые свойства двигателя, к бензинам добавляют газовые бензины. С целью улучшения антидетонационных свойств в некоторые бензины добавляют антидетонационные присадки – антидетонаторы. В состав бензинов входят и другие присадки, например, ингибиторы окисления, моющие.

Испаряемость автомобильного бензина зависит от его фракционного состава, давления насыщенных паров, скрытой теплоты испарения, коэффициента диффузии паров, вязкости, плотности и теплоемкости. Для полного сгорания бензина в двигателе его необходимо быстро испарить и смешать с воздухом в определенном соотношении, то есть создать горючую смесь.

В карбюраторных двигателях основная часть процесса приготовления горючей смеси происходит в карбюраторе, где топливо дозируется, распыляется, перемешивается с воздухом, частично испаряется. Основная часть распыленного топлива уносится струей воздуха во впускной трубопровод, где мелкие капли топлива полностью испаряются. Крупные капли оседают на стенках трубопровода и образуют на нем жидкую пленку бензина. Под действием паровоздушного потока пленка движется в направлении цилиндра и постепенно испаряется. Если процесс смесеобразования протекает нормально, то в конце впускного трубопровода или при соприкосновении с горячими впускными клапанами пленка полностью испаряется. Окончательное испарение пленки происходит в цилиндрах двигателя в период тактов впуска и сжатия.

Неиспарившийся в цилиндре бензин ухудшает процесс сгорания и способствует нагарообразованию. Стекая по стенкам цилиндров, бензин смывает с них масло, что приводит к интенсивному изнашиванию поршней, колец и цилиндров двигателя. Наличие жидкой пленки ухудшает процесс образования однородной горючей смеси и отрицательно влияет на равномерное распределение смеси по цилиндрам двигателя. При этом в одни цилиндры поступает большее количество бензина, и смесь оказывается обогащенной, а в другие – меньше, и смесь в них получается обедненной.

В двигателях с системой впрыскивания топлива бензин подается форсунками непосредственно в камеру сгорания или во впускной трубопровод. Преимущества этой системы – высокая литровая мощность двигателя и улучшенная экономичность за счет точного распределения доз топлива по цилиндрам, возможность точного регулирования состава горючей смеси, меньшая токсичность отработавших газов. Лучшая продувка цилиндров снижает их температуру, что позволяет увеличивать степень сжатия на две-три единицы. Однако двигателям с системой впрыскивания необходим высококачественный очищенный бензин, так как их работа на этилированных бензинах невозможна.

Состав горючей смеси имеет решающее значение для работы двигателя. В цилиндры двигателя должна поступать однородная горючая смесь, в которой концентрация топлива, находящегося в парообразном состоянии и равномерно распределенного по всему объему, достаточна для его воспламенения от электрической искры.

Для оценки испаряемости топлива используют условный показатель – фракционный состав. От фракционного состава бензина зависят пуск, время прогрева, приемистость и износ двигателя, расход топлива и масла, токсичность отработавших газов. Поскольку автомобильный бензин представляет собой сложную смесь различных углеводородов, выкипающих в широком интервале температур, то испаряемость его оценивают по температурам начала выкипания отдельных частей – фракций.

На рис. 2.1 изображена кривая разгонки бензина и указаны объемы его основных фракций – пусковой, рабочей и концевой.

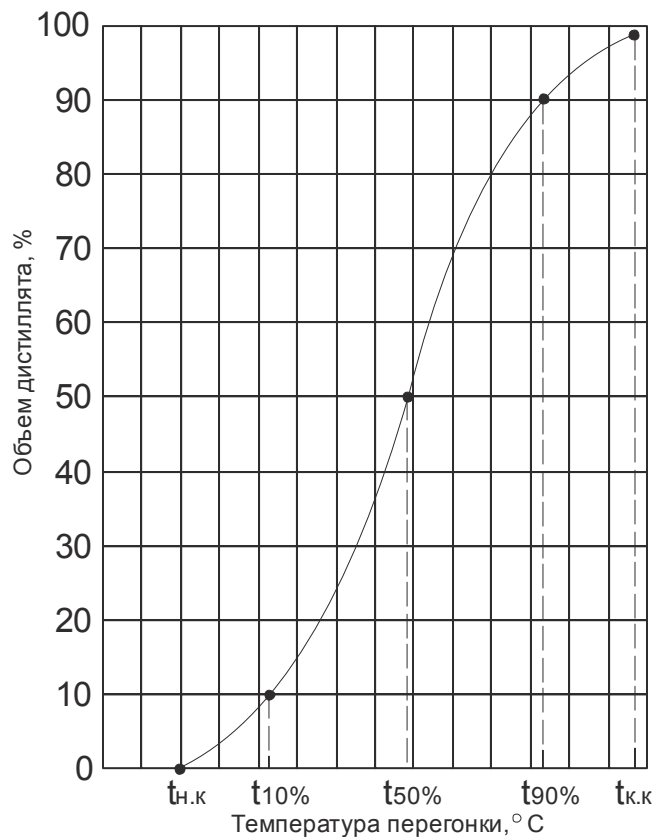


Рис. 2.1. Кривая разгонки бензина

Температура перегонки 10 % бензина характеризует пусковые свойства топлива. Если в бензине недостаточно низкокипящих фракций, то при пуске холодного двигателя часть бензина не успевает испариться и попадает в цилиндры в жидком состоянии. Горючая смесь, поступающая в цилиндры, оказывается переобедненной и не воспламеняется от электрической искры, в связи с чем пуск двигателя иногда становится вообще невозможным. Неиспарившийся бензин, оставаясь в капельно-жидком состоянии, попадает в цилиндры двигателя и смывает с их поверхности масло, а при попадании в картер разжижает масло. Поэтому в момент пуска и некоторое время при последующем прогреве происходит полусухое

трение деталей цилиндропоршневой группы, так как на их поверхностях недостаточно масла для обеспечения прочной масляной пленки. Это вызывает интенсивное изнашивание трущихся деталей двигателя, называемое пусковым.

Для обеспечения пуска двигателя в составе пусковой фракции должно быть достаточное количество низкокипящих углеводородов, которые создают смесь, способную воспламениться от электрической искры. Зная температуру выкипания 10 % бензина, можно приблизительно определить температуру воздуха, выше которой возможен пуск двигателя на данном топливе, по формуле:

$$t_a \geq 0,5_{10\%} - 50,5. \quad (2.1)$$

Пусковые свойства бензинов улучшаются по мере облегчения пусковой фракции. Зимние бензины дают возможность запустить холодный двигатель при температуре воздуха  $-26^\circ\text{C}$ .

Температура начала перегонки летних сортов автомобильного бензина должна быть не ниже  $35^\circ\text{C}$ , а 10 % бензина должны перегоняться при температуре не выше  $75^\circ\text{C}$ .

Температура перегонки 50 % бензина характеризует скорость прогрева и приемистость двигателя. Прогрев двигателя длится от момента пуска его до начала бесперебойной, устойчивой работы. В конце прогрева на режиме холостого хода достигается почти полное испарение бензина во впускном трубопроводе. Чем легче фракционный состав и ниже температура перегонки 50 % бензина, тем быстрее прогревается двигатель. Бензин с низкой температурой перегонки 50 % быстрее испаряется во впускном трубопроводе, наполнение цилиндра горючей смесью улучшается, мощность двигателя увеличивается.

*Приемистость двигателя* — это его способность в прогретом состоянии под нагрузкой быстро переходить с малой частоты вращения коленчатого вала на большую при резком открытии дроссельной заслонки. Автомобиль, двигатель которого обладает хорошей приемистостью, способен быстро набирать скорость. Для обеспечения хорошей приемистости двигателя необходимо, чтобы в цилиндры в момент дросселирования поступала богатая смесь.

При резком открытии дроссельной заслонки во впускной трубопровод поступает большая порция холодного воздуха и жидкого бензина, условия парообразования резко ухудшаются. Если температура перегонки 50 % бензина высокая, то некоторая часть высококипящих

Таблица 2.1

Характеристики испаряемости бензинов всех марок

Показатель	Класс бензина				
	1	2	3	4	5
Давление насыщенных паров бензина, кПа	35–70	45–80	55–90	60–95	80–100
Фракционный состав: температура начала перегонки, °С, не ниже	35	35	Не нормируется		
температура перегонки, °С, не выше:					
10 % бензина	75	70	65	60	55
50 % бензина	120	115	110	105	100
90 % бензина	190	185	180	170	160
температура конца кипения, °С, не выше	215				
объемная доля остатка в колбе, %	2				
объемная доля остатка и потерь, %	4				
объемная доля испарившегося бензина, %, при температуре:					
70 °С	10–45	15–45	15–47	15–50	15–50
100 °С	35–65	40–70			
не менее 180 °С	85				

Требования к фракционному составу и давлению насыщенных паров автомобильных бензинов определены в зависимости от сезона и климатического района их применения. Фракционный состав бензина определяют по ГОСТ 2177–99 (ИСО 3405–88).

На рис. 2.2 показан аппарат для перегонки нефтепродуктов. Сущность метода определения фракционного состава на этом аппарате заключается в перегонке 100 см<sup>3</sup> испытуемого бензина при условиях, предусмотренных стандартом. Пробу бензина наливают в колбу 1. В горловину колбы вставляют пробку с термометром 2. Колбу с пробой бензина помещают на подставку 5. Трубку охлаждающей бани соединяют при помощи пробки с паротводной трубкой колбы. Баню 8 холодильника заполняют водой и поддерживают

углеводородов (рабочая фракция) в системе питания не испаряется, горючая смесь переобедняется и двигатель не в состоянии развивать более высокую частоту вращения коленчатого вала. Для восстановления теплового режима системы питания двигателя требуется некоторое время. Тепловое равновесие устанавливается тем быстрее, чем лучше идет процесс испарения и смесеобразования и чем ниже температура перегонки 50 % бензина. С понижением температуры улучшается приемистость двигателя, сокращается время разгона автомобиля.

Температура перегонки 50 % бензина влияет на обледенение карбюратора. При испарении бензина во впускной системе двигателя наблюдается понижение температуры горючей смеси. Теплота, необходимая для испарения бензина, поступает от воздуха и металлических деталей карбюратора. Понижение температуры во впускной системе двигателя зависит от испаряемости бензина. При работе двигателя на бензинах с высокой испаряемостью температура деталей карбюратора понижается значительно быстрее, чем при работе на бензинах с низкой испаряемостью, то есть с меньшим количеством легких фракций.

При охлаждении деталей карбюратора ниже 0 °С конденсирующаяся на них влага (из воздуха) превращается в лед. Основные меры, предотвращающие обледенение карбюратора, – подогрев горючей смеси или воздуха во впускном трубопроводе двигателя, применение антиобледенительных присадок к бензинам.

Температуры перегонки 90 % бензина и конца его кипения характеризуют полноту испарения. Если в бензине содержится много высококипящих углеводородов и других соединений, то они не испаряются во впускном трубопроводе двигателя и попадают в цилиндры в жидком виде. Некоторая часть жидкого бензина, поступающего в цилиндры, испаряется и сгорает, а оставшаяся часть стекает по стенкам цилиндра и смывает с них масло. При этом в масло попадают тяжелые фракции бензина.

При использовании бензинов с высокими температурами перегонки 90 % и конца кипения увеличиваются износ двигателя, расход топлива, нагарообразование на деталях двигателя, повышается токсичность отработавших газов. По показателям испаряемости (табл. 2.1) бензины делят на пять классов (ГОСТ 51105–97).

в ней температуру 0–4 °С. Бензин в колбе нагревают до кипения с помощью газовой горелки 10 или регулируемым электрическим нагревателем. Пары бензина поступают в трубку бани и там конденсируются. Температура падения первой капли считается температурой начала кипения бензина. Далее отмечают температуры через каждые 10 см<sup>3</sup> собранного в цилиндр 6 конденсата. Конец кипения бензина отмечают в тот момент, когда ртутный столбик термометра остановится на некоторой отметке, а затем начнет опускаться. Остаток из колбы сливают в цилиндр объемом 10 см<sup>3</sup> и записывают объем остатка.

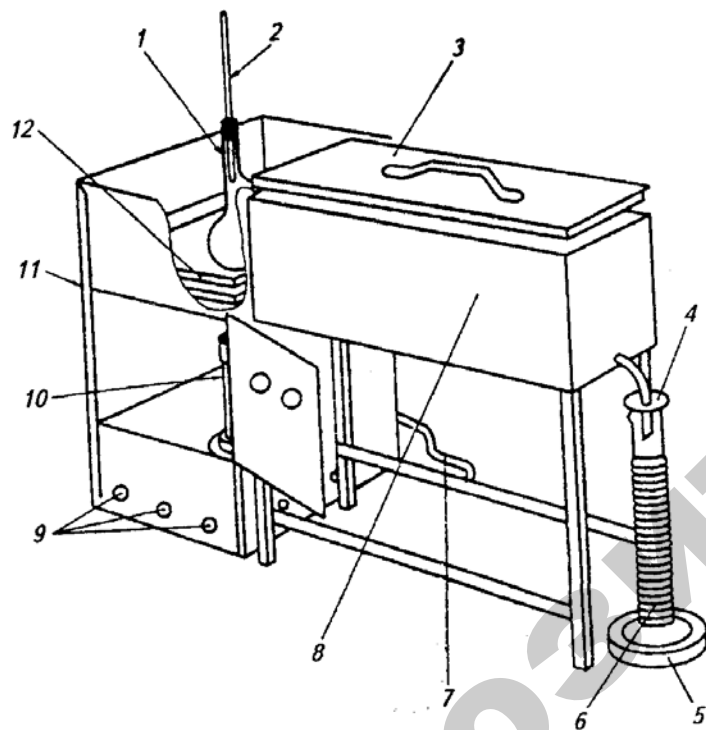


Рис. 2.2. Аппарат для определения фракционного состава нефтепродуктов:

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

Давление насыщенных паров определяется наличием легких фракций в бензине. Под давлением насыщенных паров жидкого топлива подразумевают давление паров, находящихся в состоянии равновесия с жидкостью при данной температуре и определенном соотношении объемов жидкой и паровой фаз. Чем больше легких фракций в бензине, тем выше давление насыщенных паров.

От давления насыщенных паров зависят склонность бензина к образованию паровых пробок, возможные потери его при хранении, транспортировке и заправке автомобиля, легкость пуска двигателя. Чем больше в бензине углеводородов с низкой температурой кипения, тем выше его испаряемость и давление насыщенных паров, а следовательно, и склонность к образованию паровых пробок.

При нагревании бензина в системе питания двигателя происходит испарение легкокипящих углеводородов не только с открытой поверхности, но и в объеме топлива с образованием большого количества пара. Объем пара в 150–200 раз больше по сравнению с объемом этих же углеводородов до испарения, то есть в жидком состоянии. Таким образом, в бензине сильно возрастает объем паровой фазы и уменьшается объем жидкой. При этом в систему питания двигателя поступает смесь, состоящая из жидкого бензина, его паров и небольшого количества воздуха, выделившегося при нагревании бензина. Это приводит к снижению подачи насосом количества топлива, чрезмерному обеднению горючей смеси, возникновению перебоев в работе двигателя, падению его мощности, а иногда и к остановке двигателя.

Остановка двигателя в жаркие дни вследствие интенсивного испарения легких фракций бензина носит такой же характер, как при засорении топливопроводов механическими примесями.

Требования к испаряемости автомобильных бензинов зависят главным образом от температурных условий их применения, поэтому бензины по фракционному составу и давлению насыщенных паров подразделяют на зимние и летние сорта.

В летний период работа автомобилей на зимних сортах бензина запрещается, так как в связи с высоким давлением насыщенных паров его в системе питания интенсивно образуются паровые пробки. В зимний период недопустима работа автомобилей на летних сортах бензина, поскольку из-за недостатка легких фракций затрудняется пуск двигателя, повышаются износ цилиндропоршневой группы и расход топлива.

Чем выше давление насыщенных паров бензина, тем больше потери его при хранении, транспортировке, перекачивании, заправке и непосредственно из бака автомобиля. Давление насыщенных паров уменьшается с понижением температуры и увеличением соотношения паровой и жидкой фаз.

Давление насыщенных паров определяют по методу Рейда (ГОСТ 1756–2000; ИСО 3007–99). Сущность метода заключается в измерении давления насыщенных паров топлива в двухкамерной бомбе при температуре 37,8 °С. Схема прибора показана на рис. 2.3а. Металлическая бомба состоит из топливной камеры 4 (рис. 2.3б) с одним отверстием и воздушной камеры 3, которые соединяются при помощи резьбы. Отношение объемов воздушной и топливной камер составляет 3,95:4,05. В верхней части воздушной камеры находится ниппель 2 с газовым краном 1 и наконечником для резиновой трубки.

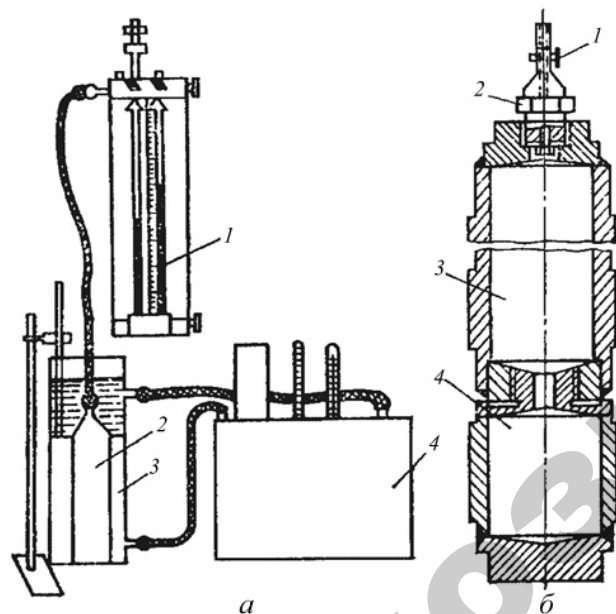


Рис. 2.3. Прибор для определения давления насыщенных паров стандартным методом:

а – схема прибора: 1 – ртутный манометр; 2 – бомба; 3 – водяная баня; 4 – термостат;  
б – устройство бомбы: 1 – газовый кран; 2 – ниппель; 3 и 4 – воздушная и топливная камеры

Давление измеряют ртутным или пружинным манометром. Ртутный манометр 1 (рис. 2.3а) представляет собой U-образную стеклянную трубку, наполненную ртутью. На один конец манометра надевают резиновую трубку, которую затем соединяют с воздушной камерой бомбы.

При проведении испытаний собранный аппарат опрокидывают. При этом находящийся в топливной камере бензин стекает в воздушную камеру. Затем аппарат сильно встряхивают несколько раз в направлении, параллельном его оси. Далее аппарат возвращают в нормальное положение и погружают в водяную баню, кран при этом должен также находиться в воде. Температуру бани поддерживают 37,8 °С. Аппарат выдерживают в бане в течение 5 мин. Затем его вынимают из бани, переворачивают, сильно встряхивают вдоль оси и снова ставят в баню. Операцию изъятия и встряхивания повторяют после 5 мин выдержки, возвращая аппарат в баню. По истечении 2 мин открывают газовый кран и регистрируют показания манометра. Испытания продолжают до тех пор, пока два последовательных показания не станут одинаковыми. Длительность испытания обычно составляет 20–30 мин. Конечное показание манометра снимают с точностью до 1 кПа.

При подсчете давления насыщенных паров бензина в показания манометра вносят поправку на изменение давления воздуха и насыщенных паров воды в воздушной камере, вызванное различием между исходной температурой воздуха и температурой водяной бани.

Значение давления насыщенных паров для бензинов всех типов (ГОСТ Р 51313–99) должно быть в пределах 35–100 кПа. Причиной ограничения верхнего уровня давления насыщенных паров бензина является возможность образования паровых пробок, а нижнего – ухудшение его пусковых свойств.

Образование паровых пробок зависит от испаряемости бензина, температуры и конструкции двигателя. Чем выше давление насыщенных паров бензина, ниже температура перегонки 10 % и больше объем фракции, выкипающей при температуре до 70 °С, тем больше его склонность к образованию паровых пробок. Эта зависимость носит линейный характер и может быть выражена следующим образом:

$$\text{ИПП} = 10\text{ДНП} + 7V_{70}, \quad (2.2)$$

где ИПП – индекс паровой пробки;

ДНП – давление насыщенных паров бензина, кПа;

$V_{70}$  – объем бензина, выкипающего при температуре до 70 °С.



Испаряемость бензина существенно зависит от его плотности. Различают абсолютную и относительную плотность вещества.

*Абсолютная плотность вещества – это масса, содержащаяся в единице объема.* В системе СИ размерность плотности –  $\text{кг/м}^3$ . За единицу плотности принимают массу  $1 \text{ м}^3$  дистиллированной воды при температуре  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Относительная плотность вещества – это отношение его массы к массе дистиллированной воды при  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ , взятой в том же объеме.* Относительная плотность – величина безразмерная.

Нефтепродукты и вода имеют неодинаковые коэффициенты расширения. В связи с этим необходимо при определении плотности указывать температуры нефтепродукта и воды, при которых проводилось определение. Относительную плотность нефтепродуктов определяют при температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . Плотность нефтепродукта может быть замерена при любой температуре, однако результат приводят к температуре  $20$  или  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ . В зарубежных и некоторых отечественных стандартах пределы плотности устанавливают при  $15 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В соответствии с действующим стандартом плотность нефтепродукта обозначают  $\rho_4^{20}$ . Здесь цифра  $20$  указывает, что плотность нефтепродукта относят к нормальной температуре  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ , а цифра  $4$  означает, что плотность нефтепродукта относят к плотности воды при  $4 \text{ }^\circ\text{C}$ , принятой за единицу.

Относительная плотность автомобильных бензинов колеблется в пределах  $0,70\text{--}0,78$ , а абсолютная плотность в системе СИ, соответственно,  $700\text{--}780 \text{ кг/м}^3$  при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ .

В стандартах на топливо плотность не нормирована, однако определять ее обязательно. Это необходимо для учета расхода и движения нефтепродуктов на нефтескладах и заправочных станциях, где приход фиксируется в единицах массы (кг, т), а расход при заправке тракторов и автомобилей учитывается в единицах объема (л). Поэтому для пересчета топлива из единиц массы в единицы объема и обратно нужно знать плотность получаемых и отпускаемых нефтепродуктов.

Плотность нефтепродуктов определяют с помощью ареометра (нефтеденсиметра) – стеклянного пустотелого поплавка, внизу которого находится балласт, а сверху – тонкая трубка со шкалой. Некоторые нефтеденсиметры снабжены внутренним термометром. На рис. 2.4 показан прибор для определения плотности нефтепродуктов.

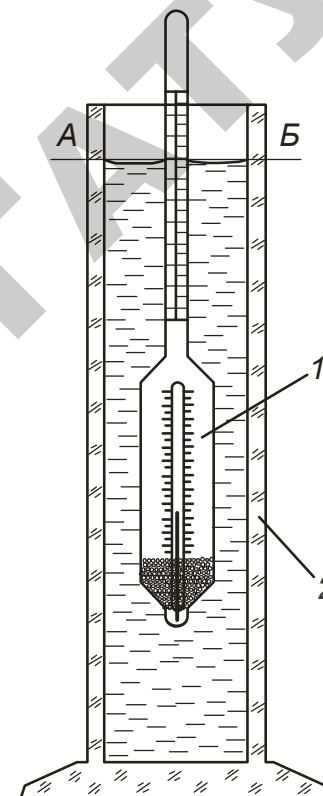


Рис. 2.4. Прибор для определения плотности нефтепродуктов:  
1 – нефтеденсиметр; 2 – стеклянный цилиндр; А, В – линия уровня топлива

В стеклянный цилиндр наливают испытуемый нефтепродукт. Чистый и сухой нефтеденсиметр опускают в нефтепродукт, держа его за верхний конец. После того как нефтеденсиметр установится и прекратятся его колебания, снимают показания по верхнему краю мениска. При отсчете глаз должен находиться на уровне мениска (рис. 2.4, линия АВ), а нефтеденсиметр не должен касаться стенок цилиндра. Одновременно с отсчетом показания по шкале нефтеденсиметра устанавливают температуру нефтепродукта.

При отсчете по шкале нефтеденсиметра получают плотность нефтепродукта при температуре испытания. Значение этой плотности используют для определения объемного количества нефтепродукта (или для обратного пересчета).

Таблица 2.2

Значения средних температурных поправок  
для нефтепродуктов

Относительная плотность	Температурная поправка $\gamma$ на 1°C	Относительная плотность	Температурная поправка $\gamma$ на 1°C
0,6900–0,6999	0,000910	0,8500–0,8599	0,000699
0,7000–0,7099	0,000897	0,8600–0,8699	0,000686
0,7100–0,7199	0,000884	0,8700–0,8799	0,000673
0,7200–0,7299	0,000870	0,8800–0,8899	0,000660
0,7300–0,7399	0,000857	0,8900–0,8999	0,000647
0,7400–0,7499	0,000844	0,9000–0,9099	0,000633
0,7500–0,7599	0,000831	0,9100–0,9199	0,000620
0,7600–0,7699	0,000818	0,9200–0,9299	0,000607
0,7700–0,7799	0,000805	0,9300–0,9399	0,000594
0,7800–0,7899	0,000792	0,9400–0,9499	0,000581
0,7900–0,7999	0,000778	0,9500–0,9599	0,000567
0,8000–0,8099	0,000765	0,9600–0,9699	0,000554
0,8100–0,8199	0,000752	0,9700–0,9799	0,000541
0,8200–0,8299	0,000738	0,9800–0,9899	0,000528
0,8300–0,8399	0,000725	0,9900–0,9999	0,000515
0,8400–0,8499	0,000712	–	–

Замеренную плотность приводят к плотности при нормальной температуре  $\rho_4^{20}$  по формуле:

$$\rho_4^{20} = \rho_4' + \gamma(t - 20), \quad (2.3)$$

где  $\rho_4'$  – плотность нефтепродукта при температуре испытания, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\gamma$  – средняя температурная поправка плотности (табл. 2.2);  
 $t$  – температура испытания, °С.

Эта формула, предложенная Д.И. Менделеевым, показывает, что плотность нефтепродуктов уменьшается с повышением температуры и увеличивается с ее понижением.

Плотность (кг/м<sup>3</sup>) некоторых бензинов в соответствии с ГОСТ Р 51069 (ASTM Д 1298) определяют при 15 °С.

**Детонационная стойкость.** При нормальном сгорании бензина скорость распространения пламени составляет 25–35 м/с. При определенных условиях сгорание может стать взрывным, то есть детонационным, при котором пламя распространяется со скоростью 1500–2500 м/с. Образующиеся при этом детонационные волны многократно отражаются от стенок цилиндра, вызывая резкие звонкие металлические звуки, вибрацию двигателя, периодически возникающий черный дым и желтое пламя в выпускных газах. Мощность двигателя падает, его детали перегреваются. В результате перегрева увеличивается износ деталей, появляются трещины, выгорают поршни и клапаны.

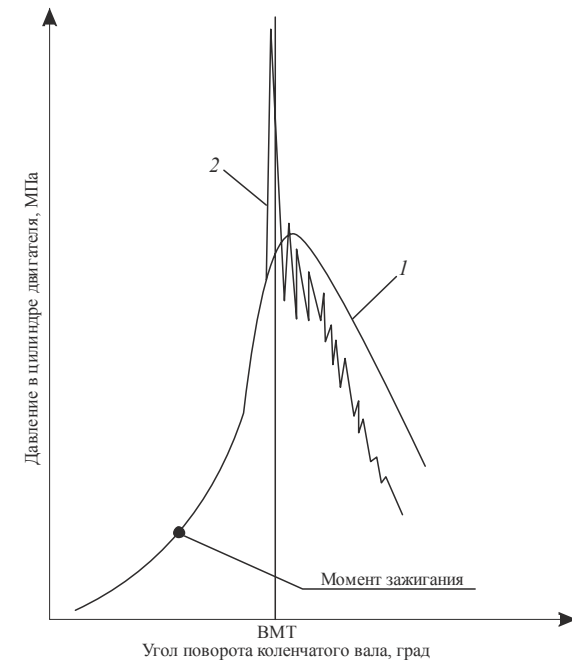


Рис. 2.5. Индикаторная диаграмма бензинового двигателя:  
 1 – нормальное сгорание; 2 – детонационное сгорание

На рис. 2.5 показана индикаторная диаграмма с искровым зажиганием рабочей смеси при работе с детонацией. Детонация возникает в конце процесса сгорания, когда большая часть смеси уже сгорела. Процесс сгорания происходит так же, как и нормальный, однако в конце сгорания на индикаторной диаграмме регистрируется колебательный характер изменения давлений. Сначала наблюдается резкий рост давления в виде острых пиков, а затем давление постепенно падает, что изображено на диаграмме рядом затухающих пиков.

Возникновение детонации в двигателях объясняется наиболее признанной перекисной теорией, основоположником которой является академик А.Н. Бах. Большой вклад в изучение процесса детонационного сгорания внес лауреат Нобелевской премии Н.Н. Семёнов. Детонационное сгорание бензина связано с образованием и распадом первичных продуктов окисления углеводородов – пероксидов, которые представляют собой очень непрочные, легко разлагающиеся вещества, обладающие большой избыточной энергией. Чем выше температура, тем быстрее скорость окисления углеводородов. На рис. 2.6 показана последовательность детонационного сгорания бензина в двигателе.

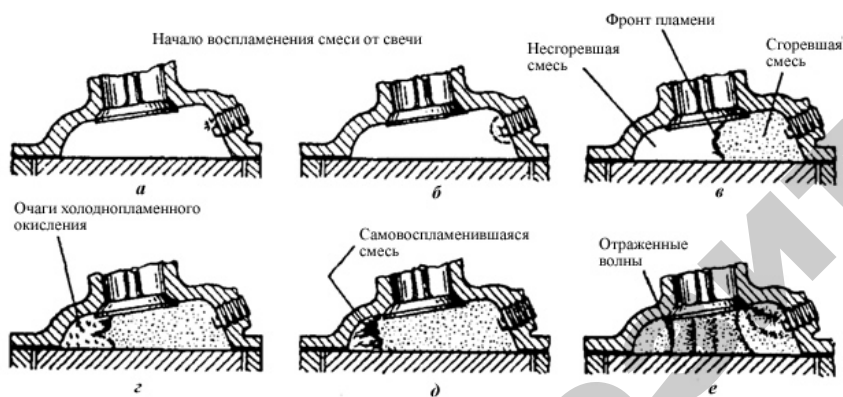


Рис. 2.6. Последовательность детонационного сгорания бензина в двигателе:

*a* – зажигание смеси искрой свечи; *б* – формирование очага горения; *в* – движение фронта пламени при нормальном сгорании; *г* – образование очагов холоднотламенного окисления в несгоревшей смеси; *д* – образование детонационной волны; *е* – движение отраженных волн

При такте сжатия свежая топливная смесь смешивается с остаточными газами. Поршень перемещается от нижней мертвой точки к верхней мертвой точке при закрытых впускном и выпускном клапанах, сжимая рабочую смесь. По мере уменьшения объема рабочей смеси ее давление и температура повышаются. В конце такта сжатия давление составляет 1,0–1,7 МПа, а температура в пределах 330–340 °С. Скорость окисления углеводородов также повышается, особенно после воспламенения рабочей смеси.

По мере ее сгорания температура и давление в несгоревшей части рабочей смеси увеличиваются, что способствует образованию большого количества пероксидов. Особенно продолжительно высокие температура и давление действуют на последние порции несгоревшей рабочей смеси, поэтому в них образуется много пероксидов и создаются благоприятные условия для перехода нормального сгорания в детонационное. Однако если в состав бензина входят углеводороды, не образующие большого количества пероксидов, то их концентрация не достигает критических значений, и сгорание заканчивается нормально.

Если в последних порциях рабочей смеси образуется много пероксидов, то концентрация их достигает критического значения, и происходит взрывной распад, цепочно-тепловой взрыв, самовоспламенение смеси. Сгорание рабочей смеси идет с большой скоростью и резким повышением давления, возникает ударная волна, перемещающаяся по камере со сверхзвуковой скоростью. Ударная волна стимулирует воспламенение соседних слоев рабочей смеси.

При детонации значительно повышается отдача теплоты газов стенкам камеры сгорания. Двигатель перегревается, происходит разрушение поверхности камеры сгорания, днища поршня и антифрикционного слоя латунных подшипников. Прокладки между блоком цилиндров и головкой прогорают. Повышается износ поршневых колец и зеркала цилиндра: детонационные волны, многократно отражаясь от поверхности цилиндров, снимают с них слой смазочного материала (масла). Часть бензина и продуктов неполного сгорания перемешивается с продуктами полного сгорания внутри камеры и не сгорает. Поэтому снижается мощность двигателя, повышается расход бензина, увеличивается дымность и появляется пламя в выпускных газах.

Влияние различных факторов на возникновение детонации в двигателе следует рассматривать в свете перекисной теории, согласно которой повышение давления и температуры рабочей смеси, а также

увеличение времени пребывания последних несгоревших порций рабочей смеси в камере сгорания приводят к образованию критических концентраций пероксидов и детонационному сгоранию.

На возникновение и интенсивность детонации влияют как конструкционные, так и эксплуатационные факторы.

К конструкционным факторам относятся: степень сжатия рабочей смеси, диаметр цилиндров двигателя, форма камеры сгорания, материал головки и поршней, место расположения свечей и пр.

При увеличении степени сжатия возрастают давление и температура рабочей смеси. Следовательно, чем выше степень сжатия, тем значительнее детонация. В двигателе с большим диаметром цилиндров при других одинаковых условиях детонация усиливается вследствие ухудшения условий охлаждения камеры сгорания и повышения в связи с этим температуры рабочей смеси.

Форма камеры сгорания должна быть компактной, без мест перегрева и поверхностей, значительно удаленных от свечей зажигания. В бензиновых двигателях широко применяют головки цилиндров с клиновидной камерой сгорания и двусторонним размещением клапанов. Устанавливают также головки цилиндров с Г-образной камерой сгорания.

Изготавливая головки и поршни из алюминиевых сплавов, а не из чугуна, можно существенно улучшить отвод теплоты из камеры сгорания и снизить температуру рабочей смеси, следовательно, и детонацию.

С целью предотвращения детонации свечи зажигания помещают вблизи нагретой зоны у выпускного клапана, при этом в первую очередь воспламеняется более нагретая часть рабочей смеси. В некоторых двигателях свечи располагают наклонно сбоку в углублении – наиболее нагретом месте стенки головки цилиндра.

К эксплуатационным факторам относятся: угол опережения зажигания, частота вращения коленчатого вала, температура и влажность окружающего воздуха, состав топливной смеси, количество отложений на поршневой группе, температура охлаждающей жидкости и т. д. С уменьшением угла опережения зажигания детонация в двигателе значительно снижается или полностью исчезает. Это происходит в связи с сокращением времени на развитие процесса детонации и снижением температуры и давления газов в цилиндре во время рабочего хода поршня.

С увеличением частоты вращения коленчатого вала детонация снижается, так как уменьшается время пребывания рабочей смеси

в камере сгорания за счет повышения скорости распространения пламени. Количество пероксидов при этом не успевает достичь критического значения, что затрудняет процесс развития детонационного сгорания смеси.

Высокая влажность воздуха также приводит к снижению детонации. В летний период при высоких температурах окружающего воздуха детонация проявляется в большей степени, чем зимой. Работа двигателя как на бедных, так и на богатых топливных смесях сопровождается снижением детонации. Нагар на днище поршня увеличивает степень сжатия и тем самым способствует детонации. Образование нагара в зоне поршневых колец затрудняет отвод теплоты, повышает температуру поршня и газов в камере сгорания и также способствует детонации.

На процесс сгорания в двигателе существенно влияет и температура охлаждающей жидкости. С ее увеличением ухудшается отвод теплоты от стенок цилиндра, повышается температура рабочей смеси в камере сгорания и возникает детонация. При несоблюдении правил технического обслуживания системы охлаждения в рубашке двигателя образуется накипь, имеющая низкую теплопроводность, в результате чего повышается температура цилиндропоршневой группы и рабочей смеси, что приводит к возникновению детонации.

*Калильное зажигание.* Явление детонации следует отличать от неконтролируемого самовоспламенения рабочей смеси в двигателе, называемого калильным зажиганием. В этом случае зажигание происходит не от электрической искры, а преждевременно от перегретых частей камеры сгорания. Наиболее часто неуправляемое самовоспламенение наблюдается в автомобильных высокофорсированных двигателях, работающих на этилированных бензинах с повышенным содержанием ароматических углеводородов.

Калильное зажигание может возникать как от нагретых металлических поверхностей, так и от нагаров. Его внешние признаки такие же, как и у детонации, хотя это явление не имеет ничего общего с детонацией. Процесс сгорания при калильном зажигании происходит с нормальными скоростями. Однако в двигателе калильное зажигание может одновременно сопровождаться и детонацией, так как преждевременное самовоспламенение рабочей смеси воздействует на процесс сгорания так же, как и установка увеличенного угла опережения зажигания, приводящего к возникновению детонации.

При калильном зажигании в результате сильного перегрева исклученный двигатель продолжает работать. Для предотвращения калильного зажигания в бензин вводят фосфорсодержащие присадки, образующие нагары. В состав этих присадок входят фосфаты свинца, обладающие более высокой температурой воспламенения (затлевания).

Основные меры предотвращения калильного зажигания – конструктивное улучшение камер сгорания, применение «холодных» свечей и клапанов с натриевым охлаждением. На малофорсированных двигателях внутреннего сгорания с низкой степенью сжатия устанавливают так называемые «горячие» свечи с короткой юбкой изолятора, которые хорошо прогреваются и не имеют нагара на юбке. На высокофорсированных двигателях с высокой степенью сжатия применяют «холодные» свечи зажигания с длинной юбкой, которая хорошо отводит теплоту, тем самым предотвращая преждевременное воспламенение рабочей смеси при соприкосновении с раскаленным изолятором и электродами.

На детонационную стойкость топлива существенно влияет химический состав входящих в него углеводородов. Нормальные парафиновые углеводороды легко окисляются в паровой фазе и поэтому склонны к детонации. Чем выше молекулярная масса парафиновых углеводородов, тем легче они окисляются. Ароматические углеводороды стойки к окислению и имеют высокую детонационную стойкость. Нафтеновые и непредельные углеводороды по склонности к детонации занимают промежуточное положение между парафиновыми и ароматическими углеводородами.

Таким образом, при одинаковом фракционном составе бензин, содержащий большое количество парафиновых углеводородов изомерного строения и ароматических углеводородов, обладает лучшими антидетонационными свойствами по сравнению с бензином, содержащим большое количество N-парафиновых углеводородов. Бензин облегченного фракционного состава при одинаковом групповом химическом составе обладает лучшей детонационной стойкостью по сравнению с бензином, имеющим более тяжелый фракционный состав.

*Октановое число.* Показателем детонационной стойкости бензина служит октановое число, которое определяют двумя методами: моторным и исследовательским. Для этого используют стандартные одноцилиндровые двигатели с переменной степенью сжатия от 4 до 10. При определении октановых чисел по моторному (ГОСТ 511–82)

и исследовательскому (ГОСТ 8226–82) методам применяют соответственно установки УИТ-85 и УИТ-65. Интенсивность детонации измеряют и регистрируют специальным прибором – детонометром.

Сущность определения детонационной стойкости бензина на установках состоит в том, что испытуемый бензин сравнивают с эталонными топливами по способности к детонации. При этом подбирают такие смеси эталонных топлив, которые сгорают в установках с той же интенсивностью детонации, что и испытуемый бензин. Эталонные топлива получают смешиванием двух химических чистых углеводородов – изооктана и нормального гептана. Детонационная стойкость изооктана, выраженная в октановых числах, условно принимают за 100, а нормального гептана – за 0. При смешивании изооктана и нормального гептана в различных соотношениях по объему получают ряд эталонных топлив, обладающих различной детонационной стойкостью. Чем выше содержание изооктана в эталонном топливе, тем лучше его антидетонационная способность.

При определении октанового числа испытуемого бензина повышают степень сжатия установки до появления стандартной интенсивности детонации. Затем на этой же установке подбирают эталонное топливо, которое имеет стандартную интенсивность при этой же степени сжатия.

*Октановое число – это процентное (объемное) содержание изооктана в смеси с нормальным гептаном, которая по своим антидетонационным свойствам аналогична испытуемому топливу.* Например, октановое число бензина 95 означает, что бензин имеет такие же антидетонационные свойства при испытании на стандартной установке, что и смесь из 95 % изооктана и 5 % нормального гептана.

Октановое число бензина зависит от его химического состава. Некоторые углеводороды имеют октановые числа выше 100: бензол – 108, триптан – 104 и т. д. Стандартные условия испытаний по моторному методу более жесткие, чем по исследовательскому, поэтому октановые числа одного и того же бензина, определенные разными методами, не совпадают: по моторному методу оно меньше. Например, для бензина АИ-98 значения октановых чисел по исследовательскому и моторному методам соответственно 98 и 89. Разница в октановых числах бензина, определенных обоими методами, называется чувствительностью бензина. Она зависит от углеводородного состава бензина.

Октановое число бензина зависит от условий эксплуатации, поэтому детонационную стойкость бензина необходимо определять на автомобильных двигателях. Испытания проводят на стендах и в дорожных условиях, получая фактические октановые числа.

*Способы повышения детонационной стойкости.* Для обеспечения бездетонационной работы двигателя необходимо использовать бензины с предназначенными для него октановыми числами. Повышение детонационной стойкости товарных бензинов достигается несколькими способами: переработкой дистиллятов в процессе каталитического крекинга и риформинга, добавлением к базовым бензинам высокооктановых компонентов и применением антидетонационных присадок. Бензины, полученные каталитическим крекингом и риформингом, имеют высокие октановые числа (до 95 по исследовательскому методу).

К высокооктановым компонентам бензинов относятся изооктан, алкилбензин, толуол, изопентан. При добавлении 15–40 % высокооктановых компонентов к базовым сортам топлива получают бензины с высокой детонационной стойкостью.

*Антидетонаторами называют металлоорганические соединения, при добавлении которых в незначительном количестве резко повышаются антидетонационные свойства бензинов.* Наиболее широко используемым антидетонатором является тетраэтилсвинец (ТЭС), представляющий собой бесцветную маслянистую жидкость плотностью 1650 кг/м<sup>3</sup>. ТЭС нерастворим в воде, но растворим в бензине и органических растворителях, кипит с разложением при температуре 200 °С, легко воспламеняется и горит. Тетраэтилсвинец ядовит, поражает главным образом центральную нервную систему, обладает свойством накопления в организме, может попадать в организм через неповрежденную кожу и дыхательные пути. Единовременное попадание в организм значительного количества ТЭС или постепенное продолжительное отравление им приводит к летальному исходу.

Действие тетраэтилсвинца заключается в обрыве цепных реакций образования пероксидов. Тем самым предотвращается или значительно снижается детонационное сгорание рабочей смеси.

Тетраэтилсвинец в чистом виде не применяют, поскольку он вызывает освинцовывание деталей двигателя – отложение продуктов сгорания ТЭС (свинца и его оксидов) в камере сгорания, на днище поршня, клапанах, свечах и пр. ТЭС добавляют в бензин в виде этиловой жидкости, состоящей из тетраэтилсвинца, выносителя,

антиокислителя, наполнителя и красителя. Выноситель добавляют для сохранения свинцовых соединений в газообразном состоянии. В качестве выносителя свинца используют органические галлоидные соединения углеводородов, например, бромистый этил, монохлорнафталин, дибромэтан.

*Бензины, в которые добавлена этиловая жидкость, называют этилированными.* Для этилирования применяют этиловые жидкости Р-9, П-2. Содержание ТЭС в этиловых жидкостях составляет 54–58 %, выносителя – 33–35 %, остальное – наполнитель авиационный бензин Б-70 (до 100 %). Эти этиловые жидкости различаются выносителем. Так, в жидкости Р-9 в качестве выносителя используются бромистый этил и монохлорнафталин.

Для предупреждения о ядовитости этилированные бензины окрашивают, причем каждую марку в свой цвет. При работе двигателей на этилированных бензинах отмечают следующие особенности: повышение нагарообразования, более частое возникновение калильного зажигания, уменьшение срока службы свечей зажигания, образование свинцовых отложений на опорных поверхностях клапанов и гнезд, вызывающих прогорание клапанов.

Этилированные бензины оказывают значительное коррозионное действие на металлы в присутствии воды. В процессе хранения бензина ТЭС подвергается окислению, в результате чего в бензине могут образоваться нерастворимые продукты, вызывающие помутнение бензина.

В связи с высокой токсичностью отработавших газов автомобилей, работающих на этилированных бензинах, применение последних запрещено.

В качестве альтернативы ТЭС для повышения детонационной стойкости бензинов используют соединения марганца, железа, а также кислородосодержащие соединения (ММА). В многофункциональные присадки и добавки вводят моющие, антиокислительные, антикоррозионные и другие компоненты (табл. 2.3).

В Беларуси и за рубежом при производстве высокооктановых бензинов широко применяют метил-третбутиловый эфир (МТБЭ). Производство МТБЭ будут сокращать, хотя он не представляет угрозу для здоровья. Причина в том, что МТБЭ легко проникает в грунтовые воды и имеет неприятный запах. Он обнаружен в небольших количествах во многих источниках водоснабжения.

Таблица 2.3

*Антидетонационные присадки и добавки  
к автомобильным бензинам*

Наименование	Допустимая концентрация
Присадка: «Хайтек-3000»	До 50 мг Mn/л
«Октан-Максимум»	До 37 мг Fe/л
АПК	До 0,3 % (37 мг Fe/л)
«Фероз»	До 0,02% (37 мг Fe/л)
АВТОЭМ Б (многофункциональная)	До 0,5 % Mn, 90,5 % ММА
Добавка: «Феррада»	До 1,3% (37 мг Fe/л)
МАФ	До 3,5 % (37 мг Fe/л)
беззольная БВД	30 % кислородосодержащих соединений, 70 % ММА
«Марка А» (многофункциональная)	90 % кислородосодержащих соединений, 8,5% ММА
«Биодэн»	35 % кислородосодержащих соединений, 65 % ММА

Объемы производства и потребления неэтилированного бензина в нашей стране находятся на уровне развитых европейских стран и составляют более 75 % общего объема.

Химическая стабильность характеризует способность бензина сохранять свой первоначальный химический состав без изменения при длительном хранении, перекачках и транспортировании. Химическая стабильность бензинов определяется, главным образом, их углеводородным составом. К окислению наиболее склонны бензины, полученные термическим и каталитическим крекингами, коксованием, пиролизом и содержащие много олефиновых и диолефиновых углеводородов. Более химически стабильны бензины, полученные каталитическим риформингом и прямой перегонкой, а также алкилбензин.

На пути следования от завода-изготовителя до бака автомобиля происходит автоокисление бензина, то есть окисление его нестабильных соединений кислородом окружающего воздуха с образованием продуктов сложного состава. Чем дольше хранится бензин, длиннее путь транспортирования и больше перевалочных пунктов, тем больше возможность образования продуктов окисления – смолистых веществ и различных кислот соединений (органических кислот, оксикислот и т. п.). Большая часть образующихся продуктов окисления находится в бензине в растворенном состоянии, а меньшая – выпадает в осадок. Окисление бензина ускоряется различными отстоями и осадками, накапливающимися в резервуарах, а также за счет каталитического воздействия металлов (например, меди). Чем больше в бензине содержится непредельных углеводородов, тем быстрее он окисляется. При окислении изменяется цвет бензина. Например, неэтилированный бензин приобретает окраску от светло-желтой до интенсивно-желтой. Появляется резкий запах, на дне резервуара образуется масляный слой, слабо растворимый в бензине, повышается кислотность бензина, увеличивая его коррозионность.

При работе двигателя наблюдаются отложения во впускном трубопроводе, на деталях системы питания и стенках камеры сгорания. Количество отложений во впускном трубопроводе находится в прямолинейной зависимости от количества смол в бензине. Основным источником образования отложений являются смолистые вещества, образующиеся при окислении бензина.

Отложения в системе питания, образующиеся при низких температурах, представляют собой липкие мазеобразные продукты коричневого цвета. Смолы откладываются на стенках топливных баков, фильтров, насосов, закупоривают топливопроводы, покрывают тонким слоем детали карбюратора – распылители, дроссельные заслонки. Повышенное содержание смолистых продуктов в используемом бензине вызывает различные нарушения в системе питания двигателя. Отложения на деталях карбюратора могут вызвать нарушения подачи топлива и процесса карбюрации, а отложения на фильтрующих элементах – прекращение подачи бензина.

Во время работы двигателя неиспарившиеся высококипящие фракции бензина вместе с находящимися в них смолистыми веществами в виде пленки движутся по впускному трубопроводу к цилиндрам. Стенки трубопровода обычно подогреваются для лучшего испарения бензина, поэтому происходит интенсивное окисление

углеводородов бензина и оседание смолистых соединений на горячих стенках трубопровода. Выпавшие вещества еще больше полимеризуются и превращаются в твердые смолистые и углистые отложения, уменьшающие полезное сечение трубопровода и увеличивающие сопротивление потоку горючей смеси. В связи с этим ухудшается наполнение цилиндров и снижается мощность двигателя. Смолистые вещества, выпавшие на впускных клапанах, образуют твердые углистые отложения, которые нарушают правильность посадки клапанов и вызывают их зависание.

Содержание фактических смол, находящихся в бензине в момент исследования, оценивают в миллиграммах на 100 см<sup>3</sup> топлива. Для автомобильных бензинов их содержание на месте производства допускается до 5 мг в 100 см<sup>3</sup> топлива. При большей концентрации смол резко снижается время до появления неисправностей двигателя в результате усиленного нагарообразования (табл. 2.4).

Таблица 2.4

*Влияние содержания фактических смол в бензине на работоспособность автомобильных двигателей*

Содержание фактических смол, мг на 100 см <sup>3</sup> топлива	Возможный пробег автомобиля до появления неисправностей в двигателе, км	Содержание фактических смол, мг на 100 см <sup>3</sup> топлива	Возможный пробег автомобиля до появления неисправностей в двигателе, км
До 10	Свыше 25 000	21–25	8 000
11–15	25 000	25–50	До 5000
16–20	16 000	50–120	До 2000

*Фактические (промытые) смолы* – это нерастворимая в гептане часть остатка, полученного при выпаривании автомобильного бензина. *Непромытые смолы* – это остаток от выпаривания автомобильного бензина, состоящий из фактических смол и трудноиспаряющихся компонентов присадки.

На рис. 2.7 показан аппарат для определения содержания смол в нефтепродуктах выпариванием струей (ГОСТ 1567-97; ИСО 6246-95). Сущность метода заключается в испарении определенного объема топлива при заданных температурах и расходе воздуха и пара с последующим определением массы остатка, промытого растворителем.

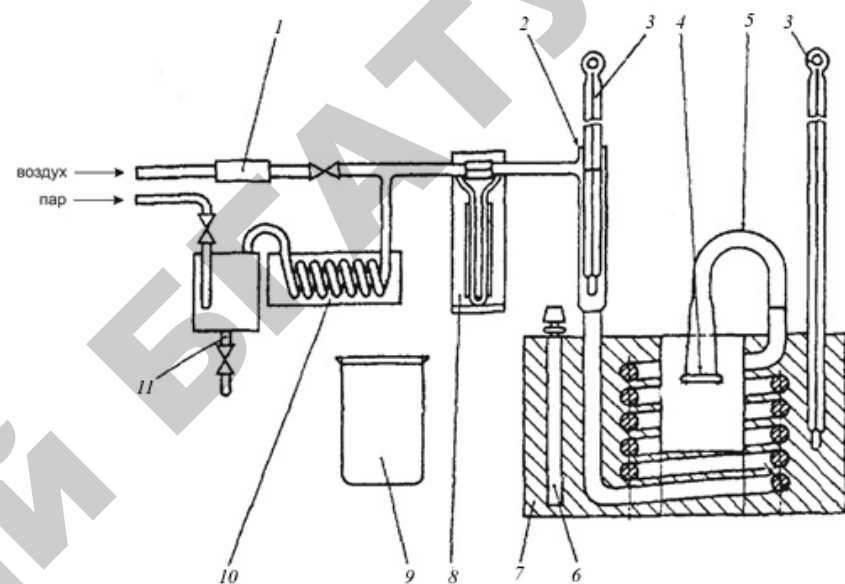


Рис. 2.7. Аппарат для определения содержания смол в нефтепродуктах выпариванием струей:

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

Лабораторные стаканы 9 промывают растворителем и тщательно прополаскивают. Затем сушат в термостате при 150 °С не менее 1 ч, охлаждают и взвешивают с погрешностью до 0,1 мг. При испытании автомобильного бензина испаряющим агентом служит воздух, температура бани составляет +160...+165 °С, а температура гнезд бани +150...+160 °С. В стакан наливают 50 или 25 см<sup>3</sup> бензина, помещают его в баню для выпаривания и устанавливают на место конический держатель 4, который центрируют над поверхностью жидкости. Длительность испытания (испарения бензина) – 30 мин. Регулируют поток воздуха так, чтобы получить из одного выпускного отверстия скорость потока 600 см<sup>3</sup>/с.

По окончании нагревания стаканы вынимают из бани, охлаждают и взвешивают. Подсчитывают содержание непромытых смол. Затем добавляют в стакан 25 см<sup>3</sup> гептана, встряхивают в течение 30 с



и выдерживают 10 мин. Сливают раствор гептана, помещают стакан в баню для выпаривания на 5 мин (температура бани должна быть +160...+165 °С). Вынимают стакан из бани, охлаждают не менее 2 ч и взвешивают, определяя содержание фактических смол.

Химическую стабильность бензина оценивают стандартным методом по ГОСТ 4039–88 на специальном приборе путем ускоренного окисления при определенной температуре и давлении кислорода. В результате определяют *индукционный период* – время от начала испытания до начала процесса окисления бензина. Индукционные периоды бензинов, произведенных по разным технологическим процессам, очень различаются. Так, для бензинов термического крекинга индукционный период составляет 50–250 мин, каталитического крекинга – 240–1000, прямой перегонки – более 1200, каталитического риформинга – более 1500 мин.

Бензины, имеющие индукционный период не менее 900 мин, могут сохранять свои свойства в течение 5 лет.

Установка для определения длительности индукционного периода в условиях ускоренного окисления состоит из стальной бомбы, кислородного баллона с редуктором, кислородного манометра и водяной бани. На установке определяют время, в течение которого испытуемый бензин в среде кислорода под давлением 0,7 МПа и при температуре 100 °С практически не окисляется. Бомба для окисления бензина (рис. 2.8) выполнена из нержавеющей стали. Штуцер 4 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 стальной трубки присоединяют кислородный манометр. Со штуцером трубка соединяется при помощи конуса и гайки.

Перед испытанием внутреннюю часть корпуса 9 бомбы промывают бензолом и сушат воздухом. В стаканчик наливают 100 мл отфильтрованного испытуемого бензина, устанавливают его внутри бомбы и закрывают часовым стеклом. Бомбу завинчивают крышкой 8 и соединяют ее медной трубкой с кислородным баллоном. Воротком вентиля 1 поднимают игольчатый клапан 2 и не менее 3 мин заполняют бомбу кислородом до давления 0,2 МПа. Затем воротком 1 опускают игольчатый клапан 2 и отвинчивают гайку, с помощью которой бомба соединяется с медной трубкой. Открывают вентиль 3 и выпускают кислород, то есть продувают бомбу. Далее вновь наполняют бомбу кислородом до давления 0,75 МПа и отсоединяют медную трубку.

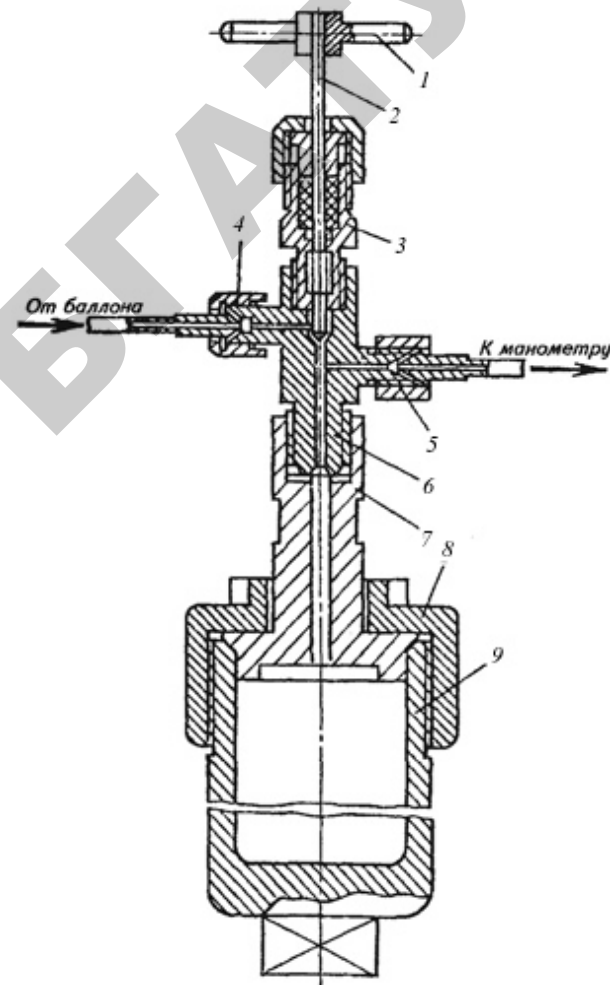


Рис. 2.8. Бомба для окисления бензина:

1 – вороток вентиля; 2 – игольчатый клапан; 3 – вентиль; 4, 5 – штуцера; 6 – тройник; 7 – грибок; 8 – крышка вентиля; 9 – корпус

Бомбу опускают в бак с водой, имеющей температуру 15–20 °С, и проверяют ее герметичность. Снижают давление внутри бомбы до 0,7 МПа. Бомбу погружают в кипящую баню до верхнего края крышки 8. 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. За конец индукционного периода принимают начало непрерывного падения давления.

Нагарообразование в камерах сгорания влияет на мощностные и экономические показатели двигателей. Коэффициент полезного действия двигателя снижается из-за ухудшения наполнения цилиндра. Нагар также вызывает детонационное сгорание или калильное зажигание. Часть смол вместе с тяжелыми фракциями топлива стекает по стенкам цилиндра, попадая в канавки поршневых колец.

Под действием высоких температур смолы превращаются в углистые лакоподобные вещества, которые как бы прикипают компрессионные кольца к поршню. В результате этого кольца перестают выполнять свои функции, что ведет к прорыву газов в картер, падению мощности двигателя, перерасходу масла. Пригорание колец может вызвать заклинивание поршня в цилиндре вследствие его сильного разогрева и температурного расширения. В образовании нагаров и лаков могут принимать участие механические примеси, проникающие с воздухом и топливом, оксиды металлов, выделяющиеся из антидетонаторов и присадок, вводимых в масло, и образующие нерастворимые осадки.

Образование отложений в топливной системе существенно зависит от конструктивных особенностей двигателя. При принудительной системе вентиляции картера резко увеличилось образование отложений в карбюраторе за счет содержания в картерных газах капель масла и продуктов неполного сгорания бензина. В двигателях с непосредственным впрыскиванием бензина наблюдается повышенное образование отложений на впускных клапанах.

На окисляемость бензина при хранении влияют химический состав бензина, температура хранения, поверхность соприкосновения с воздухом, наличие света, влаги, старых продуктов окисления и пр. С повышением температуры хранения скорость окисления увеличивается. Для уменьшения влияния температуры топливо хранят в подземных резервуарах с минимальными колебаниями температуры. При этом исключается воздействие света как катализатора, ускоряющего процесс окисления.

При хранении бензина в наземных условиях резервуары окрашивают в светлые тона или ставят под навес. Резервуары, в кото-

рых хранится топливо, необходимо заливать полностью. В малой таре бензин окисляется значительно быстрее. Скорость окисления бензина увеличивается в присутствии старых продуктов окисления и воды. На скорость окисления влияют различные металлы, которые являются катализаторами окисления, например, свинец, медь и их сплавы. Металлы – катализаторы окисления – снижают действие присадок. Для уменьшения скорости окисления бензинов необходимо избегать частых перекачек, переливов и т. п.

Для увеличения индукционного периода и срока хранения к бензинам добавляют антиокислительные присадки «Агидол-1» и «Агидол-12». Качество производимых бензинов повышают, добавляя в них моющие и многофункциональные присадки «Хайтек 4449», «Автомат», «Афен» и т. п.

*Коррозионные свойства бензинов.* В процессе применения автомобильные бензины соприкасаются с различными металлами и сплавами, подвергая их коррозионному разрушению. Коррозии подвергаются резервуары, трубопроводы, топливные баки, детали двигателя и т. п. Коррозионные свойства бензинов обуславливаются наличием в них органических кислот, сернистых соединений, водорастворимых кислот и щелочей.

Органические кислоты всегда содержатся в небольшом количестве в бензинах. Они остаются в них при переработке нефти, а также образуются в процессе окисления при хранении. Поэтому содержание органических кислот от момента производства бензина до его потребления увеличивается. Органические кислоты особенно сильно разрушают цветные металлы – свинец и цинк. Кислоты, взаимодействуя с металлами, образуют нерастворимые в бензине мыла, которые выпадают в осадок в виде сгустков, засоряя систему питания двигателя.

Для выяснения коррозионных свойств бензина определяют его кислотность, проводя испытания на медной пластинке, и наличие водорастворимых кислот и щелочей. Кислотность бензина выражают в миллиграммах едкого кали, необходимого для нейтрализации 100 см<sup>3</sup> топлива.

Сернистые соединения, содержащиеся в бензинах, условно делят на активные и неактивные. К активным соединениям относятся элементарная сера, сероводород, меркаптаны, к неактивным – сульфиды, дисульфиды и т. п. Активные сернистые соединения корродируют металл даже при низких температурах, поэтому их присутствие в бензинах недопустимо.

Неактивные сернистые соединения, находящиеся в бензине, не вызывают коррозии металлов. Высокой коррозионной агрессивностью обладают продукты сгорания сернистых соединений – серный и сернистый ангидриды. При пуске двигателя, особенно в холодное время года при относительно низкой температуре продуктов сгорания, возможна конденсация водяных паров, образующихся в результате сгорания топлива. Ангидриды растворяются в йоде, образуя серную и сернистую кислоты. Под действием этих кислот происходит низкотемпературная «жидкостная» коррозия металлов. Если температура продуктов сгорания достаточно высокая и водяные пары не конденсируются, то происходит высокотемпературная «газовая» коррозия. Оксиды серы в отработавших газах вызывают коррозию выпускной системы. Коррозионный износ двигателя зависит также от технического его состояния, качества масла, условий эксплуатации. Содержание неактивных сернистых соединений в бензинах строго ограничено.

Испытание бензина с целью определения воздействия на медную пластинку при повышенной температуре служит качественной пробой на присутствие активных сернистых соединений. Даже при незначительной концентрации элементной серы в бензине медная пластинка, помещенная в него на 3 ч при 100 °С, покрывается бледно-серыми пятнами, а при большом содержании серы за то же время при нагреве до 50 °С – черным налетом. В присутствии сероводорода медная пластинка приобретает серый цвет с красными разводами. Менее чувствительна медная пластинка к воздействию меркаптанов. Испытания на медной пластинке проводят в соответствии с ГОСТ 6321–92 (ИСО 2160).

Водорастворимые кислоты и щелочи могут остаться в бензине после очистки серной кислотой или щелочью на нефтеперерабатывающем заводе. Водорастворимые кислоты вызывают коррозию всех металлов, а водорастворимые щелочи – алюминия, поэтому присутствие даже следов данных соединений в бензине не допускается.

Вода и механические примеси попадают в бензины при плохом хранении, транспортировке, использовании грязной тары, неисправного инструмента и т. п. Вода в бензине находится в растворенном и свободном состоянии. Количество растворенной воды ничтожно мало.

Наличие в бензине воды и механических примесей может служить причиной нарушения подачи топлива в двигатель. Кроме того, вода и механические примеси увеличивают нагарообразование,

количество отложений в системе питания, усиливают коррозию металла, разлагают антиокислители, ускоряют разложение тетраэтилсвинца, с некоторыми выносителями этиловых жидкостей, например, бромными, образуют очень агрессивную бромистоводородную кислоту.

Из-за наличия механических примесей в автомобильных бензинах ухудшается прокачиваемость топлива, нарушается калибровка жиклеров, увеличивается расход топлива и прекращается его подача, снижается приемистость двигателя, нарушается его работа при увеличении частоты вращения коленчатого вала.

Поэтому вода и механические примеси в бензинах недопустимы.

### 2.1.2. Ассортимент автомобильных бензинов

В Беларуси действует ГОСТ 2084–77 с изменениями «Бензины автомобильные. Общие технические требования» (табл. 2.5).

Установленные этим стандартом требования следует обязательно включать во все нормативные документы на автомобильные бензины. Стандарт допускает производство этилированного автомобильного бензина только марки А-76 (АИ-80), предназначенного для работы устаревших грузовых автомобилей типов ЗИЛ и ГАЗ, доля которых в автомобильном парке снижается, а следовательно, уменьшается потребность в этом бензине.

Таблица 2.5

*Показатели качества автомобильных бензинов*

Показатель	Тип бензина			
	I	II	III	IV
<i>Детонационная стойкость</i>				
Октановое число, не менее, определенное:				
исследовательским методом	80	91	95	98
моторным методом	76	–	–	–
Концентрация свинца, г/дм <sup>3</sup> , не более, в бензине:				
неэтилированном	0,013	0,013	0,013	0,013
этилированном	0,17	–	–	–
Давление насыщенных паров, кПа	35–100	35–100	35–100	35–100

Окончание табл. 2.5

Показатель	Тип бензина			
	I	II	III	IV
<i>Фракционный состав</i>				
Температура перегонки 90 % бензина, °С, не выше	190	190	190	190
Температура конца кипения, °С, не выше	215	215	215	215
Остаток в колбе, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,5
Массовая доля серы, %, не более	0,1	0,05	0,05	0,05
Объемная доля бензола, %, не более	5	5	5	5

В стандарте ужесточено требование по содержанию в бензинах серы и бензола, что положительно отразится на экологии.

Стандарт не ограничивает стремление производителей улучшать эксплуатационные свойства бензинов и снижать их себестоимость с целью повышения конкурентоспособности.

Все автомобильные бензины, выпускаемые по техническим условиям, должны проходить сертификацию на соответствие общим техническим требованиям.

В нашей стране ОАО «Мозырский НПЗ» производит бензины автомобильные марок А-92 (АИ-92), А-95 (АИ-95) по ТУ 38.001165-2003 и «Нормаль-80» по ГОСТ 31077–2002 (приложение 1). Производство бензинов А-92 (АИ-92), А-95 (АИ-95) осуществляется на базе катализатора риформинга и бензина каталитического крекинга с вовлечением легких углеводородных фракций без использования тетраэтилсвинца. Из стабильного катализатора извлекается бензол, что улучшает экологические характеристики бензина. Для приготовления бензина марки А-95 (АИ-95) используется алкилат. В маркировке бензинов буква А означает, что бензин автомобильный, цифры в марке А-76 – октановое число, определенное по моторному методу, в марках АИ-91, АИ-93, АИ-95 и АИ-98 буква И с последующей цифрой – октановое число, определенное по исследовательскому методу.

С целью повышения качества бензина до уровня европейских стандартов в России разработан ГОСТ Р 51105–97, которым предусмотрен выпуск неэтилированных бензинов следующих марок: «Нормаль-80», «Регуляр-91», «Премиум-95» и «Супер-98» (приложение 1).

Бензины «Премиум-95» и «Супер-98» полностью отвечают европейским требованиям и предназначены в основном для импортных автомобилей.

Чтобы обеспечить крупные города и другие регионы с высокой плотностью автомобильного транспорта экологически чистым топливом, на современном этапе предусмотрено производство бензинов с низким содержанием серы. Высокое содержание серы в автомобильных бензинах увеличивает выбросы оксидов серы, которые губительно воздействуют не только на экологию, но и конструкционные материалы.

При сгорании бензола образуются полициклические ароматические углеводороды (бенз(α)пирены), которые обладают канцерогенными свойствами, то есть вызывают раковые заболевания. Отработавшие газы, в составе которых содержится более 300 вредных соединений, также загрязняют окружающую среду.

Токсичность продуктов сгорания неэтилированных бензинов в основном определяется содержанием в них ароматических углеводородов.

За рубежом в промышленно развитых странах применяется в основном бензин двух марок – «Премиум» с ОЧИ 97–98 и «Регуляр» с ОЧИ 90–94.

В странах Европейского экономического сообщества доля бензина марки «Премиум» составляет 78 %, а бензина марки «Регуляр» – 22 %, причем в Европе в настоящее время практически все бензины этилированные с содержанием свинца 0,15–0,4 г/л.

В Японии используется практически только неэтилированный бензин марки «Регуляр» (97 %) с ОЧИ 91; бензина марки «Премиум» выпускается около 2%, а этилированных бензинов – 0,5 %.

В США доля бензинов с ОЧИ 96 составляет 15 %, с ОЧИ 93 – 40 %, а с ОЧИ 92 – 45 %, но намечается постепенный переход на производство только неэтилированных бензинов марок «Регуляр» (85 %) и «Премиум».

Остальные основные показатели качества зарубежных бензинов практически не отличаются от показателей бензинов, выпускаемых в республике Беларусь.

В России в настоящее время выпускаются неэтилированные бензины А-76, АИ-80, АИ-91, АИ-92, АИ-93, АИ-95, АИ-96, АИ-98 и этилированные – А-76, АИ-80, АИ-92, АИ-93. Планируется полный переход на производство неэтилированных бензинов, а кроме того, полная замена выпуска бензинов А-76 (АИ-80) на производство неэтилированных бензинов с ОЧИ 91 и выше.

В Беларуси летние сорта бензинов применяют с 1 апреля по 1 октября.

Одновременное использование летних и зимних сортов бензина или их смесей при переходе двигателей с летней эксплуатации на зимнюю и наоборот допускается в течение месяца. В остальное время бензин должен соответствовать климатическим условиям. Например, использование зимой летних сортов бензина ведет к перерасходу топлива на 3–5 %.

Бензин А-76 (АИ-80) применяют в основном для грузовых автомобилей и устаревших моделей двигателей со степенью сжатия 6,5–7,0.

Бензины с определенными по исследовательскому методу октановыми числами 91, 92, 93 предназначены для среднефорсированных двигателей легковых автомобилей со степенью сжатия 8–11 и некоторых грузовых автомобилей. Бензины АИ-95, «Премиум-95», АИ-95ЭК, «Яр-Марка 95Е», АИ-98, «Супер-98», АИ-98ЭК используют в двигателях зарубежных и легковых отечественных автомобилей высшего класса со степенью сжатия 8–12. Следует соблюдать соответствие марок автомобильных бензинов заводским инструкциям для данного автомобиля.

Первоочередные задачи производства отечественных автомобильных бензинов:

- осуществление полного перехода на производство и применение только неэтилированных бензинов;
- увеличение производства неэтилированных бензинов с октановыми числами свыше 91 (по исследовательскому методу);
- увеличение выпуска автомобильных бензинов, содержащих различные спирты;
- организация поставки бензинов с улучшенными экологическими свойствами в города и районы с высокой плотностью транспортных средств.

## 2.2. Дизельное топливо

### 2.2.1. Эксплуатационные свойства дизельного топлива

*Дизельное топливо – жидкий продукт, использующийся как основное моторное топливо в поршневых двигателях внутреннего сгорания с внутренним смесеобразованием и самовоспламенением.* Обычно под этим термином понимают топливо, получающееся из керосиново-газоиловых фракций прямой перегонки нефти.

Главное преимущество дизельных двигателей – их высокая экономичность. Они расходуют на 25–30 % меньше топлива по сравнению с бензиновыми двигателями. Экономичная работа дизелей достигается главным образом за счет высоких степеней сжатия. В быстросходных дизелях она достигает 18. Дизельное топливо дешевле бензина, поскольку его получают в основном прямой перегонкой.

Дизельные двигатели надежнее и долговечнее. Для них характерны стабильная экономичность во всем диапазоне нагрузок, лучшая приемистость и возможность работы с нагрузкой без полного прогрева. Основные различия в работе дизельного и бензинового двигателей заключаются в способах смесеобразования и воспламенения рабочей смеси. Поэтому требования к дизельному топливу обуславливаются особенностями работы двигателя.

Дизельное топливо должно обладать хорошими распыливаем, смесеобразованием, испарением и прокачиваемостью, быстрым самовоспламенением; а также полностью сгорать, причем без дымления; не вызывать повышенного нагаро- и лакообразования на клапанах и поршнях, закоксовывания распылителя, зависания иглы распылителя, коррозии резервуаров, баков, деталей двигателя и т. п. Главные эксплуатационные показатели дизельного топлива:

- цетановое число, определяющее мощностные и экономические показатели работы двигателя;
- низкотемпературные свойства, определяющие работу системы питания при отрицательных температурах окружающего воздуха;
- вязкость и плотность, обеспечивающие нормальную подачу топлива, распыление его в камере сгорания и работоспособность топливных фильтров;
- фракционный состав, влияющий на полноту сгорания, дымность и токсичность отработавших газов;
- степень чистоты, определяющая надежность работы фильтров грубой и тонкой очистки;
- температура вспышки, характеризующая условия безопасности применения топлива в двигателях;
- коррозионные свойства, обусловленные наличием сернистых соединений, непредельных углеводородов, водорастворимых кислот и щелочей и пр.

*Смесеобразование.* Процесс смесеобразования в дизельном двигателе представляет собой сложный комплекс физических и химических явлений, протекающий от момента впрыскивания топлива в камеру сгорания до воспламенения последней его порции.

Дизели относятся к двигателям с внутренним смесеобразованием. Впрыскивание топлива в цилиндр происходит через форсунку в конце процесса сжатия. При этом скорость струи топлива достигает 150–400 м/с. Давление воздуха в цилиндре составляет более 2,9 МПа при температуре около 600 °С. Трение о воздух струи топлива вызывает разрушение ее на капельки диаметром 2–3 мкм. В современных быстроходных дизелях давление впрыска достигает 220 МПа. Распыление топлива и характер движения воздуха в цилиндре зависят от конструкции камеры сгорания.

Камеры сгорания дизельных двигателей бывают неразделенные и разделенные. У неразделенных камер сгорания (рис. 2.9) все пространство сжатия представляет собой единый объем 2, в который непосредственно впрыскивается топливо. Поскольку процесс смесеобразования происходит в едином объеме, к качеству распыления предъявляют очень высокие требования.

Разделенную камеру сгорания имеют предкамерные дизели. Такая камера сгорания состоит из основной камеры 4 (рис. 2.10) и предкамеры 3. В предкамере топливо сгорает частично из-за недостатка воздуха. Остальная часть топлива в результате резкого повышения давления при сгорании с большой скоростью выбрасывается через соединительные каналы в главную камеру. При этом основная часть топлива также распыляется, перемешивается с воздухом, находящимся в главной камере, и догорает.

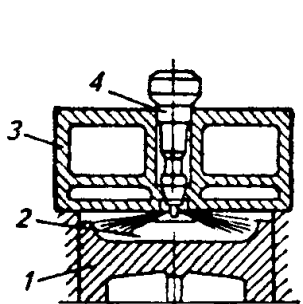


Рис. 2.9. Схема неразделенной камеры сгорания:

1 – поршень; 2 – камера сгорания;  
3 – головка цилиндра; 4 – форсунка

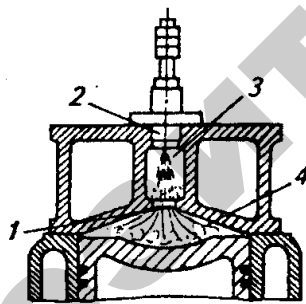


Рис. 2.10. Схема разделенной камеры сгорания предкамерного дизеля:

1 – соединительный канал; 2 – форсунка;  
3 – предкамера; 4 – основная камера сгорания

На качество смесеобразования наряду с конструкцией камеры сгорания влияют свойства применяемого топлива: плотность, вязкость, давление насыщенных паров, поверхностное натяжение, фракционный состав и т. п.

**Плотность.** Повышение плотности топлива сказывается на процессе смесеобразования так же, как и увеличение вязкости: возрастает длина струи, ухудшается экономичность двигателя и увеличивается дымность. При малой плотности топлива уменьшается длина струи, ухудшается процесс смесеобразования. Поэтому плотность дизельного топлива должна быть оптимальной (с учетом сезонности эксплуатации и других факторов) и находиться в пределах 830–860 кг/м<sup>3</sup>.

**Вязкость.** Вязкостные свойства дизельного топлива влияют на качество распыления топлива и смесеобразования, прокачиваемость, работу топливного насоса, износ прецизионных пар насоса высокого давления, для которого топливо одновременно служит смазочным материалом, полноту сгорания и расход топлива, состав отработавших газов. Из-за большой вязкости могут возникнуть перебои в подаче топлива к насосу вследствие большого сопротивления при протекании его по топливоподающей системе. Чем меньше вязкость, тем тоньше распыление топлива, меньше диаметр образующихся капель, лучше испаряемость. Однако при этом уменьшается длина струи топлива (поскольку мелкие капельки обладают малой кинетической энергией), наблюдаются неравномерность образования горючей смеси, подтекание топлива на носке распылителя (это приводит к закоксовыванию отверстий распылителя), неполнота сгорания и перерасход топлива.

С повышением вязкости увеличивается длина струи. При этом часть капель попадает на стенки камеры сгорания, в результате чего ухудшается процесс смесеобразования, испаряемость и полнота сгорания топлива. Это ведет к перерасходу топлива, снижению мощности, повышению дымности отработавших газов.

Вязкость дизельного топлива так же, как и других нефтепродуктов, зависит от температуры: с ростом температуры она понижается, а при ее падении увеличивается.

Лучшими свойствами обладает топливо с вязкостью 2,5–4,0 мм<sup>2</sup>/с при 20 °С, но чем выше вязкость при 20 °С, тем значительнее ее изменение при понижении температуры. Поэтому в стандартах на отечественные дизельные топлива вязкость нормируется при 20 °С в зависимости от их марки (условий применения): для летних – 3,0–6,0 мм<sup>2</sup>/с; для зимних – 1,8–5,0 мм<sup>2</sup>/с; для арктических – 1,5–4,0 мм<sup>2</sup>/с.

**Самовоспламеняемость.** Рабочий процесс дизеля отличается от процесса бензинового двигателя приготовлением и воспламенением горючей смеси. Воспламенение горючей смеси в дизельных двигателях происходит без постороннего источника зажигания. Смесь самовоспламеняется под действием высокой температуры в результате бурно протекающих в ней реакций окисления. На рис. 2.11 показана развернутая индикаторная диаграмма дизельного двигателя – изменение давления  $p$  внутри цилиндра в зависимости от угла поворота коленчатого вала.

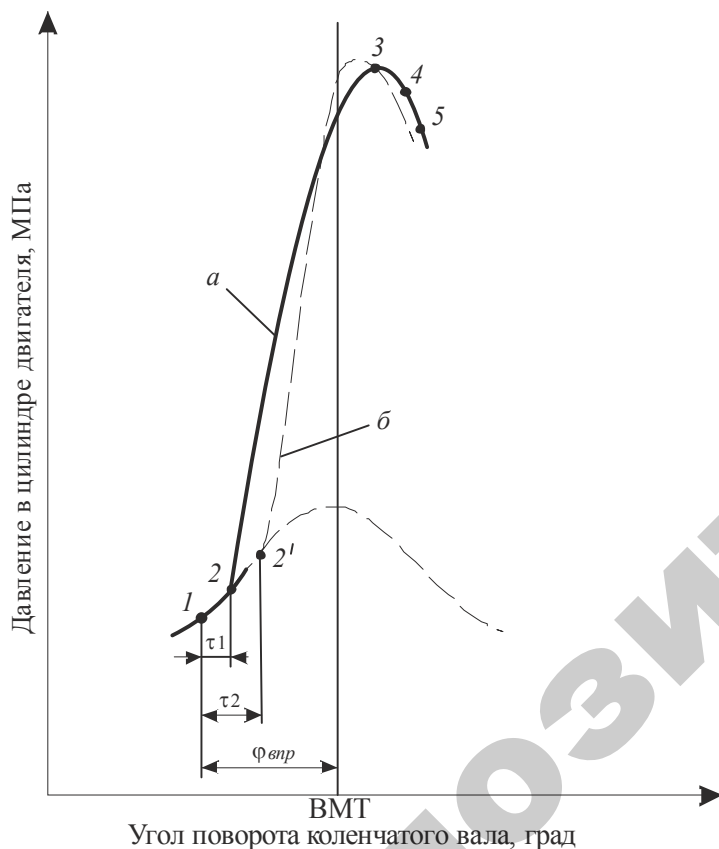


Рис. 2.11. Развернутая индикаторная диаграмма дизеля:  
 а – при нормальной работе; б – при жесткой работе; 1 – начало впрыскивания;  
 2, 2' – самовоспламенение топлива; 3 – конец быстрого сгорания;  
 4 – конец замедленного сгорания; 5 – конец догорания

Подача топлива форсункой в камеру сгорания начинается в точке 1 за  $10\text{--}20^\circ$  угла поворота коленчатого вала до ВМТ (в современных дизелях для понижения температуры сгорания и, как следствие, снижения интенсивности образования оксидов азота начало впрыска топлива может происходить за  $5\text{--}0^\circ$  до ВМТ). Заканчивается впрыскивание топлива у различных двигателей по-разному: как после ВМТ, так и до нее. Угол между началом подачи топлива и ВМТ называют углом опережения впрыскивания топлива и обозначают  $\varphi_{впр}$ . Продолжительность впрыскивания топлива соответствует периоду от начала до конца подачи топлива.

Воспламенение горючей смеси происходит спустя некоторое время после впрыскивания топлива в камеру сгорания. Это время называют периодом задержки самовоспламенения. Самовоспламенению паров топлива (в точке 2) предшествует определенный период, в течение которого происходит ряд физических и химических процессов. Топливо распыляется в горячем воздухе, капельки его подогреваются до высокой температуры и испаряются. Под действием высокой температуры и кислорода воздуха происходят предпламенные реакции многостадийного окисления углеводородов, входящих в состав топлива. В рабочей смеси накапливаются кислородосодержащие соединения, которые затем начинают распадаться с выделением части теплоты ( $10\text{--}15\%$ ) и кислорода. Холоднопламенное окисление приводит к повышению температуры смеси и появлению многих очагов воспламенения. В этот момент появляется голубое свечение, называемое «холодным» пламенем. Скорость химических реакций в результате повышения температуры смеси возрастает, происходит воспламенение – появление горячего пламени.

В точке 2 начинается сгорание топлива. Большая часть поступившего топлива к этому моменту успевает испариться, и процесс сгорания охватывает все новые порции горючей смеси. Топливо продолжает подаваться форсункой в камеру сгорания, оно интенсивно смешивается с воздухом, испаряется и быстро сгорает. В результате быстрого сгорания топлива давление в цилиндре значительно увеличивается. Период быстрого сгорания продолжается от точки 2 до точки 3. В этом периоде выделяется основное количество тепловой энергии цикловой подачи топлива (до  $70\%$ ), подача топлива форсункой продолжается, давление увеличивается. Концом периода условно считают точку 3, в которой достигается максимальное давление. В конце быстрого сгорания рост давления прекращается, скорость сгорания снижается.

После точки 3 начинается период замедленного сгорания, давление растет незначительно. Подача топлива прекращается, но процесс сгорания продолжается, и температура газа повышается. Выделяется около 20 % тепловой энергии топлива. Снижение давления в конце периода (точка 4) объясняется увеличением объема камеры сгорания в связи с движением поршня к НМТ. Концом периода замедленного сгорания условно принята точка 4, когда достигается максимальная температура газов в камере сгорания. Затем происходит догорание остатков топлива и продуктов неполного сгорания. Чем тяжелее топливо, выше его вязкость и плотность, тем длительнее период догорания. Фаза догорания может достигать 70° угла поворота коленчатого вала.

При большом периоде задержки самовоспламенения ( $1-2'$ ) горючей смеси в цилиндре дизеля накапливается и сгорает большая часть топлива. Это вызывает резкое увеличение давления на каждый градус поворота коленчатого вала, в результате чего наблюдается так называемая «жесткая» работа двигателя. Внешние признаки жесткой работы двигателя идентичны детонационному сгоранию бензина в бензиновых двигателях. Если на 1° поворота коленчатого вала давление в камере сгорания увеличивается на 0,25–0,5 МПа, то двигатель работает нормально, на 0,5–0,9 МПа – жестко, а выше 0,9 МПа – очень жестко.

Жесткая работа двигателя показана на рис. 2.11 (кривая б). Период задержки самовоспламенения соответствует  $\tau_2$ . В точке 2' происходит самовоспламенение, после чего давление растет с большой скоростью. При жесткой работе дизеля увеличивается нагрузка на детали его кривошипно-шатунного механизма, что вызывает интенсивное их изнашивание.

Химический состав топлива существенно влияет на период задержки самовоспламенения. Самую низкую температуру самовоспламенения имеют парафиновые углеводороды. Чем выше их молекулярная масса, тем ниже температура самовоспламенения.

*Цетановое число.* Оценкой самовоспламеняемости дизельных топлив служит цетановое число (ЦЧ), определяемое по ГОСТ 3122–67 на установках ИТ9-3 и ИТ9-3М. Установки имеют одноцилиндровый четырехтактный дизель с переменной степенью сжатия от 7 до 23. При проведении испытаний угол опережения впрыскивания топлива должен быть 13° до ВМТ, давление впрыскивания – 10,4 МПа.

В качестве эталонных топлив выбраны парафиновый углеводород цетан и ароматический углеводород альфаметилнафталин. Цетан имеет очень малый период задержки самовоспламенения, и его ЦЧ условно принято за 100. Альфаметилнафталин имеет большой период задержки самовоспламенения, и его ЦЧ условно принято за 0. Смеси цетана и альфаметилнафталина в различных соотношениях имеют разную самовоспламеняемость.

Цетановое число дизельного топлива определяют следующим образом. Запускают двигатель на испытуемом топливе и, изменяя степень сжатия, добиваются, чтобы самовоспламенение топлива началось точно в ВМТ. Затем подбирают такую смесь цетана и альфаметилнафталина, которая при той же степени сжатия также воспламеняется в ВМТ, то есть обладает таким же периодом задержки самовоспламенения, как и испытуемое топливо.

*Цетановое число – это процентное (объемное) содержание цетана в смеси с альфаметилнафталином, которая по самовоспламеняемости аналогична испытуемому топливу.* Например, если испытуемое дизельное топливо имеет цетановое число 47, то по самовоспламеняемости оно эквивалентно искусственной смеси эталонных топлив, содержащей 47 % цетана и 53 % альфаметилнафталина. Цетановое число дизельного топлива зависит от его химического состава, склонности к окислению. Наиболее быстро окисляются и распадаются парафиновые углеводороды нормального строения. Они имеют самые высокие цетановые числа. Ароматические углеводороды самовоспламеняются при более высоких температурах и за большой промежуток времени, имеют самые низкие цетановые числа.

Для увеличения ЦЧ дизельных топлив могут быть использованы различные присадки, например, изопропилнитрат или циклогексилнитрат. Однако производство этих присадок в последнее время прекращено. В настоящее время разработана новая эффективная присадка «Миакрон-2000», основу которой составляет этилгексилнитрат. Массовая доля присадки в дизельном топливе должна быть 0,1–0,3 %.

Присадки ускоряют начальные предпламенные реакции и способствуют образованию новых активных центров реакции. Чем ниже цетановое число, тем выше жесткость работы дизеля. От значения ЦЧ зависят и другие показатели работы двигателя: его пуск, среднее эффективное давление, удельный расход топлива, температура выпускных газов, отложения в двигателе, дымность и запах отработавших газов. С увеличением цетанового числа топлива



облегчается пуск двигателя и увеличивается среднее давление сгорания, остальные показатели снижаются, работа двигателя в целом улучшается.

Для современных автотракторных дизельных двигателей используют топлива с цетановыми числами не менее 45. При ЦЧ дизельного топлива 40 и ниже дизели работают жестко. Однако увеличение цетановых чисел топлива свыше 51 не вызывает существенного улучшения работы дизеля, а удельный расход топлива и дымность возрастают вследствие уменьшения полноты сгорания.

Цетановое число дизельного топлива рассчитывают по разным формулам, основные из которых следующие:

при известных плотности  $d_4^{20}$  и кинематической вязкости  $\nu_{20}$

$$\text{ЦЧ} = (\nu_{20} + 17,8) \frac{1,5879}{d_4^{20}}; \quad (2.4)$$

при известном углеводородном составе

$$\text{ЦЧ} = 0,85\Pi + 0,1\text{H} - 0,24\text{A}, \quad (2.5)$$

где  $\Pi$ ,  $\text{H}$ ,  $\text{A}$  – содержание соответственно парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов.

*Температура вспышки.* Этот параметр используют для оценки качества топлива и для классификации производства, помещений и установок по степени пожарной опасности.

Температура вспышки – это минимальная температура, при которой пары топлива, нагреваемые в специальном аппарате, образуют горючую смесь, вспыхивающую при поднесении к ней пламени. Температура вспышки характеризует опасность дизельного топлива при его транспортировке, хранении и заправке.

*Испаряемость.* Для получения качественной горючей смеси топливо должно полностью испариться в камере сгорания. От испаряемости топлива зависит полнота его сгорания, пуск и работа двигателя, нагаро- и лакообразование, износ деталей двигателя и его экономичность, состав отработавших газов, расход масла. Испаряемость дизельного топлива оценивают по фракционному составу, температурам перегонки 50 и 90 % или 50 и 96 % топлива.

На пуск двигателя фракционный состав оказывает большее влияние, чем цетановое число. При пуске двигателя создаются

наименее благоприятные условия для смесеобразования и сгорания топлива вследствие недостаточно высокой температуры в камере сгорания. Чем больше в топливе легких фракций, тем быстрее и полнее они испаряются. У легкого топлива меньше диаметр образующихся капелек и больше площадь их испарения. Пусковые свойства дизельных топлив характеризуются температурой выкипания 50%-й фракции. Чем ниже эта температура, тем легче запустить двигатель, особенно при низких температурах окружающего воздуха. Однако облегчение фракционного состава ведет к увеличению периода задержки самовоспламенения.

Топлива тяжелого фракционного состава с высокой температурой выкипания 96%-й фракции не успевают полностью испариться, а следовательно, и сгореть. Неполнота сгорания приводит к перерасходу топлива, увеличению дымности отработавших газов, снижению мощности, повышенному лако- и нагарообразованию. Часть топлива в жидком виде стекает по стенкам цилиндра в масляный картер, смывая смазочный материал и повышая износ деталей двигателя. Экономичность и долговечность двигателя ухудшаются. Поэтому чрезмерное утяжеление топлива, как и его облегчение, нежелательны.

*Склонность к нагарообразованию.* Одно из важных эксплуатационных свойств дизельного топлива – способность обеспечивать чистоту двигателя и топливной аппаратуры. Это свойство зависит от химического и фракционного состава топлива. При сгорании топлива наблюдается нагарообразование на стенках камеры сгорания и впускных клапанах, а также на распылителях и иглах распылителей форсунок. На стенках камеры сгорания, днищах поршней и впускных клапанах образуется плотный твердый нагар темного цвета, а на распылителях и иглах распылителей форсунок – мягкий, смолистый нагар желтоватого цвета, иногда в виде светлокоричневой лаковой пленки.

Отложение нагара на стенках камеры сгорания ухудшает отвод теплоты в систему охлаждения двигателя. Наличие нагара на впускных клапанах приводит к их закоксовыванию, в результате чего нарушается правильная посадка тарелки клапана на седло. Происходят утечка раскаленных газов и обгорание посадочных поверхностей клапана и седла, а в отдельных случаях – зависание клапана.

Наибольшие нарушения в работе дизельных двигателей связаны с отложениями нагара на форсунках. Из-за нагара на распылителях ухудшается качество распыления топлива и искривляется факел

распыла. При ухудшении распыления топлива нарушается смесеобразование, происходит неполное его сгорание, что приводит к чрезмерному дымлению, снижению мощности дизеля и повышенному расходу топлива.

Выпадение смолистых отложений на иглах распылителей способствует их зависанию. В этом случае игла не садится на уплотняющий конус распылителя и не перекрывает его канал. Закоксовывание сопел и зависание игл распылителей сопровождаются подтеканием топлива. При подтекании топлива также наблюдается снижение мощности и экономичности дизеля, его дымление.

Нагарообразование в двигателе зависит от следующих параметров применяемого дизельного топлива:

- содержание фактических смол и серы, фракционный состав, количество непредельных и ароматических углеводородов;
- зольность и коксуемость.

С увеличением содержания фактических смол в топливе увеличивается нагарообразование на деталях двигателя, закоксовывание отверстий распылителей и зависание игл. Повышение содержания серы в топливе приводит при его сгорании к увеличению нагара и лака, причем плотность нагара значительно возрастает.

С увеличением зольности и коксуемости дизельного топлива растет его склонность к нагарообразованию. Зольность характеризует содержание в топливе несгораемых примесей, которые выпадают в нагар, увеличивая его абразивные свойства.

*Коксуемость – это свойство топлива при нагревании без доступа воздуха образовывать углистый осадок (кокс).* Коксуемость определяют для 10%-го остатка после предварительной перегонки дизельного топлива. Коксуемость 10%-го остатка топлива зависит от его фракционного состава и содержания смолисто-асфальтовых соединений. Для дизельного топлива различных марок коксуемость находится в пределах 0,2–0,3 %.

Коксуемость дизельного топлива определяют методом Конрадсона (ГОСТ 19932–99; ИСО 6615) в специальном аппарате (рис. 2.12) с фарфоровым 1, внутренним 3 и наружным 4 тиглями. На треножнике 6 аппарата установлен муфель 5, который подогревается газовой горелкой 7. Тигли и крышки аппарата выполнены из листовой коррозионно-стойкой и жаростойкой стали.

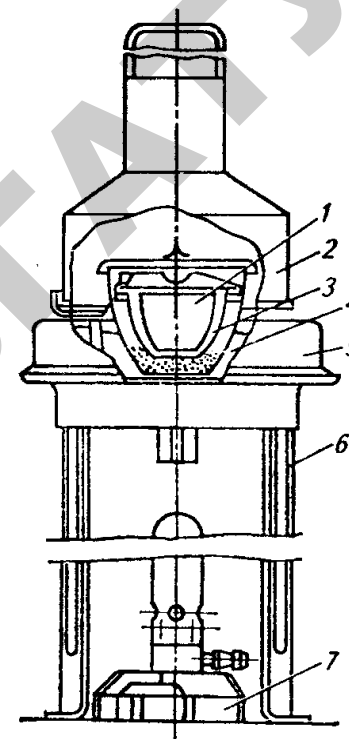


Рис. 2.12. Аппарат Конрадсона для определения коксуемости нефтепродуктов:

- 1 – фарфоровый низкий тигель; 2 – колпак; 3, 4 – внутренний и наружный тигли; 5 – муфель; 6 – треножник; 7 – газовая горелка

На аппарате для разгонки нефтепродуктов получают 10%-й остаток дизельного топлива. Затем навеску остатка помещают в фарфоровый тигель, который устанавливают во внутренний тигель. Внутренний тигель помещают в наружный, на дне которого насыпан песок. Оба тигля закрывают крышками и колпаком, который обеспечивает равномерный обогрев. Под дно наружного тигля устанавливают газовую горелку. Пламя ее должно быть высоким, не коптящим. Когда появится дым над верхним цилиндром колпака, зажигают пары топлива. Пламя горелки значительно уменьшают. Период горения считают законченным, если над колпаком не наблюдается синий дым.

По окончании горения увеличивают пламя газовой горелки и нагревают нижнюю часть наружного тигля до красного каления. Прокаливают наружный тигель. Затем горелку удаляют, снимают колпак и крышку наружного тигля, вынимают фарфоровый тигель и ставят его в эксикатор. После охлаждения его взвешивают.

Коксуемость  $x$  (%) 10%-го остатка дизельного топлива определяют по формуле:

$$x = \frac{100m}{m_1}, \quad (2.6)$$

где  $m$ ,  $m_1$  – масса соответственно коксового и 10%-го остатков, г.

*Коррозионные свойства.* Причина повышенной коррозии и износов деталей двигателя – наличие в топливе сернистых соединений, органических кислот, водорастворимых кислот и щелочей. Содержание органических кислот в дизельном топливе характеризует кислотность топлива, которая должна быть не более 5 мг КОН в 100 см<sup>3</sup> топлива. Повышение кислотности топлива приводит к увеличению коррозионного износа плунжерных пар топливного насоса высокого давления и росту отложений.

На коррозионную агрессивность дизельного топлива существенно влияют сернистые соединения. Установлено, что общий износ деталей двигателя приблизительно прямо пропорционален содержанию серы в дизельном топливе. При температуре охлаждающей жидкости в двигателе ниже 70 °С возрастает степень коррозионного износа, поскольку увеличивается образование серной кислоты. Продукты сгорания топлива, содержащие сернистый и серный ангидриды, проникают через неплотности цилиндропоршневой группы в картер, где образуют с водой серную и сернистую кислоты. Смешиваясь с маслом, кислоты ухудшают его качество, в частности антикоррозионные свойства, вызывают быстрое старение. Химическому износу подвергаются вкладыши подшипников, шейки коленчатых валов и другие детали. Особенно сильной коррозии подвержены вкладыши из свинцовистой бронзы.

В результате действия сернистых продуктов на картерное масло получают смолистые соединения, которые затем образуют нагар. При наличии сернистых соединений увеличивается нагаро- и лакообразование в цилиндропоршневой группе. Из-за содержания серы нагар становится твердым, что приводит к абразивному изнашиванию цилиндропоршневой группы. Отложение лака в зоне поршне-

вых колец ведет к их закоксовыванию и заклиниванию. Сернистые соединения в топливе способствуют также увеличению отложений на масляных фильтрах тонкой и грубой очистки.

Смазывающая способность дизельных топлив определяет срок службы плунжерной пары насоса высокого давления. В глубоководных дизельных топливах с низким содержанием серы смазывающая способность значительно снижается. В этом случае требуется добавка в топливо противоизносных присадок.

Коррозионная агрессивность дизельных топлив зависит, главным образом, от содержания меркаптановой серы. Ее массовая доля в топливе допускается не более 0,01 %. Общая массовая доля серы в товарных дизельных топливах составляет 0,2–0,5 %. Для улучшения экологии крупных населенных пунктов предполагается снизить в топливах массовые доли серы (до 0,05–0,1 %) и ароматических углеводородов (до 10–20 %). За рубежом перспективные показатели качества дизельного топлива следующие: в США – содержание серы не более 0,003 %, ароматических углеводородов не более 2 %; в Европе – соответственно не более 0,005 и 3 %.

Водорастворимые кислоты и щелочи могут остаться в дизельном топливе после очистки серной кислотой или щелочью на нефтеперерабатывающем заводе. Водорастворимые кислоты вызывают коррозию всех металлов, а водорастворимые щелочи – алюминия, поэтому присутствие даже следов этих соединений в бензине недопустимо.

*Низкотемпературные свойства.* Главные эксплуатационные характеристики дизельного топлива – его низкотемпературные свойства и подвижность при отрицательных температурах определяют работу системы питания. Топлива, содержащие большое количество парафиновых углеводородов, имеют плохие низкотемпературные свойства вследствие кристаллизации этих углеводородов даже при положительных температурах. Выделяющиеся кристаллы могут засорить систему питания двигателя, особенно топливные фильтры.

Низкотемпературные свойства характеризуются температурой помутнения, предельной температурой фильтрации и температурой застывания.

*Температурой помутнения называют температуру, при которой изменяется фазовый состав топлива, так как наряду с жидкой фазой появляется твердая.* При этом топливо теряет прозрачность, мутнеет из-за выделения микроскопических кристаллов

льда (если в топливе имеется вода) и, в основном, твердых углеводородов. Однако при помутнении текучесть топлива не меняется. Размеры кристаллов таковы, что они проходят через фильтры. При предельной температуре фильтрации размеры кристаллов твердых углеводородов увеличиваются и не проходят через фильтры, что ухудшает текучесть топлива. При температуре застывания кристаллическая решетка настолько упрочняется, что топливо теряет текучесть.

Температура помутнения и предельная температура фильтрации топлива характеризуют условия его применения. Для большинства дизельных топлив разность температур помутнения и застывания составляет 5–7 °С. Если топливо не содержит депрессорных присадок, то предельная температура фильтрации равна температуре помутнения или ниже ее на 1–2 °С. Температура воздуха, при которой возможна эксплуатация дизельного топлива, должна быть на 5–10 °С выше температуры помутнения для предотвращения нарушений подачи топлива в двигатель.

Низкотемпературные свойства можно улучшить депарафинизацией – удалением из топлива части парафиновых углеводородов. При этом можно получить топливо с заранее заданной температурой застывания. Однако следует помнить, что при депарафинизации удаляются высокоцетановые компоненты – парафиновые углеводороды, то есть снижается цетановое число дизельного топлива. Топлива с плохими низкотемпературными свойствами имеют высокие цетановые числа, а топлива с хорошими низкотемпературными свойствами обладают неудовлетворительными цетановыми числами. Для сохранения цетанового числа на необходимом уровне проводят неглубокую депарафинизацию.

Обеспечение необходимых температур помутнения и застывания зимние сорта топлива получают за счет облегчения фракционного состава. При производстве зимних сортов дизельного топлива используют депрессорные присадки. Добавляя эти присадки в сотых долях процента, можно снизить предельную температуру застывания на 15–20 °С. При введении депрессорных присадок температура помутнения топлива не изменяется. Механизм действия депрессорных присадок заключается в модификации структуры кристаллизующихся парафинов, уменьшении их размеров. Низкотемпературные свойства дизельных топлив с депрессорными присадками оценивают по температуре помутнения и предельной температуре фильтрации, а топлив без депрессатора,

выпускаемых по ГОСТ 305–82 – по температурам помутнения и застывания.

Для снижения температуры застывания дизельных топлив в условиях эксплуатации допускается в виде исключения добавлять керосин. С этой целью используют низкозастывающие сорта керосина (типа реактивного топлива) в количестве до 25 %. При сильном разбавлении дизельного топлива керосином снижается цетановое число, что приводит к жесткой работе двигателя, и резко ухудшаются смазочные свойства, в связи с чем повышается износ плунжерной пары. При температуре воздуха –20...–30 °С двигатели работают на смеси, состоящей из 90 % дизельного топлива и 10 % керосина, а при температуре от –30 до –35 °С они работают на смеси, состоящей из 75 % дизельного топлива и 25 % керосина. Обычный осветительный керосин не пригоден для данной цели из-за плохих низкотемпературных свойств. Температура помутнения осветительного керосина составляет –12...–15 °С.

Следует отметить, что дизельного топлива зимних сортов выпускают значительно меньше, чем летних. Нефтеперерабатывающие заводы производят около 11 % зимнего и 1 % арктического дизельного топлива от общего объема. Потребность в зимнем дизельном топливе обеспечена менее чем на 50 %. Поэтому зимние сорта топлива следует использовать только в холодное время и не допускать их смешивания с летними.

Температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации определены ГОСТ 5066–91 (ИСО 3013–74).

Прибор для определения температуры застывания дизельного топлива показан на рис. 2.13. Испытуемое топливо заливают в пробирку 4 и помещают в стеклянную пробирку-муфту 5. Сверху пробирку-муфту закрывают пробкой 3, в которую вставлен термометр 2. Прибор помещают в сосуд с охлаждающей смесью. Применяют следующие охлаждающие смеси:

- для получения температур от 0 до –20 °С – в сосуд засыпают попеременно слой поваренной соли и слой снега или измельченного до 3 см льда. На одну часть соли берут две части снега или льда;
- для получения температур ниже –20 °С – в сосуд со слоем изоляции наливают этиловый спирт. Затем вводят в спирт мелкими порциями твердый диоксид углерода.

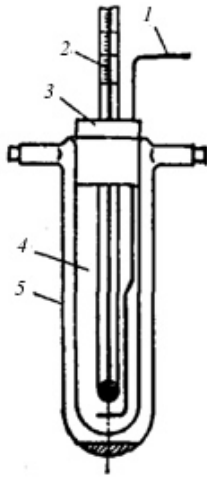


Рис. 2.13. Прибор для определения температуры застывания дизельного топлива:

1 – мешалка; 2 – термометр; 3 – пробка; 4 – пробирка; 5 – пробирка-муфта

Перед определением испытуемое дизельное топливо обезвоживают, для чего взбалтывают в течение 10–15 мин со свежeproкаленным и измельченным сульфатом натрия или с зернистым хлористым кальцием. Затем топливо отстаивают и фильтруют. Обезвоженное дизельное топливо наливают в пробирку 4 и закрывают ее пробкой 3. Пробирку вставляют в пробирку-муфту 5, в которую предварительно заливают 1 мл серной кислоты для поглощения влаги из воздуха и предупреждения появления на стенках пробирки-муфты воды при охлаждении.

Собранный прибор опускают в охлаждающую смесь и устанавливают строго вертикально. Начиная с температуры, которая на 9 °С выше предполагаемой температуры застывания дизельного топлива, через каждые 3 °С вынимают пробирку из пробирки-муфты и наблюдают за подвижностью дизельного топлива при наклоне. В процессе опыта дизельное топливо перемешивают мешалкой 1.

За температуру застывания испытуемого дизельного топлива принимают температуру, при которой топливо в горизонтально расположенной пробирке остается неподвижным в течение 5 с. Температура застывания определяет условия складского хранения, делающие невозможной перекачку топлива из одного резервуара в другой.

*Вода и механические примеси.* Наличие воды и механических примесей в дизельном топливе служит одной из главных причин отказов топливной аппаратуры. Вода и механические примеси могут попадать в топливо, начиная от пути следования его с нефтезавода до использования в двигателе. Большинство механических примесей имеют большую твердость и вызывают повышенный износ деталей двигателя. Особенно вредны примеси для топливных насосов высокого давления, насосов-форсунок, форсунок. В прецизионных парах зазор составляет 1,5–3 мкм, поэтому даже небольшое количество механических примесей, размер которых соизмерим с зазором плунжерных пар, вызывает их интенсивное изнашивание.

Механические примеси в дизельном топливе повышают смолообразование, вызывают засорение системы топливоподачи, увеличивают количество отложений и нагара на форсунках, в камере сгорания и на других элементах, ухудшая надежность и долговечность системы топливоподачи, значительно увеличивая расход топлива и дымность отработавших газов. При использовании засоренного топлива срок службы топливной аппаратуры сокращается в 5–6 раз.

Перед заправкой в бак машины топливо должно отстаиваться не менее 10 дней. Чистота различных слоев топлива при этом будет неодинаковой. Даже при 10-дневном отстое в нижних слоях топлива остаются мельчайшие частички механических примесей, представляющие наибольшую опасность для топливной аппаратуры (табл. 2.6). Машины необходимо заправлять топливом верхних слоев. Содержание механических примесей в дизельном топливе не допускается.

Таблица 2.6

*Осаждение механических примесей из дизельного топлива в резервуаре диаметром 2 м при температуре 20 °С*

Показатель	Время отстаивания, дни							
	1	2	3	10				
Количество осевших примесей, %	40	65	85	98				
Количество осевших на дне частичек, %; размер, мм:	Полностью							
более 0,05								
0,05–0,01					50	75	85	100
0,01–0,005					10	20	30	100
менее 0,005	1	2,5	5	20				
Высота слоя топлива без механических примесей, см	–	10	25	160				

Наличие воды в топливе приводит к нарушениям в работе двигателя, невозможности его пуска, повышенной коррозии, увеличению нагарообразования.

Чистоту дизельного топлива оценивают по коэффициенту фильтруемости (ГОСТ 1906–73), который определяет эффективность и надежность работы двигателя, особенно его топливной аппаратуры. Коэффициент фильтруемости находится как отношение времени фильтрования через фильтр из бумаги БФДТ при атмосферном давлении десятой порции фильтруемого топлива к первой. На фильтруемость топлива влияют наличие в нем механических примесей, воды, смолистых веществ, мыл нафтеновых кислот. Для дизельного топлива различных марок коэффициент фильтруемости колеблется от 2 до 3.

В результате микробного поражения топлива возможен отказ двигателей из-за засорения топливопроводов и топливных фильтров. В дизельном топливе встречаются 45 видов различных бактерий и около 20 видов различных грибов. Топливо загрязняется в резервуарах и трубопроводах, которые попеременно используют для различных нефтепродуктов. Микробное загрязнение топлива особенно часто происходит в резервуаре, на дне которого присутствует вода. Заражение дизельного топлива происходит путем проникновения бактерий и грибов извне с воздухом или водой, или вследствие контакта с зараженным ранее топливом. Микроорганизмы распространяются вдоль поверхности раздела вода–топливо.

По мере развития бактерий и грибов качество топлива резко ухудшается, происходят неблагоприятные его изменения: помутнение, микробиологическая коррозия, образование осадка, что неизбежно приводит к засорению топливных фильтров и трубопроводов, разложению присадок и добавок.

Помутнение топлива происходит из-за повышения содержания в нем воды вследствие образования побочных продуктов жизнедеятельности микробов – поверхностно-активных веществ, которые увеличивают растворимость воды в топливе. Микробиологическая коррозия происходит в результате выделения бактериями сероводорода, который растворяется в топливе и вызывает сильную точечную коррозию топливных баков и трубопроводов. Микроорганизмы оседают на дне резервуаров и образуют слой, который способствует микробиологической коррозии. Осадок загрязняется жизнеспособными микробами и грибами и служит постоянным

источником инфицирования. Различные добавки и присадки в дизельном топливе, особенно содержащие азот и фосфор, усваиваются микроорганизмами, из-за чего их эффективность снижается.

Для обеззараживания дизельного топлива и профилактики его заражения разработана добавка на основе производных изотиазолон и пр.

### 2.2.2. Ассортимент дизельных топлив

Нефтеперерабатывающие заводы вырабатывают дизельное топливо по ГОСТ 305–82 трех марок (приложение 2): Л – летнее, З – зимнее, А – арктическое.

Топлива этих марок различаются в основном низкотемпературными свойствами, вязкостью и испаряемостью. По содержанию серы топлива делят на два вида: I – с содержанием серы менее 0,2 %, II – с содержанием серы 0,2–0,5 %.

В документах на поставку дизельных топлив указывают марку топлива, содержание в нем серы, температуру вспышки (для летнего сорта) или застывания (для зимнего). Например, топливо летнего сорта с массовой долей серы до 0,2 % и температурой вспышки 40 °С обозначают «Топливо дизельное Л-0,2-40», а зимнего сорта с массовой долей серы до 0,2 % и температурой застывания –35 °С соответственно «Топливо дизельное З-0,2-35». В обозначении арктического топлива указывают только массовую долю серы в процентах. В марках топлива буквы означают следующее: Л – летнее, применяемое при температурах окружающего воздуха 0 °С и выше; З – зимнее с температурой застывания ниже этого предела –35 °С, применяемое в умеренной климатической зоне при температурах до –20 °С, и зимнее с температурой застывания ниже этого предела –45 °С, применяемое в холодной климатической зоне при температурах окружающего воздуха –30 °С, А – арктическое, применяемое при температуре –50 °С.

Переход с зимних марок топлива на летние осуществляется в период наступившей или ожидаемой по долгосрочному прогнозу устойчивой положительной температуры. Летние марки топлива в южных районах используют всесезонно.

По ТУ 38.101889–81 (приложение 2) вырабатывают зимнее дизельное топливо с депрессорной присадкой марки ДЗп, которое получают на базе летнего топлива с температурой помутнения –5 °С. Добавка присадки в сотых долях процента позволяет снизить предельную тем-

температуру фильтруемости до  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для районов с холодным климатом по ТУ 38.401-5836-92 (см. приложение 2) вырабатывают дизельное топливо с депрессорной присадкой марки ДЗп-15/25 (базовое топливо с температурой помутнения  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , товарное топливо с предельной температурой фильтрации  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

По ТУ 38.1011348-90 (приложение 2) предусмотрен выпуск экологически чистого дизельного топлива: двух марок летнего (ДЛЭЧ-В и ДЛЭЧ) и одной марки зимнего (ДЗЭЧ). Содержание серы у этих топлив снижено до 0,05 % (вид I) и до 0,1 % (вид II). Введена норма по содержанию ароматических углеводородов: для марки ДЛЭЧ-В – не более 20 %, для марки ДЗЭЧ – не более 10 %.

Для применения в летний период при температуре окружающего воздуха до  $5\text{ }^{\circ}\text{C}$  выпускается дизельное топливо утяжеленного фракционного состава (УФС). В отличие от стандартного это топливо имеет более высокую температуру конца кипения (на  $20\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), что позволяет увеличить ресурсы дизельного топлива на 5–8 % (ТУ 38.001.355-86).

Топливо расширенного фракционного состава (РФС), выкипающее в пределах  $60\text{--}400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , позволяет увеличить ресурсы дизельного топлива примерно на 30 % и имеет цетановое число около 40 (ТУ 38.401.652-87).

Продолжающаяся дизелизация автомобильного транспорта потребовала увеличения ресурсов дизельного топлива. Основным при этом должно было стать топливо широкого фракционного состава, выкипающее в пределах от  $60$  до  $360\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

При переходе на производство единого топлива в нефтеперерабатывающей промышленности основное место будут занимать мощные высокопроизводительные установки прямой перегонки нефти и гидроочистки от сернистых соединений.

Для использования в районах Крайнего Севера и Арктики вырабатывается арктическое экологически чистое дизельное топливо (ТУ 38.401.5845-92). Это уникальное дизельное топливо с температурой застывания  $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$  может быть двух видов: с содержанием серы не более 0,05 % и с содержанием серы не более 0,01 %. Для него характерно также небольшое содержание ароматических углеводородов (5–10 %).

Разработанные ТУ 38.401-58-296-2001 «Топливо дизельное автомобильное» соответствуют требованиям европейских норм EN 590-2000. Установлены жесткие требования на содержание серы и на цетановое число (не менее 51). При этом нормируются

четыре новых показателя качества: цетановый индекс, смазывающая способность, содержание полициклических ароматических углеводородов и окислительная стабильность. Предусмотрена дифференциация дизельных топлив по низкотемпературным свойствам. Например, для умеренного климата выпускают шесть сортов топлив с предельной температурой фильтрации от  $+5$  до  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Альтернативным топливом для дизельных двигателей является биодизельное топливо. Оно представляет собой сложный эфир, получаемый в результате реакции растительных масел со спиртом, в основном, с метанолом. Недостатки этого топлива – высокая себестоимость и повышенное содержание оксидов азота в выпускных газах. Метанол – экологически чистая альтернатива бензина и дизельного топлива, но пока его используют лишь в качестве основного компонента топлива.

Для дизелей со средней и малой частотой вращения коленчатого вала ( $100\text{--}750\text{ мин}^{-1}$ ) выпускают топливо двух марок: ДТ и ДМ. Его получают из малосернистых и сернистых нефтей в виде темных густых жидкостей плотностью  $930\text{--}970\text{ кг/м}^3$ . Дизельное топливо марки ДТ предназначено для двигателей, не оборудованных системой подготовки топлива, а моторное топливо ДМ – для двигателей, снабженных системой подготовки топлива. Для лучшего прокачивания по трубопроводам к форсункам и лучшего распыливания топливо подогревают до  $60\text{--}70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При использовании в стационарных установках предварительно подогретое топливо отстаивают и фильтруют.

Низшая теплота сгорания дизельных топлив составляет около  $42,6\text{ МДж/кг}$ .

### 2.3. Газообразные топлива

В двигателях внутреннего сгорания наряду с жидкими применяют газообразные топлива. Автомобильная промышленность на базе бензиновых автомобилей серийно выпускает газобаллонные, которые в основном используются в качестве городского транспорта.

Быстрый рост автомобильного парка в городах требует изыскания способов уменьшения токсичности отработавших газов. Эта проблема может быть частично решена при переводе автомобилей на газообразное топливо. Значительная часть автомобилей в крупных городах уже переведена на газообразное топливо, которое имеет

существенные технико-экономические и санитарно-гигиенические преимущества перед другими автомобильными топливами. При работе на нем происходит более полное сгорание топлива, снижается токсичность отработавших газов. Так, в отработавших газах двигателей, работающих на сжиженном газе, примерно в 5 раз меньше диоксида углерода и в 3–3,5 раза меньше несгоревших углеводородов по сравнению с содержанием этих компонентов в отработавших газах автомобилей, работающих на бензине (табл. 2.7). При работе на газообразном топливе снижаются нагарообразование и расход моторного масла. Кроме того, газообразное топливо обладает высокими октановыми числами и теплотой сгорания. В табл. 2.8 приведены некоторые показатели качества газообразных углеводородов.

Таблица 2.7

Состав отработавших бензина и газов газообразных топлив в зависимости от вида топлива, г/100 км

Состав отработавших газов	Вид топлива		
	Бензин	Сжатый газ	Сжиженный газ
Несгоревшие углеводороды	187,5	131,3	55,0
Диоксид углерода	1250	468,8	256,3
Оксиды азота	250	118,8	118,8

Таблица 2.8

Показатели газообразных углеводородов

Углеводород	Относительная плотность по воздуху	Критическая температура*, °С	Температура кипения, °С	Низшая теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>	Октановое число, определенное по исследовательскому методу
Метан	0,554	-82,1	-161	35,8	120
Этан	1,138	32,3	-94	63,7	116,3
Пропан	1,523	95,7	-44	91,2	111,6
Пропилен	1,453	91,6	-47	86	102,6
н-Бутан	2,007	152,8	-0,5	118,6	95,8
Бутилен	1,937	144,0	-5	113,5	91,4
Изобутан	2,007	134,0	-11,7	118,6	102,1

\* Температура, выше которой газ не может быть сжижен ни под каким давлением.

Сырьем для получения газообразного автомобильного топлива являются природный и попутный (выделяющиеся при добыче нефти) газ, а также газы нефтеперерабатывающих, нефтехимических заводов. Основные компоненты природных газов – метан, и, в меньших количествах, этан, пропан, бутан. Углеводороды, критические температуры которых выше обычных температур эксплуатации автомобилей, легко переходят в жидкое состояние под определенным давлением и поэтому называются сжиженными. К таким углеводородам относятся пропан, бутан. Для перевода пропана в жидкое состояние необходимо давление 0,85 МПа, а для бутана – 0,2 МПа при 20 °С. Углеводороды, критические температуры которых ниже обычных температур эксплуатации автомобилей, применяют, как правило, в сжатом состоянии и называют сжатыми. К ним относятся метан и этан. Для перевода метана в жидкое состояние необходимы температуры ниже -82 °С. При температуре -161 °С метан переходит в жидкое состояние при атмосферном давлении. При температурах выше -82 °С он не может быть переведен в жидкое состояние ни при каком высоком давлении сжатия.

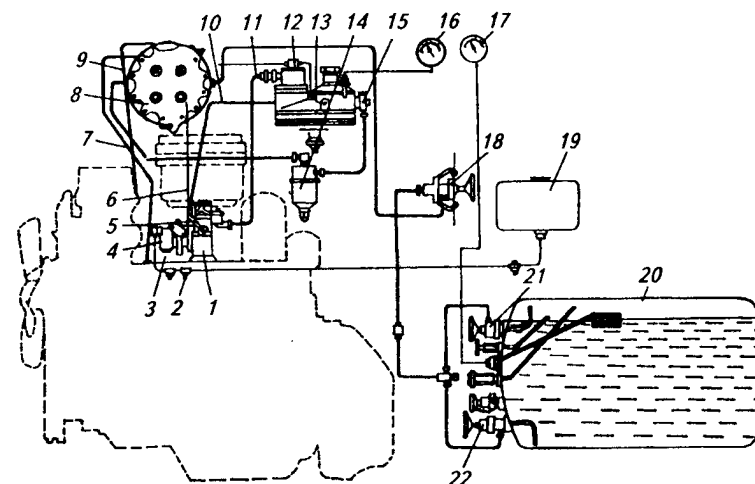


Рис. 2.14. Схема газобаллонной установки автомобиля:

1 – проставка; 2 – фильтр-отстойник; 3 – топливный насос; 4 – карбюратор; 5 – смеситель газов; 6, 10 – трубки; 7, 9, 11 – шланги; 8 – испаритель; 12 – дозирующе-экономизерное устройство; 13 – редуктор газа; 14 – газовый фильтр; 15 – сетчатый фильтр; 16 – манометр; 17 – указатель уровня сжиженного газа в баллоне; 18 – магистральный вентиль; 19 – топливный бак; 20 – баллон; 21 – расходный вентиль паровой фазы; 22 – расходный вентиль жидкой фазы



Таблица 2.9

Физико-химические показатели сжиженных автомобильных газов марок ПА и ПБА

Показатель	Марка газа	
	ПА	ПБА
Массовая доля компонентов, %:	Не нормируется	
сумма метана и этана		
пропан	90 ± 10	50 ± 10
сумма углеводородов выше C <sub>4</sub>	Не нормируется	
сумма непредельных углеводородов, не более	6	6
Давление насыщенных паров, избыточное, МПа, (при температуре, °C):		
(+45), не более	–	1,6
(–20), не менее	–	0,07
(–35), не менее	0,07	–
Массовая доля серы и сернистых соединений, %, не более	0,01	0,01
В том числе сероводорода, не более	0,003	0,003

Примечание. В газах обеих марок отсутствует жидкий остаток при температуре +40 °C и не содержатся свободная влага и щелочи.

Газ марки ПБА предназначен для всех климатических районов при температуре окружающего воздуха не ниже –20 °C, а марки ПА – в зимний период для тех климатических районов, где температура воздуха ниже –20 °C. Рекомендуемый температурный интервал применения газа марки ПА от –20 до –35 °C.

В весенний период с целью полного израсходования запасов сжиженного газа марку ПА допускается применять при температуре до +10 °C.

По ГОСТ 20448–88 выпускают сжиженные газы следующих марок: СПБТЗ – смесь пропана и бутана техническая зимняя для коммунально-бытового потребления; СПБТЛ – смесь пропана и бутана техническая летняя для коммунально-бытового потребления и других целей; БТ – бутан технический для коммунально-бытового потребления и других целей (табл. 2.10).

Газобаллонные автомобили отличаются от базовых бензиновых моделей более высокой степенью сжатия рабочей смеси в двигателе и наличием газобаллонной установки. Составные части газобаллонной установки:

- топливоподающая аппаратура, обеспечивающая испарение, снижение давления и дозирование газа в соответствии с режимом работы двигателя;

- баллоны для транспортировки и хранения газа (рис. 2.14).

Однако газообразное топливо имеет некоторые недостатки. Основной недостаток тот, что газонаполнительные станции по сравнению с автозаправочными жидким топливом станциями более сложные и дорогостоящие. Это ограничивает использование газобаллонных автомобилей на междугородных перевозках. При переводе бензиновых двигателей на газообразное топливо без дополнительных переделок ухудшаются энергетические показатели двигателя: мощность двигателя снижается на 6–8 % при работе на сжиженном газе и на 18–19 % при работе на природном газе из-за снижения коэффициента наполнения, более низкой теплоты сгорания газозоудшной смеси и пр.

### 2.3.1. Сжиженные газы

В автомобильных двигателях используют сжиженные газы, получаемые в процессе перегонки нефти. Эти газы обладают высокой теплотой сгорания, транспортабельны, перевозятся транспортом любого вида. При работе на сжиженных газах двигателя имеют высокие технико-экономические и санитарно-гигиенические показатели. Сжиженные газы переходят из газообразного состояния (паровой фазы) в жидкое (жидкую фазу) при температуре окружающего воздуха и относительно небольших давлениях.

Для автомобильного транспорта по ГОСТ 27578–87 выпускают сжиженный газ марок ПА – пропан автомобильный и ПБА – пропан-бутан автомобильный. Физико-химические показатели этих газов даны в табл. 2.9.

В систему питания двигателей, работающих на сжиженном газе, входят баллоны общей вместимостью 225 л, рассчитанные на давление 1,6 МПа.

Таблица 2.10

Основные нормативные показатели сжиженных газов разных марок

Показатель	Марка газа		
	СПБТЗ	СПБТЛ	БТ
Массовая доля компонентов, %: сумма метана, этана и этилена, не более	4	6	6
сумма пропана и пропилена, не менее	75	Не нормируется	
сумма бутанов и бутиленов: не менее не более	Не норм. –	– 60	60 –
Жидкий остаток (в том числе углеводороды C <sub>5</sub> и выше) при 20 °С, % по объему, не более	1	2	2
Давление насыщенных паров избыточное, МПа, при температуре, °С: +45 –20	1,6 0,16	1,6 –	1,6 –
Массовая доля сероводорода и серы, %, не более, в том числе сероводорода	0,015 0,003	0,015 0,003	0,015 0,003

Примечание. В сжиженных газах СПБТЗ, СПБТЛ и БТ не содержатся свободная влага и щелочи.

Основные компоненты сжиженного газа, обеспечивающие оптимальное давление насыщенных паров в газовом баллоне, – пропан и пропилен. Давление насыщенных паров существенно влияет на работу газовой установки автомобиля. На рис. 2.15 показана зависимость давления насыщенных паров  $p_{\text{нас}}$  пропанобутановых смесей от температуры  $t$ . Давление паров растет с повышением температуры, причем у пропана значительно быстрее, чем у бутана. Чем больше в пропанобутановой смеси пропана, тем выше упругость паров смеси. Зная давление смеси при определенной температуре, можно оценить процентное содержание в нем пропана и бутана.

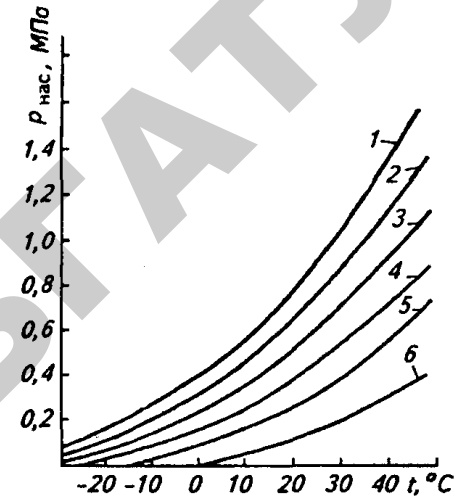


Рис. 2.15. Зависимость давления насыщенных паров пропанобутановых смесей от температуры:

1 – пропан; 2 – 80 % пропана + 20 % бутана; 3 – 60 % пропана + 40 % бутана; 4 – 40 % пропана + 60 % бутана; 5 – 20 % пропана + 80 % бутана; 6 – бутан

По максимальному давлению насыщенных паров смеси определяют прочность газового баллона, а для обеспечения нормальной работы топливоподающей аппаратуры смесь должна иметь избыточное давление не менее 0,1 МПа. Изменяя компонентный состав, получают зимние и летние смеси. Так, зимняя смесь СПБТЗ содержит 75 % пропана и пропилена, а летняя смесь СПБТЛ – 60 % бутана и бутиленов. Бутановые углеводороды (бутан, изобутан, бутилен, изобутилен и пр.) обладают наибольшей теплотой сгорания и легко сжимаются.

По плотности жидкой фазы можно судить о концентрации энергии в единице объема сжиженного газа, относящегося к легким жидкостям, плотность которых составляет 0,5–0,55 кг/л. Отличительная особенность сжиженных газов – более высокий коэффициент объемного расширения, чем у жидких нефтепродуктов.

На рис. 2.16 показано изменение плотности сжиженных газов  $\rho_{\text{сж}}$  в зависимости от температуры  $t$ . Например, плотность пропана в сжиженном виде при  $-10$  °С равна 0,54 кг/л, а при  $+30$  °С уменьшается до 0,48 кг/л. При этом удельный объем увеличивается на 11 %.

Данное свойство учитывают при заполнении баллона газом, оставляя около 10 % объема на паровую подушку. Если баллон будет полностью заполнен (отсутствие паровой подушки), то даже незначительное повышение температуры сжиженного газа приведет к резкому увеличению давления в баллоне. Приращение давления в баллоне составляет приблизительно 0,7 МПа на один градус повышения температуры сжиженного газа.

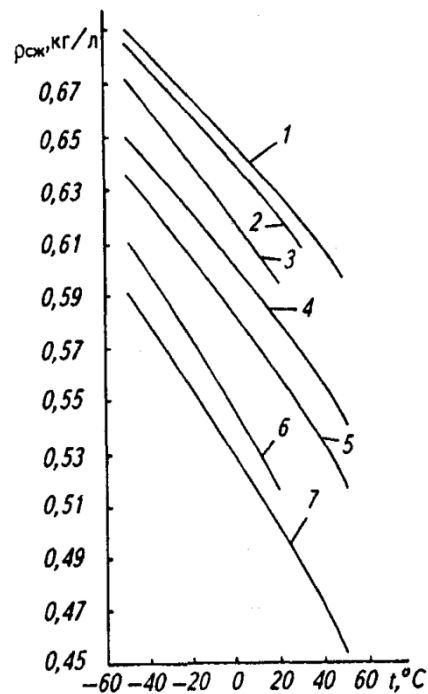


Рис. 2.16. Зависимость плотности сжиженных газов от температуры:

1 – пентан; 2 – изопентан; 3 – бутилен и изобутилен; 4 – бутан; 5 – изобутан; 6 – пропилен; 7 – пропан

Все компоненты сжиженного газа, кроме метана и этилена, тяжелее воздуха, поэтому при утечках они скапливаются в низких местах (на полу, в канавах, приямок), образуя взрывоопасную смесь. Сжиженные газы менее пожаро- и взрывоопасны, чем пары

бензина. Сжиженные газы образуют с воздухом взрывоопасные смеси при концентрации паров пропана от 2,1 до 9,5 %, изобутана от 1,8 до 8,4 %, нормального бутана от 1,5 до 8,5 % по объему при температуре +15...+20 °С.

Температура самовоспламенения в воздухе при давлении 0,1 МПа (760 мм рт. ст.) составляет для пропана 466 °С, изобутана – 462 °С, бутана – 405 °С. Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны (в перерасчете на углерод): пропана – 300 мг/м<sup>3</sup>, непредельных углеводородов – 100 мг/м<sup>3</sup>.

Сжиженные газы обладают высокой детонационной стойкостью. Например, октановое число пропана, определенное по моторному методу, равно 96, бутана – 90. Однако некоторые компоненты газа имеют сравнительно низкие октановые числа. Так, октановое число бутилена – 80, а пропилена – 85, вследствие чего их содержание в сжиженном газе ограничивают.

На организм человека токсичность компонентов сжиженных газов влияет косвенным образом. Эти газы не вызывают непосредственного отравления, однако при смешивании с воздухом уменьшают содержание в нем кислорода и тем самым обуславливают кислородное голодание человека. Сжиженные газы, попадая на тело человека, вызывают обморожение, напоминающее ожог.

Для обнаружения присутствия газа в окружающем воздухе ему придают специфический запах, добавляя резко пахнущие вещества – одоранты. Из них наиболее широко применяют этилмеркаптан: 2,5 г на 100 л сжиженного газа. При такой степени одоризации можно по запаху определить 0,4–0,5 % газа в воздухе. Данная концентрация газа в воздухе невзрывоопасна, составляя всего лишь 20 % нижнего предела воспламеняемости.

### 2.3.2. Природный и генераторный газы. Биогаз

*Природный газ.* Для двигателей внутреннего сгорания используют природный топливный компримированный газ (ГОСТ 27577-2000). Этот газ получают из горючего природного газа, транспортируемого по магистральным газопроводам или городским газовым сетям. На газонаполнительной компрессорной станции проводят компримирование и удаление примесей по технологии, не предусматривающей изменения компонентного состава.

В табл. 2.11 указаны физико-химические показатели природного газа для двигателей внутреннего сгорания. Основные компоненты газа: метан и этан. Возможны примеси азота, кислорода, сероводорода, паров воды и пр.

Таблица 2.11

*Физико-химические показатели  
природного компримированного газа*

Наименование показателя	Значение показателя
Объемная низшая теплота сгорания, кДж/м <sup>3</sup> , не менее	31 800
Относительная плотность к воздуху	0,55–0,70
Октановое число газа (по моторному методу), не менее	105
Содержание сероводорода, г/м <sup>3</sup> , не более	0,02
Содержание меркаптановой серы, г/м <sup>3</sup> , не более	0,036
Содержание механических примесей, мг/м <sup>3</sup> , не более	1
Суммарная объемная доля негорючих компонентов, %, не более	7
Объемная доля кислорода, %, не более	1
Содержание паров воды, мг/м <sup>3</sup> , не более	9

В систему питания автомобильных двигателей, работающих на сжатом природном газе, входят стальные баллоны вместимостью 50 л, рассчитанные на рабочее давление 19,6 МПа. Температура газа, заправляемая в баллон, не должна превышать температуру окружающего воздуха более чем на 15 °С. Газ способен образовывать с воздухом взрывоопасные смеси.

Пределы воспламенения газа (по метану) в смеси с воздухом при температуре +20 °С и нормальном давлении составляют 5–15 % (по объему). Предельно допустимая концентрация углеводородов газа в воздухе рабочей зоны должна быть не более 300 мг/м<sup>3</sup> в пересчете на углерод, а сероводорода – не более 10 мг/м<sup>3</sup>.

Применение сжатых газов, особенно природных, наиболее выгодно в районах их добычи, переработки, вблизи газовых магистралей, а также в газифицированных городах. Перевод этих газов

в жидкое состояние в условиях эксплуатации автомобилей требует очень высоких давлений и низких температур.

На автомобилях наиболее часто устанавливают от пяти до восьми баллонов со сжатым газом. Масса батареи из восьми баллонов более 500 кг, поэтому грузоподъемность автомобиля уменьшается. Пробег такого автомобиля примерно в два раза меньше по сравнению с пробегом автомобилей, работающих на бензине или на сжиженном газе. Это препятствует широкому использованию сжатого газа при эксплуатации газобаллонных автомобилей.

Сжатые газы обладают повышенной испаряемостью, поэтому наблюдаются их повышенные потери. Кроме того, они имеют повышенную пожароопасность. Тем не менее, природный газ перспективно использовать в жидком состоянии. Природный газ – это самое дешевое топливо. Его целесообразно применять в автомобилях с изотермическими кузовами (рефрижераторах).

При использовании сжатых газов особое внимание следует уделять содержанию влаги, так как она вызывает серьезные неполадки в работе системы питания.

*Генераторный газ.* Его получают при перегонке твердого топлива с недостатком воздуха около 60 % в специальных устройствах – газогенераторах. В качестве твердого топлива используют каменный или бурый уголь, дрова, торф, брикеты из различных сельскохозяйственных отходов (опилок, подсолнечной лузги, льняной костры и т. п.). В зависимости от вида применяемого для газификации твердого топлива состав генераторного газа (%) колеблется в следующих пределах: СО – 25–30; Н<sub>2</sub> – 12–15; СН<sub>4</sub> – 0,5–3,5; СО<sub>2</sub> – 5–8; О<sub>2</sub> – 0,2–0,5; N<sub>2</sub> – 45–50.

Описание технологии производства генераторного газа находится на электронном ресурсе:

<http://www.ecolog.ucoz.ru/publ/2-1-0-220>

[http://reenergy.by/index.php?option=com\\_content&task=view&id=89&Itemid=88888941#5](http://reenergy.by/index.php?option=com_content&task=view&id=89&Itemid=88888941#5)

*Биогаз – это метансодержащий газ, образующийся при ускоренном получении высококачественных органических удобрений.* Разработано много различных конструкций анаэробных микробиологических реакторов для сбраживания навоза. Содержание метана в биогазе достигает 70 %. Биогаз можно использовать в любых тепловых установках.

### 2.3.3. Особенности применения газообразных топлив

Газообразные топлива обладают некоторыми преимуществами перед бензинами и дизельными топливами. Газобаллонные автомобили значительно экономичнее, чем базовые модели, работающие на жидком топливе, главным образом за счет снижения расхода на моторное масло, увеличения межремонтного пробега двигателя и меньшей стоимости топлива.

Увеличение срока службы моторного масла в газовых двигателях достигается за счет отсутствия конденсации паров топлива на стенках цилиндра и в связи с этим отсутствия разжижения картерного масла. Поэтому срок службы масла при работе двигателя на газе увеличивается в 2–4 раза, а срок службы самого двигателя – почти в 2 раза.

В газовых двигателях не происходит смывание масляной пленки со стенок цилиндров и поршней, количество нагаров и различных отложений на стенках камеры сгорания и в поршневой группе невелико. Вследствие этого улучшаются условия работы двигателя, снижается износ деталей шатунно-поршневой группы.

Газообразные топлива обладают высокой детонационной стойкостью, вследствие чего их можно использовать в двигателях внутреннего сгорания с высокими степенями сжатия, а следовательно, и хорошими технико-экономическими показателями. Так, октановые числа, полученные исследовательским методом, составляют: у этана – 116,3; пропана – 111,6; бутана – 95,8 (см. табл. 2.8).

Существенное преимущество газообразного топлива – незначительное загрязнение окружающей среды токсичными компонентами.

При работе газового двигателя происходит более совершенное смесеобразование и более полное сгорание рабочей смеси, чем у бензиновых двигателей. В результате этого образуется весьма небольшое количество продуктов неполного сгорания, которые особенно вредны для здоровья людей. Так, продукты сгорания газового двигателя, работающего в режиме холостого хода, содержат в 5 раз меньше CO, чем продукты сгорания бензинового двигателя, работающего в том же режиме.

Недостаток газобаллонных автомобилей – усложненная система топливоподачи. Повышаются также пожарные требования к помещениям при техническом обслуживании и ремонте газобаллонных установок из-за возможных утечек газа.

Во всем мире парк автомобилей, работающих на нефтяном и сжиженном природном газе, постоянно растет. Сжиженный природный газ можно применять для производства экологически чистых бензина и дизельного топлива с низким содержанием ароматических углеводородов и твердых частиц. Однако это не всегда экономически оправдано.

Производные от природного газа, например, диметилэфир, – потенциальные топлива будущего. В некоторых западноевропейских странах налажено производство автомобилей, работающих как на жидком, так и на газообразном топливе. Выпускают также автомобили, использующие водород.

АвтоВАЗ на базе универсала ВАЗ-2111 создал машину на топливных элементах, использующую в качестве топлива водород. Эту машину назвали «Антэл-2». Она приводится в действие электродвигателями, которые получают энергию, высвобождающуюся в результате химической реакции взаимодействия водорода и кислорода. Таким образом, в окружающую среду попадает безвредная дистиллированная вода.

«Антэл-2» значительно отличается от первого образца: топливные элементы стали гораздо меньше и теперь не занимают весь багажник. Это стало возможно благодаря замене кислородных баллонов на компрессор, сжимающий воздух. Время заправки сократилось с 2 ч до 20 мин. Раньше водород закачивали в бак с помощью насоса, а теперь он подается под давлением 400 атм из специального резервуара.

КПД «Антэл-2» равен 60–65 %, что значительно превышает КПД двигателя внутреннего сгорания. Кроме того, водород (в отличие от нефти) является неисчерпаемым топливом.

Следует отметить, что в США, Великобритании, Германии и ряде других стран ведутся аналогичные работы по созданию транспортных средств на топливных элементах, работающих на водороде.

### 2.4. Токсичность отработавших газов двигателей

Работа автомобилей и тракторов сопровождается токсичным загрязнением окружающей среды, основной источник которого – выхлопные и картерные газы двигателей (табл. 2.12).

Таблица 2.12

Состав отработавших газов двигателей внутреннего сгорания

Компонент	Концентрация, % (по массе)		Характеристики токсичности
	Бензиновый двигатель	Дизель	
Азот	74–77	74–78	–
Кислород	0,3–8,0	2–18	–
Водяной пар	3,0–5,5	0,5–9,0	–
Диоксид углерода	5–12	1–12	Малотоксичен
Оксид углерода	0,5–12,0	0,005–0,4	Токсичен
Оксиды азота	0,0–0,8	0,004–0,5	Токсичен
Углеводороды	0,2–3,0	0,009–0,3	Токсичен
Альдегиды	0–0,04	0,01–1,1	Токсичен
Сажа (PM), г/м <sup>3</sup>	0–0,04	0,01–1,1	Токсичен
Бенз(а)пирен	0–20	0–1	Обладает канцерогенными свойствами

Токсичные выбросы отрицательно сказываются на здоровье людей и животных, вызывают повреждения растений, ускоряют коррозию металлов и разрушение строительных конструкций. Наибольший вред человеку, животному и растительному миру приносят оксиды азота и серы, сажа, альдегиды, оксид углерода, углеводороды, бенз(а)пирен, аммиак. Негативное влияние оказывают также запах и слезоточивое действие отработавших газов (ОГ). Токсичные продукты сгорания топлива накапливаются в почве, воде, растениях и на поверхностях сооружений. Находясь в воздухе, они частично превращаются в другие соединения, которые могут быть даже более токсичными, чем исходные продукты.

Парк автомобилей России в 2008 г. составил около 27 млн, а технический уровень их остался практически неизменным. Поэтому выброс в атмосферу вредных веществ составит примерно 25 млн т. Для ограничения вредного воздействия отработавших газов двигателей на среду обитания человека в странах Европы принято около 100 правил, связанных с проблемами экологии и безопасности (табл. 2.13). Особенно жесткие требования стандартов предъявляются к выбросам оксидов азота.

Таблица 2.13

Предельно допустимое содержание вредных веществ в отработавших газах автомобилей с дизельным двигателем в странах Европейского союза

Стандарт	Дата введения стандарта		Предельно допустимое содержание, г/(кВт·ч)			
	На новые модели	На все модели	оксидов азота	углеводородов	оксида углерода	твердых частиц
EURO 0	01.07.88	01.10.90	14,4	2,40	11,2	–
EURO 1	01.07.92	01.10.93	9,0	1,10	4,5	0,36
EURO 2	01.10.95	01.10.96	7,0	1,10	4,0	0,15
EURO 3	01.10.00	01.10.01	5,0	0,66	2,1	0
EURO 4:						
этап 1	01.10.05	01.10.06	3,5	0,46	1,5	0,02
этап 2	01.10.08	01.10.09	2,0	0,46	1,5	0,02

Общероссийские и белорусские нормы на содержание вредных веществ в отработавших газах значительно мягче, а обязательные для исполнения стандарты соблюдаются лишь частично. Отсутствуют современные газоанализаторы, что затрудняет экологический контроль над содержанием продуктов сгорания в отработавших газах двигателей.

Содержание токсичных веществ в отработавших газах эксплуатируемых в России автомобилей с карбюраторными двигателями не соответствует даже стандарту EURO 1. В нашей стране с 2004 г. введены стандарты EURO 1 и EURO 2.

## 2.5. Мероприятия по снижению выбросов вредных веществ

В последние годы в нашей стране, странах Евросоюза и всего мира были приняты постановления и законы, направленные на снижение выброса в атмосферу вредных веществ. Естественно, что при этом особое внимание должно быть обращено на автомобильный транспорт. В ответ на ужесточение норм на токсичность в США и Европе, автомобильная промышленность проводит новые разработки, направленные на снижение и полное предотвращение выброса вредных веществ с ОГ.

Данные департамента энергетики США о выбросах вредных веществ свидетельствуют о некотором снижении в период с 2000 по 2008 г. загрязнения воздуха автомобильным транспортом. Поставленные законодательными органами цели были достигнуты частично с запасом, и работы по снижению выбросов вредных веществ продолжаются. Однако исключением является ситуация с выбросом двуокиси углерода  $CO_2$  – основным газом, который, накапливаясь в атмосфере, вызывает парниковый эффект. Объем выбросов двуокиси углерода  $CO_2$  зависит непосредственно от расхода топлива автомобилем. Новые разработки позволили снизить расход топлива, но увеличение зарегистрированных автомобилей и продолжающаяся тенденция к увеличению мощности двигателей и массы автомобилей сводят к минимуму все последние достижения. Прирост выбросов  $CO_2$  в последнее время замедлился, и появилась тенденция к его будущему снижению.

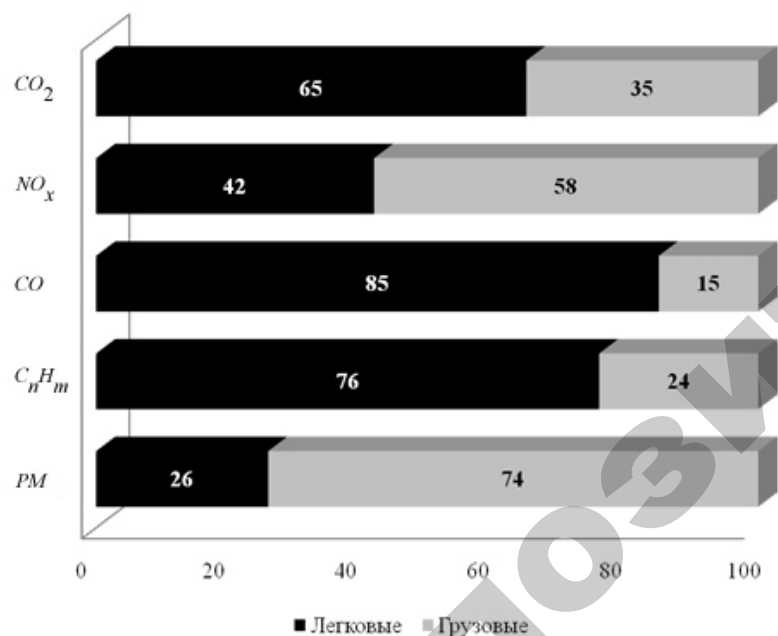


Рис. 2.17. Процентное распределение выбросов вредных веществ по видам автомобильного транспорта в 2008 г. в странах ЕС

При разработке перспективных конструкций автомобилей следует, помимо прочих факторов, учитывать, какая их группа ответственна за преимущественный выброс того или иного компонента ОГ. Несмотря на существенно меньший парк и суммарный пробег грузовых автомобилей на них приходится преимущественный выброс определенных компонентов ОГ. Ввиду применения мощных дизелей, на грузовые автомобили приходится больший объем выбросов оксидов азота  $NO_x$  и сажи  $PM$  (рис. 2.17).

В настоящее время недостаточно проводить частные разработки по снижению выброса отдельных компонентов ОГ и расхода топлива автомобиля. Автомобиль должен рассматриваться как одно целое, причем конструкции его компонентов должны быть взаимно согласованы. Исходя из этой технологии создания автомобиля как цельного объекта, выявлены три направления стратегического развития с целью снижения вредных выбросов, а именно:

- 1) снижение расхода топлива;
- 2) очистка отработавших газов;
- 3) диагностика агрегатов, от которых зависит состав ОГ.

Ниже рассмотрены мероприятия в соответствии с их принадлежностью к названным выше направлениям развития автомобильной техники.

#### *Снижение расхода топлива.*

##### 1. Аэродинамика.

Обтекаемые формы кузова автомобиля позволяют снизить его аэродинамическое сопротивление, обеспечивая тем самым снижение расхода топлива. За последние десятилетия коэффициент аэродинамического сопротивления легковых автомобилей был снижен с 0,45 до 0,30. Учитывая, что при скорости автомобиля 100 км/ч около 70 % затрачиваемой на его перемещение энергии приходится на преодоление сопротивления воздуха, это можно считать достижением.

##### 2. Снижение массы автомобиля.

Снижению собственной массы автомобиля противостоят нормы пассивной безопасности и мероприятия, направленные на увеличение комфорта. С учетом необходимости снижения расхода топлива, кузова большинства современных легковых автомобилей частично изготовлены из легких материалов (алюминия и магния).

##### 3. Оптимизация конструкций двигателя и трансмиссии.

Расход топлива автомобиля в значительной степени зависит от конструкции его двигателя и трансмиссии. Экономичный

рабочий процесс обеспечивается у современных двигателей в результате применения насос-форсунок и аккумуляторных систем впрыска у дизелей; непосредственного впрыска у бензиновых двигателей. Передаточные числа коробки передач должны быть согласованы с размерами и массой автомобиля. Помимо этого широко налажен выпуск 6-ступенчатых коробок передач. Это необходимо для обеспечения работы двигателя на наиболее экономичных режимах.

#### 4. Системы управления двигателем.

Современные системы управления двигателем воздействуют на все его регулируемые компоненты (исполнительные устройства). Это означает, что все сигналы датчиков (например, частота вращения коленчатого вала, расход воздуха, давление наддува) обрабатываются в электронном блоке управления двигателем, который вырабатывает соответствующие управляющие сигналы для исполнительных устройств (регулирующих, например, количество и момент впрыска топлива или угол опережения зажигания). В результате обеспечивается регулировка двигателя в соответствии с его нагрузкой и производится оптимизация процессов сгорания.

#### 5. Вентиляция топливного бака.

Чтобы предотвратить проникновение паров бензина (углеводородов  $\text{C}_n\text{H}_m$ ) в окружающую атмосферу, испарившийся в баке бензин направляется в адсорбер с активированным углем, а затем используется в процессе сгорания.

#### 6. Рециркуляция отработавших газов.

У современных двигателей рециркуляция ОГ применяется как для снижения насосных потерь, так и для оказания благоприятного воздействия отработавших газов на процесс сгорания на некоторых режимах движения автомобиля.

#### *Очистка отработавших газов.*

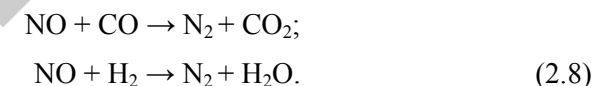
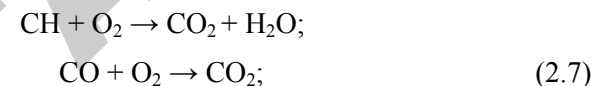
Наиболее актуальным в очистке ОГ для дизельных двигателей является удаление оксидов азота  $\text{NO}_x$  и частиц сажи.

Наиболее широкое применение в настоящее время получили несколько видов устройств, снижающих эмиссию  $\text{NO}_x$ . Их можно разделить на три основные группы.

1. Использование каталитических нейтрализаторов вредных веществ в отработавших газах. Они устанавливаются в выпускной системе дизеля (перед глушителем). Нейтрализация вредных веществ происходит под действием катализатора (палладий, родий,

платина). При этом оксиды азота восстанавливаются на безвредные азот и кислород. В большинстве случаев нейтрализаторы оказывают тройное действие (кроме восстановления  $\text{NO}_x$ , каталитическое вещество способствует доокислению  $\text{CO}$  и  $\text{CH}$ ).

Упрощенная схема реакций такая:



Недостатком такого способа снижения эмиссии является необходимость использования редкоземельных металлов. На долю каталитических нейтрализаторов приходится 35 % мирового потребления платины, 45 % палладия и 90 % родия.

2. Принцип действия системы SCR (Selective Catalytic Reduction, что можно перевести как «селективный каталитический преобразователь») заключается в химической реакции аммиака (или чаще – мочевины) с окисью азота выхлопных газов, в результате которой образуются безвредные азот и водяной пар.

Реагент, из-за своего синего цвета получивший название AdBlue, впрыскивается в выхлопную систему и смешивается с отработавшими газами.

Главный недостаток SCR – необходимость периодической заправки AdBlue. Бака на 10 л хватает среднетоннажному автомобилю на 400–500 км.

3. Наиболее эффективной для использования в тракторных дизелях является так называемая система EGR (Exhaust-Gas Recirculation) – рециркуляции отработавших газов (рис. 2.18).

Процесс рециркуляции представляет собой перепуск части (5–25 %) охлажденных отработавших газов (ОГ) мимо турбины во впускной коллектор (после компрессора). Смешивание охлажденных отработавших газов с впускаемым воздухом снижает содержание кислорода в горючей смеси. В результате этого снижается температура сгорания, которая, в свою очередь, снижает образование окислов азота уже во время процесса сгорания.



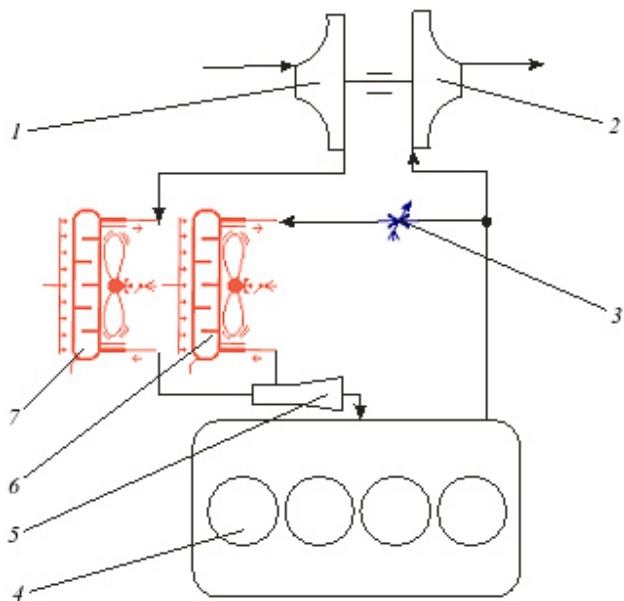


Рис. 2.18. Схема системы рециркуляции отработавших газов:

1 – компрессор; 2 – турбина; 3 – регулятор рециркуляции ОГ;  
4 – двигатель; 5 – сопло Вентури; 6 – охладитель рециркулирующих ОГ;  
7 – охладитель надувочного воздуха

Оптимальное значение доли рециркулирующего газа (степени рециркуляции) зависит от режима работы двигателя, поэтому в системе предусмотрен регулятор 3. Смешивание ОГ и сжатого компрессором 1 воздуха происходит в сопле Вентури 5. Иногда используются схемы отбора рециркулирующих ОГ после турбины 2 и смешивание их с воздухом перед компрессором 1.

Выбросы в атмосферу образовавшихся при сгорании топлива частиц сажи могут быть снижены проведением мероприятий по очистке отработавших газов после их выпуска из цилиндров двигателя. При этом имеют в виду прежде всего систему фильтрации, способную задерживать частицы сажи. Любая система фильтрации предусматривает смену фильтрующего элемента или его регенерацию (восстановление, очистку).

Различают два вида регенерации сажевых фильтров: с применением присадок к дизельному топливу и с применением каталитического покрытия фильтрующего элемента. Наиболее перспективным

является устройство и принцип действия сажевого фильтра с каталитическим покрытием, который описан ниже.

Сажевый фильтр с каталитическим покрытием обычно устанавливается после турбокомпрессора в непосредственной близости от двигателя.

В перспективных конструкциях применяется сажевый фильтр с каталитическим покрытием, который конструктивно объединен с нейтрализатором окислительного типа. Таким образом, имеющий общий корпус агрегат выполняет функции как фильтра, так и нейтрализатора (рис. 2.19).



Рис. 2.19. Внешний вид и размещение сажевого фильтра на автомобилях Volkswagen:

1 – турбокомпрессор; 2 – сажевый фильтр с каталитическим покрытием

Сажевый фильтр задерживает содержащиеся в ОГ частицы сажи. Функция нейтрализатора заключается в окислении углеводородов (СН) и оксида углерода (СО) до воды (Н<sub>2</sub>О) и диоксида углерода (СО<sub>2</sub>).

Матрица сажевого фильтра представляет собой ячеистую структуру из керамики на базе карбида кремния. Керамическая матрица заключена в металлический корпус. Она пронизана множеством

параллельно расположенных каналов малого сечения, закрытых попеременно с одной или другой стороны (рис. 2.20). Поэтому различают впускные и выпускные каналы, разделенные между собой фильтрующими стенками.

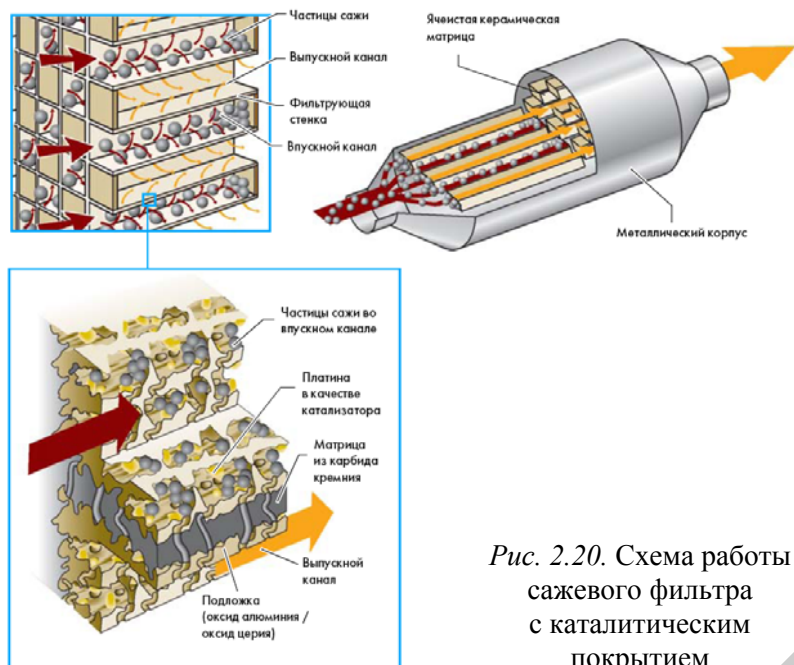


Рис. 2.20. Схема работы сажевого фильтра с каталитическим покрытием

Фильтрующие стенки состоят из пористого карбида кремния. Они покрыты смесью оксидов алюминия и церия, выполняющих функцию подложки для катализатора, в качестве которого используется благородный металл – платина.

*Катализатор – это вещество, которое способствует протеканию химической реакции, но само при этом не изменяется и новых соединений не образует.*

Поскольку каналы фильтра закрыты попеременно со стороны впуска и выпуска, газы, содержащие частицы сажи, вынуждены проходить через пористые стенки из карбида кремния. При этом частицы сажи задерживаются во впускных каналах, а газ свободно проходит через поры стенок каналов.

Чтобы предотвратить чрезмерное повышение сопротивления фильтра и снижение его работоспособности, необходимо время от времени освобождать его от сажи. В процессе регенерации накопленные в фильтре частицы сажи выжигаются (окисляются).

*Для бензиновых двигателей.* В настоящее время очистка отработавших газов бензиновых двигателей производится в каталитических нейтрализаторах, принцип действия которых подобен описанному выше. Регулирование каталитической очистки осуществляется блоком управления двигателем (рис. 2.21), который по сигналам датчика кислорода определяет его содержание в отработавших газах и поддерживает коэффициент избытка воздуха топливовоздушной смеси, поступающей в двигатель, равный единице.

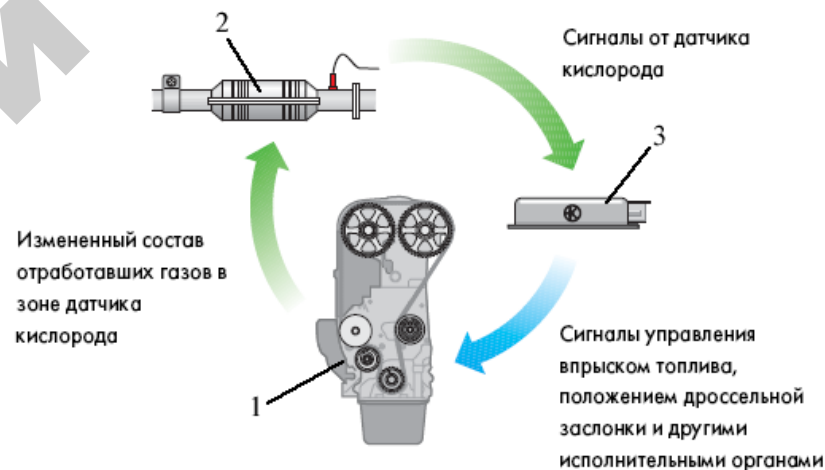


Рис. 2.21. Контур регулирования топливовоздушной смеси бензинового двигателя:

1 – двигатель; 2 – каталитический нейтрализатор; 3 – блок управления

Нейтрализатор начинает эффективно действовать только при температурах выше 250–300 °С, поэтому после холодного пуска двигателя необходимо определенное время для его разогрева. Чтобы ускорить начало очистки газов, в последнее время устанавливаются дополнительные нейтрализаторы в непосредственной близости от выпускного коллектора. Это мероприятие, а также небольшие

размеры дополнительных нейтрализаторов способствуют их быстрому разогреву. При каталитической очистке газов протекают одновременно две химические реакции:

- реакция восстановления (по уравнению (2.8)), в результате которой у некоторых компонентов газов отбирается кислород;
- реакция окисления, в результате которой другие компоненты газов окисляются (дожигаются по уравнению (2.7)).

*Диагностика агрегатов, от которых зависит состав ОГ.*

Диагностика всех агрегатов и систем автомобиля, от которых зависит состав ОГ, известна под названием On-Board-Diagnose (бортовая диагностика). Впервые она была внедрена в практику в Калифорнии в 1988 г. Европейский вариант этой диагностики называется Euro-On-Board-Diagnose. Законодательные органы требуют ее применения при сертификационных испытаниях новых моделей автомобилей с 2000 г. При неисправности агрегатов и систем, влияющих на состав ОГ, загорается контрольная лампа. Выявление неисправностей и получение дополнительной информации производится с помощью унифицированного диагностического прибора (сканера) или диагностической, измерительной и информационной системы, которые подключаются к сети автомобиля через специальную диагностическую колодку.

### **Контрольные вопросы и задания:**

1. Какие свойства бензина оценивают по фракционному составу?
2. Какова скорость распространения пламени при детонационном сгорании бензина в двигателе?
3. Что называется октановым числом бензина?
4. Как оценивают химическую стабильность и склонность к отложениям бензинов?
5. Назовите марки бензинов для легковых и грузовых автомобилей.
6. Каковы основные характеристики бензинов с улучшенными экологическими показателями?
7. Какие эксплуатационные требования предъявляют к дизельным топливам?
8. От каких свойств топлива зависит хорошее смесеобразование?
9. Что такое цетановое число (ЦЧ) дизельного топлива?
10. Расскажите о влиянии испаряемости дизельного топлива на работу двигателя.

11. Что служит причиной повышенной коррозии и износов деталей двигателя?

12. Как действуют депрессорные присадки?

13. Какими свойствами должно обладать экологически чистое дизельное топливо?

14. Какой состав и свойства имеют сжиженные газы?

15. Расскажите о сжатом природном и генераторном газе.

16. Как получают и используют биогаз?

17. Перечислите особенности применения газообразных топлив.

18. Назовите перспективные экологически чистые виды топлива.

### 3. ХИММОТОЛОГИЯ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

#### 3.1. Моторные масла и требования к ним

Общими тенденциями развития двигателестроения являются: увеличение соотношения мощности к объему двигателя (далее – литровая мощность), повышение экономичности и надежности, улучшение пусковых свойств, уменьшение массогабаритных показателей. Решение любой из этих проблем тесно связано с вопросами применения моторных масел. Для обеспечения надежной работы двигателей, применяемые в них масла должны обладать определенными эксплуатационными характеристиками:

- хорошими смазочными свойствами для обеспечения надежной смазки на всех режимах работы двигателя;
- оптимальными вязкостно-температурными свойствами (для обеспечения пуска холодного двигателя и нормальной работы при рабочих температурах);
- достаточной антиокислительной стабильностью, предотвращающей значительные изменения химического состава в процессе его работы;
- хорошими моюще-диспергирующими свойствами, предотвращающими образование лаков, сажи, нагаров на нагретых деталях двигателя;
- высокими противокоррозионными свойствами по отношению к конструкционным материалам, особенно цветным металлам и сплавам при рабочих температурах масла;
- устойчивостью к процессам испарения с целью обеспечения наименьшего его расхода;
- малой пенообразующей способностью и высокой физической стабильностью к выпадению присадок.

##### 3.1.1. Способы получения моторных масел

Смазочные, моторные и трансмиссионные масла получают из той части нефти, которая остается после отгонки топливных фракций. Эта часть нефти называется мазутом.

Если нагревать мазут при атмосферном давлении, то многие индивидуальные углеводороды начинают разлагаться при более низкой температуре, чем их температура кипения. При понижении давления понижается температура кипения, что позволяет выделить

нужные фракции. Процесс этот называется вакуумной разгонкой. Для его реализации сооружаются специальные установки, позволяющие из мазута получать различные по вязкости масла. Особенно четко удается произвести разгонку в установках с двукратным испарением, применяемым в современных нефтеперерабатывающих комплексах. Эти масла называют дистиллятными маслами. Их получение предусматривает перегонку или испарение с последующей конденсацией отдельных фракций жидкостей или их смесей (в данном случае нефти или отдельных ее фракций).

В результате вакуумной перегонки получают так называемые «базовые» дистиллятные масла, а оставшиеся продукты (полугудрон и гудрон) используют для получения остаточных масел. Характерной особенностью дистиллятных масел являются их хорошие вязкостно-температурные свойства и высокая термоокислительная стабильность. Но в этих маслах мало соединений, обладающих высокой маслянистостью, то есть прочностью масляной пленки.

Остаточные масла, наоборот, обладают высокой естественной маслянистостью, но плохими низкотемпературными и вязкостно-температурными свойствами. Высокая маслянистость остаточных масел связана с находящимися в них продуктами окислительной полимеризации (нефтяными смолами).

Существуют две схемы переработки мазута – топливная (для получения топлив) и масляная. При топливной получают только одну фракцию (350–500 °С), используемую обычно как базовый продукт для каталитического крекинга или гидрокрекинга. При масляной переработке – три фракции: легкие дистиллятные масла (выкипающие при 300–400 °С), средние дистиллятные масла (выкипающие при 400–450 °С) и тяжелые дистиллятные масла (выкипающие при 450–500 °С).

Для получения товарных марок масла подвергают сложным технологическим операциям. Для удаления нежелательных примесей масло очищают. Из него удаляют продукты окислительной полимеризации, органические кислоты, нестабильные углеводороды, серу и ее соединения. Для улучшения низкотемпературных свойств масла подвергают депарафинизации и деасфальтизации. Очищенные продукты при необходимости смешивают для получения нужного уровня вязкости. Дистиллятные масла используют для приготовления масел, от которых не требуется особо высокой естественной прочности масляной пленки; остаточные – для масел, высокая маслянистость которых имеет особое значение. Например, для дизельных масел обычно смешивают дистиллятные и остаточные масла в необходимой пропорции.

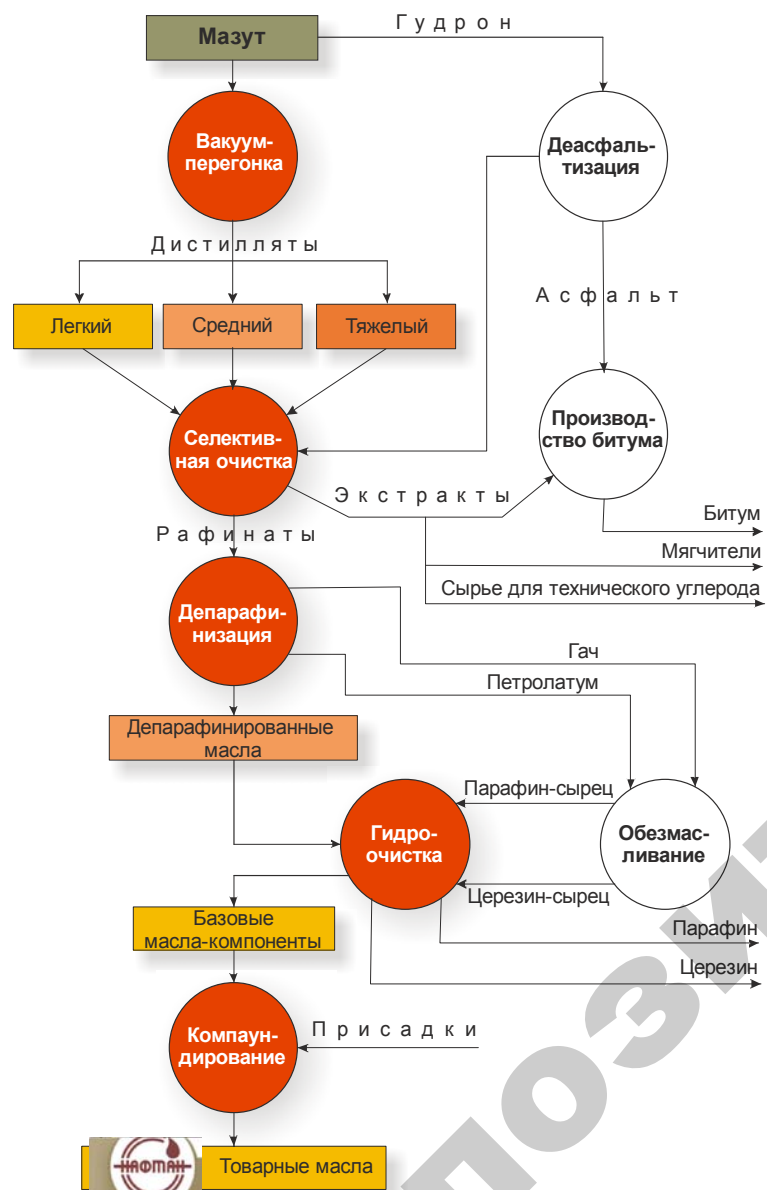


Рис. 3.1. Схема переработки мазута для получения минерального моторного масла

Для получения всесезонных масел или масел для северных и арктических районов используют в качестве базовых масел глубоко депарафинизированные дистиллятные масла малой вязкости.

Одна из схем переработки мазута для получения минерального моторного или трансмиссионного масла представлена на рис. 3.1.

Основную массу смазочных масел получают путем перегонки нефтяного мазута, однако для современных двигателей требуются масла более высокого качества с заранее заданными эксплуатационными свойствами. Такие масла называются синтетическими или полусинтетическими, их получают путем синтеза определенных групп углеводородов с введением ряда специализированных соединений.

Различают две группы синтетических масел. Одну составляют масла, обладающие устойчивостью к воздействию высоких температур, низкой температурой застывания и хорошими антикоррозионными свойствами. Вместе с тем, смазывающая способность у них по сравнению с нефтяными несколько хуже. Они называются полисилоксановые масла.

Другая группа синтетических масел – полиалкиленгликоли, продукт конденсации двухатомных спиртов. Эти масла не образуют отложений на нагретых деталях двигателя, обладают хорошими смазывающими качествами и вязкостными свойствами, а также низкой температурой замерзания. Применение таких масел ограничено их высокой стоимостью.

Основную массу смазочных масел получают путем перегонки нефтяного мазута, однако, для современных двигателей требуются масла более высокого качества с заранее заданными эксплуатационными свойствами. Такие масла называются синтетическими или полусинтетическими, их получают путем синтеза определенных групп углеводородов с введением ряда специализированных соединений.

### 3.1.2. Эксплуатационные свойства моторных масел

Моторное масло должно надежно и длительно выполнять свои функции, обеспечивая заданный ресурс двигателя. Основные функции моторного масла в двигателях – уменьшение трения между со-

прикасающимися поверхностями деталей; снижение износа трущихся поверхностей и предотвращение их заедания; охлаждение деталей; дополнительное уплотнение поршневых колец, снижающее прорыв газов из камеры сгорания в картер двигателя; защита деталей от коррозии и загрязнения углеродистыми отложениями.

К эксплуатационным свойствам моторных масел относят в первую очередь те, от которых зависят потери энергии на трение, износ трущихся поверхностей, образование отложений в двигателе, коррозия деталей и пуск двигателя при низкой температуре. Главными из них являются смазывающие и вязкостно-температурные свойства, термоокислительная стабильность, моющие, антиокислительные и антикоррозионные свойства.

*Смазывающие свойства.* Под этим названием объединено несколько свойств масел, влияющих на процессы трения и изнашивания трущихся поверхностей деталей в двигателях. Основные из них: антифрикционные – влияют на потери энергии при трении поверхностей; противоизносные – уменьшают износ трущихся поверхностей деталей при умеренных нагрузках; противозадирные – предохраняют трущиеся поверхности от задира в условиях высоких нагрузок. Главный показатель смазывающих свойств масла – вязкость.

*Вязкость – свойство жидкости оказывать сопротивление течению (перемещению одного слоя жидкости относительно другого) под действием внешней силы.* Препятствие перемещению слоев жидкости (внутреннее трение) создают силы молекулярного сцепления.

Вязкость определяют для жидких нефтепродуктов, напряжение сдвига которых пропорционально скорости деформации, то есть для ньютоновских жидкостей. Различают динамическую и кинематическую вязкости.

*Динамическая вязкость, или коэффициент динамической вязкости, – это отношение действующего касательного напряжения к градиенту скорости.* Динамическая вязкость служит мерой сопротивления жидкости течению. За единицу динамической вязкости в системе СИ принята вязкость такой жидкости, которая оказывает сопротивление в 1 Н взаимному перемещению двух слоев жидкости площадью 1 м<sup>2</sup>, находящихся один от другого на расстоянии 1 м и перемещающихся с относительной скоростью 1 м/с. Схема взаимного перемещения слоев жидкости показана на рис. 3.2.

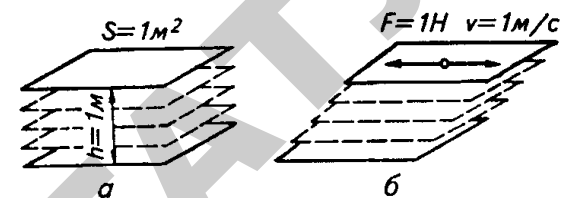


Рис. 3.2. Схема взаимного перемещения слоев жидкости:  
а – состояние покоя; б – начало движения

Единица динамической вязкости в системе СИ – паскаль-секунда (Па·с). На практике применяют меньшую единицу – мПа·с (или 10<sup>-3</sup> Па·с), а также сантипуаз (1 сП = 1 мПа·с). Динамическую вязкость  $\eta$  определяют как произведение кинематической вязкости  $\nu$  и ее плотности  $\rho$  при той же температуре:

$$\eta = \nu \rho. \quad (3.1)$$

*Кинематическая вязкость – это отношение динамической вязкости  $\eta$  жидкости к ее плотности  $\rho$  при той же температуре:*

$$\nu = \eta / \rho. \quad (3.2)$$

Единица кинематической вязкости в системе СИ – м<sup>2</sup>/с. На практике применяют меньшую единицу – мм<sup>2</sup>/с (или 10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с), а также сантистокс (1 сСт = 1 мм<sup>2</sup>/с).

Вязкость – основной параметр моторных масел, по которому их маркируют.

Кинематическую вязкость жидких нефтепродуктов определяют по ГОСТ 33–2000 (ИСО 3104–94). Установленный стандартом метод определения кинематической вязкости заключается в измерении времени истечения определенного объема жидкости под действием силы тяжести через калиброванный стеклянный капиллярный вискозиметр. Для вискозиметров используют стекла с малым коэффициентом температурного расширения.

Результаты определения кинематической вязкости применимы к ньютоновским жидкостям, для которых напряжение сдвига пропорционально скорости деформации, а вязкость не зависит от касательного напряжения и градиента скорости.

Капиллярные вискозиметры выпускают нескольких типов для различных диапазонов вязкости масла. На рис. 3.3 показан прибор для определения кинематической вязкости масла с вискозиметром Пинкевича. Прибор снабжен термометром, мешалкой, термостатом и электроподогревателем.

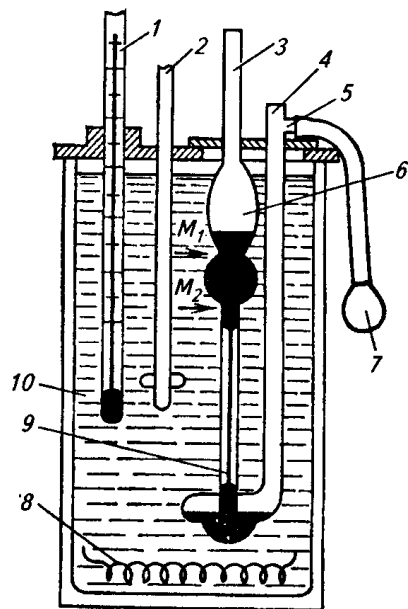


Рис. 3.3. Прибор для определения кинематической вязкости масла:  
1 – термометр; 2 – мешалка; 3, 4 – колена; 5 – отводная трубка; 6 – расширение;  
7 – резиновая груша; 8 – электронная нагревательная спираль; 9 – капилляр вискозиметра;  
10 – термостатирующая жидкость;  $M_1, M_2$  – метки

Вязкость определяют следующим образом. На отводную трубку 5 вискозиметра надевают резиновую трубку. Затем, зажав пальцем колено 4 и перевернув вискозиметр, погружают колено 3 в нефтепродукт и засасывают его до метки  $M_2$  при помощи резиновой груши. Когда уровень нефтепродукта достигнет метки  $M_2$ , вискозиметр вынимают и переворачивают. Снимают с конца колена 3 избыток нефтепродукта. Затем на этот конец надевают резиновую трубку и устанавливают вискозиметр в термостат так, чтобы расширение находилось ниже уровня термостатирующей жидкости. Засасывают нефтепродукт в колено 3 примерно на  $\frac{1}{3}$  высоты расширения 6.

Сообщив колено 3 с атмосферой, измеряют время перемещения мениска нефтепродукта от метки  $M_1$  до метки  $M_2$ .

Затем рассчитывают кинематическую вязкость ( $\text{мм}^2/\text{с}$ ) испытуемого нефтепродукта:

$$v = Ct, \quad (3.3)$$

где  $v$  – кинематическая вязкость,  $\text{мм}^2/\text{с}$  (сСт);

$C$  – калибровочная постоянная вискозиметра,  $\text{мм}^2/\text{с}^2$  (сСт/с);

$t$  – среднее арифметическое значение времени истечения, с.

Противоизносные свойства масла зависят от его химического состава и вязкостно-температурной характеристики, а также от качества присадок. Наличие в масле абразивных загрязнений существенно влияет на износ трущихся поверхностей. Трибологические характеристики масел – индекс задира, критическую нагрузку и показатель износа при постоянной нагрузке – определяют по ГОСТ 9490-75 на четырехшариковой машине трения (рис. 3.4). На шарик 1, закрепленный в шпинделе, который вращается с большой скоростью, действует вертикальная нагрузка. Износ шариков 2 и другие трибологические характеристики оценивают с помощью специальных приборов.

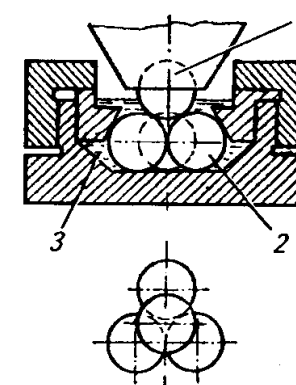


Рис. 3.4. Четырехшариковая машина трения:  
1 – верхний шарик; 2 – нижний шарик; 3 – масло

Самый достоверный метод оценки противоизносных и противозадирных свойств – испытание масла в реальных узлах трения двигателей. При испытании противоизносные и противозадирные



свойства масел оценивают по потере массы поршневых колец, задире или питтингу кулачков и толкателей, линейному износу этих деталей и цилиндров, состоянию поверхностей трения.

*Вязкостно-температурные свойства.* От вязкости моторного масла при рабочих температурах в двигателе зависят качество смазывания трущихся поверхностей деталей и их износ. Вязкость моторного масла, в свою очередь, зависит от температуры, с увеличением которой она понижается, а с уменьшением – повышается. Интенсивность изменения вязкости масла при изменении температуры у разных моторных масел различна. Крутизну вязкостно-температурной кривой оценивают по индексу вязкости.

Индекс вязкости характеризует степень изменения вязкости в зависимости от температуры масла, или пологость вязкостно-температурной кривой масла. Индекс вязкости масел определяют в условных единицах, сравнивая кривые вязкости испытуемого масла и двух эталонных масел, одно из которых имеет очень пологую кривую (его индекс вязкости принят за 100), а другое – крутую кривую (индекс вязкости принят за 0). Эталонные масла имеют одинаковую вязкость с испытуемым маслом при температуре 98,8 °С.

Чем выше индекс вязкости, тем лучше технико-эксплуатационные свойства моторных масел. Индекс вязкости находят по соответствующим формулам или номограмме. Сначала у испытуемого моторного масла определяют кинематическую вязкость при 40 и 100 °С. Затем с учетом этих значений по номограмме или формулам определяют индекс вязкости масла.

*Термоокислительная стабильность.* В процессе работы двигателя моторное масло претерпевает глубокие изменения, которые приводят к изменению физических и химических свойств. Результатом таких превращений является накопление в масле нейтральных продуктов в виде смолистых веществ, асфальтенов, карбенов и других соединений глубокого окисления, а также кислых веществ в виде органических кислот, оксикислот, эстеров и т. п. Продукты окисления масла способствуют лако- и нагарообразованию на деталях поршневой группы, что может приводить к закоксовыванию поршневых колец. Моторное масло должно обладать высокой термоокислительной стабильностью, то есть под действием высокой температуры не образовывать лаковых отложений на поверхностях поршневой группы двигателя.

Определение термоокислительной стабильности заключается в следующем. Моторное масло, находящееся на металлической

поверхности в виде тонкого слоя, нагревают, в результате чего его масса уменьшается за счет испарения легколетучих веществ. Остаток, полученный на металлической поверхности, делят на рабочую фракцию и лак.

На рис. 3.5 показано изменение моторной испаряемости, склонности к образованию лака и количества рабочей фракции моторного масла при постоянной температуре 250 °С в зависимости от времени нагревания на металлической поверхности. Как видно из рисунка, с увеличением времени нагрева увеличиваются моторная испаряемость и склонность к образованию лака и снижается количество рабочей фракции, то есть масла, выполняющего функцию смазочного материала.

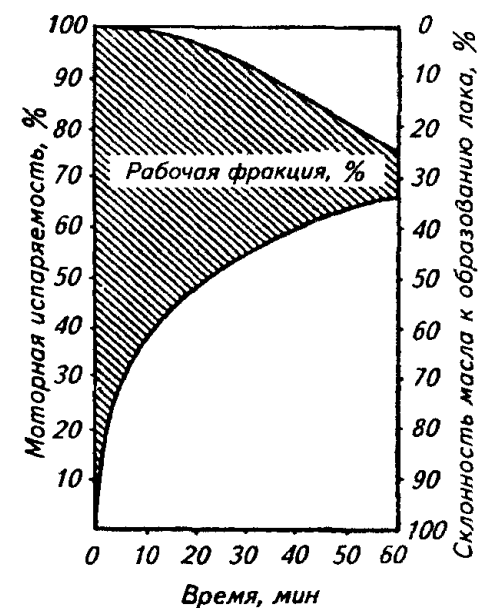


Рис. 3.5. Изменение моторной испаряемости, склонности к образованию лака и рабочей фракции моторного масла при постоянной температуре

*Термоокислительная стабильность моторного масла – это время (в минутах), в течение которого испытуемое масло при температуре 250 °С превращается в лаковый остаток, состоящий из 50 % рабочей фракции и 50 % лака.*



Метод определения термоокислительной стабильности на испарителях термостата-лакообразователя применяют для условной оценки склонности масел к образованию лаковых отложений на деталях двигателя (в зоне поршневых колец) и оценки эффективности действия присадок, уменьшающих лакообразование.

Лакообразователь для определения термоокислительной стабильности показан на рис. 3.6. Он состоит из электронагревательного элемента 1, пластины 2 и стального диска 4, который нагревается от элемента 1. Температуру диска контролируют с помощью термометра 6. Прибор оборудован подвижной стеклянной дверцей 7.

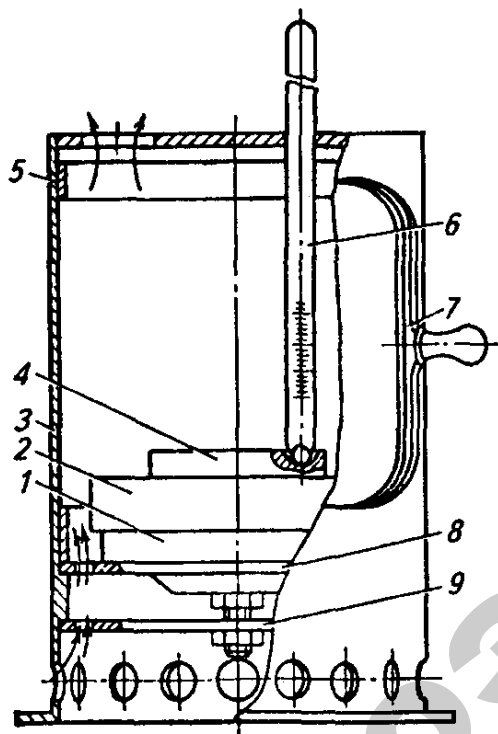


Рис. 3.6. Лакообразователь для определения термоокислительной стабильности:

1 – электронагревательный элемент; 2 – нагревательная пластина; 3 – металлический корпус; 4 – диск; 5, 9 – верхняя и нижняя крышки; 6 – термометр; 7 – подвижная стеклянная дверца; 8 – накладка

В лакообразователе устанавливают температуру 250 °С. На стальном диске размещают четыре испарительные стальные тарелочки, в каждой из которых находится по 0,035–0,04 г испытуемого масла. Когда масло в тарелочках окислится, что определяют по изменению цвета масляной пленки, с диска снимают одну тарелочку, а остальные – с интервалом 10 мин. После охлаждения тарелочки взвешивают, петролейным эфиром экстрагируют из остатка масла рабочую фракцию. Затем тарелочки снова взвешивают. Так определяют количественное содержание рабочей фракции и лака.

Испаряемость  $I_T^\tau$  (%) испытуемого масла при температуре  $T$  в течение времени  $\tau$ , рассчитывают по формуле:

$$I_T^\tau = \frac{(m_1 - (m_3 - m_2)) \cdot 100}{m_1}, \quad (3.4)$$

где  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  – масса навески соответственно масла, чистого испарителя до опыта и испарителя с остатком масла после испарения в лакообразователе, г.

Массовую долю рабочей фракции  $РФ_T^\tau$  (%) испытуемого масла при температуре  $T$  в течение времени  $\tau$  находят по выражению:

$$РФ_T^\tau = \frac{(m_3 - m_4) \cdot 100}{m_1}, \quad (3.5)$$

где  $m_4$  – масса испарителя с остатком лака после экстрагирования, г.

За испаряемость и рабочую фракцию испытуемого масла принимают среднее арифметическое двух испытаний. Расхождение между параллельно полученными результатами не должно превышать 10 % среднего значения.

Массовую долю лака  $Л_T^\tau$  (%) при температуре  $T$  течение времени  $\tau$ , вычисляют по формуле:

$$Л_T^\tau = \frac{(m_4 - m_2) \cdot 100}{m_1}. \quad (3.6)$$

По полученным данным строят график изменения во времени количественного содержания рабочей фракции и лака в испытуемом масле (рис. 3.7). Из точки  $a$  пересечения кривых опускают перпенди-

куляр на ось абсцисс и получают значение термоокислительной стабильности в минутах. Чем выше термоокислительная стабильность масла, тем медленнее его окисление в тонком слое при высокой температуре, выше качество масла и меньше опасность пригорания колец.

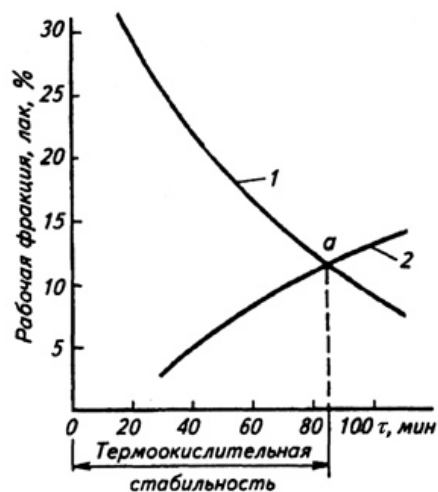


Рис. 3.7. Изменение во времени количественного содержания рабочей фракции (1) и лака (2) в испытуемом масле

**Моюще-диспергирующие свойства.** Они характеризуют способность масла уменьшать образование углеродистых отложений и осадков на деталях двигателя и поддерживать продукты загрязнения во взвешенном состоянии. Чем выше моюще-диспергирующие свойства моторных масел, тем больше продуктов загрязнения и окисления масла без выпадения в осадок удерживается в работающем масле, и тем меньше при работе двигателя внутреннего сгорания на поршнях образуется лаковых отложений, на других деталях — мажеобразных осадков серого или черного цвета. При введении в масло специальной присадки (моющей), склонность масла к образованию лака и других отложений резко снижается.

Даже после длительной работы детали двигателя оказываются совершенно чистыми, как будто их недавно вымыли. Отсюда и возникли термины «моющие присадки», «моющие свойства масел». Эти термины не совсем точны: масло, содержащее моющую присадку, не смывает лак с деталей, а предупреждает образование его на них.

Моющие свойства моторных масел определяют по интенсивности лакообразования на поверхности поршня на установке ПЗВ (рис. 3.8). Установка состоит из одноцилиндрового четырехтактного двигателя 2, электродвигателя 1 и пульта управления. Алюминиевый поршень снабжен двумя компрессионными и двумя маслосъемными кольцами. Необходимый температурный режим поддерживается электронагревательными элементами 3. Условия испытания следующие: в картер двигателя заливают 250 мл испытуемого масла; частота вращения коленчатого вала двигателя 2500 мин<sup>-1</sup>; температура головки цилиндра 300 °С, масла в картере — 125 °С и воздуха на выпуске — 220 °С. Продолжительность испытания — 2 ч.

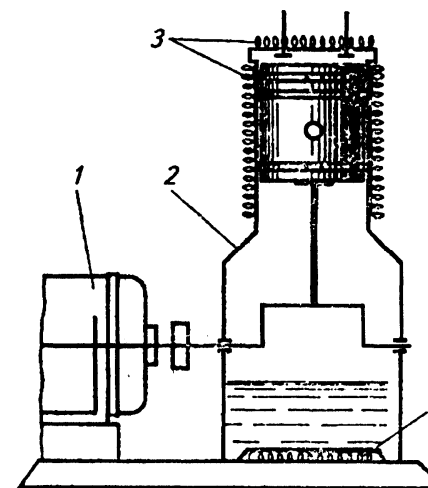


Рис. 3.8. Установка ПЗВ:

1 — электродвигатель; 2 — одноцилиндровый двигатель; 3 — электронагревательные элементы

После испытания прибор разбирают и по количеству лака на боковой поверхности поршня оценивают моющие свойства масла по семибалльной цветной шкале. Если поршень чист, масло получает балл 0, а если очень загрязнен лаком — балл 6.

Антиокислительные свойства характеризуют стойкость масла к окислению. Полностью предотвратить окисление масла из-за жестких условий эксплуатации невозможно. Процесс окисления мотор-

ного масла можно значительно затормозить введением эффективных антиокислительных присадок, очисткой базовых масел от нежелательных соединений, использованием синтетических базовых компонентов. При окислении масла происходит увеличение его вязкости и коррозионности, склонности к образованию отложений, сильному загрязнению фильтров, что приводит к затруднению холодного пуска и ухудшению прокачиваемости масла. В двигателе масло наиболее интенсивно окисляется в тонких слоях на поверхностях деталей, нагреваемых до высокой температуры и соприкасающихся с горячими газами. Значительное окисление масла происходит на поршнях, цилиндрах, поршневых кольцах, клапанах и т. д. Скорость и степень окисления моторного масла существенно увеличиваются под действием продуктов неполного сгорания топлива, прорывающихся в картер двигателя. Окисление масла ускоряют также частицы металлов, накапливающиеся в нем в результате изнашивания деталей двигателя, и металлоорганические соединения меди, железа и других металлов, образующиеся в результате коррозии деталей двигателя или взаимодействия этих частиц с органическими кислотами.

При длительной работе масла в двигателе в результате окисления наблюдается значительный рост вязкости, который происходит после полного срабатывания антиокислительной присадки. В стандартах на моторные масла их стойкость к окислению оценивают по индукционному периоду осадкообразования (окисление при 200 °С по ГОСТ 21063–77) или по увеличению их вязкости при работе в двигателе установки ИКМ (моторные испытания по ГОСТ 20457–75).

*Антикоррозионные свойства.* Эти свойства моторных масел зависят преимущественно от эффективности антикоррозионных и антиокислительных присадок, а также от состава базовых компонентов. В процессе работы масла в двигателе коррозионность возрастает. Наиболее сильно увеличивается коррозионность масел из малосернистых нефтей с высоким содержанием парафиновых углеводородов, которые в процессе окисления образуют агрессивные органические кислоты. Эти кислоты взаимодействуют с цветными металлами и их сплавами.

Антикоррозионные присадки защищают вкладыши подшипников и другие детали, выполненные из цветных металлов, образуя на их поверхности прочную защитную пленку.

Нейтрализующая способность – это важнейшее химическое свойство моторных масел, характеризуемое щелочным числом. Оно показывает, какое количество кислот, образующихся при окислении масла или попадающих в него из продуктов сгорания топлива, может нейтрализовать единица массы масла. Щелочное число масел обуславливается содержанием в них моющих и диспергирующих присадок, обладающих щелочными свойствами и препятствующих отложению смолисто-асфальтовых веществ, карбенов и карбонидов на деталях кривошипно-шатунного механизма и, особенно, на деталях цилиндропоршневой группы двигателей в виде лаков и нагаров.

Чем выше концентрация присадки в масле (щелочное число), тем меньше нагарообразование в двигателе. Однако концентрация присадки в масле во время работы двигателя постепенно снижается (срабатывается) и защитные свойства масла ухудшаются.

Щелочное число моторного масла определяют методом потенциометрического титрования по ГОСТ 11362–96 (ИСО 6619–88). За щелочное число принимают количество щелочи, выраженное в миллиграммах гидроксида калия (KOH) на 1 г образца, необходимое для потенциометрического титрования испытуемой массы в определенном растворителе от начального показания измерительного прибора до показания, соответствующего свежеприготовленному кислото-неводному буферному раствору.

*Температура вспышки и воспламенения.* При нагревании моторные масла испаряются. Пары масла, смешиваясь с воздухом, образуют взрывчатую смесь.

*Температура вспышки* – это минимальная температура, при которой пары нагретого в специальном приборе масла образуют с воздухом смесь, воспламеняющуюся от стороннего источника огня.

*Температура воспламенения* – это такая температура нагретого масла, при которой оно загорается само.

Температуры вспышки и воспламенения характеризуют огнеопасность нефтепродукта. По температуре вспышки можно оценить свойства углеводородов, входящих в состав масла, определить наличие в нем примесей топлива. В присутствии топлива значительно снижается температура вспышки масел: при попадании в масло 1 % бензина – с 200 до 170 °С, а при наличии в масле 6 % бензина – почти в 2 раза.

На температуру вспышки оказывают влияние давление и влажность воздуха: с повышением атмосферного давления температура

вспышки несколько увеличивается, а с ростом влажности воздуха – уменьшается.

Смесь паров масла с воздухом воспламеняется при определенной минимальной концентрации паров в воздухе, которая соответствует нижнему пределу взрываемости. На рис. 3.9 показан прибор для определения температуры вспышки в открытом тигле. Тигель 2 с испытуемым маслом помещают в тигель 3 с прокаленным песком, под который подводят газовую горелку 4 и нагревают масло. Над поверхностью масла периодически проводят пламенем зажигательного устройства. За температуру вспышки масла принимают температуру, при которой наблюдается пробегающее и быстро исчезающее синее пламя.

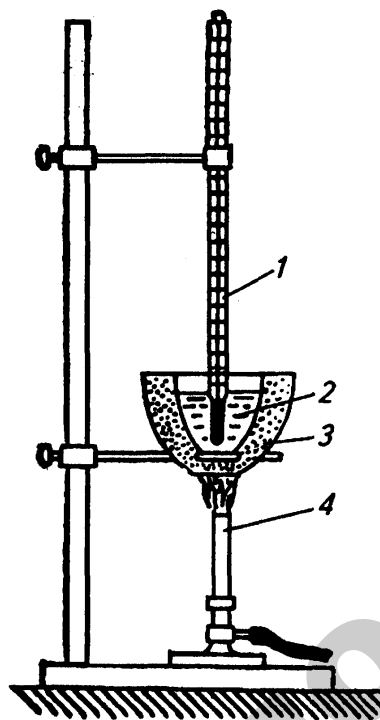


Рис. 3.9. Прибор для определения температуры вспышки в открытом тигле:

1 – термометр; 2 – тигель с испытуемым маслом;  
3 – тигель с прокаленным песком; 4 – газовая горелка

*Низкотемпературные свойства.* Эти свойства оценивают по температуре застывания и вязкости. Температурой застывания называется температура, при которой масло теряет подвижность (перестает течь под действием силы тяжести).

Требования к качеству моторных масел резко возросли в связи с постоянным совершенствованием конструкций двигателей и решением задач по улучшению их топливной экономичности (энергосбережения), снижению расхода и увеличению сроков замены масла (20–50 тыс. км у автомобилей). Большое значение придается экологическому фактору в связи с введением ужесточающих норм по выбросам вредных веществ с отработавшими газами, постепенным отказом от использования вредных компонентов, например, ароматических углеводородов.

Основные направления в обеспечении выполнения требований к качеству моторного масла: повышение термоокислительной стабильности, снижение низкотемпературной вязкости, улучшение показателей проворачивания и прокачиваемости при холодном пуске, создание долгорботающих и широкое использование энергосберегающих масел.

### 3.1.3. Присадки к маслам

Присадки добавляют к маслам для улучшения их качества. Наиболее важные из них вязкостные, моюще-диспергирующие, антиокислительные и депрессорные.

*Вязкостные (загущающие) присадки* добавляют в моторные масла для повышения их вязкости и индекса вязкости. Такие масла называют загущенными. Загущающие присадки (синонимичный термин – «модификаторы вязкости») в сочетании с присадками, улучшающими смазочные свойства моторных масел, позволяют создавать энергосберегающие масла.

В отличие от незагущенных масел, вязкость которых зависит, в основном, от температуры и давления, загущенные масла обладают еще способностью изменять свою вязкость в зависимости от напряжения и градиента скорости сдвига. Они проявляют временное падение вязкости с увеличением скорости сдвига. Такие жидкости называют «разжижаемые сдвигом». Примеры таких жидкостей: резиновый клей, густотертая краска, битум. Вязкость этих жидкостей называют «кажущаяся». Ее снижение при определенном градиенте скорости сдвига тем больше, чем ниже температура масла.

У загущенных масел также наблюдается перманентное снижение вязкости из-за механической и термохимической деструкции загущающих присадок. В качестве товарных вязкостных присадок чаще используют полиметакрилаты. К вязкостным присадкам относятся также сополимеры стирола с диеновыми углеводородами (изопреном или бутадиеном), сополимеры этилена с пропиленом и с высшими олефинами, эфиры одно- и многоосновных кислот.

Молекулы полиметакрилатов при низкой температуре, когда масло вязкое, находятся в скрученном состоянии и мало влияют на вязкость. С ростом температуры они раскручиваются и препятствуют понижению вязкости (рис. 3.10). Полимеры компенсируют значительную потерю вязкости самого масла при повышении температуры, таким образом, повышается индекс вязкости масла.

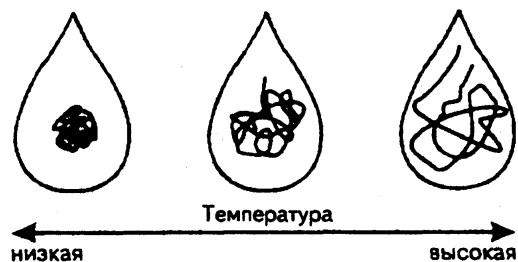


Рис. 3.10. Состояние молекулы вязкостной присадки в масле при различной его температуре

Присадки типа полиметакрилатов ПМА В-1, ПМА В-2, «Дизакрил» представляют собой масляные растворы эфиров метакрилатовой кислоты и масел синтетических жирных спиртов.

Вязкостные присадки КП-5, КП-10 и КП-20 являются продуктами полимеризации изобутилена. Средняя молекулярная масса присадок от 4 000 до 25 000. Их применяют в виде масляных растворов в трансформаторном или индустриальном масле.

Зависимости вязкости различных масел от температуры изображены на рис. 3.11. Как видно из рисунка, при понижении температуры вязкость моторного масла резко возрастает, а маловязкого минерального изменяется по пологой кривой. Добавляя в последнее вязкостные присадки, получают загущенное моторное масло, у которого вязкость при 100 °С увеличена за счет добавления присадки, а при 0 °С такая же, как у маловязкого незагущенного минерального масла.

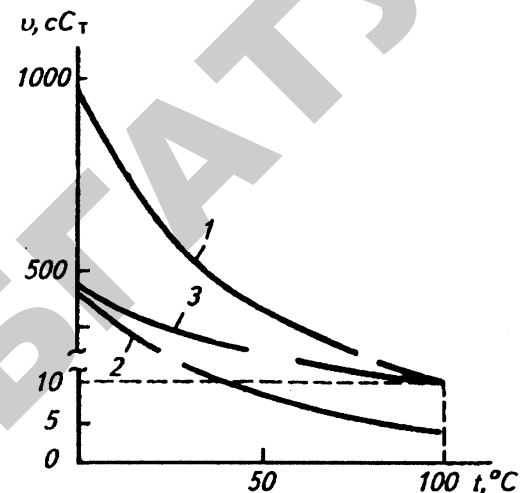


Рис. 3.11. Зависимости вязкости масел от температуры:  
1 – моторное; 2 – маловязкое минеральное;  
3 – загущенное моторное

Загущенные масла обладают высоким индексом вязкости, хорошей текучестью при низких температурах, способствуют легкому и быстрому пуску двигателя в холодное время года, образуют небольшое количество нагара, обеспечивают минимальные потери мощности на трение, что ведет к экономии топлива.

Моющие-диспергирующие присадки предназначены для предотвращения или уменьшения образования лаковых отложений и осадков на рабочих поверхностях, предупреждения пригорания поршневых колец, а также для поддержания продуктов окисления масла во взвешенном состоянии. Для этих целей в моторные масла вводят моющие (детергенты) и диспергирующие (диспергенты) присадки. Моющие-диспергирующие присадки условно делят на две группы: зольные и беззольные.

В молекуле зольных присадок содержатся полярные группы, которые адсорбируются на поверхностях частиц окисления масла, препятствуя их укрупнению и отложению на рабочих поверхностях. Таким образом, предотвращается образование отложений и лаков на деталях двигателя. Зольные моющие присадки повышенной щелочности нейтрализуют кислые продукты, которые образуются в результате окисления масла.

При производстве моторных масел применяют отечественные детергенты трех классов: алкилфеноляты, сульфанаты и алкилсалицилаты щелочно-земельных металлов. Эти присадки составляют преобладающую часть композиций присадок в моторных маслах, однако наметилась тенденция к их уменьшению в связи с ростом доли беззольных дисперсантов и антиокислительных присадок.

Алкилфенольные присадки широко применяют в моторных маслах. Кроме моющего действия, они могут обладать также антиокислительными и противоизносными свойствами.

Сульфатные присадки представляют собой соли кальция или магния, реже – соли натрия, бария и цинка. В зависимости от содержания активных металлов в сульфатных присадках их подразделяют на нейтральные, средне- и высокощелочные. В состав средне- и высокощелочных присадок входит дисперсия карбонатов и гидроксидов металлов, стабилизированная сульфанатом металла.

Алкилсалицилатные присадки имеют высокие моющие свойства, а также обладают антиокислительным, антикоррозионным и антифрикционным действием. Эти присадки вырабатывают в ограниченном объеме в связи со сложностью их получения. Алкилсалициловые присадки представляют собой соли алкилсалициловых кислот, которые получают алкилированием фенола альфаолефинами.

Беззольные диспергирующие присадки поддерживают во взвешенном состоянии твердые частицы, которые образуются при окислении моторного масла в двигателе. При их использовании снижаются нагарообразование и образование низкотемпературных отложений. К беззольным диспергирующим присадкам относятся сукцинимиды, алкенилированные полиамины, полиэферы и т. п.

*Антиокислительные присадки* представляют собой дитиофосфаты цинка и других металлов. Наиболее эффективны дитиофосфаты цинка, которые обладают способностью сорбироваться на поверхности металла с образованием адсорбционных слоев и тем самым снижать коэффициент трения. При высоких температурах и нагрузках он образует химически активные соединения, вступающие во взаимодействие с металлом с образованием модифицированных слоев, тем самым снижая износ и повышая нагрузку заедания. Дитиофосфат цинка взаимодействует с продуктами окисления, образуя устойчивые в масле при эксплуатации.

*Депрессорные присадки* служат для понижения температуры застывания масел, сохраняют их подвижность при пониженных температурах. Наличие в масле парафиновых углеводородов обуслов-

ливаает в первую очередь застывание масла. Подвижность масла теряется из-за образования кристаллической структуры парафиновых углеводородов. Чтобы понизить температуру застывания масел, в них вводят депрессорные присадки, которые модифицируют кристаллические структуры твердых углеводородов с сохранением подвижности масла.

Антипенные присадки служат для предупреждения образования пены или ускорения ее разрушения в масле. Действие этих присадок основано на снижении поверхностного натяжения на границе раздела жидкость–воздух. К антипенным присадкам относятся эфиры и соли жирных кислот, фосфорсодержащие соединения, фторированные углеводороды, силоксановые полимеры.

Модификаторы трения, или антифрикционные присадки, входят в состав энергосберегающих моторных масел. Модификаторы трения обеспечивают гарантированную экономию топлива за счет снижения затрат мощности на трение и соответственного повышения механического коэффициента полезного действия двигателя. Они наиболее эффективны в местах, где имеет место граничный режим смазывания, например, между компрессионными поршневыми кольцами и цилиндрами вблизи верхних мертвых точек.

В качестве антифрикционных присадок применяют тонкодиспергированные тетрафторэтилен, ацетаты и бораты металлов, а также растворимые в масле эфиры жирных кислот, органические соединения молибдена.

Механизм действия твердых модификаторов трения основан на адгезии частиц твердого смазочного материала на смазываемой поверхности. Во время работы на поверхностях деталей образуется сплошной слой, обладающий малым коэффициентом трения и предотвращающий контакт поверхностей. Твердые модификаторы образуют адсорбированный слой молекул на поверхностях сопряженных деталей. Особенность этого слоя состоит в том, что обращенные наружу длинные молекулы очень легко деформируются вдоль направления движения одной детали относительно другой.

*Композиции и пакеты присадок.* Возрастающие требования к качеству масел привели к необходимости создания композиций многофункциональных присадок, которые повышают различные эксплуатационные свойства масел.

При составлении композиций присадки не просто механически смешиваются, а химически взаимодействуют. Поэтому усиливаются старые или проявляются новые качества присадок.

Для упрощения хранения, транспортирования и облегчения смешивания базовых масел с присадками выпускают пакеты присадок, в состав которых не входят только вязкостные и депрессорные присадки. При необходимости их вводят в масло дополнительно. Изменяя дозирование пакета присадок, можно приготавливать масла с различным уровнем эксплуатационных свойств. Пакеты присадок обычно содержат до 15 компонентов. Их вводят в масло в концентрации до 12 % (мас. доля). В табл. 3.1 приведены характеристики некоторых пакетов.

Таблица 3.1

*Характеристики пакетов присадок*

Показатель	Пакеты присадок					
	СамОйл 7311 марки		СамОйл 7321	ВДС-941Н	К-47	К-48
	А	Б				
Кинематическая вязкость при температуре 100 °С, мм <sup>2</sup> /с, не более	80	80	80	30	25	200
Общее щелочное число, мг КОН/г присадки, не менее	75	55	130–170	70	200	108
Массовая доля активных элементов, %, не менее:						
кальция	2,5	2	4,30	3,1	7,2	3,2
цинка	1	1,1	1,05	0,6	2,5	2,6
фосфора	–	–	0,95	0,6	2,2	2,3
бора	–	–	–	–	0,012	0,012
Массовая доля, %, не более:						
механических примесей	0,08		0,1	0,1	0,1	0,1
воды	0,15		0,15	0,1	–	Следы
сульфатной золы	15	12	20	11–15	35	30
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	180	180	185	165	170	150

### 3.1.4. Классификация моторных масел

Моторные масла классифицируют по вязкости (ГОСТ 17479.1–85) и эксплуатационным свойствам (ГОСТ 17479.1–85).

По вязкости зимние сорта загущенных моторных масел делят на 4 класса (3<sub>з</sub>, 4<sub>з</sub>, 5<sub>з</sub>, 6<sub>з</sub>), летние сорта – на 8 классов (6, 8, 10, 12, 14, 16, 20, 24), а внесезонные загущенные – на 10 классов (от 3<sub>з</sub>/8 до 6<sub>з</sub>/16). Класс внесезонных масел изображают дробью, в числителе которой указывают кинематическую вязкость при –18 °С, а в знаменателе – при +100 °С (табл. 3.2) Например, 6<sub>з</sub>/14 означает, что вязкость масла при –18 °С равна 10 400 сСт, а при +100 °С находится в пределах 12,5–14,5 сСт. Буква «з» в индексе соответствует наличию вязкостной (загущающей) присадки.

Таблица 3.2

*Классификация моторных масел по вязкости*

Класс вязкости	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с (сСт), при температуре		
	+100 °С		–18 °С, не более
3 <sub>з</sub>	≥ 3,8		1250
4 <sub>з</sub>	≥ 4,1		2600
5 <sub>з</sub>	≥ 5,6		6000
6 <sub>з</sub>	≥ 5,6		10 400
6	Свыше 5,6 до 7,0 (включ.)		–
8	7,0	9,3	–
10	9,3	11,5	–
12	11,5	12,5	–
14	12,5	14,5	–
16	14,5	16,3	–
20	16,3	21,9	–
24	21,9	26,1	–
3 <sub>з</sub> /8	7,0	9,3	1250
4 <sub>з</sub> /6	5,6	7,0	2600
4 <sub>з</sub> /8	7,0	9,3	2600
4 <sub>з</sub> /10	9,3	11,5	2600
5 <sub>з</sub> /10	9,3	11,5	6000
5 <sub>з</sub> /12	11,5	12,5	6000
5 <sub>з</sub> /14	12,5	14,5	6000
6 <sub>з</sub> /10	9,3	11,5	10 400
6 <sub>з</sub> /14	12,5	14,5	10 400
6 <sub>з</sub> /16	14,5	6,3	10 400

Классификация моторных масел по эксплуатационным свойствам (ГОСТ 17479.1-85) распространяется на масла с присадками, используемые для смазывания двигателей внутреннего сгорания. В зависимости от области применения моторные масла делят на шесть групп: А, В, В<sub>1</sub>, Г, Д, Е (табл. 3.3). Масла группы Е отличаются повышенной диспергирующей способностью, лучшими противозносными свойствами.

Таблица 3.3

*Группы моторных масел по эксплуатационным свойствам*

Группа	Рекомендуемая область применения
А	Нефорсированные бензиновые двигатели и дизели
В <sub>1</sub>	Малофорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений и коррозии подшипников
В <sub>2</sub>	Малофорсированные дизели
В <sub>1</sub>	Среднефорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, способствующих окислению масла и образованию всех видов отложений
В <sub>2</sub>	Среднефорсированные дизели, предъявляющие повышенные требования к антикоррозионным, противозносным свойствам масел и склонности к образованию высокотемпературных отложений
Г <sub>1</sub>	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях, способствующих окислению масла, образованию всех видов отложений и коррозии
Г <sub>2</sub>	Высокофорсированные дизели без наддува или с умеренным наддувом, работающие в условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений
Д <sub>1</sub>	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в более тяжелых условиях, чем масла группы Г <sub>1</sub>
Д <sub>2</sub>	Высокофорсированные дизели с наддувом, работающие в тяжелых условиях или в условиях, когда топливо требует масел с высокой нейтрализующей способностью, антикоррозионными и противозносными свойствами, малой склонностью к образованию всех видов отложений
Е <sub>1</sub> , Е <sub>2</sub>	Высокофорсированные бензиновые двигатели и дизели, работающие в более тяжелых условиях, чем масла групп Д <sub>1</sub> и Д <sub>2</sub>

Масла, используемые в бензиновых двигателях, имеют индекс 1, а в дизельных – индекс 2. В марке масла М-10-Г<sub>2</sub> буква М означает моторное, число 10 – вязкость в сантистоксах при 100 °С, буква Г<sub>2</sub> – область применения масла (для высокофорсированных дизелей). В марке М-5<sub>3</sub>/12-Г<sub>1</sub> класс вязкости 5<sub>3</sub>/12 означает следующее: 5 – вязкость при –18 °С; буква в индексе – наличие загущающей (вязкостной) присадки, вследствие чего масло можно использовать все-сезонно; 12 – вязкость при 100 °С; Г<sub>1</sub> – область применения (для высокофорсированных бензиновых двигателей).

В марке М-8-В буква В означает универсальное масло для среднефорсированных дизельных и бензиновых двигателей. В марке М-4<sub>3</sub>/8-В<sub>2</sub>Г<sub>1</sub> буквы с индексами В<sub>2</sub>Г<sub>1</sub> указывают на возможность использования масла как в среднефорсированных дизельных (В<sub>2</sub>), так и в высокофорсированных бензиновых (Г<sub>1</sub>) двигателях. В марке М-4<sub>3</sub>/8-Д(т) буква (т) означает, что масло может быть использовано и как трансмиссионное.

### 3.1.5. Ассортимент моторных масел

Основные показатели моторных и универсальных масел для бензиновых двигателей и дизелей даны в приложении 3.

Загущенные масла М-5<sub>3</sub>/10-Г<sub>1</sub> и М-6<sub>3</sub>/12-Г<sub>1</sub> предназначены для высокофорсированных двигателей легковых автомобилей, масла М-8-Г<sub>2</sub> и М-10-Г<sub>2</sub> – для высокофорсированных тракторных, автомобильных и комбайновых двигателей. Масла М-8-Г<sub>2</sub>(к) и М-10-Г<sub>2</sub>(к) выпускают для автомобилей КамАЗ и зерноуборочных комбайнов (буква (к)). Масла М-8-Д<sub>2</sub>(м) и М-10-Д<sub>2</sub>(м) предназначены для высокофорсированных дизелей с наддувом, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях.

По ТУ 38.401-58-230–99 выпускают моторное масло М-12-Г<sub>2</sub>, предназначенное для смазывания быстроходных дизелей транспортных машин, а по ТУ 38.401.58-301–2001 – всесезонное моторное масло М-6<sub>3</sub>/14-ДМ для всех типов двигателей большегрузных автомобилей, автобусов, уборочных машин.

### 3.1.6. Синтетические масла

При производстве моторных масел используют базовые масла (жидкие смазочные материалы), к которым для получения товарных продуктов добавляют присадки. Применяют базовые масла



трех типов: минеральные, синтетические и частично синтетические. Минеральные масла получают в процессе переработки нефти, синтетические – путем химических реакций, направленных на образование однотипных молекул органических веществ с желательными свойствами. Частично синтетические (полусинтетические) состоят из смесей минеральных и синтетических базовых масел.

Поскольку минеральные масла не всегда могут удовлетворять требованиям быстро развивающейся техники, то все шире применяют синтетические масла. Главное преимущество синтетических масел перед минеральными в том, что их можно готовить с заранее заданными свойствами в зависимости от конкретных условий применения. Создавая композиции минеральных и синтетических масел с присадками или полностью синтетические масла, можно получить смазочные масла, отвечающие всем требованиям современной техники. Область их применения непрерывно расширяется. Так, в ФРГ и Франции доля синтетических масел превышает 30 %. Стоимость синтетических масел примерно в 5 раз выше минеральных, однако срок их службы больше, чем минеральных масел.

В состав синтетических масел входят следующие продукты:

1) полиальфаолефины – углеводородные соединения, не содержащие серы, фосфора или металлов. Температура застывания их ниже  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ , индекс вязкости превышает 140. Имеют хорошую термоокислительную стабильность;

2) сложные эфиры двух основных кислот, которые не содержат серы, фосфора, металлов и парафинов. Температура застывания их от  $-50$  до  $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Они имеют хорошую термоокислительную стабильность и высокую растворяющую способность, а также способны удалять отложения в двигателе, образованные другими маслами. Поэтому их называют «чисто работающие»;

3) алкилированные ароматические добавки, обладающие высокими термоокислительной стабильностью и индексом вязкости, не склонные к образованию отложений.

Преимущества моторных масел на синтетической основе по сравнению с минеральными:

- меньшая зависимость вязкости от температуры, то есть более высокий индекс вязкости;
- хорошие низкотемпературные свойства, низкая температура застывания и быстрое поступление масла к смазываемым деталям, то есть хорошая прокачиваемость;
- незначительная испаряемость при высокой температуре, невы-

сокий расход масла и малый выброс токсичных веществ с выпускными газами;

- высокая стойкость к окислению, термоокислительная стабильность и малая склонность к образованию отложений;
- надежное смазывание поверхностей трения при высоких нагрузках и температурах;
- большой срок службы масла и меньшие затраты на техническое обслуживание двигателя.

Недостатки синтетических масел – повышенная коррозионность в отношении сплавов цветных металлов и относительно высокая стоимость.

### 3.1.7. Зарубежные классификации моторных масел

Импортные масла имеют самые различные названия и буквенно-цифровые обозначения, и если масло соответствует жестким международным стандартам, то обычно указывают его классификацию по классу вязкости SAE (Общество инженеров-автомобилистов), по эксплуатационным свойствам API (Американский институт нефти) и ACEA (Ассоциация европейских производителей автомобилей).

Нефтеперерабатывающие заводы нашей страны применяют эти классификации при маркировке масел.

*Классификация моторных масел по вязкости SAE.* Эта классификация принята во многих странах.

Согласно этой классификации масла делят по вязкостным характеристикам на 11 классов, шесть из которых относятся к зимним (SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W и 25W), где буквенный показатель означает «Winter» – «зима». В масла зимних сортов добавлена загущающая присадка. Пять классов относятся к летним маслам (SAE 20, 30, 40, 50, 60).

*Общим признаком для моторных масел всех классов служит кинематическая вязкость при  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ .* Для зимних масел нормировано только минимальное значение кинематической вязкости, а для летних сортов – широкие пределы кинематической вязкости при  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  для каждого класса.

Всесезонным загущенным называют масло, которое по низкотемпературной динамической вязкости соответствует одному из зимних классов, а по кинематической вязкости при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и динамической вязкости при  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$  – одному из летних. В обозначении всесезонных

загущенных масел сначала указывают один из зимних классов, затем – один из летних. Например, SAE 5W-40, SAE 10W-30, SAE-40 и т. д.

В табл. 3.4 для летних классов моторных масел указаны минимальные значения динамической вязкости при температуре 150 °С и скорости сдвига  $10^6 \text{ с}^{-1}$ . Эти условия характерны для масляной пленки в коренных и шатунных подшипниках коленчатого вала и между цилиндром и поршневым кольцом у прогретого двигателя в летний период.

Таблица 3.4

*Классификация моторных масел по SAE J 300 APR 97*

Класс по SAE	Низкотемпературная вязкость		Высокотемпературная вязкость		
	Проворачивание	Прокачиваемость	Вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$ , при 100 °С		Вязкость, $\text{мПа}\cdot\text{с}$ , при 150 °С и скорости сдвига $10^6 \text{ с}^{-1}$ , не менее
	Максимальная вязкость, $\text{мПа}\cdot\text{с}$ , при °С	Максимальная вязкость, $\text{мПа}\cdot\text{с}$ , при °С	min	max	
0W	3250 при -30	60000 при -40	–	–	–
5W	3500 при -25	60000 при -35	3,8	–	–
10W	3500 при -20	60000 при -30	4,1	–	–
15W	3500 при -15	60000 при -25	5,6	–	–
20W	4500 при -10	60000 при -20	5,6	–	–
25W	3250 при -5	60000 при -15	9,3	–	–
20	–	–	5,6	< 9,3	2,6
30	–	–	9,3	< 12,5	2,9
40	–	–	12,5	< 16,3	2,9*
40	–	–	12,5	< 16,3	3,7**
50	–	–	16,3	< 21,9	3,7
60	–	–	21,9	< 26,1	3,7

\* Для классов SAE 0W-40, 5W-40, 10W-40.

\*\* Для классов SAE 40, 15W-40, 20W-40, 25W-40.

Для зимних классов установлены два значения максимально допустимой динамической вязкости, при которых возможен холодный пуск двигателя без предварительного подогрева (проворачивание) и удовлетворительная прокачиваемость моторного масла насосом по смазочной системе при проворачивании коленчатого вала двигателя электростартером.

Низкотемпературная вязкость моторного масла (проворачивание и прокачиваемость) в табл. 3.4 приведена в единицах измерения

динамической вязкости. Для определения этой вязкости используют ротационные вискозиметры, в которых показателем сопротивления потока жидкости служит момент сопротивления вращающегося вала. К ротационным вискозиметрам относятся имитатор холодного пуска и мини-ротационный вискозиметр. Скорость сдвига в них можно варьировать, меняя размеры ротора, зазор между стенками ротора и статора и скорость вращения. С помощью имитатора холодного пуска получают достоверные результаты, соответствующие холодному проворачиванию (прокручиванию) вала двигателя. Мини-ротационный вискозиметр обеспечивает малую скорость сдвига при измерении. Он измеряет критическое напряжение сдвига, при котором начинается течение жидкости. На этом вискозиметре определяют прокачиваемость масла.

С целью гарантирования прокачиваемости моторного масла при холодном пуске двигателя нормы максимальной динамической вязкости для зимних классов установлены на 5 °С ниже норм вязкости, гарантирующих проворачивание двигателя электростартером с достаточной для пуска частотой вращения. Таким образом, обеспечивается подача масла насосом при холодном пуске и достаточной скорости заполнения воронки, образующейся на поверхности масла в картере под маслосборником. Следует отметить, что между температурой застывания масла и предельной температурой холодного пуска двигателя нет однозначной зависимости.

Примерное соответствие классов вязкости по ГОСТ 17479.1–85 и по SAE приведено в табл. 3.5.

Таблица 3.5

*Соответствие классов вязкости моторных масел*

Класс вязкости		Класс вязкости		Класс вязкости	
ГОСТ 17479.1–85	SAE J 300 APR 97	ГОСТ 17479.1–85	SAE J 300 APR 97	ГОСТ 17479.1–85	SAE J 300 APR 97
3 <sub>з</sub>	5W	12	30	4 <sub>з</sub> / 10	10W30
4 <sub>з</sub>	10W	14	40	5 <sub>з</sub> / 10	15W30
5 <sub>з</sub>	15W	16	40	5 <sub>з</sub> / 12	15W30
6 <sub>з</sub>	20W	20	50	6 <sub>з</sub> / 10	20W30
6	20	3 <sub>з</sub> / 8	5W20	6 <sub>з</sub> / 12	20W30
8	20	4 <sub>з</sub> / 6	10W20	6 <sub>з</sub> / 14	20W40
10	30	4 <sub>з</sub> / 8	10W20	6 <sub>з</sub> / 16	20W40

У этих классов совпадают только характеристики по кинематической вязкости при 100 °С. Низкотемпературная характеристика согласно ГОСТ 17479.1–85 установлена при температуре –18 °С по кинематической вязкости, определяемой путем экстраполяции. Определение динамической вязкости при +150 °С и высокой скорости сдвига этим стандартом не предусмотрено.

Снижение вязкости (до SAE 10W или SAE 5W) обеспечивает экономию топлива в среднем на 1–2 %. Использование высококачественного синтетического моторного масла класса SAE 0W-40 позволяет снизить расход топлива на 6 % по сравнению со стандартным минеральным маслом.

*Классификация API.* По этой классификации установлены три эксплуатационные категории (ряда) назначения и качества моторных масел: S, C, EC.

Категория API S (service или spark) предназначена для бензиновых двигателей и состоит из классов качества моторных масел, расположенных в хронологическом порядке. Маслам каждого нового класса присваивают дополнительную букву алфавита: SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SJ и SL. Классы SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG признаны недействительными, как устаревшие. Однако в некоторых странах эти классы масел еще выпускают, и они встречаются на рынке. Масла устаревших в США классов категории API можно применять при эксплуатации техники, если они рекомендованы заводскими-изготовителями.

Масла категории S предназначены для бензиновых двигателей легковых автомобилей, микроавтобусов и грузовых автомобилей малой грузоподъемности. Определяющими показателями категории масел являются комплекс физико-химических и эксплуатационных показателей качества, тип и год выпуска двигателя, особенности режима работы двигателя.

Класс SF – масла для двигателей моделей 1988 г. выпуска и старше, работающих в тяжелых условиях. Они содержат более эффективные, чем масла предыдущих классов, антикоррозионные, антиокислительные, противоизносные присадки и обладают меньшей склонностью к образованию высоко- и низкотемпературных отложений.

Класс SG – масла для двигателей моделей 1993 г. выпуска и старше, работающих на неэтилированных бензинах. У этих масел более высокие термоокислительная стабильность и противоизносные свойства. Они обладают меньшей склонностью к обра-

зованию отложений и шлама. Ими заменяют масла предыдущих классов.

Класс SH – масла для двигателей выпуска 1994 г. и старше. Заменяют масла класса SG. Класс является условно действующим и может быть сертифицирован как дополнительный к категориям API C (API CF-4/SH).

Класс SJ – масла для двигателей, выпускаемых с 1997 г. Используются для всех бензиновых двигателей и полностью заменяют масла всех существовавших ранее классов для более старых моделей двигателей. Масла имеют высокий уровень эксплуатационных свойств.

Класс SL – это моторные масла нового поколения для бензиновых двигателей легковых автомобилей. От масел класса SJ отличаются лучшими антиокислительными, противоизносными, противопенными характеристиками, меньшей испаряемостью. Имеют стабильные энергосберегающие свойства и больший срок службы.

Категория API C (commercial или compression) предназначена для дизельных двигателей и состоит из классов качества и назначения масел, следующих в хронологическом порядке. Маслам каждого нового класса присваивают дополнительную букву алфавита: CA, CB, CC, CD, CD-II, CE; CF, CF-2, CF-4, CG-4, CH-4. Классы CA, CB, CC, CD, CD-II, CE признаны недействительными, как устаревшие.

Класс CC (устаревший) – введен для дизелей без наддува в 1961 г. Допускается применение для двигателей с умеренным наддувом и для бензиновых двигателей большой мощности. Масла содержат антикоррозионные присадки и присадки, предотвращающие образование высоко- и низкотемпературных отложений.

Класс CD (устаревший) – масла обладают антиокислительными свойствами, устойчивостью к загущению под влиянием накопления сажи и повышенной защитой клапанного механизма от износа.

Класс CD-II (устаревший) введен в 1987 г. Масла предназначены для двухтактных двигателей. Они эффективно предотвращают износ деталей двигателя и образование шлама.

Класс CE (устаревший) введен в 1987 г. Масла для высокофорсированных и мощных двигателей с турбонаддувом, работающих как при малой частоте вращения и больших нагрузках, так и при больших нагрузках и частоте вращения.

Класс CF введен в 1994 г. Масла для дизелей внедорожной техники, имеющих разделенную камеру сгорания и работающих на топливе с повышенным содержанием серы. Масла содержат

присадки, эффективно предотвращающие образование нагара на поршнях, износ и коррозию медных сплавов подшипников.

Класс CF-4 введен в 1990 г. Масла для высокофорсированных четырехтактных дизелей с турбонаддувом и без него, которые устанавливают на мощных тягачах, осуществляющих перевозки по автострадам. Обладают лучшими моющими свойствами и меньшим расходом на угар, чем масла класса CF. Отвечают повышенным требованиям по токсичности отработавших газов.

Класс CG-4 введен в 1995 г. Масла для высокофорсированных четырехтактных дизелей грузовых автомобилей магистрального типа, использующих топливо с массовым содержанием серы менее 0,05 % и внедорожных машин, в топливе которых содержится серы до 0,5 % по массе. Эффективно подавляют образование нагара на поршнях, пенообразование, окисление, износ, образование сажи. Удовлетворяют высоким требованиям стандартов по токсичности отработавших газов. Недостаток масел этого класса – относительно большая зависимость ресурса масла от качества применяемого топлива.

Класс CH-4 введен в 1998 г. Масла для высокоскоростных, четырехтактных дизелей. Удовлетворяют требованиям жесткого стандарта 1998 г. по токсичности отработавших газов. Соответствуют высоким требованиям американских и европейских производителей дизельных двигателей. Допускается применение масел этого класса в дизелях, работающих на топливе с массовым содержанием серы более 0,5 %. Масла содержат присадки, способствующие снижению износа клапанов и уменьшению образования нагара на деталях цилиндропоршневой группы.

Класс PC-9 (проект) разрабатывают в связи с новыми экологическими требованиями, которые сформулированы Американским агентством по охране окружающей среды. Для обеспечения этих требований необходимо создать систему рециркуляции отработавших газов. Для этого следует изменить конструкцию двигателей и придать новые эксплуатационные свойства моторным маслам. Одновременно предполагается повышение удельных мощностей двигателей.

Основные особенности работы масла в условиях рециркуляции выпускных газов и повышенной удельной мощности – повышение кислотности масла, образование сажи и в связи с этим увеличение вязкости масла, значительный износ деталей двигателя и более высокий температурный режим работы двигателя и масла.

Категория API EC – энергосберегающие маловязкие масла (energy conserving), уменьшающие расход топлива по результатам тестов на бензиновых двигателях.

Классы масел:

SH/EC (устаревший) – экономия бензина не менее 1,5 % по сравнению с эталонным маслом SAE 20W-30;

SH/EC II (устаревший) – экономия топлива не менее 2,7 % по сравнению с эталонным маслом SAE 20W-30;

API SJ/EC (действующий) – экономия в зависимости от вязкости тестируемого масла.

Универсальные масла для бензиновых и дизельных двигателей обозначаются двумя символами соответствующих категорий: первый символ является основным, а второй указывает на возможность применения масла для двигателя другого типа. Например, API SH/CF-4. Это масло предпочтительно использовать в бензиновых двигателях, но его можно применять и в дизельных двигателях, для которых предписывается класс CF-4 и ниже (CF, CE и т. д.).

*Знак API.* Для моторных масел, отвечающих требованиям действующих категорий качества и прошедших официальные испытания API – SAE, на этикетках ставят знак «API символ обслуживания». В этом знаке указаны вязкостные и эксплуатационные свойства масел и возможная степень энергосбережения (рис. 3.12).

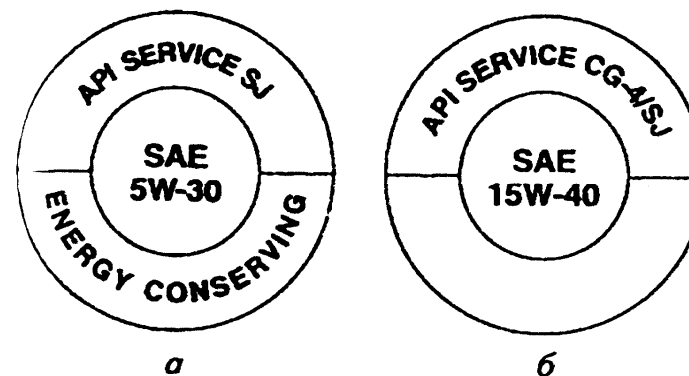


Рис. 3.12. Знак «API символ обслуживания»:  
а – для энергосберегающего масла высокого качества;  
б – для масла высокого качества

Новейшие категории масел, сертифицированных API, обозначают символом «Свидетельство сертификации API», так называемым знаком «Звездный взрыв» (рис. 3.13).



Рис. 3.13. API сертификационный знак «Звездный взрыв»

Эти масла должны удовлетворять требованиям ILSAC (Международный комитет по стандартизации и одобрению смазочных материалов). Знак присваивают только энергосберегающим маслам наивысшего качества с вязкостями SAE 0W-..., 5W-... и 10W.

Пример обозначения марки моторного масла по SAE и API: Castrol SAE 5W-30, API SJ/CF-4, EC. Первые слова в марке обычно указывают на название фирмы. Масло универсальное всесезонное. Низкотемпературная вязкость соответствует классу 5W (динамическая вязкость – проворачивание 6600 мПа·с при –30 °С, прокачиваемость 60 000 мПа·с при –35 °С). Высокотемпературная кинематическая вязкость соответствует классу 30 (min 9,3, max 12,5 мм<sup>2</sup>/с). Высокотемпературная динамическая вязкость при скорости сдвига 10<sup>6</sup> с<sup>-1</sup> не менее 2,9 мПа·с.

Масло предпочтительнее использовать в бензиновых двигателях легковых автомобилей (класс SJ), но можно применять и в дизельных двигателях легковых автомобилей (класс CF-4).

Оно обладает энергосберегающими свойствами (EC).

Примерное соответствие классов моторных масел по ГОСТ 17479.1–85 классам API приведено в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Примерное соответствие классов моторных масел по эксплуатационным свойствам

ГОСТ 17479.1–85	API ASTM D 4485	ГОСТ 17479.1–85	API ASTM D 4485
А	SB	Г <sub>2</sub>	CC
Б	SC/CA	Д <sub>1</sub>	SF
Б <sub>1</sub>	SC	Д <sub>2</sub>	CD
Б <sub>2</sub>	CA	Е <sub>1</sub>	SG
В	SD/CB	Е <sub>2</sub>	CF-4
В <sub>1</sub>	SD	–	SH*
В <sub>2</sub>	CB	–	SJ*
Г	SE/CC	–	CG-4*
Г <sub>1</sub>	SE	–	–

\* Эти классы API не имеют аналогов в ГОСТ.

Классификация моторных масел ACEA. Эта классификация действует с 1996 г., заменив классификацию CCMC (Комитет изготовителей автомобилей общего рынка). Требования европейских стандартов к качеству масел являются более жесткими, чем американские, из-за отличий в конструкциях двигателей и условий их эксплуатации. Производимые в Европе двигатели характеризуются более высокой степенью форсирования, максимальной частотой вращения коленчатого вала, меньшей массой и большей удельной мощностью. Транспортные средства с таким двигателем обладают высокими допустимыми скоростями передвижения, а городские режимы их более тяжелые.

В классификации ACEA предусмотрено три категории моторных масел: А – для бензиновых двигателей; В – для дизельных двигателей малой мощности, устанавливаемых на легковых и грузовых автомобилях малой грузоподъемности; Е – для мощных дизелей.

Каждая категория состоит из нескольких классов. Уровень качества и назначение масел каждого класса обозначают цифрами. Кроме того, указывают год утверждения класса. Например, ACEA A3-98, ACEA E5-99.

Классы категории А: А1-96, А1-98, А2-96, А3-96, А3-98. Классы категории В: В1-96, В1-98, В2-96, В2-98, В3-96, В3-98, В4-98. Классы категории Е: Е1-96, Е2-96, Е3-96, Е4-99, Е5-99.

Класс А1-98 – масла для двигателей легковых автомобилей, допускающих применение масел с небольшой высокотемпературной вязкостью (2,9–3,5 мПа·с) в условиях высоких скоростей сдвига, что существенно уменьшает расход топлива. Масла обладают достаточно высокими противозносными свойствами.

Класс А3-98 – универсальные масла с очень высокими эксплуатационными свойствами для мощных бензиновых двигателей. Допускаются удлиненные интервалы замены, круглогодичное использование и применение в тяжелых условиях эксплуатации.

Класс А5-01 (проект). Этот класс отвечает высшим требованиям к маслам для бензиновых двигателей современных и перспективных легковых автомобилей.

Класс В1-98 – масла для дизельных двигателей, допускающих применение масел с небольшой высокотемпературной вязкостью (2,9–3,5 мПа·с) при высоких скоростях сдвига, благодаря чему достигается большая экономия топлива. Масла имеют хорошие противозносные свойства.

Класс В2-98 – универсальные масла, допускаемые к применению в большинстве дизельных двигателей легковых автомобилей при нормальных интервалах замены масла. Не рекомендуются для высокофорсированных двигателей.

Класс В3-98 – масла с высокими эксплуатационными свойствами для высокофорсированных дизельных двигателей легковых автомобилей. Допускаются удлиненные интервалы замены, круглогодичное использование и применение в тяжелых условиях эксплуатации.

Класс В4-98 – универсальные масла для дизельных двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива легковых автомобилей и фургонов. Имеет высокие эксплуатационные свойства.

Класс Е4-99 – масла очень высокого качества для мощных и быстроходных дизелей Euro 1, Euro 2, Euro 3, имеющие увеличенные интервалы замены.

Класс Е5-99 – наиболее совершенные масла, не имеющие аналогов по качеству, для дизелей Euro 1, Euro 2, Euro 3. Масла имеют высокую стабильность, большой срок службы, обеспечивают чистоту двигателя и предотвращают износ деталей двигателя. Отвечают высоким требованиям европейских и американских производителей автомобилей.

В маркировке моторных масел указывают «одобрение» производителей автомобилей. Оно изображается фирменным знаком или

кодом и означает, что применение данного масла одобрено для использования на автомобилях этого завода-изготовителя. На таре с моторными маслами, как правило, указывают классификацию: SAE, API или ACEA.

Пример маркировки моторного масла: SAE 5W-50, API SJ/CF, ACEA А3-98/В3-98, VW 501.01/505.00, MB 229.1, BMW, Porsche. Вязкостно-температурные свойства обозначены SAE 5W-50 (всесезонное масло, сочетающее в себе свойства масел зимнего SAE 5W и летнего SAE 50 классов). Эксплуатационные свойства по классификации API и европейской ACEA. API SJ/CF означает, что масло предназначено для бензиновых двигателей (SJ), но может быть использовано и для дизелей (CF). ACEA А3-98; В3-98/А3-98 – масло высшего класса для бензиновых двигателей с наддувом и без него современных европейских автомобилей; В3-98 – масло высшего класса для дизелей с наддувом легковых современных европейских автомобилей.

В указанной марке одобрение производителей означает следующее:

VW – Volkswagen-Audi, 501.01 – всесезонное масло; 505.00 – для двигателей с турбонаддувом;

MB – Mercedes-Benz, 229.1 – масло для двигателей легковых автомобилей выпуска с 1997 г.; BMW, Porsche – названия фирм.

На канистре с полусинтетическими маслами обычно указывают Semi Synthetic, а с полностью синтетическими – Fully Synthetic.

### 3.1.8. Изменение качества моторных масел при эксплуатации двигателей

В связи с повышением мощности, изменением конструкции и усложнением эксплуатации современных двигателей условия работы масел стали более жесткими. Однако сроки замены масел непрерывно увеличиваются благодаря улучшению их качества. Так, преждевременная замена масел экономически нецелесообразна, поскольку увеличивается их расход, затраты на техническое обслуживание, на запасные части и т. д.; неоправданное увеличение сроков службы масел приводит к повышенному износу деталей двигателя, что снижает надежность двигателя и увеличивает отказы в его работе. Определение оптимальной периодичности замены масел

является трудоемкой длительной работой, имеет важное экономическое и техническое значение.

Периодическое добавление масла в процессе эксплуатации частично восстанавливает первоначальные свойства масел. Через определенное время масло подлежит полной замене. Периодичность замены масла зависит от его свойств, типа двигателя, его технического состояния и условий эксплуатации, технического состояния масляной системы, способа фильтрации, используемого топлива, профессиональности водителя и других факторов. Необходимость полной замены обусловлена потерей основных эксплуатационных качеств масла. Основная причина срабатываемости (старения) масла – окисляемость масла и срабатываемость присадок. Кроме того, происходит загрязнение масла твердыми продуктами его окисления, углеродистыми частичками, пылью, песком, попадающими в масло извне, металлическими частичками, образующимися в результате износа деталей двигателя, и продуктами коррозии металлов, несгоревшим топливом, сернистыми соединениями, содержащимися в отработавших газах, водой, образующейся при конденсации из отработавших газов и попадающей извне с воздухом, а также испарение легких фракций масла.

Загрязнение масла происходит в процессе его транспортировки, хранения и заправки. Количество механических примесей в масле может составлять 0,2 %. Примеси, попадающие извне и образующиеся в процессе эксплуатации масла, изменяют характер трения, засоряют масляные фильтры и каналы, увеличивают температурный режим работы деталей двигателя, вызывают их повышенный износ.

Загрязнение масла примесями вызывается повышением прорыва газов в масляный картер, а также продуктами неполного сгорания топлива. Повышенное содержание механических примесей в масле свидетельствует о плохом техническом состоянии системы фильтрации. В результате использования полнопоточной системы тонкой очистки моторного масла износ основных деталей двигателя снижается в два-три раза и значительно увеличивается срок службы моторного масла.

Современные двигатели характеризуются уменьшенным объемом масляной системы, вследствие чего увеличены производительность масляных насосов и кратность циркуляции масла. Последнее повышает насыщение масла воздухом, что, в свою очередь, ведет

к увеличению скорости окисления масла и повышению износов деталей двигателя.

Наряду с эксплуатацией на форсированных режимах, для многих автомобилей характерна работа двигателя с частыми остановками, продолжительной работой на холостом ходу. В городских условиях двигатели работают на частичных нагрузках около 80 % времени. При этом режиме двигатели работают на низкотемпературных режимах, особенно в зимний период времени. Например, в городских условиях при температуре окружающего воздуха  $-10...-15$  °С и поездке на расстояние до 20 км температура жидкости в системе охлаждения составляет около  $+50$  °С. При пониженных тепловых режимах работы двигателя увеличивается скорость образования низкотемпературных осадков, загрязнение масла вследствие неполного сгорания топлива и повышенной конденсации водяных паров. Длительная работа двигателя на пониженных режимах приводит к загрязнению поршней, колец и повышенному расходу масла вследствие увеличения его угара.

Относительный расход масла в зависимости от состояния маслоъемных колец и изношенности двигателя приблизительно следующий, %:

двигатель:	
новый, после обкатки	100
новый, с забитыми прорезями маслоъемных колец	460
изношенный	722
изношенный с забитыми прорезями маслоъемных колец	4400

На образование углеродистых и других отложений на деталях дизелей существенно влияют вид и состав топлива. Так, в отработавших газах дизелей содержится значительное количество сажи. Например, в двигателе типа ЯМЗ-238 количество сажи, попадающей в масло, за 200 ч работы может составлять от 60 до 600 г. Чем хуже техническое состояние двигателя, тем больше сажи содержится в отработавших газах и тем больше попадает ее в масло. Состав и количество отложений на деталях двигателя ведет к серьезным нарушениям в его работе и может служить причиной выхода из строя.

Влияние топлива на количество органических отложений в масле резко уменьшается при работе двигателя на газообразном топливе. Так, примесей в масле дизельных двигателей в 5 раз больше, чем в бензиновых, и в 10–20 раз больше, чем в масле дви-

Таблица 3.7

Браковочные показатели отработанных масел

Показатель	Значение показателей масла для двигателей	
	бензиновых	дизельных
Изменение вязкости, %:		
повышение	25	40
снижение	20	30
Содержание примесей, не растворимых в бензине, %, не более	1,0	3,0
Содержание воды, %, не более	0,3	0,3
Содержание топлива, %, не более	0,8	0,8
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	0,5–2,0*	1–3*
Снижение температуры вспышки, °С, не более	20	20

\* Большие значения для масел высших групп.

Для повседневного контроля качества работающего масла не годятся такие методы, как определение содержания продуктов износа и определение щелочности, хотя эти анализы являются наиболее обоснованными и достоверными для определения срабатываемости масел.

Сроки службы масел устанавливают, исходя из экономической и технической целесообразности. Длительность эксплуатации масел в двигателях, работающих на газообразном топливе, в 2 раза больше, чем в двигателях, работающих на жидком топливе. При работе двигателя на этилированном бензине срок службы моторного масла снижается почти в 2 раза по сравнению со сроком службы масла в двигателе, работающем на неэтилированном бензине.

Периодичность замены масла устанавливает завод-изготовитель, указывая ее в картах и таблицах смазок. Для увеличения срока службы масла при его замене необходима промывка смазочной системы.

Специалистами разработана саморегулирующая смазочная система двигателей, которая обеспечивает значительное продление сроков службы моторного масла и повышает их эффективность при эксплуатации. Система состоит из высокооборотных ( $n = 10\ 000\text{--}12\ 000\ \text{мин}^{-1}$ ) центробежных фильтров – суперцентрифуг и прибора, поддерживающего стабильность физико-химических свойств

гателей, работающих на газообразном топливе. По данным НАМИ, в масле двигателя, работающего на газообразном топливе, после 10 тыс. км пробега примесей значительно меньше, чем после 5 тыс. км пробега того же автомобиля, работающего на бензине; в масле грузового автомобиля, работающего на газообразном топливе, после 5 тыс. км пробега количество примесей составляет 0,07 %, после 10 тыс. км пробега – 0,11 %, а в масле грузового автомобиля, работающего на бензине, содержание примесей после 5 тыс. км пробега составляет 0,4 %.

Старение масла приводит к закоксуыванию поршневых колец, их пригоранию, потере подвижности; повышению температуры деталей цилиндропоршневой группы из-за ухудшения теплоотвода; заклиниванию клапанов в направляющих втулках; прогару клапанов; уменьшению проходного сечения впускного и выпускного трактов; загрязнению сеток маслоприемников насосов, фильтров, масляных каналов смазочной системы, дренажных отверстий в маслоъемных кольцах и поршне; изменению вязкости масла; повышению коррозионного износа деталей цилиндропоршневой группы; к абразивному износу деталей твердыми частичками примесей; коррозии подшипниковых сплавов и ржавлению железосодержащих деталей.

Фильтрующие элементы и вентиляция картера замедляют, но не предотвращают старение масел.

Периодичность замены масел устанавливают на основе тщательного изучения эксплуатационных свойств масел и их изменения в процессе эксплуатации. В современных автотракторных парках используют качественные новые масла. Однако принятая периодичность замены масел пока недостаточно обоснована, так как лишь частично учитывается опыт эксплуатации новой техники. Поэтому требуется корректировка сроков замены масел, устанавливаемых заводом-изготовителем, после достаточного накопления и изучения результатов эксплуатации.

Установление сроков замены масел по изменению их цвета пока невозможно. Например, масло чернеет через несколько десятков часов работы вследствие приработки присадок. Однако, несмотря на черный цвет, оно еще обладает высокими эксплуатационными показателями качества.

Некоторые из браковочных показателей отработанных масел указаны в табл. 3.7.



масел. Этот прибор вводит в масло новую порцию присадки по мере ее срабатывания. Саморегулирующая смазочная система – первый шаг к эксплуатации двигателей без замены моторного масла.

## 3.2. Трансмиссионные и промышленные масла

### 3.2.1. Эксплуатационные требования к трансмиссионным маслам

Общие требования к трансмиссионным маслам определяются конструктивными особенностями, назначением и условиями работы трансмиссии. К основным функциям трансмиссионного масла относят следующие: предохранение поверхностей трения агрегатов трансмиссии от износа, заедания, питтинга (точечное выкрошивание зубьев) и других повреждений, смягчение в них ударных нагрузок; снижение до минимума потерь энергии на трение; отвод теплоты из зоны контакта зубчатых передач; снижение шума и вибрации шестерен.

Трансмиссионные масла работают в условиях высоких контактных напряжений и скоростей. В цилиндрических, конических, червячных и спирально-конических передачах контактные напряжения составляют 1000–2500 МПа. Особенно тяжелые условия работы масла в гипоидных передачах: контактные напряжения – 3000 МПа и более. В таких условиях должна обеспечиваться особо прочная масляная пленка, в связи с чем в состав трансмиссионных гипоидных масел вводят «осерненные» растительные масла и серо-, фосфор- и хлорсодержащие присадки.

Масла должны обладать высокими противоизносными и противозадирными свойствами. Кроме предупреждения истирания, задира, возникновения усталостного выкрошивания трущихся поверхностей, трансмиссионные масла должны отвечать общим требованиям, предъявляемым к смазочным материалам. Поскольку под действием высоких давлений температура в зоне контакта зубьев резко повышается (иногда до 400 °С), то масла должны обладать также высокими антиокислительными и антикоррозионными свойствами. Трансмиссионные масла работают в широком диапазоне температур, поэтому у них должны быть обеспечены требуемые вязкостно-температурные свойства.

В процессе работы трансмиссионные масла окисляются и загрязняются, присадки в них срабатываются, вследствие чего масла необходимо заменять. Срок службы масла зависит от его марки, типа (марки) автомобиля (трактора и пр.), условий эксплуатации, качества масла, сезонности и т. п.

Высокие эксплуатационные свойства трансмиссионных масел обеспечиваются качественной основой, комплексом вводимых присадок, добавлением в некоторые марки растительных масел. Наиболее широко применяют загущенные масла.

### 3.2.2. Классификация трансмиссионных масел

Классификация трансмиссионных масел по вязкости и по эксплуатационным свойствам в нашей стране регламентирована ГОСТ 1749.2–85. В зависимости от значения кинематической вязкости при 100 °С трансмиссионные масла разделены на четыре класса: 9, 13, 18 и 24 (табл. 3.8).

Таблица 3.8

*Классификация трансмиссионных масел по вязкости (ГОСТ 1749.2-85)*

Класс вязкости	Кинематическая вязкость при температуре 100 °С, мм <sup>2</sup> /с (сСт)	Температура, °С, при которой динамическая вязкость не превышает 150 Па·с, не более
9	6,0–10,99	–35
12	11,0–13,99	–26
18	14,0–24,99	–18
34	25,0–41,00	–

В соответствии с классом вязкости ограничены допустимые пределы кинематической вязкости при 100 °С и отрицательная температура масла, при которой динамическая вязкость не превышает 150 Па·с. При этой вязкости масла еще обеспечивается надежная работа сборочных единиц трансмиссии.

По эксплуатационным свойствам и возможным областям применения масла для трансмиссий автомобилей, тракторов и другой мобильной наземной техники разделены на пять групп (табл. 3.9).

Таблица 3.9

Классификация трансмиссионных масел в зависимости от их эксплуатационных свойств

Группа	Состав масла	Рекомендуемая область применения
ТМ-1	Без присадок	Цилиндрические, конические и червячные передачи, работающие при контактных напряжениях 900–1600 МПа и температуре масла в объеме до 90 °С
ТМ-2	С противоизносными присадками	Те же, при контактных напряжениях до 2100 МПа и температуре масла в объеме 130 °С
ТМ-3	С противозадирными присадками умеренной эффективности	Цилиндрические, конические, спирально-конические и гипоидные передачи, работающие при контактных напряжениях до 2500 МПа и температуре масла в объеме до 150 °С
ТМ-4	С противозадирными присадками высокой эффективности	Цилиндрические, спирально-конические и гипоидные передачи, работающие при контактных напряжениях до 3000 МПа и температуре масла в объеме до 150 °С
ТМ-5	С противозадирными присадками высокой эффективности и многофункционального действия, а также универсальные масла	Гипоидные передачи, работающие с ударными нагрузками при контактных напряжениях выше 3000 МПа и температуре масла в объеме до 150 °С

Пример обозначения трансмиссионного масла: ТМ-4-9<sub>з</sub>, где ТМ – трансмиссионное масло; 4 – группа масел с противозадирными присадками высокой эффективности; 9 – класс вязкости; з – наличие загущающей присадки.

В табл. 3.10 дана классификация SAE J 306 трансмиссионных масел по вязкости.

Таблица 3.10

Классификация трансмиссионных масел по вязкости (SAE J 306)

Класс вязкости по SAE	Максимальная температура для вязкости 150 000 сПз, °С	Кинематическая вязкость при 100 °С, сСт	
		минимальная	максимальная
70W	–55	4,1	–
75W	–40	4,1	–
80W	–26	7	–
85W	–12	11	–
80	–	7	< 11
85	–	11	< 13,5
90	–	13,5	< 24
140	–	24	< 41
250	–	41	–

Вязкость масла следует выбирать с учетом максимальной и минимальной температур применения техники. Поэтому стандарт SAE распространяется только на значения вязкости трансмиссионного масла, измеряемые при высоких и низких температурах.

Масла классов вязкости SAE 70W–85W предназначены для эксплуатации в зимнее время; классов SAE 80–250 – в летнее время. Трансмиссионные масла, которые одновременно удовлетворяют высоко- и низкотемпературным требованиям, называют всесезонными. Их наиболее часто используют в технике. Например, масло для средней климатической зоны класса SAE 80W-90 удовлетворяет низкотемпературным требованиям для масла SAE 80W (то есть при температуре –26 °С динамическая вязкость масла не превышает 150 000 сПз) и высокотемпературным для масла SAE 90 (при 100 °С кинематическая вязкость находится в пределах 13,5–24 сСт).

По классификации API трансмиссионные масла делят на категории в зависимости от конструктивных особенностей трансмиссий, условий их эксплуатации и содержания присадок.

Примеры обозначения трансмиссионных масел по SAE и API:

1. Норси SAE 85W-90, API GL-5, где Норси – название фирмы, 85W – вязкость при низкой температуре, 90 – вязкость при 100 °С, GL – смазочный материал для передач, 5 – группа масла.

2. Teboil SAE 10W-30, API CD/SF, GL-4 – универсальное масло, применяется в двигателях (главным образом в дизелях), трансмиссиях и гидравлических системах.

В табл. 3.11 дана классификация API трансмиссионных масел по условиям эксплуатации и областям применения.

Таблица 3.11

*Категории трансмиссионных масел по классификации API*

Категория	Состав масла	Условия эксплуатации	Область применения
GL-1	Без присадок или с депрессорной и антипенной присадками	Относительно мягкие с невысокими нагрузками и скоростями скольжения	Механические коробки передач грузовых автомобилей и сельскохозяйственных машин
GL-2	То же, что и GL-1. Дополнительно может входить антифрикционная присадка	Умеренные по нагрузкам и скоростям скольжения	Червячные передачи транспортных средств; в качестве добавки к индустриальным трансмиссионным маслам
GL-3	Со слабоэффективной противозадирной присадкой	Умеренно жесткие со средними нагрузками и скоростями скольжения	Механические коробки передач грузовых автомобилей; спирально-конические передачи задних мостов
GL-4	С противозадирной присадкой средней эффективности. Обычно достаточно 50 % присадок масла GL-5	Тяжелые по нагрузкам и скоростям скольжения	Механические коробки передач легковых автомобилей; спирально-конические передачи задних мостов
GL-5	С высокоэффективными противозадирными и противоизносными присадками	Очень тяжелые по нагрузкам и скоростям скольжения, включая ударные нагрузки в гипоидной передаче при высокой скорости скольжения	Гипоидные передачи легковых и грузовых автомобилей

Окончание табл. 3.11

Категория	Состав масла	Условия эксплуатации	Область применения
MT-1	С высокоэффективными противозадирными и противоизносными присадками, а также с присадками, улучшающими термостабильность и совместимость с материалом уплотнений	Очень тяжелые в механических коробках передач без синхронизаторов	Механические коробки передач без синхронизаторов в грузовиках большой грузоподъемности и автобусах
PG-2	С высокоэффективными противозадирными и противоизносными присадками, а также с присадками, улучшающими термостабильность и совместимость с материалом уплотнений	Очень тяжелые	Спирально-конические и гипоидные передачи большегрузных автомобилей и автобусов

### 3.2.3. Ассортимент трансмиссионных масел

Нефтеперерабатывающая промышленность выпускает широкий ассортимент трансмиссионных масел (приложение 4) для автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин с различными передачами.

Отечественные производители выпускают новые марки трансмиссионных масел, обладающих высокими эксплуатационными свойствами и содержащих эффективные противоизносные и противозадирные присадки. Эти масла отвечают требованиям международных стандартов.

На отечественном рынке появилось большое количество трансмиссионных масел зарубежных производителей. Некоторые марки импортных трансмиссионных масел представлены в табл. 3.12.

Таблица 3.12

## Импортные марки трансмиссионных масел

Марка масла	Обозначение		Производитель
	по SAE	по API	
NESTE HYPOIDI LS	80W-90	GL-5	Fortum
NESTE HYPOIDI LF	80W-90	GL-5	– » –
NESTE GEAR EP	80W-90	GL-4	– » –
NESTE GEAR	80W-90	GL-1	– » –
Valvoline Syn Power TDL	75W-90	GL-5	Valvoline
Castrol SYNTRANS	75W-90	GL-4	Castrol
Castrol SMX	75W-90	GL-4	– » –
Castrol EP-90	90	GL-4	– » –
Castrol SAF-X	75W-140	GL-5	– » –
B. P. Energear HT	80W-90	GL-5	British Petroleum
B. P. Energear Hypo	80W-90	GL-5	– » –
ESSO GEAR OIL GX-D	85W-90	GL-5	ESSO
GETRIEBEOEL FE	75W-90	GL-4	– » –
ESSO GETRIEBE OEL GX	75W-90	GL-5	– » –
Mobilube 1 SHS	75W-90	GL-5	Mobil
Mobil ATF SHC	75W-90	GL-5	– » –

В России собственные спецификации на трансмиссионные масла имеет автомобилестроительный завод – АвтоВАЗ. Эти спецификации распространяются на масла трех групп:

TTM ВАЗ 1.97.716 – для всесезонной эксплуатации агрегатов трансмиссии автомобилей ВАЗ всех моделей, за исключением ВАЗ-2108 и ВАЗ-1111 («Ока»);

TTM ВАЗ 1.97.728 – для всесезонной эксплуатации коробок передач переднеприводных автомобилей ВАЗ-2108 и ВАЗ-1111;

TTM ВАЗ 1.97.729 – универсальное трансмиссионное масло для всесезонной эксплуатации агрегатов трансмиссии автомобилей ВАЗ всех моделей.

С целью унификации масел для тракторов НАТИ совместно с АООТ «Ярославнефтеоргсинтез» при участии фирмы «Шеврон С. А. Оронайт» создано единое всесезонное трансмиссионно-гидравлическое масло ТГМ. Масло имеет достаточный запас каче-

ства, что позволяет увеличить периодичность его замены в агрегатах трансмиссии и гидросистемах тракторов. Масло допущено к применению в отечественной и зарубежной тракторной технике.

НПП «Квалитет» разработал пакет присадок к трансмиссионным маслам: Т-43 – для масел класса GL-3; Т-44 – для масел класса GL-5.

Трансмиссионные масла заменяют при значительном изменении показателей их качества. Условия эксплуатации конкретной конструкции трансмиссии являются главным фактором, определяющим срок замены масла. Под условиями эксплуатации подразумевают нагруженность трансмиссии, температурный режим, интенсивность загрязнения масла пылью, водой и продуктами износа деталей. Кварцевая пыль резко снижает противоизносные свойства масла, которые невозможно компенсировать (улучшить) самыми эффективными присадками. При попадании в масло воды износ увеличивается в 2 раза.

Масло следует менять при повышении вязкости на 50 %. Необходимым условием длительной работы масла является надежная герметизация трансмиссии.

Среднестатистические интервалы замены отечественных масел составляют: для автоматических коробок передач легковых автомобилей, а также коробок передач и других агрегатов трансмиссий грузовых автомобилей – 30–50 тыс. км; для коробок передач и других агрегатов трансмиссий подвижной техники в тяжелых режимах работы – 15–30 тыс. км.

### 3.2.4. Индустриальные масла

Нефтеперерабатывающая промышленность производит большой ассортимент современных индустриальных масел с высокими эксплуатационными свойствами.

К индустриальным маслам относится большая группа масел, предназначенных для смазывания поверхностей трения металлообрабатывающих станков, электродвигателей, вентиляторов, насосов и другого промышленного оборудования при температурах до 50 °С. Кроме того, индустриальные масла используют в качестве рабочей жидкости в гидроусилителе руля автомобиля, гидросистемах сельскохозяйственных машин, станков и другого оборудования. Главный показатель, характеризующий эксплуатационные свойства индустриальных масел, – вязкость, нормируемая при 40 °С.

Основные эксплуатационные требования, предъявляемые к индустриальным маслам: отсутствие коррозионно-активных веществ, абразивных примесей и воды; вязкостно-температурная стабильность и низкая температура застывания. В зависимости от назначения индустриальные масла делят на четыре группы (ГОСТ 17479.4–87):

Л – легконагруженные сборочные единицы (шпиндели, подшипники и сопряженные с ними соединения);

Г – гидравлические системы;

Н – направляющие скольжения;

Т – тяжело нагруженные сборочные единицы (зубчатые передачи).

Обозначение по указанному стандарту соответствует классификации ИСО 6743/0-81, группы масел в которой соответственно обозначают буквами F, H, G и C.

По эксплуатационным свойствам индустриальные масла делят на подгруппы: А, В, С, Д, Е. В сельскохозяйственном производстве применяют масла подгруппы А. Это масла без присадок, предназначенные для машин и механизмов промышленного оборудования, условия работы которых не предъявляют особых требований к антикоррозионным и антиокислительным свойствам масел.

В зависимости от вязкости индустриальные масла делят на 18 классов.

Пример обозначения индустриального масла:

И-ЛГ-А-15 (И-12А), где И – индустриальное, ЛГ – для легконагруженных сборочных единиц и гидравлических систем, А – без присадок, 15 – класс вязкости, в скобках – общепринятое обозначение.

Области применения некоторых индустриальных масел следующие:

И-ЛГ-А-15 (И-12А) – в качестве рабочей жидкости в гидросистемах сельскохозяйственных машин, гидроусилителях руля автомобилей, в подшипниках маломощных электродвигателей, гидросистемах станков, шпинделях металлорежущих станков, работающих с частотой вращения до 10 000 мин<sup>-1</sup>;

И-Г-А-32 (И-20А) – гидросистемы строительных, дорожных и других машин, подшипники вентиляторов, насосов, шпиндели сверлильных станков (до 1500 мин<sup>-1</sup>);

И-Г-А-46 (И-30А) – гидросистемы тяжелых станков, подшипники насосов и вентиляторов, товарные, фрезерные станки (до 1000 мин<sup>-1</sup>);

И-Г-А-68 (И-40А) – гидросистемы тяжелого оборудования и крупных станков, тяжелонагруженные малоскоростные механизмы.

В табл. 3.13 даны характеристики индустриальных масел общего назначения без присадок (ГОСТ 20799–88).

Таблица 3.13

*Характеристики индустриальных масел общего назначения*

Показатель	Марка масла				
	И-Л-А-10 (И-8А)	И-ЛГ-А-15 (И-12А)	И-Г-А-32 (И-20А)	И-Г-А-46 (И-30А)	И-Г-А-68 (И-40А)
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	880	880	890	890	900
Кинематическая вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	9–11	13–17	29–35	41–51	61–75
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,02	0,02	0,03	0,05	0,05
Температура, °С: вспышки в открытом тигле, не ниже застывания, не выше	150 –15	165 –30	200 –15	210 –15	220 –15
Цвет, ед. ЦНТ, не более	1,5	2,5	2,0	2,5	3,0
Стабильность против окисления: приращение кислотного числа, мг КОН/г, не более	0,2	0,2	0,3	0,4	0,4
приращение смол, %, не более	1,5	1,5	2,0	3,0	3,0

*Примечание.* Во всех маслах нормировано: содержание воды – следы; механических примесей, селективных растворителей – отсутствие; зольность – не более 0,005 %; массовая доля серы в маслах из сернистых нефтей – 1,0–1,1 %.

### 3.2.5. Компрессорные масла

В зависимости от предъявляемых требований и областей применения компрессорные масла подразделяют на три класса: для поршневых и ротационных компрессоров, для турбокомпрессорных машин, для компрессоров холодильных машин.

В поршневых и ротационных компрессорах масло непосредственно контактирует со сжатым газом, имеющим высокую температуру. Эксплуатационные требования к компрессорному маслу в значительной степени определяются составом и свойством газа.

В соответствии с существующими нормами, температура воздуха после каждой ступени сжатия воздушных компрессоров должна быть не более 170 °С для общепромышленных компрессоров и не выше 180 °С – для компрессоров технологического назначения. Поэтому основные эксплуатационные требования, предъявляемые к компрессорным маслам, – их высокая термоокислительная стабильность и способность предотвращать коксообразование в нагнетательной линии компрессора. Образование этих твердых продуктов распада и уплотнение масла служат причиной пожаров в компрессорах.

Вязкость является основной характеристикой компрессорных масел. От вязкости зависят износ трущихся поверхностей деталей, потеря энергии на трение, уплотнение поршневых колец, длительность пуска компрессора, температура поверхностей трения.

Образование коксовых отложений зависит как от термоокислительной стабильности, так и от вязкости масла. Маловязкое масло быстрее перемещается по нагнетательному тракту компрессора, благодаря чему в системе нагнетания меньше образуется отложений. Согласно правилам Международной ассоциации по стандартизации (ИСО) коксовые отложения следует своевременно удалять. Толщина слоя коксовых отложений между чистками нагнетательной системы должна быть не более 3 мм при давлении менее 1 МПа, 2 мм – при 2–3 МПа и 1 мм – при 3–5 МПа.

Компрессорные масла подразделяют на четыре группы:

1 – для компрессоров, работающих при умеренных режимах сжатия газа и температуре нагнетания ниже 160 °С;

2 – то же, при температуре нагнетания ниже 180 °С;

3 – для компрессоров, работающих в тяжелых условиях при температуре нагнетания выше 200 °С;

4 – для компрессоров высокого давления, работающих в особо тяжелых условиях при температуре нагнетания выше 200 °С.

Пример обозначения марки компрессорного масла: К-19, где К – компрессорное масло, 19 – кинематическая вязкость при 100 °С. Относится к первой группе. Группу масла указывают цифрой после буквы К, за исключением первой группы.

В табл. 3.14 представлены основные показатели масел для воздушных компрессоров.

Таблица 3.14

*Характеристики масел  
для поршневых и ротационных компрессоров*

Показатель	Масла без присадок		Масла с присадками	
	К-19	КС-19	КЗ-10	КЗ-10Н
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при температуре, °С:				
100	17–21	18–22	8,8–10,5	9–13
40	–	–	73,7–96,2	76–130
Индекс вязкости, не менее	–	92	90	90
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,04	0,02	0,2	0,2
Температура, °С:				
вспышки в открытом тигле, не ниже	245	260	205	205
застывания, не выше	–5	–15	–10	–30
Содержание, % (мас. доля), не более:				
водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие		–	–
механических примесей	0,07	Отсутствие	Отсутствие	
воды	Отсутствие		Следы	
серы	0,3	1,0	0,65	0,65
селективных растворителей	–	Отсутствие	–	–
Коксуемость, %, не более	0,5	0,5	0,2	0,2
Зольность, % не более	0,01	0,005	0,005	0,005

Окончание табл. 3.14

Показатель	Масла без присадок		Масла с присадками	
	К-19	КС-19	КЗ-10	КЗ-10Н
Стабильность против окисления, не более: осадок, % (мас. доля)	0,015	Отсутствие	–	–
увеличение коксуемости, %	–	–	1,5	1,5
потери от испарения, %	–	–	15	15
Коррозия:	Выдерживает	–	Выдерживает	
на пластинках из стали				
на пластинках из свинца, г/см <sup>2</sup> , не более	–	10	–	–
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	–	905	900	900

Масло К-19 без присадок получают из малосернистых нефтей путем селективной очистки. Служит для смазывания поршневых компрессоров среднего и высокого давления, где требуются масла с низким содержанием серы.

Масло КС-19 без присадок вырабатывают из сернистых парафинистых нефтей методом селективной очистки. Применяют для поршневых компрессоров среднего и высокого давления.

Масло КС-19п содержит антиокислительную присадку «Ионол». Получают из сернистых парафинистых нефтей методом селективной очистки. Служит для смазывания поршневых компрессоров среднего и высокого давления.

Масло КЗ-10 содержит присадки, уменьшающие образование коксовых отложений в нагнетательной линии компрессора, а также повышающие антиокислительные, антикоррозионные, смазывающие и антипенные свойства масла. Предназначено для смазывания поршневых и ротационных компрессоров с температурой нагнетания до 200 °С.

Масло КЗ-10Н получают по той же технологии, что и масло КЗ-10, дополнительно вводя депрессорную присадку с целью понижения температуры застывания масла. Обладает хорошими пусковыми

свойствами при низких температурах окружающего воздуха. Предназначено для смазывания поршневых и ротационных компрессоров с температурой нагнетания до 200 °С.

*Специальные масла для компрессоров холодильных машин.* В промышленности и сельском хозяйстве широко применяют различные холодильные установки, для компрессоров которых выпускают специальные масла. В табл. 3.15 даны основные показатели масел для компрессоров холодильных машин (ГОСТ 5546–86).

Таблица 3.15

Характеристики масел для компрессоров холодильных машин

Показатель	Марка масла			
	ХА-30	ХФ12-16	ХФ22-24	ХФ22С-16
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при температуре, °С:				
+20	< 150	> 17	–	–
+50	28–32	> 16	24,5–28,4	> 16
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,05	0,02	0,04	0,35
Температура, °С:				
вспышки в открытом тигле, не ниже	185	174	130	225
застывания, не выше	–38	–42	–55	–58
Зольность, %, не более	0,004	–	–	–
Стабильность против окисления, не более:				
осадок, % (мас. доля)	0,02	0,005	–	0,02
кислотное число после испытания, мг КОН/г	0,5	0,04	–	0,4
Цвет, ед. ЦНТ, не более	–	1	–	–
Коррозия на пластинках:	Выдерживают			
из меди				
из стали	Отсутствие	–	–	Отсутствие

Основные особенности условий работы этих масел: постоянный контакт с холодильным агентом (фреоном, аммиаком, углекислотой); непрерывное изменение давления и температуры среды. Масла для холодильных установок должны обладать следующими свойствами: не реагировать с холодильным агентом, не вызывать коррозии цветных металлов, иметь пологую вязкостно-температурную кривую и низкую температуру застывания. В герметичных неразборных агрегатах компрессоров холодильников применяют высокостабильные масла, работающие без замены весь период эксплуатации. Наиболее часто используют маловязкие, глубоко очищенные нефтяные масла с антиокислительной присадкой и депрессорами, а также масла на синтетической основе.

Масла для компрессоров холодильных установок делят на две группы: ХА – для компрессоров, работающих на аммиаке или углекислоте; ХФ – для компрессоров, работающих на фреонах.

Для компрессоров холодильных машин выпускают следующие масла:

ХА-30 – смесь остаточного и дистиллятного минеральных масел;

ХФ12-16 – минеральное с антиокислительной присадкой;

ХФ22-24 – минеральное загущенное;

ХФ22С-16 – синтетическое с антиокислительной присадкой.

Пример обозначения марки масла для компрессоров холодильных машин: ХА-30, где Х – холодильное, А – аммиак, 30 – кинематическая вязкость в мм<sup>2</sup>/с при 50 °С.

### 3.2.6. Электроизоляционные масла

Электроизоляционные масла, являясь жидкими диэлектриками, служат для изоляции токонесущих частей трансформаторов, конденсаторов, кабелей и т. п. Они также служат теплоотводящей средой и способствуют быстрому гашению электродуги в выключателях. Электроизоляционные масла разделяют на трансформаторные, конденсаторные и кабельные. В сельском хозяйстве наиболее распространены трансформаторные масла, которые используют в сердечниках трансформаторов, реостатах, масляных выключателях.

Трансформаторное масло получают из малосернистых и сернистых парафиновых нефтей методом фенольной очистки с последующей низкотемпературной депарафинизацией. Тщательная очистка масла необходима для получения высоких диэлектрических

свойств (высокое пробивное напряжение) и стабильности. Промышленность выпускает трансформаторные масла нескольких сортов, которые различаются по использованному сырью, способу получения и области применения.

Масло ТКп вырабатывают из малосернистых нефтей методом кислотнo-щелочной очистки. Оно содержит присадку «Ионол». Кинематическая вязкость масла при +50 °С – не более 9 сСт, температура застывания – не выше –45 °С. Его рекомендуют использовать для оборудования напряжением до 500 кВ.

Масло селективной очистки получают из сернистых парафинистых нефтей методом фенольной очистки. Вязкость масла при +50 °С – не более 9 сСт, температура застывания – не выше –45 °С. Его применяют для оборудования напряжением до 220 кВ.

Масло Т-1500У вырабатывают из сернистых парафинистых нефтей, вводя присадку «Ионол». При производстве используют процессы селективной очистки и гидрирования. Вязкость масла при +50 °С – не более 8 сСт, температура застывания – не выше –45 °С. Оно предназначено для электрооборудования напряжением до 1500 кВ.

Масло ГК получают гидрокрекингом из сернистых парафинистых нефтей, вводя присадку «Ионол». Масло обладает высокими диэлектрическими свойствами и стабильностью к окислению. Его применяют в электрооборудовании высшего класса.

### 3.3. Пластичные смазки

Пластичные смазки представляют собой мазеобразные продукты, широко применяемые для смазывания узлов трения различных механизмов и машин. Эти смазки существенно отличаются от жидких минеральных масел. По механическим свойствам пластичные смазки занимают промежуточное положение между твердыми веществами и жидкостями. Под действием малых нагрузок они проявляют себя как твердые тела, а при больших напряжениях сдвига – как жидкости, то есть обладают текучестью.

Изучение пластичных смазок показало, что они представляют собой коллоидные системы, где кристаллы загустителя образуют структурный каркас, 80–90 % внутреннего объема которого составляет жидкое масло. Характерная особенность пластичных смазок – обратимость процесса разрушения структурного каркаса: под дей-



ствием больших нагрузок каркас разрушается, и смазка работает как жидкость, а при снятии нагрузки каркас мгновенно восстанавливается, и смазка вновь приобретает свойства твердого тела.

Главные преимущества смазок перед маслами: способность удерживаться в негерметизированных узлах трения, то есть отсутствие текучести при малых и средних нагрузках; лучшие смазочные и защитные свойства, высокая экономичность. Именно способностью удерживаться в открытых и слабогерметизированных узлах трения объясняется широкое распространение пластичных смазок. Их используют там, где невозможно использовать жидкие масла. Число механизмов и узлов трения, смазываемых пластичными смазками, на порядок больше, чем смазываемых маслом. Применение смазок вместо масла позволяет снизить массу узла трения примерно на 25 %. Недостатки пластичных смазок – плохая охлаждающая способность трущихся поверхностей, отсутствие выноса продуктов износа из зоны трения, сложность подачи к узлу трения.

Пластичная смазка состоит из двух компонентов: масляной основы (минерального, синтетического, растительного или другого масла) и твердого загустителя (мыльного или немыльного). Смазки обычно содержат стабилизатор структуры и присадки, нередко и различные наполнители (графит, дисульфид молибдена, порошкообразные металлы или их оксиды и пр.). Загуститель образует твердый структурный каркас, внутри которого содержится масло.

Такие смазки называются структурированными. Смазки, в составе которых находятся мягкие металлы или их оксиды, называются плакирующими. Содержание загустителя в смазках составляет 10–20 %. Наиболее распространенные загустители – металлические мыла высокомолекулярных жирных кислот или естественных жиров. Используя эти загустители, получают мыльные смазки.

Существуют также углеводородные, бентонитовые, силикагелевые и другие смазки, в которых загустителем служат твердые углеводороды и неорганические вещества. Это так называемые немыльные смазки. Широко распространены твердые смазки, которые используют при высоких температурах и давлениях. К ним относятся и антифрикционные смазки, состоящие из двусернистого молибдена, связующего вещества и летучего растворителя. Такую смазку наносят на поверхность детали и нагревают ее. Растворитель улетучивается, а на поверхности детали остается прочная пленка, предохраняющая ее от износа при работе. Твердые смазки работоспособны при температуре 250–350 °С.

### 3.3.1. Эксплуатационные свойства пластичных смазок

Основные эксплуатационные свойства пластичных смазок – предел прочности на сдвиг, вязкость, механическая стабильность, термическая стабильность и термоупрочнение, коллоидная и химическая стабильность, водостойкость и способность предотвращать фреттинг. Наряду с реологическими характеристиками (прочностными и вязкостными), важное значение для оценки качества смазки имеют трибологические характеристики – нагрузка и нагрузка сваривания.

Предел прочности на сдвиг характеризуется минимальным напряжением сдвига, при котором в пластичной смазке разрушается структурный каркас и она приобретает текучесть. *Предел прочности на сдвиг пластичной смазки – это критическое значение силы, отнесенное к единице площади сдвига слоев смазки.* Значение предела прочности на сдвиг определяется качеством загустителя и его концентрацией в пластичной смазке. Предел прочности зависит от температуры: при повышении температуры он снижается. Однако у некоторых смазок (например, комплексных кальциевых, силикагелевых) наблюдается обратное явление – повышение предела прочности с увеличением температуры. Температура, при которой предел прочности становится равным нулю, является истинной температурой перехода смазки из пластичного состояния в жидкое, ограничивая применение пластичной смазки. Чем выше предел прочности на сдвиг пластичной смазки, тем лучше она удерживается на поверхности и меньше стекает.

В табл. 3.16 указаны значения предела прочности на сдвиг некоторых пластичных смазок.

Таблица 3.16

*Пределы прочности на сдвиг пластичных смазок*

Смазка	Значения предела прочности на сдвиг, Па, при температуре	
	20 °С	50 °С
«Солидол С»	300–700	200–350
«Пресс-солидол С»	70–200	60–180
«Графитная УСсА»	300–700	200–300
«Литол-24»	500–1000	400–600
«Фиол-1»	≥ 250	200–250
«ЦИАТИМ-221»	250–450	120–300
«ЦИАТИМ-201»	350–500	250–350
«№ 158»	150–500	150–300

Предел прочности на сдвиг пластичной смазки определяют на пластометре К-2 (рис. 3.14), состоящем из основания со стойкой, по которой вертикально перемещается электропечь 8, резервуара 7 с маслом, манометра 5, воронки 6 (для добавления масла в прибор) и крана 4 (для сообщения воронки с внутренней полостью прибора). Корпус 1 пластометра трубкой соединен с внутренней полостью прибора. Все внутренние полости прибора К-2, включая манометр, заполнены маловязким маслом с целью полного вытеснения воздуха.

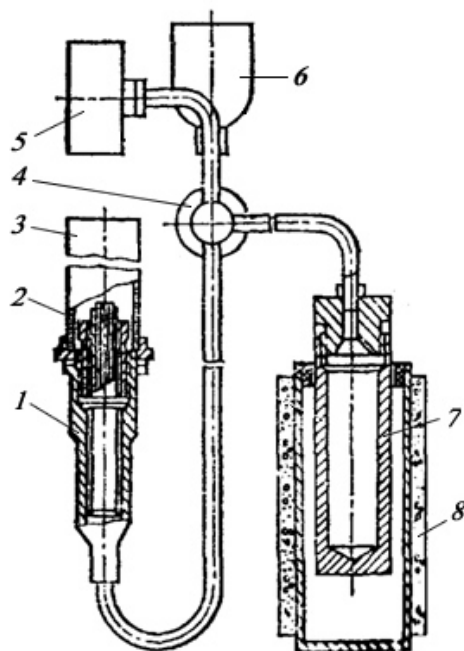


Рис. 3.14. Пластометр К-2:

1 – корпус; 2 – оправка; 3 – защитное стекло; 4 – кран; 5 – манометр; 6 – воронка;  
7 – резервуар для масла; 8 – электропечь

Перемешанной смазкой заполняют обе половинки желоба капилляра и вставляют его в оправку 2. Пластометр заполняют маслом, для чего открывают кран 4 воронки 6 и держат его открытым до тех пор, пока уровень масла в корпусе не достигнет верхнего обреза буртика оправки 2. Включают электропечь, обогревающую

резервуар с маслом, по манометру контролируют рост давления. После того как давление в системе, достигнув некоторого максимума, начинает снижаться, выключают электропечь, открывают кран 4 воронки 6 и медленно вынимают оправку 2 с капилляром из корпуса 1, после чего кран закрывают.

В момент окончания опыта из капилляра выдавливается смазка.

Предел прочности ( $\Pi_a$ ) испытуемой пластичной смазки вычисляют по формуле:

$$\tau = \frac{100000 pr}{2l},$$

где  $p$  – максимальное давление, определяемое по манометру 5 (см. рис. 3.14);

$r$  и  $l$  – радиус и длина капилляра (обычно  $l = 5$  см или  $l = 10$  см).

*Вязкость смазки – переменная величина, зависящая от температуры и скорости деформации.* Вязкость смазки тем меньше, чем выше температура и скорость деформации. После разрушения структурного каркаса смазка начинает течь подобно жидкости. Чем больше скорость деформации при постоянной температуре, тем быстрее уменьшается вязкость и увеличивается текучесть смазки. Так как вязкость смазки зависит от скорости разрушения ее структурного каркаса, введено понятие «эффективная вязкость». Под ним подразумевается вязкость ньютоновской жидкости, которая при данном режиме течения оказывает такое же сопротивление сдвигу, как и смазка.

Вязкость смазки зависит также от вида и концентрации загустителя, а от вязкости зависит прокачиваемость смазок, затраты энергии на относительное перемещение смазанных деталей, особенно в пусковой период. Из двух смазок более качественной считается та, у которой при одинаковых значениях предела прочности меньше вязкость.

Динамическая вязкость пластичной смазки при минимальной рабочей температуре и скорости деформации  $10^{-1}$  с не должна превышать 1500–2000 Па·с.

*Механическая стабильность – это способность смазки противостоять разрушению.* В процессе работы смазки постоянно подвергаются механическому воздействию, в результате чего разрушается их структурный каркас. При отдыхе структурный каркас

Температура каплепадения пластичных смазок

Смазка	Температура каплепадения, °С
«Солидол С»	85–105
«Пресс-солидол С»	85–95
«Графитная УСсА»	77–85
«Литол-24»	≥ 185
«Фиол-1»	≥ 185
«ЦИАТИМ-221»	≥ 200
«ЦИАТИМ-201»	≥ 175
№ 158	≥ 132

смазки самопроизвольно восстанавливается. Это свойство смазки называется тиксотропным. Оно существенно зависит от типа и концентрации загустителя, химического состава масла, температуры смазки, интенсивности механического воздействия. При тиксотропных преобразованиях смазок их показатели качества (в первую очередь, прочностные свойства) не должны изменяться. В нерабочем состоянии узла трения вязкость и предел прочности не меняются или возрастают.

*Термическая стабильность и термоупрочнение.* Под термической стабильностью понимают способность смазок сохранять свои эксплуатационные свойства без изменения при повышенных температурах. Свойства большинства смазок при нагреве их на 50–100 °С ниже температур плавления и при последующем охлаждении практически не изменяются.

Однако у некоторых смазок после нагрева и последующего охлаждения повышаются плотность, предел прочности и вязкость, вплоть до потери пластичности. Термоупрочнение отрицательно сказывается на эксплуатационных свойствах смазок, поскольку термоупрочнившиеся смазки перестают поступать к рабочим поверхностям в связи с большими значениями предела прочности и вязкости.

Термоупрочнение пластичной смазки оценивают, измеряя предел прочности перед выдержкой ее при повышенной температуре и после нее. При хранении и применении смазки из нее может испариться жидкое масло. Испаряемость дисперсной среды (масла) определяет срок службы смазки. Допустимая скорость испарения масла с единицы поверхности смазки составляет около  $10^{-7}$  г/(см<sup>2</sup>·с).

*Температура каплепадения* – это температура, при которой смазка из пластичного (полутвердого) состояния переходит в жидкое. Плавление пластичных смазок сопровождается значительным изменением их свойств. При определении температуры каплепадения пластичная смазка, нагретая в специальном приборе, размягчается до такого состояния, при котором происходит образование жидкой капли и ее падение.

По температуре каплепадения смазки (табл. 3.17) можно приближенно оценить ее работоспособность при повышенной температуре. Для надежного смазывания узлов трения необходимо, чтобы их рабочая температура была на 10–20 °С ниже, чем температура каплепадения пластичной смазки.

Прибор для определения температуры каплепадения пластичных смазок показан на рис. 3.15. При этом используют стандартный термометр типа Уббелодде. В нижней части термометра 2 смонтирована металлическая гильза, на которую навинчивается металлическая трубка с отверстием. В отверстие вставляют чашечку (чашечку) 5 стандартных размеров. Термометр укрепляют в пробирке 3 посредством пробки. Пробирку размещают на штативе и вставляют в стакан-баню 1, в которую заливают воду или глицерин.

Испытуемую пластичную смазку плотно вмазывают шпателем в чашечку 5, следя за тем, чтобы на поверхности не было пузырьков воздуха. Затем чашечку 5 вставляют в специальный термометр с гильзой 2. При этом нижним концом термометра выдавливаются через отверстие излишек смазки.

На дно сухой чистой пробирки 3 кладут кружок белой бумаги и помещают в пробирку термометр 2 таким образом, чтобы нижний край чашечки 5 находился на расстоянии 25 мм от кружка. Затем пробирку с термометром помещают в стакан-баню 1. Глицерин используют для смазок с температурой каплепадения выше 80 °С. Воду или глицерин подогревают таким образом, чтобы после достижения температуры на 20 °С ниже ожидаемой температуры каплепадения скорость нагревания составляла 1 °С в минуту.

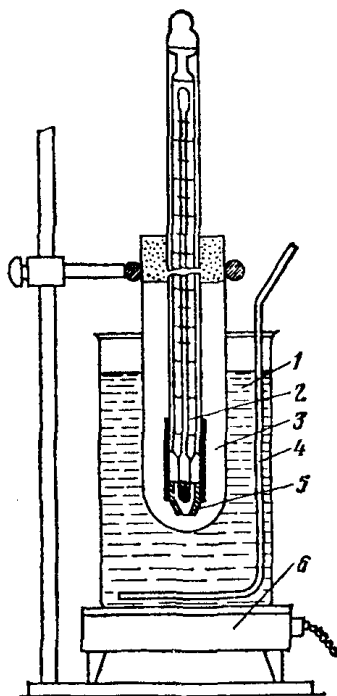


Рис. 3.15. Прибор для определения температуры каплепадения:

- 1 – стакан с водой или глицерином; 2 – специальный термометр с гильзой;  
3 – пробирка; 4 – мешалка; 5 – капсуль для испытуемой смазки;  
6 – электроплитка

За температуру каплепадения испытуемой пластичной смазки принимают температуру, при которой падает первая капля или дно пробирки касается столбик смазки, выступавший из отверстия чашечки.

Коллоидная стабильность характеризует возможность выделения дисперсионной среды (масла) из смазки при хранении и эксплуатации. Количество выделяемого масла увеличивается при повышении температуры и давления. На выделение масла из смазки влияет приложение к ней односторонней нагрузки, например, центробежных сил и давлений. С повышением температуры коллоидная стабильность ухудшается вследствие уменьшения вязкости дисперсионной среды.

Пластичные смазки должны выделять небольшое количество масла при испытании в определенных стандартных условиях. Чрезмерно стабильные смазки плохо смазывают узлы трения. Особенно важно выделение некоторого количества масла из смазки для предотвращения интенсивного изнашивания деталей в момент начала движения трактора или автомобиля.

Появление слоя масла на поверхности смазки при хранении (явление синерезиса) свидетельствует о «старении» смазки, то есть ухудшении ее эксплуатационных свойств. Такие смазки надо использовать в первую очередь. Коллоидная стабильность возрастает с увеличением количества загустителя в смазке и уменьшается с понижением вязкости минерального масла. Смазки с низкой коллоидной стабильностью (например, ЦИАТИМ-201) расфасовывают в мелкую тару. Коллоидную стабильность определяют в приборе КСА (рис. 3.16) при заданных нагрузке, времени и температуре. Прибор КСА состоит из штатива и плиты 7. На стойке штатива укреплен кронштейн, в котором размещен шток 2 для крепления груза 1. Металлический шарик 3 служит для передачи давления на хвостовик поршня. На плиту 7 устанавливают чашечку 5 для испытуемой смазки, в которую вставлен поршень 4. Масса штока, шарика, поршня и груза составляет 1 кг.

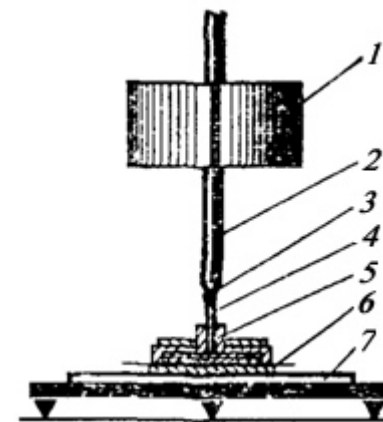


Рис. 3.16. Рабочая часть прибора КСА для определения коллоидной стабильности:  
1 – груз; 2 – шток; 3 – шарик; 4 – поршень; 5 – чашечка;  
6 – фильтровальная бумага; 7 – плита

Чашечку с поршнем взвешивают на аналитических весах, затем в нее вмазывают шпателем испытуемую смазку, взвешивают и вычисляют массу смазки, взятой на испытание. Один кружок фильтровальной бумаги смачивают маслом и взвешивают. Стекло со стопкой фильтровальной бумаги (7–9 кружков) помещают на столике штатива. На смазку в чашечке кладут пропитанный маслом кружок фильтровальной бумаги так, чтобы между бумагой и смазкой не было пустот, и ставят чашечку на стопку фильтровальной бумаги, положенную на стекло.

Нажимая пусковую кнопку, освобождают шток и опускают его до соприкосновения с шариком. Затем на шток надевают груз, опять нажимают пусковую кнопку и отмечают время начала испытания. По истечении 30 мин взвешивают чашечку со смазкой и кружком фильтровальной бумаги.

Количество масла (%), выделившегося после отпрессовывания пластичной смазки, характеризует его коллоидную стабильность. Чем большее количество масла отпрессовывается из пластичной смазки, тем ниже ее коллоидная стабильность (табл. 3.18).

Таблица 3.18

Число пенетрации и коллоидная стабильность  
пластичных смазок

Смазка	Число пенетрации при 25 °С	Коллоидная стабильность, %
«Солидол С»	260–310	5
«Пресс-солидол С»	310–340	10
«Графитная УСсА»	250–280	5
«Литол-24»	220–250	12
ЦИАТИМ-221	280–320	7
ЦИАТИМ-201	265–310	26
«№ 158»	310–340	23

Пенетрация (проникновение) характеризует консистенцию или степень мягкости пластичных смазок. Пенетрацию определяют на лабораторном пенетрометре ЛП по глубине погружения в испытуемую смазку стандартного по форме и массе тела (конуса или иглы) в течение 5 с при заданной нагрузке и температуре. Число пенетрации выражают в целых числах, равных глубине погружения конуса или иглы в смазку в миллиметрах, умноженных на 10.

Изменение пенетрации пластичных смазок при хранении в условиях эксплуатации указывает на изменение ее структуры. Такую смазку необходимо быстрее использовать.

Числа пенетрации при 26 °С для некоторых пластичных смазок, применяемых в сельском хозяйстве, указаны в табл. 3.18.

Лабораторный пенетрометр ЛП (рис. 3.17) состоит из штатива 6 и плиты 8, на которой установлен столик, положение которого по высоте можно регулировать. В плиту вмонтирован круглый уровень. На штативе укреплен кронштейн 7 с плунжером, индикатор 4 и зеркало (на рисунке не показано). Плунжер свободно перемещается в направляющей втулке кронштейна и фиксируется с помощью зажима. Пусковая кнопка 2 служит для освобождения плунжера. К плунжеру прикреплены конус 1 или игла с грузом. Индикатор состоит из кремальеры 3, которая входит в зацепление с шестерней. Ось шестерни соединена со стрелкой 5.

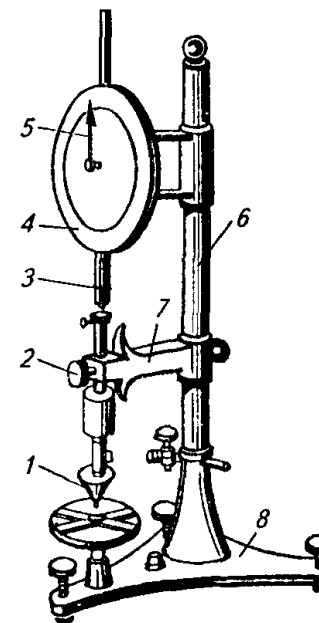


Рис. 3.17. Пенетрометр:

1 – конус; 2 – пусковая кнопка; 3 – кремальера; 4 – индикатор; 5 – стрелка;  
6 – штатив; 7 – кронштейн; 8 – плита

Стакан с испытуемой смазкой помещают на столик. С помощью зажима перемещают кронштейн по стойке так, чтобы наконечник конуса 1 коснулся поверхности смазки. Кремальеру 3, снабженную сферическим наконечником, перед измерением подводят к установленному и зафиксированному зажимом плунжеру, после чего стрелку 5 индикатора устанавливают на нуль по шкале (360 делений ценой 0,1 мм). Затем одновременно включают секундомер и нажимают пусковую кнопку 2. Конус свободно погружается в смазку в течение 5 с, после чего отпускают кнопку, прекращая погружение. По индикатору определяют глубину погружения конуса в десятых долях миллиметра.

*Химическая стабильность* – это стойкость смазок против окисления при хранении и эксплуатации. Окисление смазок, снижая их антикоррозионные и прочностные свойства, ухудшает коллоидную стабильность, смазочную и защитную способность. При повышении температуры окисление смазок ускоряется.

На химическую стабильность смазок влияют вид загустителя и качество дисперсионной среды. Химическая стабильность большинства неорганических и органических смазок выше, чем мыльных. В мыльных смазках окислению подвергаются масло и загуститель. Мыла некоторых металлов (например, свинцовые) являются сильными катализаторами окисления.

Химическая стабильность очень важна для долгорботающих и «вечных» смазок, заправляемых в узлы трения один–два раза в течение 10–15 лет или один раз за весь период эксплуатации, а также смазок, работающих при температурах выше 100 °С. Появление твердой корки на поверхности смазки при хранении свидетельствует о глубоком ее окислении. Такая смазка непригодна к эксплуатации.

Современные смазки готовят из высококачественных масел и химически стойких загустителей с добавлением антиокислительных присадок и дезактиваторов металлов.

Влагостойкость, прежде всего, важна для смазок, работающих в негерметизированных узлах трения или контактирующих с водой, так как они не должны смываться водой или изменять свои свойства при попадании в них влаги. При оценке влагостойкости принимают во внимание гигроскопичность смазок. Свойства обводненных смазок ухудшаются.

Влагостойкость смазок зависит главным образом от вида загустителя. Основная масса смазок влагостойка. Низкой влагостойко-

стью обладают натриевые смазки, повышенной – консервационные (защитные), высокой – литиевые.

Противозадирные свойства пластичных смазок обусловлены их способностью предотвращать задиры и заедания трущихся поверхностей при высоких нагрузках. При возрастании скорости скольжения увеличивается износ деталей и уменьшается эффективность противозадирного действия смазок. Для повышения противозадирных свойств в смазки добавляют присадки. При высоких контактных напряжениях (до 500 кН) применяют присадки с антифрикционными добавками типа дисульфида молибдена или графита.

Консервационные свойства пластических смазок обеспечивают их способность защищать металлические поверхности от вредного воздействия влаги и кислорода, присутствующих в воздухе промышленных зон сернистого газа и других активных соединений. Пластичные смазки значительно превосходят по консервационным свойствам минеральные масла. Слой смазки толщиной в сотые доли миллиметра в течение многих месяцев предотвращает коррозию металлов в условиях 100%-й влажности.

Способность предотвращать фреттинг связана с легкостью проникновения пластичной смазки к поверхностям трения. *Фреттинг*, или *фреттинг-коррозия* – это особый вид изнашивания, связанный циклическими, небольшими по величине смещениями трущихся поверхностей. При колебательном движении подшипников в местах контакта шарика с дорожкой качения образуется оксид железа, приводящий к появлению язвин на этих поверхностях. Фреттинг усиливается с ростом нагрузки, частоты и амплитуды колебаний. Однако при повышении амплитуды колебаний улучшается поступление смазочного материала, который легко проникает в зону трения по пересекающимся шероховатым поверхностям и микроканавкам, и износ снижается.

### 3.3.2. Классификация и маркировка смазок

*Группы смазок.* Пластичные смазки по назначению делят на четыре группы (ГОСТ 23258–78):

- 1) антифрикционные;
- 2) консервационные;
- 3) канатные;
- 4) уплотнительные.

Индекс типа загустителя пластичной смазки

Загуститель	Индекс	Загуститель	Индекс
Мыло:	М	Органические вещества:	О
алюминиевое	Ал	пигменты	Пг
бариевое	Ба	полимеры	Пм
кальциевое	Ка	уреаты	Ур
литиевое	Ли	фторуглеводы	Фу
натриевого	На	Неорганические вещества:	Н
свинцовое	Св	глины (бентонитовые)	Бн
цинковое	Цн	сажа	Сж
смесь мыл	М <sub>1</sub> –М <sub>2</sub>	силикагель	Си
Углеводороды твердые	Т		

1. Антифрикционные смазки предназначены для снижения износа и трения скольжения сопряженных деталей. Смазки этой группы делят на несколько подгрупп: обычного назначения для обычных температур (рабочие температуры до 70 °С); общего назначения для повышенных температур (до 110 °С); многоцелевые (при рабочих температурах от –30 до +130 °С и для условий повышенной влажности); термостойкие (рабочие температуры +150 °С и выше); морозостойкие (рабочие температуры –40 °С и ниже); противозадирные и противоизносные (для подшипников качения при контактных напряжениях выше 2450 МПа и подшипников скольжения при удельных нагрузках выше 147 МПа); химически стойкие (для узлов трения, работающих в агрессивных средах); приборные; редукторные (трансмиссионные); приработочные (дисульфидмолибденовые, графитные и другие пасты); узкоспециализированные (удовлетворяющие дополнительным требованиям для узлов трения); брикетные.

2. Консервационные смазки предназначены для предотвращения коррозии металлических изделий и механизмов при хранении, транспортировке и эксплуатации.

3. Канатные смазки используют для предотвращения износа и коррозии стальных канатов, тросов, органических сердечников стальных канатов.

4. Уплотнительные смазки предназначены для герметизации зазоров, облегчения сборки и разборки арматуры, для сальниковых устройств, резьбовых, разъемных и любых подвижных соединений, в том числе вакуумных систем. Уплотнительные смазки подразделяют на арматурные, резьбовые и вакуумные.

*Маркировка смазок.* Условное обозначение каждой смазки состоит из ее наименования («Солидол», «Литол», «Графитная» и т. д.) и индексов, в краткой форме сообщающих о назначении смазки, ее характеристике и составе. Индексное обозначение состоит из пяти буквенных и цифровых индексов, расположенных в следующем порядке: указатель группы или подгруппы в соответствии с назначением смазки; загуститель; температурный интервал применения; дисперсионная среда; консистенция смазки. Некоторые индексы могут быть пропущены. В марку смазки могут быть введены индексы «г», «д», «с» и пр., обозначающие твердые добавки соответственно графита, дисульфида молибдена, свинца и т. п.

Тип загустителя (индекс) обозначают буквами русского алфавита (табл. 3.19).

Комплексное мыло обозначают строчной буквой «к», после которой указывают индекс соответствующего мыла, например кКа, кБа. Смесь двух и более загустителей обозначают составными индексами: Ка-На, Ли-Ба и т. д., причем на первом месте ставят индекс загустителя, входящего в состав смазки в большем количестве. Индексы М, О, Н, обозначающие загуститель (соответственно мыло, органические вещества и неорганические вещества), ставят в тех случаях, когда загуститель не предусмотрен перечнем.

Температурный интервал применения обозначают дробью, цифры которой соответствуют температуре, уменьшенной в 10 раз. Например, 3/13 означает, что данная смазка может работать в интервале температур от –30 до +130 °С. Минимальной считают температуру, при которой вязкость смазки не превышает 2000 Па·с. Тип дисперсионной среды обозначают следующими буквенными индексами: нефтяное масло – «н», синтетические углеводороды – «у», сложные эфиры – «э», фторсилоксаны – «ф», кремнийорганические жидкости – «к», галогенуглеродные жидкости – «ж», перфторалкилополиэфиры – «а», прочие масла и жидкости – «п».

Наличие в смазке твердых добавок обозначают буквами: графит – «г», дисульфид молибдена – «д», порошки свинца – «с», порошки меди – «м», порошки цинка – «ц». Прочие твердые добавки – «т».

Смесь двух и более масел обозначают индексом (НК, уэ и пр.), причем на первом месте ставят индекс масла, входящего в состав дисперсной среды в большем количестве. Индекс (буква «п») применяют, когда входящее в состав дисперсной среды синтетическое или иное масло отсутствует в перечне. При изготовлении смазки на нефтяном масле индекс (буква «н») не указывают. Его вводят в марку при обозначении смазки из смеси нефтяного и какого-либо другого масла.

Класс консистенции пластичной смазки обозначают арабской цифрой. По числу пенетрации смазкам присвоено 9 классов консистенции (табл. 3.20).

Таблица 3.20

*Число пенетрации смазки в зависимости от класса консистенции*

Число пенетрации при 25 °С	Класс консистенции
400–430	00
335–385	0
310–340	1
265–295	2
220–250	3
175–205	4
130–160	5
85–115	6
Ниже 70	7

Примеры обозначения трех смазок и их расшифровка:

смазка МЛи 4/13-3,

где М – многоцелевая смазка; Ли – загуститель (литиевое мыло); 4/13 – температурный диапазон применения от –40 до +130 °С; 3 – класс консистенции (пенетрация при +25 °С составляет 220–250);

смазка СКа 2/7-2,

где С – антифрикционная смазка общего назначения, применяемая при температуре до +70 °С (солидол); Ка – загуститель (кальциевое мыло); 2/7 – рекомендуемый температурный диапазон применения от –20 до +70 °С (вязкость смазки при –20 °С близка к 2000 Па·с); индекс дисперсионной среды отсутствует, следовательно, смазка

приготовлена на нефтяном масле; 2 – класс консистенции смазки (пенетрация при 25 °С составляет 265–295);

смазка КТ 6/5к-г4,

где К – канатная смазка; Т – загуститель (твердые углеводороды); 6/5 – температурный интервал эксплуатации от –60 до +50 °С; к – смазка приготовлена на основе кремнийорганической жидкости; г – в качестве добавки использован графит; 4 – класс консистенции смазки (пенетрация при 25 °С составляет 175–205).

### 3.3.3. Ассортимент пластичных смазок

Главный компонент смазок – загуститель, определяющий их основные эксплуатационные свойства. В России и нашей стране вырабатывают следующие типы смазок (по загустителю): мыльные (литиевые, комплексные литиевые, натриевые и натриево-кальциевые, безводные кальциевые, комплексные кальциевые, алюминиевые и пр.), немые (неорганические и органические), углеводородные.

Структура выпуска пластичных смазок по загустителю определяет уровень их качества в целом. По структуре вырабатываемых смазок наша страна значительно отстает от европейских стран и США, где основными являются литиевые смазки. Доля литиевых смазок от общего объема их выпуска в США составляет 60 %, в Западной Европе – 70, в России – 24 %. Основу ассортимента пластичных смазок (около 45 %), выпускаемых в России, составляют устаревшие гидратированные кальциевые смазки, выпуск которых, например, в США, не превышает 4 %. Производство натриевых и натриево-кальциевых смазок в нашей стране составляет около 31 % общего объема их выпуска. У этих смазок удовлетворительные эксплуатационные свойства. Их применяют в интервале температур от –30 до +100 °С.

Далее рассмотрены пластичные смазки различных марок (антифрикционные: общего назначения, многоцелевые и автомобильные; приборные и защитные), их состав, основные эксплуатационные свойства и область применения.

*Смазки общего назначения для обычных температур.* Солидол синтетический готовят загущением индустриального масла кальциевыми мылами синтетических жирных кислот, полученных окислением парафина. В состав солидолов, кроме обязательных



двух компонентов – дисперсионной среды (масла) и дисперсной фазы (загустителя), входит третий компонент – стабилизатор структуры, которым служит вода. Поэтому максимальная температура применения солидолов 65 °С. При более высокой температуре они необратимо разрушаются.

Синтетические солидолы выпускают двух марок: «Солидол С» и «Пресс-солидол С». «Солидол С» заправляют в узлы трения машин, работающих при температуре до –10 °С, а «Пресс-солидол С» – при температуре до –30 °С. Преимущества солидолов – высокая влагостойкость и хорошие защитные свойства. Их применяют в сборочных единицах автомобилей, тракторов, комбайнов, сельскохозяйственных машин, оборудования ферм и в станочном оборудовании. Доля солидола от общего количества смазок, направляемых в сельскохозяйственное производство, составляет около 80 %. К недостаткам солидолов относятся низкие рабочие температуры и плохая механическая стабильность.

Солидол жировой получают загущением кальциевыми мылами жирных кислот, входящих в состав естественных жиров. Этот солидол выпускают двух марок: «Солидол Ж» и «Пресс-солидол Ж». Несколько лучшие вязкостно-температурные характеристики жировых солидолов обуславливают более широкое их применение по сравнению с синтетическими. Однако в большинстве случаев жировые и синтетические солидолы взаимозаменяемы. При смешивании в любом соотношении жировых и синтетических солидолов их эксплуатационные характеристики не ухудшаются. Заменитель – «Литол-24».

Графитная смазка представляет собой мазь черного цвета. Это кальциевая гидротированная смазка с добавлением 10 % мягкого чешуйчатого графита. Несмотря на плохие низкотемпературные свойства, смазку используют все сезонно в тяжело нагруженных тихоходных механизмах, где увеличение сопротивления, вызываемое смазкой, не имеет практического значения (в рессорах автомобилей, открытых шестернях, торсионных подвесках гусеничных машин и т. п.). Для точных соединений и подшипников качения она непригодна. Смазка работоспособна при температуре –20...+70 °С. Заменители – «Солидол С», «Солидол Ж» или «Литол-24» с добавлением 10 % графита.

*Смазки общего назначения для повышенных температур.* «Консталин» (универсальная тугоплавкая смазка УТ) выпускают двух марок: «Консталин-1» и «Консталин-2», которые различаются температурой

каплепадения и числом пенетрации. Жировые консталины получают загущением очищенного или выщелоченного минерального числа натриевыми мылами. Их применяют для подшипников качения, работающих при температуре до 110 °С (в ступицах колес, карданных валах, осях и шарнирах педалей управления, электродвигателях). Заменители – «Литол-24», «Литол-459/5».

1-13 – смесь нефтяных масел низкой и средней вязкости, загущенная натриевым мылом жирных кислот касторового масла. Содержит небольшое количество кальциевого мыла. Смазка работоспособна при температуре от –20 до +110 °С. Ее применяют для смазывания подшипников качения электродвигателей, ступиц колес устаревших автомобилей. Заменитель – «Литол-24».

«Литин-2» – минеральное масло, загущенное литиевым мылом 12-оксистеариновой кислоты и аэросилом. Смазка содержит антиокислительную, противозадирную, противоизносную, адгезионную и противокоррозионную присадки, обладает высокими трибологическими и адгезионными свойствами. Работоспособна при температуре от –40 до +120 °С. Предназначена для смазывания игольчатых подшипников карданных шарниров и других узлов трения автомобилей. Заменитель – «Литол-24».

*Многоцелевые смазки.* «Литол-24» – смазка коричневого или вишневого цвета, представляющая собой минеральное масло, загущенное литиевым мылом стеариновой кислоты. В состав смазки входят вязкостная и антиокислительная присадки. «Литол-24» обладает высокой влагостойкостью и не подвержен тиксотропному термоупрочнению. Имеет высокую коллоидную, химическую и механическую стабильность. Водостойка, не растворяется в кипящей воде. Работоспособна при температуре от –40 до +120 °С.

Смазку используют в узлах трения автомобилей, тракторов, гусеничных, электрических, дорожностроительных, сельскохозяйственных и других машин, успешно применяют в игольчатых подшипниках карданных шарниров.

В соединениях, не защищенных от грязи и воды, нецелесообразно применять смазку «Литол-24» (и другие высококачественные смазки). «Литол-24» заменяет многие смазки: солидолы, карданную АМ и пр. Если «Литол-24» используют в закрытых сборочных единицах (ступицах колес, подшипниках водяных насосов и др.) взамен смазок общего назначения, то сроки проведения смазочных работ увеличивают более чем в 2 раза. Заменитель – «Литол-24РК».

«Литол-24РК» – смесь минеральных масел, загущенных литиевым мылом гидрооксистеариновой кислоты. В состав смазки входят антикоррозионная, вязкостная, антиокислительная и защитная присадки. Смазка водостойка, обеспечивает консервацию узлов трения в течение 10 лет, работоспособна при температуре от –40 до +120 °С. Служит для смазывания подшипников качения и скольжения всех типов колесных и гусеничных транспортных средств, электрических машин. Заменитель – «Литол-24».

«ЛКМТранс-2» – смесь минеральных масел, загущенных комплексным литиевым мылом. Водостойка, содержит многофункциональные присадки. Обладает высокой термической и механической стабильностью, а также хорошими антикоррозионными и смазывающими свойствами. Работоспособна при температуре от –40 до +150 °С, кратковременно – до +170 °С. Применяют для смазывания узлов трения транспортных средств и промышленного оборудования. Заменитель – «Литол-24».

«Таврол-2» – смесь минеральных масел, загущенных литиевым мылом жирных кислот. Содержит вязкостную и антикоррозионную присадки. Обладает высокой термической и механической стабильностью. Работоспособна при температуре от –40 до +150 °С, кратковременно – до +170 °С. Служит для смазывания узлов трения транспортных средств и промышленного оборудования. Заменитель – «Литол-24».

*Автомобильные смазки.* «Фиол-2У» – нефтяное масло, загущенное гидрооксистеаратом лития. Содержит антиокислительную присадку и антифрикционную добавку. Обладает высокой антиокислительной, механической и коллоидной стабильностью, хорошими противоизносными и противозадирными свойствами. Водостойка, работоспособна при температуре от –40 до +120 °С. Применяют для смазывания игольчатых подшипников карданного вала автомобилей. Заменители – ШРУС-4, смазка «№ 158».

«Литол 459/5» – минеральное масло, загущенное литиевыми мылами стеариновой и 12-гидрооксистеариновой кислот. Содержит антиокислительную присадку. Водостойка, работоспособна при температуре от –40 до +120 °С, кратковременно – до +130 °С. Служит для смазывания прерывателя-распределителя системы зажигания автомобилей.

ЛСЦ-15 – смесь минеральных масел, загущенных литиевым мылом кислот гидрированного касторового масла. Содержит антиокислительную и вязкостную присадки и оксид цинка. Обладает

достаточно хорошей термической, коллоидной и антиокислительной стабильностью, а также консервационными и адгезионными свойствами. Водостойка, работоспособна при температуре от –40 до +130 °С. Применяют для смазывания шарниров и осей привода акселератора, рычагов включения, шлицевых соединений, механизмов стеклоподъемников автомобилей. Заменитель – «Литол-24».

ШРУС-4 – минеральное масло, загущенное гидрооксистеаратом лития. Содержит антиокислительную и противозадирную присадки, а также антифрикционные добавки. Водостойка. Обладает высокой механической и антиокислительной стабильностью, а также противоизносными и противозадирными свойствами. Работоспособна при температуре от –40 до +120 °С. Предназначена для смазывания шарниров равных угловых скоростей полноприводных автомобилей и других узлов трения. Заменитель – смазка «№ 158».

«№ 158» – минеральное масло, загущенное литиевокальциевым мылом кислот касторового масла и канифолью. Содержит антиокислительную присадку. Обладает хорошей антиокислительной и механической стабильностью, высокими противоизносными свойствами. Водостойкость удовлетворительная. Работоспособна при температуре от –30 до +110 °С. Предназначена для смазывания подшипников качения автотракторного оборудования, игольчатых подшипников карданных шарниров непостоянной угловой скорости. Смазку закладывают в закрытые подшипники (например, в выжимной подшипник сцепления грузовых автомобилей) и не пополняют в течение всего срока их службы. Заменитель – ШРУС-4.

Карданная смазка АМ, получаемая загущением минерального и касторового масел и канифоли кальциевым мылом, предназначена для смазывания карданных шарниров передних ведущих мостов автомобилей. Поскольку эта смазка вымывается из узлов трения, температурный диапазон ее применения от –20 до +100 °С. Заменители – «Литол-24», ШРУС-4.

*Приборные и защитные смазки.* ЦИАТИМ-201 – приборная смазка, представляющая собой вазелиновое приборное масло (МВП), загущенное литиевым мылом стеариновой кислоты и содержащее антиокислительную присадку. Смазка работоспособна от –60 до +90 °С. Ее применяют в подшипниках качения и скольжения, шарнирах направляющих, узлах трения автомобилей и тракторов, работающих с малым усилием сдвига при невысоких нагрузках.

ПВК – углеводородная защитная смазка от желтого до коричневого цвета, получаемая сплавлением петролатума с вязким

остаточным маслом при дополнительном введении 5 % церезина и присадки. Смазку используют для черных и цветных металлов любой формы и размеров. Она обладает высокими водостойкостью и стабильностью, нерастворима в воде. Металлические детали окунают в расплавленную смазку или ПВК наносят на деталь кистью, щеткой при температурах не ниже 10 °С. Работоспособна при температуре от –50 до +45 °С. Срок хранения деталей, законсервированных этой смазкой, 10 лет.

### Контрольные вопросы и задания:

1. Перечислите требования, предъявляемые к эксплуатационным свойствам моторных масел.
2. Для чего в моторные масла вводят присадки?
3. Как классифицируют моторные масла по эксплуатационным свойствам?
4. Как классифицируют моторные масла по вязкости?
5. Назовите основное преимущество синтетических масел перед минеральными.
6. Какое масло называют всесезонным загущенным?
7. Как маркируют моторные масла?
8. Какие моторные масла применяют для бензиновых двигателей?
9. Какие моторные масла используют в дизельных двигателях?
10. В каких условиях работают трансмиссионные масла?
11. Какие эксплуатационные требования к ним предъявляют?
12. Как классифицируют трансмиссионные масла по вязкости?
13. Расскажите о группах трансмиссионных масел, классифицированных по эксплуатационным свойствам.
14. Какие масла применяют в трансмиссиях тракторов?
15. Какие масла применяют в трансмиссиях автомобилей КамАЗ?
16. Где применяют индустриальные масла?
17. Какие требования предъявляют к эксплуатационным свойствам индустриальных масел?
18. Как маркируют индустриальные масла? Укажите основные марки масел, используемые в сельскохозяйственном производстве.
19. Расскажите о компрессорных маслах и их свойствах.
20. Назовите марки компрессорных масел.
21. Для чего служат электроизоляционные масла?

22. Каков состав пластичных смазок?
23. Назовите эксплуатационные свойства пластичных смазок.
24. На какие группы по назначению делят пластичные смазки?
25. Как обозначают пластичные смазки?
26. Расскажите о составе и области применения солидолов и смазки «Литол-24».
27. Каково назначение углеводородной защитной смазки ПВК?

## 4. ТЕХНИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ

### 4.1. Гидравлические масла и требования к ним

Многие агрегаты и механизмы современных тракторов, автомобилей и различных сельскохозяйственных машин приводятся в действие гидравлическими передачами. К ним относятся гидромеханические трансмиссии, гидротрансформаторы, гидроусилители руля и другие устройства. Они обеспечивают плавную и равномерную передачу мощности с высоким КПД (около 95 %). Это их главное преимущество перед пневматическими и механическими передачами.

Рабочим телом для гидравлических систем и гидромеханических передач тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин служат легкоподвижные и практически несжимаемые жидкости – гидравлические масла. Они работают в очень тяжелых условиях – при температуре от +70 до –40 °С и давлении до 10 МПа, в контакте с деталями из цветных и черных металлов, с резиновыми и кожаными уплотнителями, шлангами. Поэтому такие жидкости должны иметь низкую температуру застывания, сравнительно небольшую вязкость и температуру кипения примерно на 30 °С выше возможной рабочей температуры (чтобы в системе не образовывались паровые пробки). При понижении температуры жидкости должны незначительно увеличиваться в объеме.

*Классификация гидравлических масел.* Они должны обладать хорошими смазывающими свойствами, химической стабильностью, не разлагаться и не расслаиваться, не разъедать цветные и черные металлы, резину и кожу.

В соответствии с ГОСТ 17479.3–85, который аналогичен международному стандарту ISO 3448, гидравлические масла по вязкости при 40 °С делят на 10 классов (табл. 4.1).

Таблица 4.1

*Классы вязкости гидравлических масел*

Класс вязкости	Кинематическая вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с	Класс вязкости	Кинематическая вязкость при 40 °С, мм <sup>2</sup> /с
5	4,14–5,06	32	28,8–35,2
7	6,12–7,48	46	41,4–50,6
10	9–11	68	61,2–74,8
15	13,5–16,5	100	90–110
22	19,8–24,2	150	135–165

В зависимости от эксплуатационных свойств гидравлические масла делят на три группы: А, Б, В.

Группа А (группа НН по ISO) – минеральные масла без присадок, применяемые в малонагруженных гидравлических системах с шестеренными или поршневыми насосами, работающими при давлении от 15 МПа и максимальной температуре масла в объеме до 80 °С.

Группа Б (группа НL по ISO) – масла с антикоррозионными и антиокислительными присадками. Они предназначены для средненапряженных гидросистем с различными насосами, работающими при давлении до 2,5 МПа и температуре масла в объеме свыше 80 °С.

Группа В (группа НМ по ISO) – высокоочищенные масла с антикоррозионными, антиокислительными и противоизносными присадками. Применяют для гидросистем, работающих при давлении свыше 25 МПа и температуре масла в объеме свыше 90 °С.

В гидравлические масла указанных групп могут быть введены антипенные и вязкостные присадки. Загущенные вязкостными присадками масла соответствуют группе НV по ISO 6743/4.

*Обозначение отечественных гидравлических масел.* Оно состоит из групп знаков, первая из которых включает в себя буквы МГ (минеральное гидравлическое), вторая – цифры, соответствующие классу вязкости, третья – буквы, указывающие принадлежность масла к группе по эксплуатационным свойствам.

Пример обозначения гидравлического масла: МГ-15-В, где МГ – минеральное гидравлическое масло, 15 – класс вязкости (значения кинематической вязкости при 40 °С находятся в диапазоне 13,5–16,5 мм<sup>2</sup>/с), В – группа масла по эксплуатационным свойствам.

Далее рассмотрены гидравлические жидкости, наиболее широко применяемые в сельскохозяйственной технике.

Веретенное масло АУ (МГ-22-А) – средневязкое гидравлическое масло, получаемое из малосернистых и сернистых парафинистых нефтей. Его используют в различных гидравлических передачах, амортизаторах и гидроусилителях руля автомобилей, для смазывания узлов и механизмов, работающих в условиях низких температур, а также в гидравлических системах точных станков, работающих при частоте вращения до 160 мин<sup>-1</sup>, когда требуется высококачественное масло.

Показатели качества веретенного масла: плотность 886–896 кг/м<sup>3</sup>, низкая температура застывания (около –45 °С) и невысокое кислотное число (не более 0,07 мг КОН/г). Веретенное масло АУ обеспечи-

вает пуск гидросистем при температурах выше  $-35^{\circ}\text{C}$ . Максимально допустимый (кратковременно) верхний температурный предел  $100^{\circ}\text{C}$ , оптимальная рабочая температура  $50-60^{\circ}\text{C}$ . Это масло вырабатывают из низкозастывающих нефтей, которые подвергают углубленной очистке фенолом и глубокой депарафинизации.

Гидравлическое масло АУЛ (МГ-22-Б) обладает хорошими противокоррозионными и антиокислительными свойствами, высокой химической стабильностью, содержит до 2 % присадок, имеет кислотное число  $0,3-0,6$  мг КОН/г. Изменение массы резины, испытываемой в этом масле при  $+130^{\circ}\text{C}$  в течение 72 ч, составило 1,5 %. Это масло обеспечивает пуск гидросистем без предварительного подогрева при температурах выше  $-40^{\circ}\text{C}$ . Максимальная кратковременно допустимая температура масла при эксплуатации составляет  $+125^{\circ}\text{C}$ , оптимальная рабочая температура  $+50...+60^{\circ}\text{C}$ , температура застывания  $-45^{\circ}\text{C}$ .

Масло вырабатывают из низкозастывающих нефтей методом углубленной очистки с добавлением антикоррозионной и антиокислительной присадок.

Гидравлическое масло единое МГЕ-10А (МГ-15-В) представляет собой прозрачную жидкость от желтого до светло-коричневого цвета и обладает хорошими эксплуатационными свойствами. Оно предназначено для гидравлических систем и механизмов, эксплуатируемых при температуре масла в системе от  $+70$  до  $-60^{\circ}\text{C}$ . Максимальная кратковременно допустимая температура масла при работе  $+90^{\circ}\text{C}$ , оптимальная рабочая температура  $+35...+40^{\circ}\text{C}$ , температура застывания составляет  $-70^{\circ}\text{C}$ .

Масло получают из низкозастывающей нефти с добавлением вязкостной, антиокислительной, антикоррозионной и противоизносной присадок.

Гидравлическое масло ВМГЗ (М-15-В) – маловязкая низкозастывающая жидкость на основе минерального масла. Это масло используют в средней полосе нашей страны не только в летний, но и в зимний период в качестве рабочей жидкости для гидравлических систем различной подвижной наземной техники при температуре масла в системе от  $+50$  до  $-70^{\circ}\text{C}$ . Максимальная кратковременно допустимая температура масла при эксплуатации не выше  $+90^{\circ}\text{C}$ , оптимальный температурный режим  $+40...+50^{\circ}\text{C}$ , температура застывания не выше  $-60^{\circ}\text{C}$ .

Масло вырабатывают из низкозастывающих сернистых нефтей методом гидрокаталитического крекинга с добавлением антиокис-

лительной, антикоррозионной, противоизносной и противопенной присадок.

Индустриальные масла И-ЛГ-А-15 (И-12А) и И-Г-А-32 (И-20А) представляют собой очищенные дистиллятные масла, получаемые соответственно из сернистых и малосернистых нефтей методом селективной очистки. Не содержат присадок.

Индустриальное масло И-ЛГ-А-15 (И-12А) применяют для гидросилителя руля и других гидросистем автомобилей и тракторов в зимний период, а масло И-Г-А-32 (И-20А) – в летний период.

Моторные масла, рекомендуемые заводскими инструкциями для тракторов, не отвечают требованиям, предъявляемым к гидравлическим жидкостям. Применение моторных масел в гидросистемах тракторов объясняется только тем, что насосы гидросистем и картера двигателя разъединены сальником. В случае выхода из строя сальника гидравлическая жидкость может попасть в картер и вывести из строя двигатель. Установка на тракторах отдельных систем позволяет шире использовать в гидравлической системе маловязкие жидкости.

*Масла для гидромеханических передач.* Их выпускают трех марок: А, Р, МГТ.

Масло марки А представляет собой глубокоочищенный дистиллят селективной очистки, загущенный вязкостной присадкой. В масло вводят антиокислительную, противоизносную, моющую и антипенную присадки. Используют всесезонно в гидротрансформаторах и автоматических коробках передач автомобилей при температуре окружающего воздуха до  $-35^{\circ}\text{C}$ . Масло применяют также в зимний период в гидростатических приводах самоходной сельскохозяйственной техники.

Масло марки Р производят на основе веретенного масла АУ, в которое добавляют моющую, противоизносную, антиокислительную и антипенную присадки. Его используют в гидросистеме усилителя руля и гидрообъемных передачах. Изменение массы резины, испытываемой в этом масле, не превышает 5 %. Масло марки Р обеспечивает пуск гидрообъемных систем автомобилей при температурах выше  $-35^{\circ}\text{C}$  без специального подогрева. Максимальная кратковременно допустимая при эксплуатации температура масла не выше  $+125^{\circ}\text{C}$ , оптимальная рабочая температура  $+50...+60^{\circ}\text{C}$ , температура застывания не выше  $-45^{\circ}\text{C}$ .

Масло МГТ – это дистиллятное масло селективной очистки и глубокой депарафинизации, загущенное. Обладает высокими антиокис-

лительными, противоизносными, антифрикционными, противокоррозионными и антипенными свойствами. Масло используют в гидромеханических коробках передач и гидросистемах навесного оборудования при температуре окружающего воздуха от  $-50$  до  $+50$  °С.

#### 4.2. Охлаждающие жидкости

При работе двигателя некоторые детали, соприкасаясь с горячими газами, сильно нагреваются. Высокая температура поршней, цилиндров, головки и клапанов приводит к усиленному нагаро- и лакообразованию, повышенным трению, задирам и изнашиванию деталей. Для нормальной работы двигателя температура его деталей должна поддерживаться на определенном уровне. Это обеспечивает система охлаждения, которая в зависимости от быстроходности и мощности двигателя отводит 15–35 % теплоты, образующейся при сгорании топлива. В бензиновых и газовых двигателях доля отводимой теплоты всегда больше, чем в дизельных. Температуру в системе охлаждения необходимо поддерживать на строго определенном уровне в соответствии с указаниями завода-изготовителя для данной марки двигателя.

Хорошая работа системы охлаждения зависит от правильного выбора и качества охлаждающей жидкости. Охлаждающие жидкости должны отвечать следующим требованиям: иметь низкую температуру замерзания, высокие температуры кипения и самовоспламенения (для безопасности эксплуатации), большие теплоемкость и теплопроводность; не образовывать накипи и отложений в системе охлаждения; не влиять на резиновые изделия и не вызывать коррозии металлов; обладать высокими антипенными свойствами; быть нетоксичными, дешевыми, обеспечивать минимальный расход топлива и масла.

Вода, широко используемая в качестве охлаждающей жидкости, наряду с такими преимуществами, как высокая теплоемкость, доступность, пожаробезопасность и безвредность для человека, имеет ряд существенных недостатков. Главным недостатком является высокая температура замерзания ( $0$  °С). При этом вода увеличивается в объеме примерно на 10 %, вследствие чего может произойти разрыв головок цилиндров, блоков и радиаторов, поскольку лед при расширении оказывает на стенки системы давление около 245 МПа.

Угроза замерзания воды в системе охлаждения создает большие трудности при эксплуатации двигателей в зимнее время. К недостаткам воды следует отнести также сравнительно низкую температуру кипения.

Температура охлаждающей воды в автотракторных двигателях поддерживается на уровне 80–90 °С.

Вода обладает коррозионными свойствами. В ней находятся растворенные газы и некоторые соли, вызывающие коррозию металлов. Высокой коррозионностью обладают кислород, диоксид углерода и сероводород. Вода в системе охлаждения образует шламы и накипь.

Накипь представляет собой плотные прочные отложения, образующиеся на горячих стенках рубашки системы охлаждения за счет выпадения из воды различных солей. Шламом называют илистые отложения минерального или органического происхождения, которые постепенно коагулируются и оседают в застойных зонах системы охлаждения. Шлам и накипь уменьшают сечение каналов и имеют очень низкую теплопроводность, что резко снижает отвод теплоты от охлаждаемых деталей. При больших отложениях накипи и шлама в рубашке двигателя отвод теплоты от стенок цилиндров может снизиться на 40 %. Это приводит к перегреву двигателя, вязкость масла снижается, ухудшаются условия смазывания деталей, повышается их износ, растет склонность бензина к детонации у бензиновых двигателей, повышается расход топлива.

Атмосферная вода (снеговая, дождевая) наиболее чистая. В ней нет растворенных солей и органических веществ, но всегда присутствуют растворенные газы. В речной воде значительно больше растворенных солей, чем в болотной и прудовой, причем в последних преобладают органические вещества.

Склонность к образованию накипи в системе охлаждения характеризуется жесткостью воды, обусловленной содержанием в ней ионов кальция и магния. *Единица жесткости воды – моль на кубический метр (моль/м<sup>3</sup>)*. Различают устранимую и неустраанимую жесткость воды. Устранимая жесткость воды обусловлена присутствием в воде карбонатных и гидрокарбонатных ионов солей кальция и магния, удаляемых при кипячении. Эти соли могут находиться в растворенном состоянии в воде лишь в присутствии углекислоты. В процессе кипения воды углекислота разлагается, а соли выпадают и выпадают в осадок. Чем выше температура стенок

блока цилиндров, тем быстрее идут распад солей и образование накипи. При этом вода умягчается, и жесткость ее устраняется.

Неустраняемая жесткость обусловлена присутствием в воде солей, которые не разлагаются при кипячении, однако они выпадают в осадок и участвуют в образовании накипи при испарении части воды из системы охлаждения, когда их концентрация превысит предел насыщения. Воду считают мягкой, если общее содержание в ней солей не превышает  $3 \text{ моль/м}^3$ , средней жесткости –  $3\text{--}6 \text{ моль/м}^3$  и жесткой – более  $6 \text{ моль/м}^3$ . Жесткая вода непригодна для систем охлаждения двигателей.

Обычно жесткость воды определяют в лабораторных условиях, но ее можно оценить и простым способом. Так, в мягкой воде образуется устойчивая мыльная пена, в воде средней жесткости пена образуется при длительном намыливании, а в жесткой воде она не образуется совсем. Как правило, в северных районах нашей страны воды мягкие. Чем южнее район, тем выше жесткость. В южных районах жесткость воды иногда составляет  $80\text{--}100 \text{ моль/м}^3$ .

В двигателях внутреннего сгорания необходимо использовать только мягкую воду, почти не образующую отложений накипи. Перед заправкой в систему охлаждения воду нужно профильтровать для удаления механических примесей.

Воду средней жесткости и жесткую следует умягчать различными способами. Самым простым из них является кипячение. Прокипяченную воду надо профильтровать через плотную ткань для удаления осадка. При химических способах умягчения воды все соли переводятся в осадок, который затем удаляют отстаиванием и фильтрацией. Для умягчения воды используют растворы соды и извести, тринатрийфосфат, гексаметафосфат и другие реагенты. Широко распространен катионовый способ. Катионами называют вещества, которые могут обменивать свои катионы на катионы растворенных в воде солей, в результате чего накипь не образуется. Предотвращать образование накипи в системе охлаждения двигателя можно непосредственно вводом в систему специальных присадок, для чего используют хромпик и фосфаты натрия, которые переводят накипеобразующие соли в рыхлые осадки.

*Низкозамерзающие охлаждающие жидкости.* Этиленгликолевые антифризы широко используют в качестве охлаждающих жидкостей для автотракторных двигателей. *Этиленгликоль – это двухатомный спирт, представляющий собой ядовитую жидкость без цвета и запаха.* Он хорошо смешивается с водой в любых соотно-

шениях и замерзает при  $-11,5 \text{ }^\circ\text{C}$ . Однако при смешивании этиленгликоля с водой температура застывания смеси ниже, чем каждого из компонентов в отдельности. При смешивании этиленгликоля с водой в различных соотношениях можно получить смеси, замерзающие от  $0$  до  $-75 \text{ }^\circ\text{C}$ . По мере добавления в воду этиленгликоля температура смеси понижается. Минимальная температура смеси достигается при содержании в ней  $33 \%$  воды. Дальнейшее уменьшение ее содержания ведет к повышению температуры замерзания (рис. 4.1). Поскольку плотности этиленгликоля и воды разные, то при смешивании их в различных соотношениях изменяется плотность антифриза. По плотности охлаждающей жидкости можно определить температуру ее замерзания.

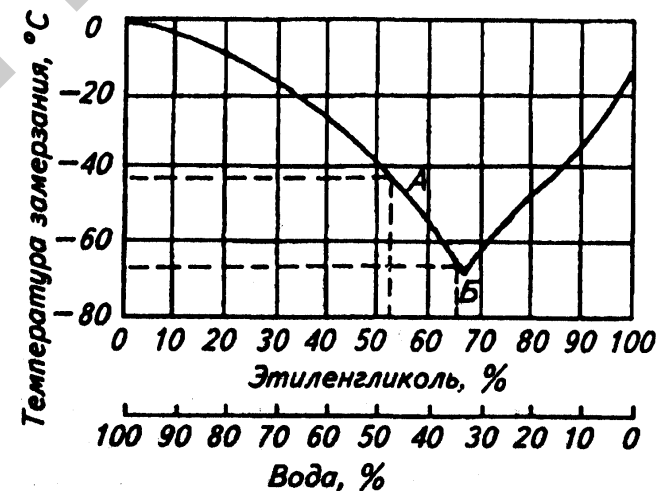


Рис. 4.1. Температура замерзания смеси этиленгликоля и воды в зависимости от ее состава:  
А, Б – точки замерзания смеси

К охлаждающим низкозамерзающим жидкостям относятся водные растворы этиленгликоля с антикоррозионными, активспенивающими, стабилизирующими и красящими добавками. Их изготавливают следующих марок:

ОЖ-К (концентрат) – воды не более  $5 \%$ , плотность  $1100\text{--}1150 \text{ кг/м}^3$ . При добавлении в концентрат дистиллированной воды

в объемном соотношении 1:1 температура кристаллизации раствора составляет  $-35^{\circ}\text{C}$ ;

ОЖ-65 – плотность  $1085\text{--}1100\text{ кг/м}^3$ , начало кристаллизации при температуре не выше  $-65^{\circ}\text{C}$ ;

ОЖ-40 – плотность  $1065\text{--}1085\text{ кг/м}^3$ , начало кристаллизации при температуре не выше  $-40^{\circ}\text{C}$ .

Характеристика охлаждающей низкотемпературной жидкости «Тосол» приведена в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Основные показатели охлаждающей жидкости «Тосол»

Показатель	Тосол АМ	Тосол А-40М	Тосол А-65М
Цвет	Голубой		Красный
Плотность при $20^{\circ}\text{C}$ , $\text{кг/м}^3$	1120–1140	1075–1085	1085–1095
Температура начала кристаллизации, $^{\circ}\text{C}$ , не выше	–	–40	–65
Коррозионные потери металлов при испытаниях, кг, не более:			
меди	10	10	10
припоя	12	12	12
алюминия	20	20	20
чугуна	10	10	10
Состав, %:			
этиленгликоль	97	56	64
вода	3	44	36

Состав охлаждающих низкотемпературных жидкостей определяют гидрометром (рис. 4.2), который имеет двойную шкалу – содержания этиленгликоля и температуры замерзания. Охлаждающую жидкость наливают в стеклянный цилиндр и осторожно опускают в него гидрометр. После того как гидрометр установится, по верхней границе мениска отсчитывают на шкале значения состава охлаждающей жидкости и температуры застывания. Температура охлаждающей жидкости должна быть  $20^{\circ}\text{C}$ .

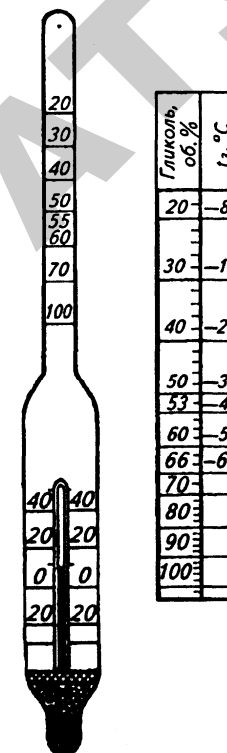


Рис. 4.2. Гидрометр и его шкала

Все охлаждающие низкотемпературные жидкости применяют все-сезонно. При их использовании в двигателях внутреннего сгорания следует учитывать некоторые особенности. При работе двигателя из системы охлаждения испаряется в первую очередь вода, которую необходимо периодически доливать. Если же из системы охлаждения произошла утечка охлаждающей жидкости, то нужно добавить антифриз.

Охлаждающие жидкости имеют высокий коэффициент объемного расширения, поэтому в систему охлаждения не доливают 6–8 % жидкости. При замерзании охлаждающей жидкости внутри системы охлаждения двигателя образуется кашеобразная рыхлая масса, объем которой увеличивается очень мало (приблизительно на 0,25 %), вследствие чего отсутствует опасность «размораживания» двигателя. Попадание бензина, масла и других нефтепродуктов



в охлаждающую жидкость вызывает сильное пенообразование и выброс жидкости через пробку радиатора из системы охлаждения.

Этиленгликолевые охлаждающие жидкости имеют меньшую теплоемкость, чем вода. Поэтому при замене воды на охлаждающую жидкость в системе охлаждения двигателя допускаются более высокие температуры. Охлаждающие жидкости обладают большой подвижностью и проницаемостью, вызывают некоторое размягчение резины. В связи с этим необходимо тщательно следить за состоянием соединительных шлангов системы охлаждения. Поскольку этиленгликолевые охлаждающие жидкости ядовиты, то при работе с ними следует строго соблюдать меры предосторожности. Жидкость нельзя засасывать ртом для создания сифона, систему охлаждения надо заполнять осторожно, не допуская разлива и перелива жидкости. Перед приемом пищи обязательно надо вымыть с мылом руки, загрязненные охлаждающей жидкостью, попадание которой в организм человека вызывает тяжелые отравления, иногда со смертельным исходом.

*Перспективные охлаждающие жидкости.* Промышленной группой «Спектр-Авто» налажено производство охлаждающих жидкостей «Спектрол Антарктида» и «Спектрол Тосол А-40».

«Спектрол Антарктида» – это всесезонная охлаждающая жидкость с температурой кристаллизации не выше  $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  и плотностью  $1070\text{--}1100\text{ кг/м}^3$  при  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Коррозионное воздействие этой жидкости на металлы (чугун, сталь, латунь, алюминий) по техническим условиям составляет  $0,1\text{ г/м}^2$ . Воздействие на резину – набухание не более 5 %. Обладает повышенной теплоемкостью и теплопроводностью, хорошими моющими свойствами. Предотвращает коррозию деталей из сплавов цветных металлов (меди, алюминия, олова). Добавки пеногасителей полностью исключают вспенивание жидкости.

Применение специальных стабилизаторов обеспечивает работу жидкости «Спектрол Антарктида» в течение не менее трех лет. Она рекомендована для систем охлаждения автомобилей всех типов при температуре окружающего воздуха от  $-40$  до  $+55\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

«Спектрол Тосол А-40» – всесезонная охлаждающая жидкость с температурой кристаллизации не выше  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  и плотностью  $1062\text{--}1067\text{ кг/м}^3$  при  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Воздействие на резину – набухание не более 5 %, коррозионное воздействие на металлы (латунь, сталь, чугун, алюминий) –  $0,1\text{ г/м}^2$ . «Спектрол Тосол А-40» не образует отложений в системе охлаждения, совместим с охлаждающими жидкостями всех типов на основе этиленгликоля отечественного

и зарубежного производства. Предназначен для системы охлаждения автомобильных двигателей всех типов.

Антифриз «NORD» – прозрачная жидкость зеленого цвета без механических примесей. Температура начала кристаллизации  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Плотность при  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $1074\text{ кг/м}^3$ . Коррозионное воздействие на металлы: медь –  $0,03$ , латунь –  $0,03$ , сталь –  $0,01$ , чугун –  $0,02$ , алюминий –  $0,03\text{ г/м}^2$ . Антифриз представляет собой водный раствор этиленгликоля или смеси этиленгликоля с диэтиленгликолем, содержащий антикоррозионную и антипенную присадки. Яркая флуоресцентная окраска антифриза помогает точно определить место его утечки с помощью ультрафиолетовой лампы. Его используют в двигателях автотракторной техники при температуре окружающего воздуха до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Он полностью совместим с отечественными и зарубежными антифризами, изготовленными на основе этиленгликоля.

«Тосол-Север» изготовлен на основе этиленгликоля и содержит пакет присадок, которые уменьшают агрессивность этиленгликоля по отношению к металлам и резине. Антифриз выпускают двух марок: «Тосол-Север-40» и «Тосол-Север-65», температура начала кристаллизации которых соответственно  $-40$  и  $-65\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

«Тосол-Север-40» – однородная жидкость синего цвета без механических примесей, плотность при  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  –  $1073\text{ кг/кг}^3$ . Коррозионное воздействие на металлы в сутки составляет: на медь –  $0,03$ , латунь –  $0,03$ , сталь –  $0,06$ , чугун –  $0,02$ , алюминий –  $0,03\text{ г/м}^2$ .

Антифриз «Лукойл G-48» соответствует международным стандартам, имеет высокие антикоррозионные свойства и химическую стабильность. Не вспенивается и не образует отложений в системе охлаждения. Этот антифриз положительно оценен европейскими производителями автомобилей.

### 4.3. Тормозные жидкости

*Назначение и характеристики тормозных жидкостей.* Назначение тормозной жидкости состоит в передаче энергии от главного тормозного цилиндра к колесным цилиндрам, которые прижимают тормозные накладки к тормозным дискам или барабанам. Давление в гидроприводе тормозов достигает  $10\text{ МПа}$ , а температура жидкости в дисковых тормозах от  $+150$  до  $+190\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Во время работы в тормозную систему через резиновые уплотнения проникает влажный воздух, в результате чего тормозная жидкость

«увлажняется» и температура ее кипения снижается. Если при эксплуатации автомобиля температура кипения жидкости станет ниже 150 °С, то в ней выделяются пузырьки газа и пара, образуя паровые пробки. Это может привести к отказу тормозов и аварии. Температура кипения тормозной жидкости – главный показатель, определяющий предельно допустимую рабочую температуру гидродrive тормозов.

При эксплуатации автомобиля вследствие обводнения температура кипения тормозной жидкости постепенно снижается. Поэтому определяют температуру «увлажненной» жидкости, содержащей 3,5 % воды. Этот показатель косвенно характеризует температуру, при которой жидкость будет «закипать» через 1,5–2 года ее работы в гидроприводе тормозов.

На всех легковых автомобилях тормозная система имеет гидравлический привод, надежность работы которого зависит от качества тормозной жидкости. Эксплуатационные требования к этим жидкостям следующие: достаточно высокая температура кипения; большая подвижность, малая вязкость; температура замерзания ниже температуры окружающего воздуха; сохранение однородности, то есть тормозная жидкость не должна расслаиваться и в ней не допускается выпадение сгустков и осадка; полная совместимость с резиновыми деталями и металлом тормозной системы; хорошая смазывающая способность.

Современные тормозные жидкости представляют собой смеси эфиров с полимерами и присадками. В нашей стране выпускают жидкости БСК, «Нева», «Томь», «Роса», «Роса-3», «Роса ДОТ-3», «Роса ДОТ-4» (табл. 4.3).

Таблица 4.3

## Характеристики тормозных жидкостей

Показатель	Марка тормозной жидкости			
	«Нева»	«Томь»	«Роса», «Роса-3», «Роса ДОТ-4»	БСК
Внешний вид	Прозрачная однородная жидкость от светло-желтого до темно-желтого цвета без осадка. Допускается слабая опалесценция*			Прозрачная однородная жидкость оранжево-красного цвета

Показатель	Марка тормозной жидкости			
	«Нева»	«Томь»	«Роса», «Роса-3», «Роса ДОТ-4»	БСК
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при температуре, °С: +50, не ниже +100, не ниже –40, не выше	5 2 1500	5 2 1500	5 2 1450	9 2500
Низкотемпературные свойства: внешний вид выдержки (6 ч, –50 °С)	Прозрачная жидкость без расслоения и осадка			
Время прохождения пузырька воздуха через слой жидкости при опрокидывании сосуда, с, не более	35	35	8	–
Температура кипения, °С, не ниже	195	220	260	115
Температура кипения «увлажненной» жидкости, не менее	138	155	165	110
Содержание механических примесей, %	Отсутствие			
pH	7,0–11,5	7,0–11,5	7,5–9,0	> 6,0
Взаимодействие с металлами (по изменению массы пластинок, мг/см <sup>2</sup> , не более): сталь 10 дюралюминий Д 16 (1160) чугун СЧ 18 латунь Л 62 медь М 1	0,1 0,1 0,1 0,4 0,4	0,1 0,1 0,08 0,1 0,2	0,1 0,1 0,1 0,2 0,2	0,2 0,1 0,2 0,4 0,4
Воздействие на резину, %: изменение объема резины марки 7-2462 при 70 °С то же, марки 51-1524 при 120 °С	2–10 2–8	2–10 2–10	2–10 2–10	5–10 –
Изменение предела прочности резины марки 51-1524, %, не более	20	18	25	–

\* Опалесценция – яркое свечение голубого цвета.

Нельзя смешивать жидкости, изготовленные на разных основах, так как это приводит к расслоению тормозной жидкости и ухудшению ее эксплуатационных свойств. Если марка гидравлической жидкости, залитой в тормозную систему, неизвестна, то делают пробу на смешивание: в пробирку наливают в равных количествах жидкость из тормозной системы и жидкость, которую предполагается долить в систему. Затем их взбалтывают. Если произошло расслоение смеси, то доливать тормозную жидкость в систему нельзя.

Тормозная жидкость БСК прозрачная, однородная, красного цвета, без осадков и механических примесей. Она представляет собой смесь 50 % касторового масла и 50 % бутилового спирта. Плотность жидкости при +20 °С составляет 890–900 кг/м<sup>3</sup>, кинематическая вязкость при температуре +50 °С находится в пределах 9–13 сСт. Благодаря наличию касторового масла жидкость обладает хорошими смазывающими свойствами, не вызывает большого набухания или размягчения резиновых уплотнительных деталей тормозной системы. Однако вязкостно-температурные свойства этой жидкости неудовлетворительные, поэтому ее рекомендуют применять только в средней полосе страны. Недостаток спиртокасторовой смеси – высокая температура кристаллизации касторового масла. Кристаллизация начинается при –5 °С и интенсивно протекает при –20 °С. В результате этого образуются сгустки, которые могут закупорить трубопроводы гидравлического привода и вызвать отказ тормозов автомобиля. Жидкость БСК не рекомендуется применять при температуре окружающего воздуха ниже –20 и выше +30 °С. Ее следует предохранять от воды, которая может привести к расслоению жидкости.

Жидкость применяют в гидроприводе тормозов старых моделей грузовых и легковых автомобилей, кроме автомобилей ВАЗ.

Тормозная жидкость «Нева» имеет цвет от светло-желтого до желтого, прозрачная. Она рекомендуется для легковых автомобилей. В ее состав входят 51–59 % этилкарбита, 31–34 – диолов, 5 – эфиров карбита и 13,5 % смесей гликолей и полигликолей, а также вязкостная и противокоррозионная присадки. Жидкость «Нева» обладает хорошими вязкостно-температурными свойствами. Плотность ее при +20 °С составляет 1012–1015 кг/м<sup>2</sup>, кинематическая вязкость при +50 °С не менее 5 сСт. Она хорошо растворяет воду; однородность водной смеси сохраняется при +40 °С и ниже. Тормозная жидкость «Нева» огнеопасна, попадание ее на кожу человека приводит к дерматитам.

Жидкость используют в гидроприводе тормозов и сцеплений старых моделей грузовых и легковых автомобилей выпуска до 1985 г. Срок службы жидкости не превышает одного года.

Тормозная жидкость «Томь» разработана вместо жидкости «Нева» и имеет лучшие эксплуатационные свойства. Ее изготавливают на основе этилкарболита и борсодержащего полиэфира с добавлением загущающей и антикоррозионной присадок. Полностью совместима с жидкостью «Нева», обладает хорошими антикоррозионными и противоизносными свойствами и небольшим снижением температуры кипения при обводнении.

«Томь» работоспособна при температуре окружающей среды от –40 до +45 °С. Ее используют в гидроприводе тормозов и сцеплений всех моделей грузовых и легковых автомобилей, за исключением переднеприводных автомобилей ВАЗ. Срок службы жидкости составляет 2 года.

Зарубежными аналогами жидкостей «Нева» и «Томь» являются тормозные жидкости, соответствующие международной классификации ДОТ-3.

Тормозные высокотемпературные жидкости «Роса ДОТ-4», «Роса ДОТ-3», «Роса-3» и «Роса» производятся на основе борсодержащего полиэфира, в который вводят антиокислительные и антикоррозионные присадки. Тормозные жидкости «Роса» и «Роса-3» отличаются от жидкости «Роса ДОТ-4» только наличием в своем составе различных пластификаторов. Жидкости работоспособны при температурах окружающей среды от –40 до +45 °С. Их применяют в тормозных системах современных легковых и грузовых автомобилей. Эти жидкости совместимы с тормозными жидкостями «Томь» и «Нева» в любых соотношениях.

#### 4.4. Амортизаторные жидкости

Амортизаторы служат для гашения колебаний кузова на упругих элементах подвески. При этом ход автомобиля становится плавным даже при движении по плохим дорогам. Амортизаторные жидкости являются рабочим телом в гидравлических амортизаторах телескопического и рычажно-кулачкового типа.

Работа амортизаторов основана на поглощении кинетической энергии колебания кузова машины при протекании под давлением амортизаторной жидкости через узкие отверстия из одной полости в другую. Давление жидкости в амортизаторах составляет 8–11 МПа, а темпера-

тура изменяется в зависимости от времени года и климатических условий местности от  $-50$  до  $+140$  °С. Амортизаторные жидкости должны обладать хорошими вязкостно-температурными, смазывающими и антипенными свойствами, низкой температурой застывания, высокой антиокислительной и механической стабильностью, а также совместимостью с резиновыми уплотнениями.

Главный эксплуатационный показатель амортизаторных жидкостей – вязкость при положительных и отрицательных температурах. При температуре  $-20$  °С кинематическая вязкость не должна превышать 800 сСт. При большей вязкости работа амортизаторов значительно ухудшается, происходит блокировка подвески.

В качестве амортизаторных жидкостей используют маловязкие нефтяные масла различных марок или их смеси, которые содержат вязкостную, депрессорную, антиокислительную, противоизносную, диспергирующую и антипенную присадки. Выпускают следующие амортизаторные жидкости (табл. 4.4): АЖ-12Т, МГП-12 (торговая марка «Славол-АЖ»), ГРЖ-12.

Таблица 4.4

*Характеристики амортизаторных жидкостей*

Показатель	Марка амортизационной жидкости		
	АЖ-12Т	МГП-12 («Славол-АЖ»)	ГРЖ-12
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с, (при температуре, °С):			
(+40), не менее	–	–	16–20
(+50), не менее	12	12	–
(+100), не менее	3,6	3,8	3,9
(–20), не более	–	800	800
(–40), не более	6500	–	–
Температура, °С:			
вспышки, не ниже	165	140	140
застывания, не выше	–52	–50	–50
Плотность при 20 °С, мг/см <sup>3</sup> , не более	–	917	917
Стабильность против окисления:			
осадок после окисления, %	Отсутствие		–
кислотное число до (после) окисления, мг КОН/г, не более	0,04 (0,1)	–	–
Содержание механических примесей и воды, %	–	Отсутствие	
Испытание на коррозию	Выдерживает		

Амортизаторная жидкость АЖ-12Т предназначена для телескопических и рычажно-кулачковых амортизаторов автомобилей. Жидкость представляет собой смесь маловязкого масла селективной очистки из сернистых нефтей и этилполисилоксановой жидкости с противоизносной и антиокислительной присадками. Ее кинематическая вязкость: при  $+50$  °С не менее 12 мм<sup>2</sup>/с, при  $-40$  °С не более 6500 мм<sup>2</sup>/с. Температура застывания составляет  $-52$  °С, что обеспечивает мягкую работу амортизаторов в любое время года. Амортизаторная жидкость АЖ-12Г прозрачная, от светло-желтого до светло-коричневого цвета.

Амортизаторная жидкость МГП-12 («Славол-АЖ») представляет собой маловязкую низкозастывающую нефтяную основу, в которую введены депрессорная, диспергирующая, противоизносная, антиокислительная и антипенная присадки. Ее кинематическая вязкость при  $+50$  °С не менее 12 мм<sup>2</sup>/с, температура застывания не выше  $-50$  °С. Жидкость применяют в телескопических стойках и амортизаторах легковых и грузовых автомобилей.

Амортизаторная жидкость ГРЖ-12 представляет собой смесь очищенного трансформаторного и веретенного дистиллятов. Содержит депрессорную, антиокислительную, противоизносную и антипенную присадки.

Кинематическая вязкость при  $+40$  °С составляет 10–20 мм<sup>2</sup>/с, температура застывания не выше  $-50$  °С. Жидкость используют в амортизаторах и телескопических стойках автомобилей.

Веретенное масло АУ (МГ-22-А) и гидравлическое масло АУП (МГ-22-Б) широко применяют для амортизаторов автомобилей, несмотря на то, что у масел высокая температура застывания и неудовлетворительная вязкостно-температурная характеристика. Их вязкость быстро возрастает при понижении температуры, в связи с чем увеличивается жесткость работы амортизаторов.

Смесь турбинного и трансформаторного масел в соотношении примерно 1:1 используют для амортизаторов. Однако она не в полной мере отвечает требованиям, предъявляемым к амортизаторным жидкостям. Смесь имеет температуру застывания около  $-30$  °С и недостаточно хорошую вязкостно-температурную характеристику. Кинематическая вязкость ее при  $+50$  °С равна 16,0–16,5 мм<sup>2</sup>/с.

#### 4.5. Пусковые жидкости

Пуск тракторных и автомобильных двигателей при низкой температуре значительно затруднен. Для облегчения пуска двигателей внутреннего сгорания в холодное время года применяют пусковые

жидкости двух марок: «Холод Д-40» – для дизельных двигателей и «Арктика» – для бензиновых двигателей.

Пусковая жидкость «Холод Д-40» предназначена для дизельных двигателей и имеет следующий состав, %: этиловый эфир – 58–62, изопропилнитрат – 13–17, газовый бензин – 13–17 и маловязкое масло – 8–12. Основной компонент пусковой жидкости – этиловый эфир, обладающий низкой температурой самовоспламенения, широким пределом воспламеняемости и высоким давлением насыщенных паров. Этиловый эфир обеспечивает самовоспламенение рабочей смеси при сравнительно низких температурах (около 200 °С). Для обеспечения плавного и последовательного воспламенения в состав смеси вводят изопропилнитрат и газовый бензин, которые воспламеняются после этилового эфира, но раньше основного топлива. Для снижения износа деталей при пуске двигателя в состав пусковой жидкости добавляют 8–12 % масла.

Жидкость выпускают в запаянных ампулах или в аэрозольной упаковке (в металлических баллонах). Жидкость вводят пусковым приспособлением 6ПП-40 во впускной трубопровод дизеля. Благодаря этому обеспечивается пуск холодного дизеля при температуре до –40 °С.

Жидкость «Арктика» применяют в тех случаях, когда предварительный прогрев бензинового двигателя невозможен. Пусковая жидкость имеет следующий состав, %: этиловый эфир – 45–60, газовый бензин – 35–55, инициатор воспламенения (изопропилнитрат) – 1,5, масло с противозадирной присадкой – 2. Жидкость хранят в ампулах или баллонах. Ее вводят во впускной трубопровод двигателя с помощью пускового приспособления 5ПП-40, после чего возможен пуск холодного двигателя при температуре воздуха до –40 °С.

#### Контрольные вопросы и задания:

1. Какие требования предъявляют к гидравлическим маслам?
2. Как классифицируют гидравлические масла?
3. Каковы состав и свойства охлаждающих низкотемпературных жидкостей?
4. Назовите марки тормозных жидкостей.
5. Для чего предназначены амортизаторные жидкости? Перечислите их состав.
6. Назовите марки пусковых жидкостей.

#### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецов, А. В. Топливо и смазочные материалы. – М. : КолосС, 2004. – 199 с.
2. Итинская, Н. И. Автотракторные эксплуатационные материалы / Н. И. Итинская, Н. А. Кузнецов. – М. : Агропромиздат, 1987. – 270 с.
3. Итинская, Н. И. Топлива, масла и технические жидкости : справочник / Н. И. Итинская, Н. А. Кузнецов. – М. : Агропромиздат, 1989. – 304 с.
4. Колосюк, Д. С. Автотракторные топлива и смазочные материалы / Д. С. Колосюк, А. В. Кузнецов. – Киев : Высшая школа, 1987. – 191 с.
5. Кузнецов, А. В. Практикум по топливу и смазочным материалам / А. В. Кузнецов, М. А. Кульчев. – М. : Агропромиздат, 1987. – 224 с.
6. Кузнецов, А. В. Теплотехника, топливо и смазочные материалы / А. В. Кузнецов, С. П. Рудобашта, А. В. Симоненко. – М. : Колос, 2001. – 240 с.
7. Лышко, Г. П. Топливо и смазочные материалы. – М. : Агропромиздат. – 302 с.
8. Стребков, С. В. Применение топлива, смазочных материалов и технических жидкостей в агропромышленном комплексе / С. В. Стребков, В. В. Стрельцов. – Белгород : Изд-во Белгородской с.-х. академии, 1999. – 404 с.
9. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости. Ассортимент и применение / под ред. В. М. Школьников. – М. : Химия, 1999. – 596 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1. Характеристики автомобильных бензинов

Автомобильные бензины используются в качестве топлива для двигателей с искровым зажиганием. Производство осуществляется на базе катализатора риформинга с вовлечением легких углеводородных фракций без использования тетраэтилсвинца. В бензины вовлекается дополнительно бензин каталитического крекинга.

Таблица П. 1.1

#### Основные технические параметры бензинов Мозырского НПЗ

Наименование показателей	Норма для марки						
	«Нормаль-80» ГОСТ 31077-2002					АИ-92	АИ-95
	Класс					ТУ 38.001165-2003	
	1	2	3	4	5		
Октановое число: по моторному методу, не менее	76					83,0	85,0
по исследовательскому методу, не менее	80					92,0	95,0
Фракционный состав: 10 % перегоняется при температуре, °С, не выше	75	70	65	60	55	75	75
конец кипения, °С, не выше	215					215	215
Давление насыщенных паров, кПа: мин.	35	45	55	60	80	35	35
макс.	70	80	90	95	100	93,3	93,3
Индукционный период, мин, не менее	360					900	900
Массовая доля серы, %, не более	0,05					0,05	0,05
Объемная доля бензола, %, не более	5					5	5

В структуре производства бензина в России в 2000–2008 г.г. (35 млн т) основную долю занимал «Регуляр-91» – около 18 млн т (51 %), «Нормаль-80» – около 10 млн т (29 %), на «Премиум-95» приходилось до 4 млн т (11 %), прямогонный бензин – около 3 млн т (8 %), на «Супер-98» – меньше процента всего производства. В том числе производство МТБЭ составило около 700 тыс. т.

В 2007 году внутреннее потребление бензина в Российской Федерации составило около 29 млн т в год, рост потребления, несмотря на существенный рост автомобильного парка (8 %), составил около 1,5 % в год. Структура потребления повторяет структуру производства. Прирост потребления отмечался, прежде всего, за счет высокооктановых бензинов – произошло постепенное замещение ими низкооктановых. Основным потребителем «Нормаль-80» являлся грузовой малотоннажный и внутригородской пассажирский транспорт.

Значительную часть экспорта составили полуфабрикатный прямогонный, а также бензин марки «Нормаль-80» – экспортный.

Таблица П. 1.2

#### Основные технические характеристики бензинов по ГОСТ Р 51105-97

Наименование показателей	Марка бензина			
	Нормаль-80	Регуляр-91	Премиум-95	Супер-98
Октановое число: по моторному методу, не менее	76,0	82,5	85,0	88,0
по исследовательскому методу, не менее	80,0	91,0	95,0	98,0
Содержание свинца, г/дм <sup>3</sup> , не более	0,010			
Содержание марганца, мг/дм <sup>3</sup> , не более	50	18	–	–
Содержание фактических смол, мг/100 мл, не более	5,0			
Индукционный период, мин, не менее	360			
Массовая доля серы, %, не более	0,05			
Объемная доля бензола, %, не более	5			
Испытание на медной пластине	Выдерж. класс 1			
Внешний вид	Чистый, прозрачный			
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	700–750	725–780	725–780	725–780

Примечание. Содержание марганца определяют только для бензинов с марганцевым антидетонатором (МЦТМ).

**Приложение 2. Характеристики дизельных топлив**

Таблица П. 2.1

*Основные технические характеристики дизельных топлив производства*

Показатель	Марка дизельного топлива								
	Л	З	А	ДЗп-15/25 ТУ 38.401-5836-92	Арктиче- ское экол. чистое ТУ 38.401.584 5-92	ДЛЭЧ-В	ДЛЭЧ	УФС	РФС
	ГОСТ 305-82					ТУ 38.1011348-90	ТУ 38.001.3 55-86	ТУ 38.401.652- 87	
Цетановое число, не менее	45	45	45	45	45	45	45	45	45
Фракционный состав: 10 % перегоняется при температуре, °С	–	–	–	–	–	–	–	–	150
50 % перегоняется при температуре, °С	280	280	255	280	255	280	280	290	280
96 % перегоняется при температуре, °С	360	340	330	360	330	360	360	–	–
до 360 °С перегоняется, %	–	–	–	–	–	–	–	90	90
Вязкость кинематическая при 20 °С, сСт	3,0–6,0	1,8–5,0	1,5–4,0	1,8–6,0	1,5–4,0	3,0–6,0	3,0–6,0	3,0–6,5	3,0–6,0
Температура застывания: для умеренной климатической зоны	–10	–35	–	–35	–	–10	–10	0	–5
для холодной климатической зоны	–	–45	–55	–	–55	–	–	–	–

205

Продолжение табл. П. 2.1

Показатель	Марка дизельного топлива								
	Л	З	А	ДЗп-15/25 ТУ 38.401-5836-92	Арктиче- ское экол. чистое ТУ 38.401.584 5-92	ДЛЭЧ-В	ДЛЭЧ	УФС	РФС
	ГОСТ 305-82					ТУ 38.1011348-90	ТУ 38.001.355-86	ТУ 38.401.652-87	
Температура помутнения, °С, не выше: для умеренной климатической зоны	–5	–25	–	–25	–	–	–	5	–
для холодной климатической зоны	–	–35	–	–	–	–	–	–	–
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже	40	35	30	35	30	40	40	40	20
Массовая доля серы, %, не более	0,5	0,5	0,4	0,2/0,5	0,05/0,1	0,05/0,1	0,05/0,1	0,5	0,5
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	–	–	0,01	0,01
Содержание сероводорода	Отсутствует								
Испытание на медной пластинке	Выдерживает								
Содержание водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствует								
Концентрация фактических смолов, мг/100 мл, не более	40	30	30	Не нормир.	Не нормир.	–	–	20	–

206

Показатель	Марка дизельного топлива								
	Л	З	А	ДЗп-15/25 ТУ 38.401-5836-92	Арктиче- ское экол. чистое ТУ 38.401.584 5-92	ДЛЭЧ-В	ДЛЭЧ	УФС	РФС
	ГОСТ 305-82					ТУ 38.1011348-90	ТУ 38.001.355-86	ТУ 38.401.652-87	
Кислотность, мг КОН на 100 мл, не более	5	5	5	5	5	5	5	5	50
Йодное число, г йода на 100 г, не более	6	6	6	6	6	–	–	6	6
Зольность, %, не более	0,01								
Коксуемость 10%-го остатка, %, не более	0,3	0,3	0,3	0,2	–	0,2	0,2	0,3	0,3
Коэффициент фильтруемости	3								
Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	–	–	–	–	–	–5	–5	Не нормир., но определять обязательно	
Содержание механических примесей	Отсутствует								
Содержание воды	Отсутствует								
Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup> , не более	0,860	0,840	0,830	0,860	0,830	0,860	0,860	0,860	0,845
Содержание ароматических углеводородов, %, не более	–	–	–	–	–	20	–	–	–
Цвет в единицах ЦНТ, не более	–	–	–	–	–	2,0	2,0	Не нормир.	2,0



**Приложение 3. Основные характеристики моторных и универсальных масел для двигателей**

Таблица П. 3.2

Таблица П. 3.1

*Основные характеристики моторных масел для бензиновых двигателей*

Показатель	Марка моторного масла		
	М-4,6-В <sub>1</sub>	М-5,10-Г <sub>1</sub>	М-6,12-Г <sub>1</sub>
Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при температуре, °С:			
100	5,5–6,0	10–11	≥ 12
–18	51 100–2600	–	≥ 10 400
–30	≤ 11 000	–	–
Динамическая вязкость при –18 °С, мПа·с, не более	–	2300	4500 (при –15 °С)
Индекс вязкости, не менее	125	120	115
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	5,5	5,0	7,5
Зольность сульфатная, %, не более	1,3	0,9	1,3
Массовая доля, %, не более: механических примесей	0,02	0,015	0,015
воды		Следы	
Содержание активных элементов, %:			
цинка	–	0,12	0,10
кальция	–	0,20	0,23
Температура застывания, °С, не выше	–42	–38	–30
Температура вспышки, °С, не ниже	165	200	210

*Основные характеристики моторных масел для дизелей*

Показатель	Марка моторного масла					
	М-8-Г <sub>2</sub>	М-8-Г <sub>2</sub> (к)	М-10-Г <sub>2</sub>	М-10-Г <sub>2</sub> (к)	М-8-Д <sub>2</sub> (м)	М-10-Д <sub>2</sub> (м)
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	8 ± 0,5	8 ± 0,5	11 ± 0,5	11 ± 0,5	8–8,5	≥ 11,4
Индекс вязкости, не менее	85	95	85	95	102	90
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	6,0	6,0	6,0	6,0	8,5	8,2
Зольность сульфатная, %, не более	1,65	1,15	1,65	1,15	1,5	1,5
Содержание активных элементов, %, не менее:						
цинка	0,06	0,05	0,06	0,05	–	0,04
кальция	0,15	0,19	0,15	0,19	–	0,15
бария	0,45	–	0,45	–	–	–
фосфора	0,06	0,05	0,06	0,05	–	–
Массовая доля, %, не более:						
мех. примесей	0,015	0,015	0,015	0,015	0,02	0,025
воды					Следы	
Температура застывания, °С, не выше	–25	–30	–15	–18	–30	–18
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	200	210	205	220	195	220

Таблица П. 3.3

## Основные характеристики универсальных масел

Показатель	Марка моторного масла	
	М-8-В	М-6з/10-В
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	7,5–8,5	9,5–10,5
Индекс вязкости	93	120
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	4,2	5,5
Зольность сульфатная, %, не более	0,95	1,3
Массовая доля, %, не более: механических примесей воды	0,015	0,02
	Следы	
Температура застывания, °С, не выше	–25	–30
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	207	190

## Приложение 4. Основные показатели трансмиссионных масел

Таблица П. 4.1

## Основные характеристики трансмиссионных масел

Показатель	Марка трансмиссионного масла					
	ТЭп-15 (ТМ-2-18)	ТСп-10 (ТМ-3-9)	ТСп-15к (ТМ-3-18)	ТАп-15В (ТМ-3-18)	ТСп-14гип (ТМ-5-18)	ТАд-17и (ТМ-5-18)
Кинематическая вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с, не менее	15 ± 1	10	15 ± 1	15 ± 1	≥ 14	≥ 17,5
Индекс вязкости, не менее	–	90	90	–	85	100
Массовая доля, %: механических примесей воды	0,03 Следы	0,02 Следы	0,01 Следы	0,03 Следы	0,01 Отсут.	Отсут. Следы
Температура, °С: застывания, не выше	–18	–40	–25	–20	–25	–25
вспышки в открытом тигле, не ниже	185	128	185	185	215	200
Испытания на коррозию пластинок из стали и меди в течение 3 ч при 100 °С	Выдерживает					
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	950	915	910	930	910	907

Таблица П. 4.2

## Область применения трансмиссионных масел

Марка масла	Категория по API	Область применения
ТЭп-15(ТМ-2-18)	GL-2	Передачи тракторов, комбайнов
ТСп-10 (ТМ-3-9)	GL-3	Передачи автомобилей, тракторов
ТСп-15к (ТМ-3-18)	GL-3	Трансмиссии грузовых автомобилей КамАЗ
ТАп-15В (ТМ-3-18)	GL-3	Трансмиссии автомобилей и тракторов
ТСп-14гип (ТМ-5-18)	GL-5	Гипоидные передачи грузовых автомобилей
ТАд-17и (ТМ-5-18)	GL-5	Трансмиссии легковых автомобилей

*Учебное издание*

**Бобровник** Александр Иванович, **Поздняков** Николай Александрович,  
**Варфоломеева** Татьяна Алексеевна, **Головач** Виталий Михайлович

ТОПЛИВО, СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ  
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ

Учебно-методическое пособие

Ответственный за выпуск А. И. Бобровник  
Редактор Т. В. Каркоцкая  
Компьютерная верстка Ю. П. Каминской

Подписано в печать 04.05.2010. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумага офсетная.  
Ризография. Усл. печ. л. 12,32. Уч.-изд. л. 11,87. Тираж 170 экз. Заказ 419.

Издатель и полиграфическое исполнение:  
учреждение образования  
«Белорусский государственный аграрный технический университет».  
ЛИ № 02330/0552841 от 14.04.2010.  
ЛП № 02330/0552743 от 02.02.2010.  
Пр-т Независимости, 99-2, 220023, Минск.