

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования

**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

---

## **ТОПЛИВО И СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

*Рекомендовано в качестве учебного пособия  
Редакционно-издательским советом  
Томского политехнического университета*

*Составители*  
**А.П.Сырбаков, М.А. Корчуганова**

Издательство  
Томского политехнического университета  
2015

УДК 000000  
ББК 00000  
Т00

Т00       Топливо и смазочные материалы: учебное пособие / сост. А.П.Сырбаков, М.А. Корчуганова; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 159 с.

В пособии рассмотрены основные пути и способы получения топлива и смазочных материалов. Проанализированы эксплуатационные свойства топлива, смазочных материалов и специальных жидкостей, их основные показатели качества и влияние на технико-экономические характеристики в используемых машинах и механизмах, приведены экологические свойства (токсичность, электролизация).

Пособие составлено в соответствии с примерной программой по дисциплине "Топливо и смазочные материалы" рекомендованной Министерством образования России для подготовки дипломированного специалиста 660300 - "Агроинженерия" (специальность 311300 - Механизация сельского хозяйства).

УДК 000000  
ББК 00000

#### *Рецензенты*

Кандидат технических наук, доцент,  
зав. кафедрой ЭиСТС КемГСХИ  
*Л.В.Аверичев*

Кандидат технических наук, доцент,  
зав. кафедрой ТМ и РМ КемГСХИ  
*А.П.Черныш*

© ФГБОУ ВПО НИ ТПУ, 2014  
© Сырбаков А.П., Корчуганова М.А.,  
составление, 2014  
© Оформление. Издательство Томского  
политехнического университета, 2015

## ВВЕДЕНИЕ

В связи с ежегодным ростом выпуска автомобилей и тракторов приходится неуклонно увеличивать добычу и переработку нефти, вводить в действие новые месторождения сырья, расположенные в отдаленных и труднодоступных районах. Поэтому экономия продуктов переработки нефти является одним из перспективных направлений решения топливно-энергетической проблемы и рассматривается как задача государственной важности.

Автомобили и тракторы потребляют значительную часть жидкого топлива, смазочных материалов и специальных технических жидкостей и в этой связи проблема экономного применения этих материалов стоит наиболее остро. Наряду с увеличением выпуска более экономичных дизельных энергоустановок, совершенствованием технического уровня выпускаемых бензиновых двигателей важное значение приобретает поиск путей замены дорогих видов топлива более дешевыми, перевода автомобилей на газовое топливо, повышения качества эксплуатационных материалов и их экономии за счет рационального применения в процессе эксплуатации машины.

Предложенный курс лекций знакомит с международными классификаторами смазочных материалов по системам, фирмам и др., позволяет сравнивать их с отечественной продукцией и ориентироваться при выборе эксплуатационных материалов.

В основу выбора и эффективного применения смазочных материалов, рабочих и технологических жидкостей положены сравнительные таблицы и поясняющие тексты. Такое представление справочной информации позволит успешно отвечать на множество практических вопросов, возникающих при эксплуатации автомобилей и тракторов.

Предложенный материал представлен по темам в виде отдельных лекций по курсу «Топливо и смазочные материалы» для инженерных специальностей «Механизация сельского хозяйства», «Автомобили и автомобильное хозяйство» и др..

# 1. ВИДЫ ТОПЛИВ, ИХ СВОЙСТВА И ГОРЕНИЕ

## 1.1 ОБЩАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ТОПЛИВА

Топливо состоит из горючей части и негорючей. Горючая часть представляет собой совокупность органических соединений, в которую входят углеводород, водород, кислород, азот и сера.

Негорючая часть (балласт) состоит из минеральных примесей, золы и влаги. Минеральные примеси разделяют на внешние и внутренние. Первые попадают в топливо из окружающей среды при его добыче, транспортировке и хранении, а вторые - входят в его химический состав.

Состав горючей части топлива.

Углерод С - основная горючая часть топлива. С увеличением его содержания тепловая ценность топлива повышается. В различных видах топлива содержится от 50 до 70 % С.

Водород Н - вторая по значимости составляющая горючей части топлива. В сравнении с углеродом Н содержится в топливе меньше (до 25 %), а теплоты при сгорании выделяет в четыре раза больше.

Кислород О - не горит и не выделяет теплоты. Его содержание в зависимости от вида топлива составляет 0,5 ... 45 %.

Азот N - не горит. Содержание в твердом и жидком топливе составляет 0,5 ... 1,5 %.

Сера S - при ее сгорании выделяется определенное количество теплоты. Но сам продукт сгорания является весьма нежелательной частью топлива, ибо сернистый SO<sub>2</sub> и серный SO<sub>3</sub> ангидриды вызывают сильную газовую или жидкостную коррозию металлических поверхностей. Содержание серы в твердом топливе составляет от долей % до 8 %, а в нефти от 0,1 до 4 %.

Зола А - представляет собой не горючий твердый компонент, является нежелательной и даже вредной примесью, так как ее присутствие усиливает абразивный износ, усложняет эксплуатацию котельных установок из-за оседания ее на стенках. У топлива с высоким содержанием золы понижена теплота сгорания и температура воспламеняемости.

Влага W - весьма нежелательная примесь, так как, во первых, часть теплоты забирается на ее испарение, в результате чего снижается теплота и температура сгорания, а во вторых влага вызывает коррозию металла.

Таблица 1

*Агрегатное состояние топлива*

Агрегатное состояние	Топливо	
	естественное	искусственное
Газообразное	Природный и нефтепромысловый газы	Газы (генераторный, водяной, светильный, коксовый, нефтеперерабатывающих заводов)
Жидкое	Нефть	Бензин, керосин, дизельное топливо, смазочное масло, спирт, различные смолы
Твердое	Ископаемые угли, горючие сланцы, торф, дрова	Каменноугольный кокс, брикетированное и пылевидное топливо, древесный уголь

Нефть - основное сырье для получения топлива и смазочных масел.

Нефть представляет собой сложную смесь различных соединений углерода с водородом. По элементарному составу она содержит 83 ... 87 % углерода; 11 ... 14 % водорода; 0,1 ... 1,2 % кислорода; 0,02 ... 1,7 % азота; 0,01 ... 5,5 % серы. По внешнему виду нефть маслянистая жидкость от темно-коричневого до желтого цвета. Ее плотность составляет 0,75 ... 1,3 г/см<sup>3</sup>.

На основании исследований ученых установлено, что нефть имеет органическое происхождение. Исходными веществами для образования нефти послужили продукты распада растительных и животных организмов. Они разлагались главным образом под действием бактерий, которые, отмирая, сами входили в образующийся органический остаток. Образовавшиеся в результате распада органические соединения накапливались в осадочных отложениях прибрежно-морских зон, а также к ним добавлялись аналогичные вещества, приносимые водными потоками из различных зон. В течение последующих геологических периодов при погружении морского дна и перемещениях осадочных пород содержащееся там органическое вещество под действием тепла и давления распадалось и превращалось в газообразные и жидкие углеводороды нефти. Таким образом, состав и свойства нефти зависят от характера исходного органического вещества, свойства окружающих пород и времени образования.

Основную массу нефти составляют углеводороды трех главных групп - парафиновые, нафтеновые и ароматические.

Парафиновые углеводороды составляют основную массу нефти,

они устойчивы к реакциям разложения. Эти качества оказывают большое влияние на эксплуатационные свойства топлива в частности (на мягкость работы, высокие противодетонационные свойства). Однако они обладают низкой температурой застывания, что делает их присутствие в зимних видах топлива и смазочных маслах крайне нежелательным.

Нафтеновые углеводороды более инертны к окислению по сравнению с парафиновыми. Поэтому они понижают температуру застывания, что является ценным составным компонентом зимних видов топлива и масел. Содержание нафтеновых углеводородов в нефти колеблется в пределах от 20 до 30 %, а в масляных фракциях достигает 70 %.

Ароматические углеводороды обладают высокой термической стойкостью к реакциям разложения. Для этих углеводородов характерны более высокие значения вязкости, плотности, температуры кипения. По этим причинам их присутствие повышает противодетонационные свойства карбюраторного топлива. В силу этих же причин ароматические углеводороды нежелательны в дизельном топливе, так как они вызывают увеличение периода задержки самовоспламенения, что вызывает жесткую работу дизеля. В нефти содержится от 10 до 50 % ароматических углеводородов.

В процессе термической обработки нефти образуются непредельные углеводороды. Они легко окисляются и имеют склонность к реакциям присоединения и уплотнения, в результате чего образуются смолисто-асфальтовые вещества. Это весьма нежелательно для моторного топлива и смазочного масла, а также это свойство вызывает смолообразование в топливе при хранении, особенно в крекинг-бензинах.

Помимо выше названных составляющих в нефти содержатся органические кислоты. Они не вызывают коррозию черных металлов, но с цветными металлами интенсивно взаимодействуют (особенно с цинком и свинцом).

Смолисто-асфальтовые вещества являются сложными соединениями углерода, водорода и кислорода. Наибольшее количество смолисто-асфальтовых веществ содержится в тяжелых фракциях нефти.

Сернистые соединения могут быть в свободном виде или в составе смолисто-асфальтовых веществ. Они бывают активные и нейтральные. Первые вступают в реакцию с металлами, и их наличие в нефтепродуктах недопустимо. Вторые менее вредные, даже некоторые из них повышают прочность масляной пленки. Для топлива все сернистые соединения нежелательны, так как при сгорании выделяется сернистый и серный газы, которые, вступая в реакцию с водой, вызывают сильную

коррозию деталей двигателя.

Азотистые соединения, минеральные примеси, и вода содержатся в нефти в небольших количествах и практически полностью могут быть удалены при очистке и отстаивании нефтепродуктов.

## **1.2 ПОЛУЧЕНИЕ ТОПЛИВА И СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ ИЗ НЕФТИ**

Основная масса жидкого топлива и смазочного масла получается путем прямой перегонки нефти, или при перегонке химическим способом (крекинг-способ). Принципиальная схема комплексной переработки нефти и остаточного продукта - мазута представлены на рисунке 1.

Прямая перегонка нефти представляет собой процесс разделения ее на отдельные фракции, отличающиеся между собой в первую очередь температурой кипения. Для этого нефть нагревают, а образующиеся пары отбирают и конденсируют по частям. В результате перегонки получают топливные дистилляты и остаток, называемый мазутом, который в дальнейшем может быть использован для химической переработки или получения смазочных масел.

Процесс прямо перегонки нефти проводят на установках непрерывного действия, позволяющих в едином технологическом процессе осуществить испарение и фракционирование дистиллятов. Процесс разделения нефти на топливные дистилляты и затем мазута на масляные дистилляты происходит следующим образом.

Подаваемая после отгона из мазута масляных дистиллятов в остатке получают гудрон или полугудрон. Применяя глубокую обработку гудронов и полугудронов серной кислотой получают высоковязкие остаточные смазочные масла (в основном авиационные).

Химический {деструктивный} метод переработки нефти {крекинг-метод}. При прямой перегонке нефти выход светлых фракций, в частности для бензинов составляет не более 9 ... 12 %, редко до 20 %. Повышение спроса на бензин вызвало необходимость увеличения его производства, что оказалось возможным благодаря применению деструктивных методов (расщепления высокомолекулярных фракций на фракции с меньшей молекулярной массой), такой метод получил название крекинг-процесс. Используя этот процесс стало возможным увеличить выход бензиновых фракций из нефти до 50... 60%.

Крекинг-процесс, протекающий под действием теплоты, называется термическим, а в присутствии катализатора - каталитическим. Основными факторами термического крекинга являются температура, давление, время процесса.

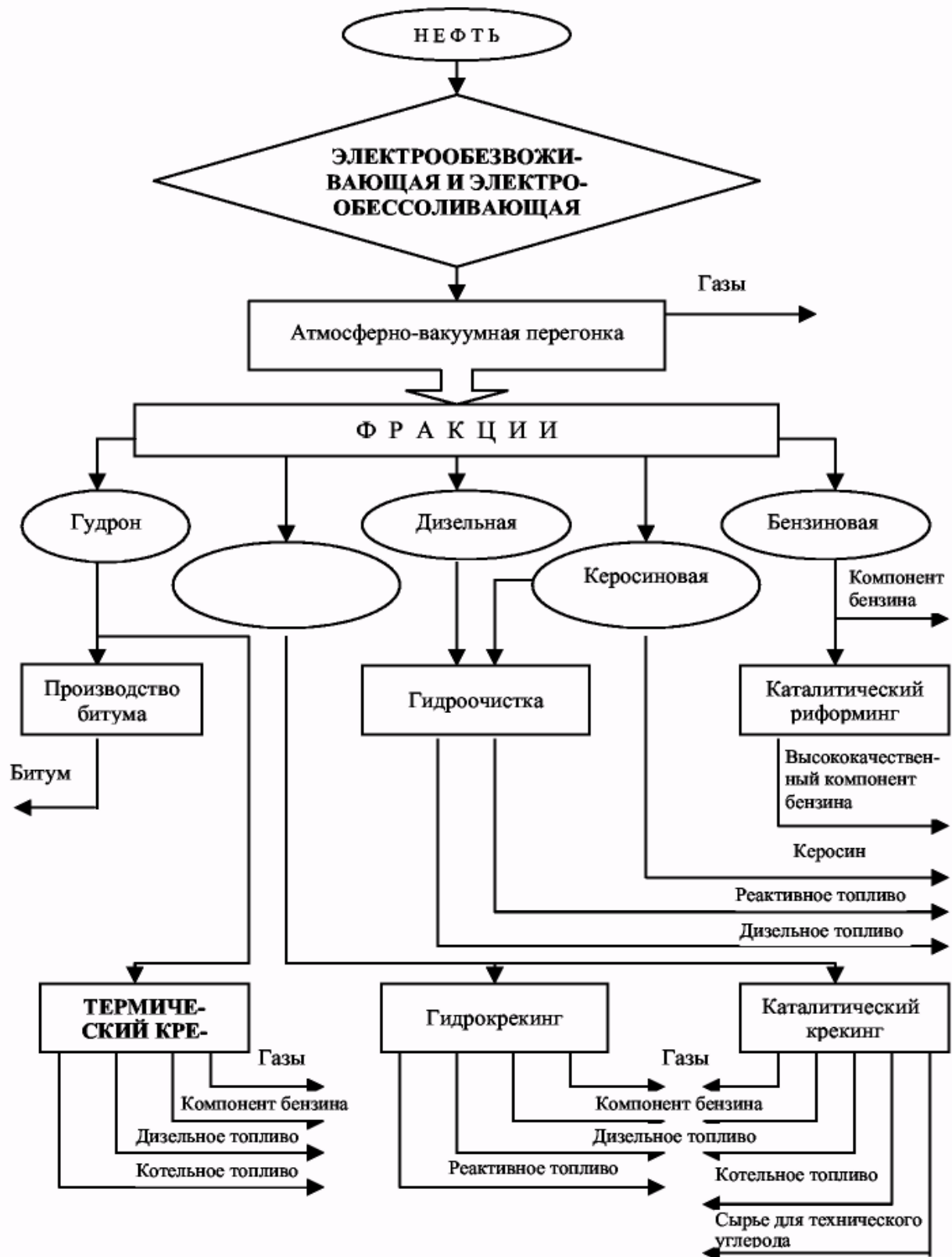


Рисунок 1 - Принципиальная схема комплексной переработки нефти



Если крекинг-процесс осуществляется при давлении 2 ... 5 МПа и температуре 400 ... 500 °С, он называется жидкофазным крекингом, а при давлении 0,2 ... 0,6 МПа и температуре 550 °С и выше - парофазным. Например, если при 400 °С для получения 30 % бензина из мазута необходимо около 12 ч., то при нагреве до 500 °С время процесса составляет всего лишь 30 мин.

Каталитический крекинг по сравнению с термическим более совершенный технологический процесс, так как часть образующихся непредельных углеводородов превращается в предельные за счет катализатора. Вследствие этого качество бензинов каталитического крекинга более высокое чем термического. Катализаторами служат алюмосиликаты.

Путем выделения из природного газа и газов крекинга легких бензиновых углеводородов с последующим их сжижением получают "газовый" бензин. Такой бензин находит применение в качестве высококачественной добавки к бензинам прямой перегонки и крекинг-бензинам.

### 1.3 СПОСОБЫ ОЧИСТКИ ТОПЛИВА

Методы очистки подразделяются на химические, при которых нежелательные соединения топлива вступают в химические реакции с реагентом, и физические - при которых топливо очищают путем растворения нежелательных соединений или абсорбцией.

К химическим способам очистки относится очистка сернокислотная  $H_2SO_4$ , щелочная  $NaOH$ , гидро-генизационная.

К физическим - очистка селективными (избирательными) растворителями и различными абсорбентами - они также выступают в качестве катализаторов непредельных углеводородов, вызывая реакции полимеризации.

Способы очистки смазочных масел. Масляные дистилляты после перегонки мазутов содержат целый ряд нежелательных веществ, таких, как смолисто-асфальтовые, органические кислоты, легко окисляющиеся и полимеризующиеся углеводы, которые очень сильно снижают качество масел.

Наиболее широко применяются следующие способы очистки масляных дистиллятов: кислотно-щелочная, кислотно-контактная, селективная, а также деасфальтизация и депарафинизация.

Депарафинизация проводится для масляных дистиллятов, получаемых из парафинистой нефти. При этом процессе из масла удаляются углеводороды, склонные к кристаллизации при понижении

температуры.

Деасфальтизация применяется для масел с высоким содержанием смолисто-асфальтовых веществ, затрудняющих серно-кислотную или селективную очистку. После деасфальтизации масляный дистиллят поступает на основную очистку. При деасфальтизации используют специальные растворители, которые преобразуют смолисто-асфальтовые вещества в осадок, после чего этот осадок удаляется механическим путем.

#### 1.4 ОБЩИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Для надежной и долговечной работы механизмов и систем топливо-смазочные материалы должны соответствовать требованиям ГОСТ. При этом основным критерием характеризующим качество топливо-смазочных материалов являются физико-химические свойства. Рассмотрим основные из них.

Плотность — это масса вещества, содержащаяся в единице объема. Различают абсолютную и относительную плотность.

Абсолютная плотность определяется как:

$$\rho = \frac{m}{W}, \quad (1)$$

где  $\rho$  - плотность, кг/м<sup>3</sup>;

$m$  - масса вещества, кг;

$W$  - объем, м<sup>3</sup>.

Плотность имеет значение при определении весового количества топлива в резервуарах. Плотность всякой жидкости, в том числе и топлива, изменяется с изменением температуры. Для большинства нефтепродуктов плотность уменьшается с увеличением температуры и увеличивается с уменьшением температуры.

На практике часто имеют дело с безразмерной величиной - относительной плотностью. Относительной плотностью нефтепродукта называется отношение его массы при температуре определения к массе воды при температуре 4 °С, взятой в том же объеме, поскольку масса 1 л воды при 4 °С точно равна 1 кг. Относительная плотность (удельный вес) обозначается  $\rho_4^{20}$ . Например, если 1 л бензина при 20 °С весит 730 г, а 1 л воды при 4 °С весит 1000 г, то относительная плотность бензина будет равна:

$$\rho_4^{20} = \frac{730}{1000} = 0,730.$$

Относительная плотность нефтепродукта  $\rho_4^{20}$  принято выражать

величиной, относящейся к нормальной температуре (+20 °С), при которой значения плотности регламентируются государственным стандартом. В паспортах, характеризующих качество нефтепродукта, плотность также указывается при температуре +20 °С. Если известна плотность  $\rho_4^t$  при иной температуре, то по ее значению можно вычислить плотность при 20 °С (т.е. привести фактическую плотность к стандартным условиям) по формуле:

$$\rho_4^{20} = \rho_4^t + \gamma(t - 20), \quad (2)$$

где  $\gamma$  - средняя температурная поправка плотности, величина, которая берется в зависимости от величины замеряемой плотности  $\rho_4^t$  по справочной литературе.

Рассматривая плотность как весовую, по объему  $V_t$  и плотности  $\rho_4^t$  (замеренных при одной и той же температуре  $t$ ) находится вес топлива при замеренной температуре:

$$G_t = V_t \rho_4^t. \quad (3)$$

Вязкость - свойство частиц жидкости оказывать сопротивление взаимному перемещению под действием внешней силы. Различают динамическую и кинематическую вязкость. В практических условиях больше интересует кинематическая вязкость, которая равна отношению динамической вязкости к плотности:

Вязкость жидкости определяется в капиллярных вискозиметрах и измеряется в стоксах (С), размерность которого,  $\text{мм}^2/\text{с}$ .

Кинематическая вязкость нефтепродуктов определяется по ГОСТ 33-82 в капиллярных вискозиметрах ВПЖ-1, ВПЖ-2 и Пинкевича. Кинематическая вязкость топлива, предназначенного для применения в высокооборотных дизелях, нормируется при 20 °С, низкооборотных - при 50 °С, моторных масел - при 100 °С.

Определение кинематической вязкости в капиллярном вискозиметре основано на том, что вязкость жидкости прямо пропорциональна времени истечения ее через капилляр, обеспечивающий ламинарность потока.

Вискозиметр Пинкевича состоит из сообщающихся трубок различающихся диаметром. Для каждого вискозиметра указывается его постоянная С, представляющая собой отношение вязкости калибровочной жидкости  $\nu_{20}^k$  при 20 °С ко времени протекания  $\tau_{20}^k$  этой жидкости

под действием собственной массы также при 20 °С.

Вязкость нефтепродукта при температуре  $t$  °С находится по формуле:

$$\nu = C\tau_t, \quad (4)$$

где  $C$  — постоянная вискозиметра;

$\tau_t$  - время, за которое нефтепродукт перетекает от метки «а» к метки «б».

## 1.5 СОДЕРЖАНИЕ ВОДЫ В НЕФТЕПРОДУКТАХ

Вода в нефтепродуктах может находиться в свободном, эмульсионном и растворенном состояниях (гигроскопическом). Наличие воды в топливе недопустимо, так как при низких температурах образуются кристаллы льда, способные нарушить подачу топлива в двигатель. Кроме того, вода является одной из причин коррозии топливных агрегатов. Вода практически не смешивается с нефтяными продуктами и в следствии большой ее плотности всегда оседает на дно емкости. Количество воды в растворенном состоянии зависит от химического и фракционного состава топлива и влажности окружающего воздуха.

Качественное (визуальное) определение содержания воды в бензинах возможно только при наличии капелек размером более 40 ... 50 мкм.

## 1.6 МЕХАНИЧЕСКИЕ ПРИМЕСИ

Наличие механических примесей в топливе недопустимо, так как приводят к абразивному износу трущихся деталей. Механические примеси можно определять качественно, заливая топливо в стеклянный цилиндр диаметром 40 ... 55 мм и визуально наблюдая за взвешенными и осевшими на дно частицами.

Количественно весовым способом механические примеси определяют фильтрацией 100 г топлива через беззольный фильтр. Содержание механических примесей вычисляют по формуле:

$$Q = \frac{m_1 - m_2}{m_3} \cdot 100 \%, \quad (5)$$

где  $Q$  - количество механических примесей, г на 100 г образца;

$m_1$  - масса фильтра с механическими примесями, г;

- $m_2$ - масса чистого фильтра, г;  
 $m_3$ - масса исследуемого топлива, г.

## 1.7 ПОЛУЧЕНИЕ ЖИДКОГО ТОПЛИВА ИЗ НЕ НЕФТЯНОГО СЫРЬЯ

Бурное развитие машиностроения вызвало необходимость расширения сырьевой базы для получения жидкого топлива и смазочных масел. Благодаря достижениям науки теперь для получения жидкого топлива могут служить угли, сланцы, торф, газообразные продукты, а также спирты (этиловый и метиловый). Промышленная технология располагает следующими основными способами получения жидкого топлива: термическая переработка твердых горючих ископаемых (с получением смол для последующей перегонки); деструктивная гидрогенизация; синтез газов.

Термическая переработка. При такой переработке твердое горючее нагревают без доступа воздуха до температуры 500 ... 550 °С. Конечным продуктом является полукокс, смола и газы. Полученную смолу подвергают фракционной перегонке как нефть. При этом получают бензина 18 ... 22 %, керосина 20 ... 25 % и мазута 50 ... 60 %. Последний - используют как сырье для крекинг-процесса.

Деструктивная гидрогенизация заключается в расщеплении исходного сырья и гидрирования с целью присоединения водорода для получения смеси углеводородов. Процесс происходит следующим образом. Исходное сырье измельчают в порошок, а затем смешивают со смолой или остатком нефти. Полученную пасту вводят в реактор, где находится водород и определенные катализаторы. При температуре 480 ... 500 °С и давлении 20 ... 30 МПа пасту насыщают водородом, и она сжижается. И далее полученную жидкую массу направляют на фракционную перегонку. При гидрогенизации угля выход бензина доходит до 60 %, газа до 30 %.

Синтез газов основан на получении углеводородов путем взаимодействия оксида углерода СО с водородом, при повышенном давлении в присутствии катализатора. В результате синтеза газов получается бензин и конденсатное масло. Выход бензина составляет 40 ... 45 %, дизельного топлива 15 ... 20 % и тяжелой фракции 10 ... 17 %.

Спирты - этиловый и метиловый могут служить заменителями бензина. Они обладают высоким октановым числом (90 - 94), имеют большую, чем у бензина, скрытую теплоту испарения, что снижает тепловую напряженность деталей двигателя, но одновременно затрудняет пуск двигателя особенно в холодную погоду. Из-за меньшей теплопроводности спиртов их расход увеличивается, однако высокая

полнота сгорания обуславливает значительно меньше выделение оксида азота и нагаро-отложение. В перспективе спирты могут применяться в виде добавок к бензинам. При опытной эксплуатации автомобилей на бензинометанольной смеси, содержащей 3 ... 5 % метилового спирта, экономия бензина составила 1,5 ... 3 %.

Получение синтетических масел. Основную массу смазочных масел получают путем перегонки нефтяного мазута, однако, для современных машин 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. Одни из них обладают устойчивостью к воздействию высоких температур, низкой температурой застывания, и хорошими антикоррозийными свойствами. Вместе с тем смазывающая способность у них по сравнению с нефтяными несколько хуже. Они называются полисилоксановые масла.

Другой группой синтетических масел, является полиалкиленгликоли, это 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.

## **2. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ**

### **2.1 ТРЕБОВАНИЯ И ОЦЕНКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ**

Карбюраторный двигатель - это разновидность двигателей внутреннего сгорания, который представляет собой устройство, в котором химическая энергия топлива при сгорании преобразуется вначале в тепловую энергию, а затем в механическую работу. К этому типу относятся поршневые и реактивные двигатели и газовые турбины. На автомобилях и тракторах в основном используются поршневые двигатели.

У поршневых двигателей в полезную работу превращается 20 ... 40 % теплоты, а остальное количество теплоты растрачивается. Основными составляющими потерь являются: нагрев деталей двигателя

и далее охлаждающей жидкости; унос теплоты с отработавшими газами в атмосферу; некачественное сгорание топлива. В связи с этим работа по повышению экономичности поршневых ДВС проводятся в следующих направлениях: усовершенствование конструкции самого двигателя и режима его эксплуатации; изыскания новых качественных видов топлива.

Поэтому одним из важных факторов, от которого зависят технико-экономические показатели двигателя - это качество применяемого топлива и поэтому оно должно обладать определенными свойствами и характеристиками, и отвечать следующим требованиям:

- 1 Иметь высокую теплоту сгорания.
- 2 Обладать хорошими смесеобразующими свойствами, обуславливающие легкий пуск двигателя, плавный переход с одного режима работы на другой и устойчивую работу двигателя при эксплуатации в различных климатических условиях.
- 3 Не детонировать на всех эксплуатационных режимах.
- 4 Не образовывать нагароотложений, приводящие к перегреву и повышенному износу двигателя.
- 5 Не вызывать коррозию деталей как при непосредственном контакте с ним, так и от образующихся продуктов сгорания.
- 6 Быть стабильным при транспортировке и хранении, т.е. не изменять своих первоначальных свойств.
- 7 Иметь низкую температуру застывания, чтобы обеспечивать хорошую прокачиваемость при отрицательных температурах окружающего воздуха.
- 8 Не оказывать вредного воздействия на человека и окружающую среду.

## **2.2 УСЛОВИЯ ГОРЕНИЯ ТОПЛИВА В КАРБЮРАТОРНОМ ДВИГАТЕЛЕ**

Рабочий процесс в карбюраторном двигателе состоит из четырех тактов. При первом такте (всасывание) рабочая смесь попадает в камеру сгорания цилиндра.

При втором такте (сжатие) в зависимости от степени сжатия е давление в камере сгорания повышается до 1 ... 1,2 МПа, а температура смеси возрастает до 260 ... 370 °С.

При третьем такте (рабочий ход) приготовленная смесь воспламеняется от свечи зажигания. Выделившаяся теплота, за счет расширения газов, преобразуется в механическую работу.

При четвертом такте (выпуск) продукты сгорания топлива в виде газов удаляются из цилиндра в атмосферу. После этого весь рабочий

процесс в двигателе повторяется.

Теплота сгорания. Количество теплоты, выделяемое при сгорании топливно-воздушной смеси, зависит от теплоты сгорания топлива и состава смеси. Чем выше теплота сгорания, тем меньше затрат топлива на единицу мощности.

Воспламенение топливно-воздушной смеси зависит от ее состава и вида топлива. Также на воспламенение смеси оказывает влияние температура и давление, с возрастанием их значений пределы воспламеняемости увеличиваются. Различают верхний и нижний пределы воспламеняемости. За верхний предел принято такое содержание топлива в воздухе, при котором дальнейшее обогащение смеси делает ее невоспламеняемой. Нижний предел определяется недостатком топлива в воздухе, т.е. таким состоянием смеси, при котором дальнейшее обеднение делает ее невоспламеняемой.

Состав горючей смеси оценивают по коэффициенту избытка воздуха  $\alpha$ , который представляет собой отношение массы воздуха  $L_d$ , действительно участвующего в процессе сгорания, к его теоретически необходимой массе  $L_T$

$$\alpha = \frac{L_d}{L_T}. \quad (6)$$

Нормальная рабочая смесь - считается, при  $\alpha = 1$  т.е.  $L_d = L_T$ . Для сгорания 1 кг топлива нужно около 15 кг воздуха. Двигатель, работающий на "нормальной" смеси развивает мощность близкую к максимальной, его удельный расход топлива несколько выше минимального.

Обедненная рабочая смесь. На 1 кг топлива приходится свыше 15 кг, но не более 16,5 кг воздуха. При работе на обедненной смеси мощность двигателя несколько снижается в следствии замедления скорости сгорания смеси, но экономичность повышается.

Бедная рабочая смесь. На 1 кг топлива приходится более 16,5 кг воздуха. Работа двигателя на бедной смеси сопровождается резким падением мощности и увеличением удельного расхода топлива. Смесь, у которой на 1 кг топлива приходится более 19,5 кг воздуха в цилиндре не воспламеняется.

Обогащенная рабочая смесь. На 1 кг топлива приходится менее 15 кг, но не менее 13 кг воздуха. В этом случае двигатель развивает максимальную мощность вследствие увеличения скорости горения, но экономичность его ухудшается.

Богатая рабочая смесь. На 1 кг бензина приходится менее 13 кг воздуха. Работа двигателя на богатой смеси вызывает падение



мощности и значительно ухудшает экономичность. Смесь, в которой соотношение топлива и воздуха менее чем 1 к 7,5 в цилиндре не воспламеняется.

Внешним признаком работы карбюраторного двигателя на бедной смеси служат вспышки (выстрелы) в карбюратор, а на богатой смеси - в выпускной трубе.

Полнота сгорания топлива определяется качеством топливно-воздушной смеси. Оно зависит с одной стороны, от конструкции карбюратора и топливоподающей системы, с другой стороны от физико-химических свойств применяемого топлива. Основное из них испаряемость, которая характеризуется фракционным составом. Фракция - это часть бензина, выкипающая в определенных пределах.

Фракционный состав определяют по ГОСТ 2177-82 при помощи специального прибора (рис. 2).

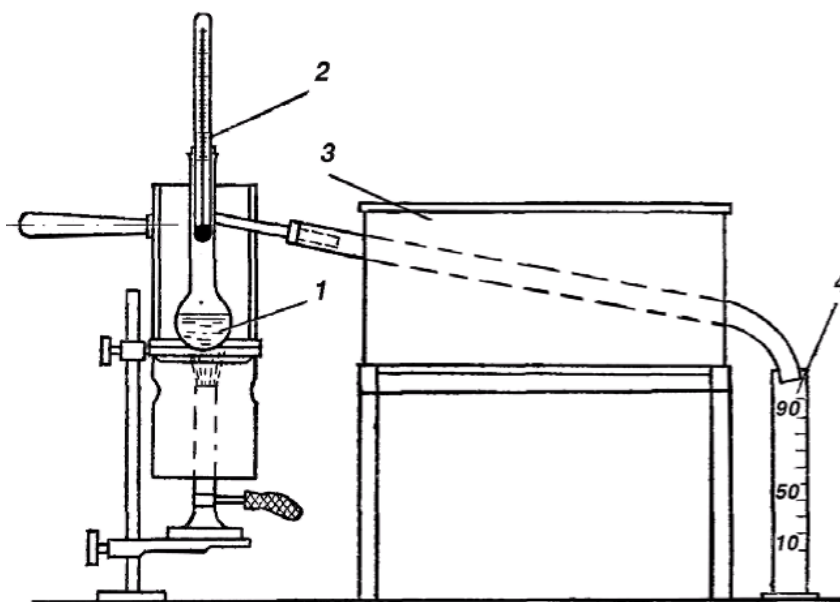


Рисунок 2 - Прибор для определения фракционного состава топлив:  
1 — колба; 2 — термометр; 3 — холодильник.

Пары топлива поступают в холодильник 3, где конденсируются и далее в виде жидкой фазы поступают в мерный цилиндр 4. В процессе перегонки фиксируют температуру, при которой выкипает 10, 20, 30 % и т.д. исследуемого топлива. Перегонку заканчивают, когда после

достижения наивысшей температуры наблюдается небольшое ее падение. По результатам перегонки строят кривую фракционной разгонки испытуемого топлива (рис. 3).

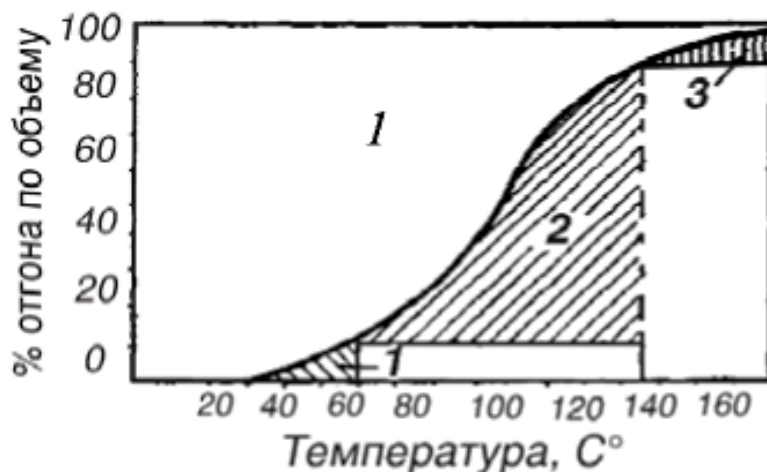


Рисунок 3 - Кривая фракционной разгонки топлива:  
1 – пусковая фракция; 2 – рабочая фракция; 3 – концевая фракция

Первая - пусковая фракция, обусловленная выкипанием 10 % топлива, характеризует его пусковые качества. Чем ниже температура выкипания этой фракции, тем лучше для запуска двигателя. Для зимних сортов бензина необходимо чтобы 10 % топлива выкипало при температуре не выше 55 °С, а для летних - не выше 70 °С.

Другая часть бензина, выкипающая от 10 до 90 % называют рабочей фракцией. Температура ее испарения не должна быть выше 160 ... 180 °С.

Тяжелые углеводороды бензина в интервале от 90 % выкипания до конца кипения представляют собой концевые или хвостовые фракции, которые крайне нежелательны в топливе. Наличие этих фракций приводит к отрицательным явлениям при работе двигателя: неполному сгоранию топлива, повышенному износу деталей за счет смывания смазки с гильз цилиндров и разжижения моторного масла в двигателе, увеличению нагарообразования.

### 2.3 НОРМАЛЬНОЕ И ДЕТОНАЦИОННОЕ ГОРЕНИЕ

Детонация — это процесс очень быстрого завершения процесса сгорания в результате самовоспламенения части рабочей смеси и образования ударных волн, распространяющихся со сверхзвуковой

скоростью (1500-2000 м/с), в то время как при нормальном сгорании смеси средняя скорость распространения пламени составляет 10-40 м/с.

К признакам детонационного сгорания бензина относятся: характерный резкий металлический стук в цилиндрах, вибрация и неустойчивая работа двигателя, периодически появляющийся черный дым отработавших газов. При длительной эксплуатации двигателя с детонацией могут возникнуть механические повреждения его деталей: прогар поршней и клапанов, пригорание поршневых колец, разрушение изоляции. Детонационная стойкость бензина зависит от его углеводородного состава. Наибольшей детонационной стойкостью обладают ароматические углеводороды, меньшей — изопарафиновые углеводороды.

Детонационную стойкость бензинов оценивают октановым числом (ОЧ). У топлив с более высоким ОЧ при прочих равных условиях менее вероятно возникновение детонации. Октановое число автомобильных бензинов определяют двумя методами — моторным (на установке ИТ9-2М) и исследовательским (на установке ИТ9-6). Установка ИТ9-6 позволяет определять октановые числа по обоим методам.

Моторным методом ОЧ определяют на одноцилиндровой установке ИТ9-2М, позволяющей проводить испытания с переменной степенью сжатия (от 4 до 10 единиц). На ней сравнивают детонационную стойкость исследуемого бензина с эталонным топливом, в состав которого входят два углеводорода: изооктан и нормальный гептан. Разное строение при близких физических свойствах этих углеводородов обуславливает резкое отличие их детонационной стойкости. ОЧ изооктана — углеводорода парафинового ряда изомерного строения, отличающегося высокой детонационной стойкостью (начинает детонировать только в двигателях с очень высокой степенью сжатия), принято за 100 единиц. ОЧ сильно детонирующего гептана  $C_7H_{16}$  — углеводорода парафинового ряда, нормального цепочного строения — принято за 0 единиц. Смесь изооктана и нормального гептана имеет ОЧ, равное процентному содержанию в ней (по объему) изооктана.

Октановое число — условную единицу измерения детонационной стойкости бензинов — указывают во всех его марках. Например, детонационная стойкость бензина марки А-76 должна быть такой же, как у эталонной смеси, состоящей из 76-77 % изооктана и 23-24 % гептана.

Исследовательским методом детонационную стойкость бензина определяют на установке ИТ9-6 в режиме работы легкового автомобиля при его движении в условиях города. В этом случае в марку бензина

включают букву «И», например, АИ-95 — автомобильный бензин с октановым числом по исследовательскому методу не менее 95.

Разница в ОЧ, определенных по исследовательскому и моторному методам, составляет 7-10 единиц (при исследовательском методе величина ОЧ выше).

В топлива, антидетонационные свойства которых не соответствуют эксплуатационным требованиям, добавляют высокооктановые компоненты (бензол, этиловый спирт) или антидетонаторы. Самые дешевые из них — тетраэтилсвинец (ТЭС) или тетраметилсвинец (ТМС) в составе этиловой жидкости.

Тetraэтилсвинец  $Pb(C_2H_5)_4$  представляет собой тяжелую маслянистую бесцветную и очень ядовитую жидкость, легко растворяющуюся во всех нефтепродуктах и не растворяющуюся в воде (плотность  $1652 \text{ кг/м}^3$ , температура кипения  $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Tetраметилсвинец  $Pb(CH_3)_4$  имеет более низкую температуру кипения ( $110 \text{ }^\circ\text{C}$ ) и более высокое давление насыщенных паров. В чистом виде тетраэтилсвинец не применяют, так как это приводит к отложению окислов свинца в камере сгорания, на клапанах и поршневых кольцах и даже выходу двигателя из строя. Поэтому в бензин вводят этиловую жидкость, представляющую собой смесь ТЭС с выносителями и красителями. В зависимости от химического состава бензина при добавлении этиловой жидкости ОЧ увеличивается на 8-12 единиц. Наибольший эффект дает добавление антидетонатора в количестве 0,5-1,0 г/кг топлива.

Этилированные бензины являются источником свинцовых загрязнений окружающей среды и препятствием к использованию каталитических систем нейтрализации отработавших газов на автомобилях, так как их каталитическая основа быстро разрушается оксидами свинца. Поэтому, несмотря на высокие антидетонационные свойства ТЭС, поиск и разработка новых, в частности, менее токсичных антидетонаторов продолжается.

Антидетонационная присадка на основе метилтретичнобутилового эфира (МТБЭ) не ядовита, отличается более высокой теплотой сгорания, хорошо смешивается с бензином в любых соотношениях, не агрессивна к конструкционным материалам. При добавке 10 % МТБЭ октановое число бензинов повышается на 2,1-5,8 единиц (по исследовательскому методу), при добавке 20 % — на 4,6-12,6 единиц. Кроме того, при введении МТБЭ в бензин в количестве 11 процентов минимальная температура холодного пуска двигателя снижается на 10-12  $^\circ\text{C}$ . Максимально допустимое содержание МТБЭ (ТУ 38.103704-90) или его смеси «Фетерол» (ТУ 301-03-130-93) в отечественных бензинах составляет 15 %.

В качестве антидетонационных присадок применяют также составы, содержащие марганец и железо. Они имеют высокие антидетонационные свойства и менее токсичны по сравнению с ТЭС. Однако бензины с марганцевыми антидетонаторами (ЦТМ, МЦТМ) образуют повышенные отложения на поверхностях свечей зажигания и катализаторах дожигателя, снижая эффективность их работы. Кроме того, соединения марганца при вдыхании обладают нейротоксичным действием и при массовом применении в местах скопления автомобилей на закрытых стоянках или в ремонтных зонах могут превысить предельно допустимую концентрацию. Поэтому их применение ограничено Межведомственной комиссией (МВК) при Госстандарте РФ по времени и не должно носить массового характера. Стандартом на автомобильные бензины ГОСТ Р 51105-97 предусмотрена выработка бензина «Нормаль-80» и «Регуляр-91» с содержанием марганца соответственно 50 и 18 г/дм<sup>3</sup>.

Железосодержащие присадки (ферроцены) не токсичны, сравнительно дешевы и эффективны, но вызывают повышенный износ деталей двигателей, интенсивное нагарообразование и отложение лаковых пленок. При концентрациях ферроценов до 40 мг/кг интенсивность изнашивания деталей снижается, но остается выше, чем при использовании бензинов без присадки. К применению допущены антидетонаторы на основе ферроцена при содержании железа в бензинах всех марок не более 37 мг/дм<sup>3</sup>.

В таблице 2 приведены наиболее распространенные антидетонационные присадки к топливам.

Таблица 2

*Антидетонационные присадки к бензину*

Наименование присадки	Количество присадки на 1т топлива для повышения ОЧ бензина на 1 единицу, кг	Максимальное увеличение октанового числа (ОЧ) бензина при допустимой концентрации присадки в топливе, ед.
Этиловая жидкость	0,07	8
МТБЭ или «Фетерол»	30	4,5
Присадка МЦТМ	0,1	5
Добавка АДА	2,5	6
Добавка АвтоВЭМ	1,25	8
Добавка Феррада	1,33	7,5

Исходя из постоянно возрастающих требований к надежности и экологическим характеристикам двигателей, этилированный бензин признан не соответствующим по техническому уровню стандарту EN 228, и его производство в России и других странах мира прекращено. Применение бензинов с металлосодержащими присадками рассматривается как временная альтернатива этилированным бензинам. Производство высококачественных неэтилированных бензинов позволит отечественной промышленности освоить выпуск и оборудовать все выпускаемые автомобили с бензиновыми двигателями каталитическими нейтрализаторами отработавших газов, что значительно снизит концентрации в них токсичных компонентов.

Несоответствие марки (октанового числа) бензина параметрам двигателя может вызвать детонационное сгорание топливной смеси, сопровождаемое характерным металлическим стуком, повышением дымности отработавших газов и температуры в цилиндрах двигателя.

Детонация влечет за собой аварийные поломки деталей двигателя: прогар клапанов, разрушение поршней, пробой прокладки головки блока цилиндров. Поэтому при вынужденной заправке автомобиля низкооктановым бензином можно двигаться только с небольшой скоростью и на пониженных передачах, не допуская интенсивных разгонов и высоких нагрузок на двигатель.

Эффективно повысить ОЧ бензина можно введением в топливо специальных добавок (октан-корректоров, октан-бустеров), имеющих в продаже (рис. 4).



*Рисунок 4 – Препараты октан-корректоры*

## **2.4 ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ФАКТОРОВ, СОСТАВА ТОПЛИВА НА ПРОЦЕСС ГОРЕНИЯ**

На характер сгорания топлива влияют следующие конструктивные факторы: степень сжатия, форма камеры сгорания, расположение и количество искровых свечей, материал поршней, головки блока и гильз.

Одним из путей повышения экономичности двигателя, и вместе с тем снижения их удельной массы, увеличения литровой мощности является повышение степени сжатия.

Однако беспрестанно повышать степень сжатия нельзя, предельное ее значение равно 10 ... 12 ед. Дальнейшее увеличение ее приведет к возрастанию стоимости двигателя, требуется топливо с более высоким октановым числом, а это вызывает значительное увеличение давления и температуры в конце такта сжатия, что способствует самовоспламенению топлива.

Другим способом повышения мощности и экономичности двигателя является применение наддува. Однако, из-за резкого повышения давления и температуры рабочей смеси требуется топливо с более высокой детонационной стойкостью.

Уменьшить детонацию можно снижением температуры рабочей смеси, что достигается более интенсивным охлаждением. Этому способствует более совершенная конструкция камеры сгорания, использование металла с большей теплопроводностью.

На характер сгорания оказывает влияние также и диаметр поршня, место расположения и число искровых свечей. Так, увеличение диаметра цилиндра или применение только одной свечи, возрастает время сгорания рабочей смеси, а в несгоревшей ее части резко повышается давление, что увеличивает возникновение детонации.

В качестве эксплуатационных факторов влияющих на процесс сгорания рабочей смеси, следует отметить:

- угол опережения зажигания;
- коэффициент избытка воздуха;
- нагарообразование в камере сгорания;
- частота вращения коленчатого вала.

Одним из главных факторов влияющих на сгорание рабочей смеси является качество используемого топлива, которое характеризуется детонационными свойствами.

## **2.5 СТАБИЛЬНОСТЬ ТОПЛИВА**

Под стабильностью топлива понимают его способность сохранять свойства в допустимых пределах для конкретных эксплуатационных

условий. Стабильность топлив зависит от их физико-химических свойств (плотности, вязкости, температуры кипения, углеводородного состава), наличия различных примесей и др. В эксплуатационных условиях, когда топливо подвергается воздействию таких внешних факторов, как кислород воздуха, нестабильная температура, загрязнение влагой и механическими примесями, ухудшаются его фракционный и химический состав. Условно различают физическую и химическую стабильность топлива, учитывая, что при изменении некоторых его физических свойств в нем могут возникнуть изменения химического порядка и наоборот.

Физическую стабильность топлива определяют как его способность сохранять фракционный состав (изменения вызываются потерей наиболее низкокипящих фракций в результате их испарения) и однородность.

Физическую стабильность бензина оценивают по давлению насыщенных паров и наличию легких фракций. Недостаточная физическая стабильность бензина обуславливает высокую его испаряемость.

Конструкция топливных баков должна исключать возможность свободного сообщения их внутреннего объема с атмосферой. Для исключения испарения топливные баки защищают от прямых солнечных лучей элементами конструкции автомобиля или специальными экранами. Это позволяет снизить их нагрев солнечными лучами и теплом от двигателя.

Физическую стабильность топлива оценивают и контролируют, периодически определяя плотность, фракционный состав, давление насыщенных паров, температуру помутнения и кристаллизации и другие показатели.

Содержание ароматических углеводородов в топливе допускается в ограниченных количествах. Это связано с их высокой по сравнению с другими углеводородами гигроскопичностью. К тому же некоторые из них, например, бензол, способны выкристаллизовываться из топлива при повышенных температурах.

Химическая стабильность оценивается способностью топлива сохранять без изменений свой химический состав.

В условиях длительного хранения некоторые из соединений (сернистые, кислородные, азотистые и металлоорганические) могут вступать в реакции окисления, полимеризации и конденсации. Такие отрицательные явления, как окисление и осмоление бензинов, выпадение осадка антидетонатора, обуславливаются недостаточной химической стабильностью топлива.

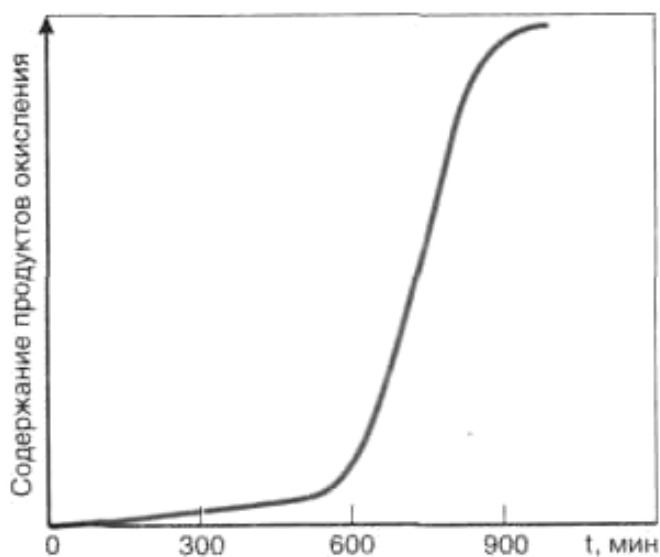


Содержание фактических смол является показателем уровня химической стабильности бензинов и нормируется стандартами.

Данный показатель качества бензина определяют испарением горячим воздухом определенного количества топлива (100 мл) при повышенной температуре (для бензина 150 °С, для дизельного топлива 250 °С) по остатку фактических смол (в мг), полученному после испарения.

Так как входящие в состав топлива углеводороды бесцветны, то его окраска в желто-коричневые цвета объясняется наличием в нем смолистых веществ, причем, чем больше в топливе этих веществ, тем интенсивнее окраска. Поэтому наличие смол в топливе можно определить визуально по его цвету.

При содержании фактических смол в топливе в пределах, допускаемых стандартами (5 мг/100 см<sup>3</sup>), в двигателях, работающих на нем, длительное время не происходит повышенного смоло- и нагарообразования. Если содержание смол в 2-3 раза выше нормы, что при эксплуатации автомобилей бывает часто, то ресурс двигателя снижается на 20-25 %, кроме того, возникают такие дефекты, как зависание клапанов, залегание поршневых колец и др.



*Рисунок 5 - Зависимость содержания продуктов окисления в бензине от времени (индукционный период)*

Индукционный период топлива позволяет оценить способность бензина сохранять свой состав неизменным при соблюдении условий транспортирования, хранения и использования.

Этот показатель определяют по времени (в минутах) от начала

окисления бензина до активного поглощения им кислорода в лабораторной установке (герметичном сосуде) при искусственном окислении бензина (температура  $100 \pm 1$  °C в атмосфере сухого и чистого кислорода при давлении 0,7 МПа).

После того, как время окисления превысит индукционный период, в бензине начинается значительное накопление смол и других продуктов окисления, что приводит к недопустимому ухудшению эксплуатационных свойств бензина (рис. 1.3).

Для повышения химической стабильности бензинов в них вводят антиокислительные присадки (ингибиторы): древесносмоляной антиокислитель ДСА (0,05-0,15 %), смесь фенолов ФЧ-16 (0,03-0,10 %), синтетические ингибиторы ионол (0,03-0,10 %) и агидол-12 (до 0,3 %).

## 2.6 ПРОТИВОКОРРОЗИОННЫЕ СВОЙСТВА

Под коррозией понимают самопроизвольное разрушение твердых тел, вызванное химическими и электрохимическими процессами, развивающимися на поверхности тела при его взаимодействии с внешней средой. Коррозия металлов происходит вследствие их взаимодействия с химически активными веществами, содержащимися в природных и технологических средах.

Топливо вызывает коррозию металлов и в жидком, и в газообразном состоянии, когда образуется горючая смесь. Кроме того, на коррозию влияют и продукты сгорания. Минимальное коррозионное воздействие на металлы деталей двигателя является одним из основных требований, предъявляемым к автомобильным бензинам.

Коррозии подвергаются топливные баки, трубопроводы, детали топливоподающей системы двигателя, а также резервуары для хранения и цистерны, используемые при транспортировании бензина. Способствует этому наличие в топливе коррозионно-агрессивных соединений: водорастворимых (минеральных) кислот и щелочей, активных сернистых соединений, воды, органических кислот и др.

Водорастворимых кислот и щелочей в бензинах быть не должно. Однако при транспортировании и хранении в топливо могут попасть соединения серной кислоты, едкого натра, сульфокислот и других веществ, вызывающих сильную коррозию цветных и черных металлов.

Практически всегда в топливе содержатся органические соединения кислого характера (нафтеновые кислоты и фенолы). Они наиболее активны по отношению к цветным металлам (свинец, цинк), причем с повышением температуры их активность возрастает, а с увеличением молекулярной массы — уменьшается. При наличии кислых

органических соединений, особенно в топливах с низким индукционным периодом, интенсивность протекания коррозионных процессов значительно возрастает.

Содержание органических кислот в топливах характеризуется кислотностью, которую по ГОСТ 5985-79 определяют количеством щелочи (в мг), потребной для нейтрализации кислот, содержащихся в 100 мл топлива. Полностью удалять кислоты и фенолы из топлива нет необходимости, так как их коррозионная агрессивность значительно ниже, чем у неорганических кислот.

Сернистые соединения, содержащиеся в топливе, отрицательно сказываются на его эксплуатационных свойствах: стабильности, способности к нагарообразованию, коррозионной агрессивности и др. Особенно агрессивны активные сернистые соединения, которые вызывают коррозию металлов даже при нормальных условиях, поэтому наличие их в топливе крайне нежелательно.

При сгорании как активных, так и неактивных сернистых соединений образуются серный ( $\text{SO}_2$ ) и сернистый ( $\text{SO}_3$ ) ангидриды, которые, соединяясь с водой (при конденсации ее из продуктов сгорания), образуют соответственно сернистую и серную кислоты. Серный ангидрид  $\text{SO}_2$  при работе прогретого двигателя вызывает газовую коррозию цилиндров, поршней и выпускных клапанов.

Коррозионный износ в значительной степени зависит от изношенности двигателя и количества серы, содержащейся в топливе. При увеличении содержания серы в бензине от 0,05 до 0,1 % коррозионный износ деталей двигателя возрастает в 1,5-2 раза, с 0,1 до 0,2 % — еще в 1,5-2 раза, а с 0,2 до 0,3 % — в 1,3-1,7 раза.

Процесс удаления серы из бензина очень трудоемкий и требует больших затрат. Поэтому часть сернистых соединений, в основном, неактивных, в количестве, не влияющем на износ двигателя, в топливе обычно оставляют.

Присутствие активных сернистых соединений в топливе проверяют медной пластинкой. Максимальное содержание серы в отечественных автомобильных бензинах регламентируется ГОСТ Р 51105-97 и ТУ 38.301 -25-41-97 и должно составлять не более 0,05 %.

#### Экология автомобильных бензинов

Продукты сгорания моторных топлив являются одним из основных загрязнителей воздушного бассейна. По мере увеличения потребления топлив возрастает содержание в воздухе таких наиболее токсичных составляющих отработавших газов двигателей, как соединения свинца, оксиды азота, монооксид углерода, несгоревшие ароматические углеводороды, особенно бензол. Опасны также твердые продукты

неполного сгорания топлив — сажа. Вредное воздействие сажи на человека связано с адсорбцией ее частицами многих продуктов сгорания, стимулирующих образование злокачественных опухолей.

При сгорании бензинов наиболее агрессивными в составе отработавших газов являются соединения свинца, и окислы азота. Большую угрозу для здоровья человека представляют и пары бензинов, содержание которых в атмосфере с увеличением объема производства нефтяных продуктов также возрастает. Таким образом, токсичность отработавших газов и паров моторных топлив зависит от их углеводородного состава и наличия различных добавок. Добиться улучшения качества бензинов с целью повышения экологической безопасности их применения можно путем оптимизации углеводородного и химического составов топлив. Ориентирами при разработке и внедрении бензинов с улучшенными экологическими показателями являются нормы европейских стандартов на бензины EN 228, а также фактические показатели качества европейских топлив, которые, как правило, выше норм, регламентируемых международными стандартами.

## **2.7 ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА И ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ**

Повысить качество автомобильных бензинов можно за счет следующих мероприятий:

1. отказа от применения в составе бензинов соединений свинца;
2. снижения содержания в бензине серы до 0,05 %, а в перспективе до 0,003 %;
3. снижения содержания в бензине ароматических углеводородов до 45 %, а в перспективе до 35 %;
4. нормирования концентрации фактических смол в бензинах на месте применения на уровне не более 5 мг на 100 см<sup>3</sup>;
5. деления бензинов по фракционному составу и давлению насыщенных паров на 8 классов с учетом сезона эксплуатации автомобилей и температуры окружающей среды, характерной для конкретной климатической зоны. Наличие классов позволяет выпускать бензин со свойствами, оптимальными для реальных температур окружающего воздуха, что обеспечивает работу двигателей без образования паровых пробок при температурах воздуха до +60 °С, а также гарантирует высокую испаряемость бензинов и легкий пуск двигателя при температурах ниже -35 °С;
6. введения моющих присадок, не допускающих загрязнения и

осмоления деталей топливной аппаратуры.

В таблице 3 приведены действующие и перспективные отечественные и зарубежные требования по ряду экологических показателей бензинов. Наиболее массовые отечественные бензины А-76, АИ-93 (ГОСТ 2084-77) и АИ-92 (ТУ 38.001165-97) не отвечают указанным требованиям по содержанию свинца (для этилированных бензинов), массовой доли серы, отсутствию регламентации содержания бензола и моющих присадок.

Концентрация фактических смол в отечественных бензинах на месте производства не должна превышать 5 мг на 100 см<sup>3</sup> и 10 мг на 100 см<sup>3</sup> на месте потребления. Фактическое содержание смол в бензинах, особенно поступающих после многолетнего хранения из Госрезерва, зачастую превышает этот уровень, что способствует быстрому засмолению деталей топливной аппаратуры.

Экологичность применения автомобильных топлив достигается за счет:

1. повышения качества бензина до уровня европейского стандарта по содержанию серы и бензола. При отсутствии свинца экологическая агрессивность отработавших газов снижается на 4 %;

2. использование МТБЭ уменьшает агрессивность отработавших газов на 3 процента, в основном, за счет замещения ароматических составляющих бензина кислородосодержащей добавкой и более полного сгорания топлива (снижение СО на 12 %);

3. применения моющей присадки, снижающей агрессивность выбросов на 5%.

Суммарное снижение агрессивности за счет всех мероприятий по повышению качества бензинов составляет 12 %, в то время как увеличение затрат на производство бензинов с улучшенными экологическими показателями относительно невелико и не превышает 5-8 % себестоимости изготовления бензина.

В соответствии с ГОСТ Р 51107-97 «Бензины для автомобильного транспорта» в России предусмотрен выпуск бензинов, удовлетворяющих экологическим требованиям европейских норм EN 228.

Законодательством США приняты поправки к закону о чистом воздухе, которые в связи с изменениями экологических требований к топливам после запрета свинцовых антидетонаторов предусматривают переход на использование реформулированных бензинов. В соответствии с принятыми поправками выдвинуты более жесткие требования к бензинам по следующим показателям: давлению насыщенных паров, фракционному составу, содержанию ароматических углеводородов, бензола, олефинов, серы. Предусмотрено обязательное

добавление в реформулированные бензины кислородосодержащих соединений (не менее 0,8 % по кислороду) и моющих присадок.

Таблица 3

*Требования к экологическим показателям бензинов*

Наименование показателей	Нормы экологических показателей бензинов						
	Отечественные				Зарубежные		
	Действующие		Вводимые		Действующие нормы по EN228	Перспективные	
	А-76, АИ-93, АИ-98	АИ-92	АИ-80ЭК	АИ-92ЭК		Предложение комиссии ЕС	Предложение Ассоциации европейских автомобильных компаний
Содержание свинца, г/дм <sup>3</sup> , не более	0,15	0,013	0,010	0,010	0,013	0,05	-
Массовая доля серы, %, не более	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,003
Объемная доля бензола, %, не более	-	-	3	5	5	2	1
Объемная доля ароматических соединений, %, не более	-	-	-	-	-	45	35
Давление насыщенных паров для летнего бензина, кПа, не более	66,7	80	70	70	65	60	60

## 2.8 АССОРТИМЕНТ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ

По ГОСТ 2084-77 (табл. 4) выпускаются бензины марок А-72, А-76, АИ-91, АИ-93 и АИ-95 зимнего и летнего видов:

1. зимнее (используется в течение всех сезонов в северных и северо-

восточных районах, а в остальных районах с 1 октября по 1 апреля);

2. летнее (используется во всех районах, кроме северных и северо-восточных, в период с 1 апреля до 1 октября; в южных районах допускается применять летний вид бензина в течение всех сезонов).

Бензин А-72 практически не вырабатывается, так как потребности в низкооктановом бензине резко снижены.

ГОСТ Р 51105-97, введенный в 1999 г., предусматривает выпуск и классификацию автомобильных бензинов в соответствии с их испаряемостью и октановым числом, определяемым исследовательским методом. В зависимости от сезона и климатического района применения (ГОСТ 16350) по показателям испаряемости автомобильные бензины делятся на 5 классов. Основные показатели качества автомобильных бензинов, их испаряемость и фракционный состав приведены в таблицах 5 и 6. В связи с широким распространением автомобилей, оснащенных системами электронного управления впрыском бензина (в том числе непосредственного) все чаще стали применяться бензины с повышенной до 215 °С температурой конца кипения.

Бензин «Нормаль-80» используется для грузовых автомобилей вместо бензина А-76, а «Регуляр-91» вырабатывается взамен бензина АИ-93.

Таблица 4  
*Основные показатели качества бензинов, выпускаемых по ГОСТ 2084-77*

Наименование показатели	А-72	А-76		АИ-91	АИ-93	АИ-95
	Неэти- лиро- ван- ный	Неэти- лиро- ван- ный	Этили- рован- ный	Неэти- лиро- ван- ный	Неэти- лиро- ванный	Неэти- лиро- ванный
1	2	3	4	5	6	7
Детонационная стойкость: октановое число, не менее:						
моторный метод	72	76	76	82,5	85	85
исследовательский метод	-	-	-	91	93	95
Массовое содержание свинца, г/дм <sup>3</sup> , не более	0,013	0,013	0,17	0,013	0,013	0,013

продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
Фракционный состав: температура начала перегонки бензина, °С, не ниже:						
летнего	35	35	35	35	35	35
зимнего	-	-	-	-	-	-
10% бензина перегоняется при температуре, °С, не выше:						
летнего	70	70	70	70	70	75
зимнего	55	55	55	55	55	55
50% бензина перегоняется при температуре, °С, не выше:						
летнего	115	115	115	115	115	120
зимнего	100	100	100	100	100	105
90% бензина перегоняется при температуре, °С, не выше:						
летнего	180	180	180	180	180	180
зимнего	160	160	160	160	160	160
Конец кипения бензина при температуре, °С, не выше:						
летнего	195	195	195	205	205	205
зимнего	185	185	185	195	195	195
Остаток в колбе, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Остаток и потери, %, не более	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
Давление насыщенных паров бензина, кПа, не более:						
летнего	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7
зимнего	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3	93,3



продолжение табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
Кислотность, мг КОН/100 см <sup>3</sup> , не более	3,0	1,0	3,0	3,0	0,8	2,0
Содержание фактических смол, мг /100 см <sup>3</sup> , не более:						
на месте производства	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
на месте потребления	0,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Индукционный период на месте производства бензина, мин, не менее	600	1200	900	900	200	900
Массовая доля серы, %, не более	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Цвет	-	-	Желтый	-	-	-

Таблица 5

Основные показатели качества бензинов, выпускаемых по ГОСТ Р 51105-97

Наименование показателя	Нормаль-80	Регуляр-91	Премиум-95	Сулпер-98
Октановое число, не менее: по моторному методу / по исследовательскому методу	76 / 85	80 / 95	82,5 / 88	91,0 / 98
Концентрация свинца, г/дм <sup>3</sup> , не более		0,010		
Концентрация марганца, мг/дм <sup>3</sup> , не более	50	18	—	-
Содержание фактических смол, мг /100 см <sup>3</sup> , не более		5,0		-
Индукционный период бензина, мин, не менее	—	360		—
Массовая доля серы, %, не более	—	0,05		—
Объемная доля бензина, %, не более	—	5		—
Испытание на медной пластине	-	Выдерживает, класс 1		-
Внешний вид	-	Чистый, прозрачный		-
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	700-750	725-780	725-780	725-780

Таблица 6

Испаряемость бензинов, выпускаемых в соответствии с ГОСТ Р 51105-97

Наименование показателя	Класс бензина по ГОСТ 163S0				
	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 бензина, °С,					
10%	35	35			
50%	75	70	65	60	55
90%	120	115	110	105	100
конец кипения при температуре, °С,	190	185	180	170	160
	215	215	215	215	215
Индекс испаряемости, не более	900	1000	1100	1200	1300

Бензины «Премиум-95» и «Супер-98» предназначены в основном для автомобилей иностранного производства и отвечают европейским стандартам.

По ТУ 38.001165-97 выпускаются бензины А-80 и А-96 с октановыми числами по исследовательскому методу соответственно 80 и 96. Эти бензины предназначены для поставки на экспорт.

Автомобильный бензин АИ-98 с октановым числом 98 по исследовательскому методу выпускается по ТУ 38.401-58-122-95 и ТУ 38.401-58-127-95.

По ТУ 38.401-58-86-94 производится малоэтилированный бензин АИ-91.

Всесезонные бензины, вырабатываемые на экспорт, и бензин АИ-98 производятся по ТУ 38.001165-97.

Выпуск бензинов с улучшенными экологическими показателями производится по ТУ 38.401-58-171-96, а бензинов марки «Ярмарка» — по ТУ 38.301-25-41-97. В табл. 1.7 приведены основные характеристики автомобильных бензинов с улучшенными экологическими показателями.

Рекомендации по применению автомобильных бензинов

Октановое число бензина, его основная характеристика, нормируемая по ГОСТ, определяется моторным или исследовательским методами. Бензин, имеющий в обозначении его марки букву «И» и

Таблица 7

## Характеристики бензинов с улучшенными экологическими показателями

Наименование показателя	ТУ 38.401-58-171-96				ТУ 38.301-25-41-97	
	АИ-80ЭЖ	АИ-92ЭЖ	АИ-95ЭЖ	АИ-98ЭЖ	Ярмарка 92Е	Ярмарка 95Е
Октановое число, не менее, по методу:						
моторному	76	83	85	88	83	85
исследовательскому	80	92	95	98	92	95
Содержание свинца, г/дм <sup>3</sup> , не более	0,010					
Фракционный состав: объем испарившегося бензина, %, при температуре:						
70 °С	10-50	15-50	15-50	15-50	15-50	15-50
100 °С	35-70	40-70	40-70	40-70	40-70	40-70
180 °С	85	85	85	85	85	85
конец кипения бензина при температуре, °С, не выше	215	215	215	215	215	215
доля остатка в колбе, % (по объему), не более	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Давление насыщенных паров бензина, кПа:						
летний период с 1.04 по 1.10	35-70	35-70	35-70	35-70	35-70	35-70
зимний период с 1.10 по 1.04	-	-	-	-	60-100	60-100
Индекс паровой пробки, не более:						
летний период	950	950	950	950	950	950
зимний период	1250	1250	1250	1250	1250	1250
Содержание фактических смол на месте производства мг/100 см <sup>3</sup> , не более	5,0					
Объемная доля, %, не более:						
ароматических углеводородов	-	-	-	-	45	45
в том числе бензола	3	3	5	5	3	3
Индукционный период бензина						
на месте производства, мин, не менее				360		
Массовая доля серы, %, не более	0,05					
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	780					

цифру (например, АИ-95), соответствует октановому числу, определенному исследовательским методом. 04 бензина, определенное исследовательским методом, на 4-10 единиц выше, чем 04, определенное моторным методом.

### **3. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ**

Дизельное топливо — это нефтяная фракция, основу которой составляют углеводороды с температурами кипения 200-350 °С. Выглядит дизельное топливо как более вязкая, чем бензин, прозрачная жидкость желтого или светло-коричневого цвета в зависимости от содержания смол. Дизельное топливо так же, как и бензин, легче воды и практически не растворяется в ней.

Для быстроходных автомобильных дизельных двигателей с частотой вращения коленчатого вала более 1000 мин<sup>-1</sup> выпускаются топлива на базе керосиновых, газойлевых и соляровых дистиллятов прямой перегонки. Для снижения содержания серы используют гидроочистку и карбамидную депарафинизацию. В силу этого состав дизельных топлив ограничивается в основном алкановыми и циклановыми углеводородами. Непредельных углеводородов в дизельных топливах практически нет. В некоторые сорта дизельных топлив добавляют не более 20 % каталитического газойля с содержанием ароматических углеводородов.

#### **3.1 ТРЕБОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ**

Дизельное топливо используют в двигателях с воспламенением от сжатия, называемых дизелями. Воздух и топливо подаются в камеру сгорания отдельно. В ходе всасывания в цилиндр поступает свежий воздух; при втором ходе сжатия - воздух сжимается до 3 ... 4 МПа (30 ... 40 кгс/см<sup>2</sup>). В результате сжатия температура воздуха достигает 500 ... 700 °С. В конце сжатия в цилиндр двигателя впрыскивается топливо, образуя рабочую смесь, которая нагревается до температуры самовоспламенения и воспламеняется.

Впрыскиваемое топливо распыляется форсункой, которая помещается в камере сгорания или в форкамере. Средний диаметр капель топлива составляет примерно 10 ... 15 мкм.

По сравнению с карбюраторными двигателями дизельные

двигатели отличаются высокой экономичностью, так как работают с более высокими степенями сжатия (12 ... 20 вместо 4 ... 10) и коэффициентом избытка воздуха  $\alpha=1,4... 1,5$ . Вследствие этого удельный расход топлива у них на 25 ... 30 % ниже, чем у карбюраторных двигателей.

Дизельные двигатели более надежны в эксплуатации и более долговечны, они обладают лучшей приемистостью, т.е. легче набирают обороты и преодолевают перегрузки. В то же время, дизели отличаются большей сложностью в изготовлении, большими габаритами и меньшей мощностью на единицу веса. Но, исходя из более экономичной и надежной работы, дизели успешно конкурируют с карбюраторными двигателями.

Для обеспечения долговечной и экономичной работы дизельного двигателя дизельное топливо должно отвечать следующим требованиям:

- обеспечение тонкого распыла, хорошее смесеобразование и воспламеняемость;  
полное сгорание топлива и мягкая работа двигателя;
- обладать соответствующей вязкостью;
- иметь хорошую прокачиваемость при различных температурах окружающего воздуха;
- предотвращение нагарообразования на клапанах, поршнях и поршневых кольцах, зависания игл и закоксовывания распылителей форсунок;
- не содержать сернистых соединений, водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды.
- отсутствие коррозионного воздействия на детали двигателя, топливоподающую систему, топливопроводы и топливные баки;
- высокая химическая стабильность.

### 3.2 СВОЙСТВА ДИЗЕЛЬНЫХ ТОПЛИВ

К свойствам дизельных топлив, отвечающим всем эксплуатационным требованиям, относятся: цетановое число, вязкость и плотность, низкотемпературные свойства, фракционный состав и испаряемость, противокоррозионные свойства и стабильность топлива, наличие механических примесей и воды, удовлетворение экологических требований.

#### **Самовоспламеняемость дизельного топлива (цетановое число).**

Свойство дизельного топлива, характеризующее мягкую или жесткую работу дизеля, оценивают по его самовоспламеняемости. Эту характеристику определяют путем сравнения дизеля на испытуемом и

эталонном топливе. Оценочным показателем служит цетановое число топлива.

Топливо, поступающее в цилиндры дизеля, воспламеняется не мгновенно, а через некоторый промежуток времени, который называется периодом задержки самовоспламенения. Чем он меньше, тем за меньший промежуток времени топливо сгорает в цилиндрах дизеля. Давление газов нарастает плавно, и двигатель работает мягко (без резких стуков). При большом периоде задержки самовоспламенения топливо сгорает за короткий промежуток времени, давление газов нарастает почти мгновенно, поэтому дизель работает жестко (со стуком). Чем выше цетановое число, тем меньше период задержки самовоспламенения дизельного топлива, тем мягче работает двигатель.

Самовоспламеняемость дизельного топлива оценивается обычно путем сравнения ее с самовоспламеняемостью эталонных топлив. В качестве эталонных топлив используется нормальный парафиновый углеводород цетан ( $C_{16}H_{34}$ ), имеющий малый период задержки самовоспламенения (самовоспламеняемость цетана условно принята за 100) и ароматический углеводород  $\alpha$ -метилнафталин  $C_{10}H_7CH_3$ , который имеет большой период задержки самовоспламенения (самовоспламеняемость его условно принята за 0).

Цетановое число топлива численно равно процентному содержанию цетана в его смеси с  $\alpha$ -метилнафталином, которая по характеру сгорания (по самовоспламеняемости) равноценна испытываемому топливу. Используя эталонные топлива, можно получать смеси с любыми цетановыми числами от 0 до 100.

Цетановое число можно определить тремя способами: по совпадению вспышек, по запаздыванию самовоспламенения и по критической степени сжатия. Цетановое число дизельных топлив обычно определяют по методу "совпадения вспышек" на установках ИТ9-3, ИТ9-3М или ИТД-69 (ГОСТ 3122-67). Это одноцилиндровые четырехтактные двигатели, оборудованные для работы с воспламенением от сжатия. Двигатели имеют переменную степень сжатия  $\epsilon = 7 \dots 23$ . Угол опережения впрыска топлива устанавливается равным  $13^\circ$  до верхней мертвой точки (В.М.Т). Изменением степени сжатия добиваются, чтобы воспламенение происходило строго в В.М.Т. При определении цетанового числа дизельных топлив частота вращения вала одноцилиндрового двигателя должна быть строго постоянной ( $n = 900 \pm 10$  об/мин).

После этого подбирают два образца эталонных топлив, один из которых дает совпадение вспышек (т.е. задержку самовоспламенения,

равную  $13^\circ$ ) при меньшей степени сжатия, а второй - при более высокой степени сжатия.

Путем интерполяции находят смесь цетана с  $\alpha$ -метилнафталином, эквивалентную испытываемому топливу, и таким образом устанавливается его цетановое число.

Цетан и  $\alpha$ -метилнафталин довольно дороги, поэтому в качестве вторичных топлив используются парафинистый газойль с ЦЧ = 55 и зеленое масло с ЦЧ = 20. Вторичные эталонные топлива тарируются по первичным.

Цетановое число топлив зависит от их углеводородного состава. Наиболее высокими цетановыми числами обладают парафиновые углеводороды нормального строения. Самые низкие цетановые числа у ароматических углеводородов.

Оптимальным цетановым числом дизельных топлив является 40 - 50. Применение топлив с ЦЧ < 40 приводит к жесткой работе двигателя, а ЦЧ > 50 - к увеличению удельного расхода топлива за счет уменьшения полноты сгорания. Летом можно успешно применять топлива с ЦЧ равным 40, а зимой для обеспечения холодного пуска двигателя требуется ЦЧ > 45.

Применение дизельного топлива с цетановым числом менее 40 ед. приведет к увеличению периода задержки самовоспламенения и возникновению жесткой работы, а выше 50 ед. - нецелесообразно, так как при этом возрастает расход топлива из-за уменьшения полноты его сгорания, повышается дымность отработавших газов.

Для повышения цетанового числа дизельного топлива к нему добавляют специальные высокоцетановые присадки: синтин (продукт синтеза окиси углерода и водорода), перекис углеводородов, нитросоединения. Однако они широкого распространения не получили из-за невысокой стабильности при хранении, и большой взрывоопасности.

### **Вязкость и плотность дизельных топлив**

Вязкость и плотность дизельных топлив влияют на процессы испарения и смесеобразования.

Пониженное или повышенное значение кинематической вязкости (для топлив различных марок оптимальное значение лежит в пределах 1,5-6,0 мм<sup>2</sup>/с) приводит к нарушению работы топливоподающей аппаратуры, а также процессов смесеобразования и сгорания рабочей смеси.

При пониженной вязкости топливо вытекает через зазоры в плунжерных парах топливного насоса высокого давления, вследствие чего изменяется его дозировка, уменьшается цикловая подача,

снижается давление впрыска, увеличивается нагарообразование. Снижение вязкости топлива ухудшает и его смазочные свойства, что приводит к увеличению интенсивности изнашивания прецизионных плунжерных пар ТНВД, так как их износ определяется физическим состоянием топлива. Кроме того, при этом увеличивается опасность подтекания и просачивания маловязкого топлива и, как следствие, роста его расхода. Падение мощности двигателя может быть вызвано снижением цикловой подачи топлива.

Повышенная вязкость топлива приводит к ухудшению качества смесеобразования, при распылении образуются крупные капли и длинная струя с малым углом. При этом продолжительность процесса испарения возрастает, топливо сгорает не полностью, увеличивается его расход, повышается нагарообразование, возникает дымление (цвет отработавших газов становится темным).

Более мелкие и однородные по составу капли рабочей смеси улучшают процессы испарения, смесеобразования и сгорания, что характерно для распыления дизельного топлива с кинематической вязкостью 2,5-4,0 мм<sup>2</sup>/с при температуре +20 °С. Топливо с такой вязкостью при отрицательных температурах сохраняет такие эксплуатационные свойства, как текучесть и проходимость по трубопроводам, через фильтры тонкой очистки и насос высокого давления.

Поскольку с понижением температуры вязкость значительно возрастает, существенно ухудшаются пусковые свойства топлива, особенно в холодное время года.

Плотность дизельного топлива нормируется (в отечественных стандартах) при температуре +20 °С: для летнего топлива — не более 860 кг/м<sup>3</sup>, зимнего — не более 840 кг/м<sup>3</sup> и арктического — не более 830 кг/м<sup>3</sup>.

В зарубежных стандартах плотность нормируется при температуре +15 °С. По европейскому стандарту EN 590 плотность летних дизельных топлив должна составлять 820-850 кг/м<sup>3</sup>, зимних — 800-845 кг/м<sup>3</sup>.

#### **Низкотемпературные свойства дизельного топлива.**

Низкотемпературные свойства дизельных топлив, характеризуемые температурами помутнения и застывания, оценивают, устанавливая предельно низкую температуру окружающей среды (воздуха), при которой его подача из топливного бака к двигателю происходит бесперебойно.

Температурой помутнения называется температура, при которой топливо теряет прозрачность в результате выпадения кристаллов н-парафиновых углеводородов или микрокристаллов льда, но не теряет



текучести.

Микrokристаллы высокоплавких углеводородов образуют в фильтре тонкой очистки непроницаемую для топлива парафиновую пленку, в результате чего подача топлива прекращается. Чаще всего это проявляется при пуске и прогреве дизеля, так как в это время в подкапотном пространстве еще сохраняется низкая температура.

Бесперебойная подача обеспечивается при температуре помутнения топлива на 5-10 °С ниже температуры окружающего воздуха, при которой эксплуатируется автомобиль.

Температурой застывания называется температура, при которой дизельное топливо не обнаруживает подвижности (текучести) при наклоне под углом 45° в течение 1 мин. Подвижность топлива определяют в стандартном приборе. Восстановить текучесть на некоторое время можно перемешиванием застывшего топлива, однако затем оно обычно вновь застывает.

Разница между температурой помутнения и застывания составляет 5-15 °С в зависимости от химического состава топлива. Например, для летнего дизельного топлива (с температурой конца перегонки 360 °С) при использовании его в умеренной климатической зоне температура помутнения равна -5 °С, а температура застывания равна -10 °С. Для зимнего топлива (с температурой конца перегонки 340 °С) в той же климатической зоне температура помутнения составляет -25 °С, а температура застывания -35 °С.

Для экологически чистых дизельных топлив введен дополнительный показатель, определяющий температуру предельной фильтруемости. Данную температуру определяют путем прямой фильтрации топлива при заданной температуре или в определенном интервале температур. Температура предельной фильтруемости для летнего дизельного топлива составляет -5 °С, а для зимнего -25 °С.

Учитывая, что в нашей стране преобладает холодный климат, для зимних и арктических марок дизельных топлив установлены требования к низкотемпературным свойствам, которые приведены в табл. 1.8.

Низкотемпературные свойства дизельных топлив улучшают двумя способами: удалением из их состава высокоплавких парафинов нормального строения или добавлением в них депрессорных присадок.

Дизельные топлива с депрессорными присадками, выпускаемые в соответствии с ТУ 38.101889-81, маркируют как ДЗп. Низкотемпературные свойства таких дизельных топлив также приведены в таблице 8. Добавление депрессорных присадок в дизельное топливо приводит к снижению температуры застывания с -10 °С до -35 °С и снижению предельной (соответствующей температуре применения

топлива) температуры фильтрации с -5 °С до -20 °С.

Таблица 8

*Требования к низкотемпературным свойствам дизельных топлив*

Марка топлива	Температура, °С не выше			
	применения (окружающего воздуха)	помутнения	застывания	фильтруемости
З минус 35	-20	-25	-35	-
З минус 45	-30	-35	-45	-
А минус 55	-50	-	-55	-
ДЗп — 5/-15	-15	-5	-30	-15
ДЗп - 15/-25	-25	-15	-35	-25
ДЗп - 25/-35	-35	-25	-45	-35
ДЗп — 35/-50	-50	-35	-55	-

Депрессорные присадки (жидкость «И») и ТГФ-М существенно снижают температуру застывания и предельную температуру фильтруемости и практически не изменяют температуру помутнения.

В настоящее время появилась возможность использовать летние марки дизельного топлива зимой при температуре до минус 30 °С, добавляя в топливо депрессорную присадку "Аспект-Д". Присадка допущена к применению научно-исследовательским институтом автомобильного транспорта, НАМИ, Министерством топлива и энергетики, Министерством сельского хозяйства, Министерством обороны России. Присадка "Аспект-Д", а также гамма других препаратов под фирменным названием "Аспект-модификатор" выпускается АО "АМТЕК"

Депрессорная присадка "Аспект-Д" обеспечивает надежность работы двигателя на летнем дизельном топливе в зимний период, снижает температуру застывания дизельного топлива на 10 ... 20 °С, полностью растворяется в дизельном топливе. Присадка заливается в летнее топливо из расчета 0,05 ... 0,1 % объема.

При увеличении дозы до 0,3 % объема температура застывания топлива снижается до -25 ... 30 °С.

Присадку следует добавлять в топливо, в котором нет выпавших кристаллов парафина.

Низкотемпературные свойства дизельных топлив после введения в

них депрессорной присадки «Аспект-Д» приведены в таблице 9. Кроме того, введение присадки «Аспект-Д» снижает токсичность отработавших газов (по углеводородам на 20-30 %, по оксидам углерода и азота — на 5 %) и дымность (в среднем на 40 %), расход топлива до 3 %, увеличивает ресурс дизеля на 30 %.

Некоторые присадки к дизельным топливам снижают только температуру застывания, но не влияют на температуру фильтруемости, что приводит к образованию в топливных баках двух слоев: верхнего (прозрачного) слоя, обладающего пониженным цетановым числом, и нижнего (мутного), содержащего мелкие кристаллы парафина.

При отсутствии зимнего («З») и арктического («А») товарных дизельных топлив допускается разбавление летнего («Л») и зимнего топлив тракторным керосином в соотношениях, приведенных в таблице 10. Однако следует помнить, что разбавленное керосином дизельное топливо теряет часть своих смазывающих свойств, что приводит к ускоренному изнашиванию деталей топливной аппаратуры. Кроме того, такое топливо более пожароопасно.

Допускается также добавление в дизельное топливо специальных добавок — антигелей (рис. 6), снижающих температуру его застывания и обеспечивающих эксплуатацию дизельных двигателей при экстремально низких температурах (до -47 °С).

Таблица 9

*Низкотемпературные свойства дизельных топлив с присадкой «Аспект-Д»*

Параметр	Марка дизельного топлива		
	Летнее	Летнее с 0,2% присадки «Аспект-Д»	Зимнее
Температура застывания, °С	-14	-36	-30
Температура предельной фильтруемости, °С	-5	-24	-15

Таблица 10

Содержание керосина в составе летнего или зимнего дизельных топлив для изменения их низкотемпературных свойств при различных температурах окружающего воздуха

Температура окружающего воздуха, °С	Содержание керосина, % (по объему), в смеси с дизельным топливом	
	летним	зимним
1	2	3
От 0 до -5	10	-
От -5 до -10	20	-
От -10 до -15	30	-
От -15 до -20	40	-
От -20 до -25	50	-
От -25 до -30	60	10
От -30 до -35	70	20
От -35 до -40	80	30
От -40 до -50	90	40
Ниже -50	-	50



Рисунок 6 – Антигелевые добавки зарубежных фирм

### **Фракционный состав и испаряемость дизельного топлива.**

Фракционный состав и испаряемость дизельного топлива определяются его физико-химическими свойствами. Если на первую стадию смесеобразования — распыливание — решающее влияние оказывает вязкость топлива, то на вторую стадию (испарение) — его испаряемость.

По ГОСТ 305-82, испаряемость дизельного топлива, характеризуемая фракционным составом, определяется температурами выкипания 50 и 96 процентов топлива (соответственно  $t_{50\%}$  и  $t_{96\%}$ ). Температура начала кипения отечественных дизельных топлив обычно находится в пределах 170-200 °С,  $t_{60\%}$  составляет 255-280 °С, а температура конца перегонки ( $t_{96\%}$ ) примерно равна 330-360 °С.

Показатель температуры  $t_{50\%}$  характеризует пусковые качества топлива. Чем эта температура ниже, тем более облегчен фракционный состав данного топлива, тем быстрее и полнее оно испаряется в камере сгорания. Однако после прогрева двигателя до рабочей температуры топливо с облегченным фракционным составом вызывает жесткую работу дизеля.

Температура  $t_{96\%}$  указывает на содержание в топливе высококипящих углеводородов (трудноиспаряющаяся фракция), которые во время рабочего процесса в камере сгорания испаряются медленно и неполно. Повышение доли этой фракции ухудшает смесеобразование и вызывает неполное сгорание топлива, затрудняет пуск дизеля, снижает его экономичность и увеличивает дымность отработавших газов. Поэтому дизельные топлива должны обладать оптимальной испаряемостью.

#### **Противокоррозионные свойства дизельного топлива**

Противокоррозионными свойствами дизельные топлива должны обладать для обеспечения минимального воздействия коррозионного разрушения деталей дизеля. Причины коррозионной агрессивности дизельных топлив те же, что и у бензинов: наличие в их составе сернистых соединений, водорастворимых кислот и щелочей, а также органических кислот.

При производстве дизельных топлив из сернистых нефтепродуктов получают газойлевые и соляровые дистилляты с содержанием серы до 1,0-1,3 %. Сера из дистиллятов удаляют каталитическим способом, позволяющим снизить ее содержание до 0,2-0,5%, что по ГОСТ 305-82 является допустимой нормой. Повышенное до 0,6 % содержание серы в топливах приводит к увеличению износа гильз цилиндров и поршневых колец в среднем на 15 %. а повышение до 1 % ускоряет этот процесс в 1,5 раза.

Из активных сернистых соединений (элементарная сера, меркаптановая сера, сероводород) наибольшей коррозионной агрессивностью обладает меркаптановая сера. Содержание ее в топливах не должно превышать 0,01 % (норма по ГОСТ). При повышении массовой доли меркаптановой серы до 0,06 % коррозионный износ плунжерных пар и деталей форсунок увеличивается в 2

раза. Поэтому при производстве дизельных топлив обязательно проводят их коррозионные испытания медной пластинкой. Если медная пластинка выдерживает испытания, то коррозионная агрессивность топлива отсутствует.

Кроме того, учитывая высокую коррозионную агрессивность и низкую химическую стабильность меркаптанов, помимо испытания на медную пластинку (качественная оценка), содержание в производимом топливе меркаптановой серы определяют еще и потенциометрическим методом.

Минеральные кислоты и щелочи обнаруживают по реакции водной вытяжки. Присутствие водорастворимых кислот и щелочей в дизельных топливах не допускается. Кислотность согласно ГОСТ 305-82 не должна превышать 5 мг КОН для нейтрализации 100 см<sup>3</sup> топлива.

При сгорании топлив, содержащих непредельные углеводороды, вследствие окисления в цилиндре двигателя образуются смолистые вещества, приводящие к нагарообразованию. Содержание фактических смол не должно превышать 40 мг на 100 мл топлива.

Стандартами предусмотрена предельная кислотность дизельных топлив. Она не должна превышать 5 мг на 100 мл дизельных топлив. Не допускается наличие минеральных (водорастворимых) кислот и щелочей, которые могут остаться в топливе в результате недостаточной промывки и отстоя топлива после его очистки.

#### **Степень чистоты дизельных топлив.**

Механические примеси и вода в топливах для автомобильных дизелей по ГОСТ 305-82 недопустимы. При наличии в дизельном топливе механических примесей происходит засорение фильтрующих элементов, ускоренный износ топливоподающей аппаратуры. При понижении температуры из воды, находящейся в топливе, образуются кристаллы льда, которые забивают фильтрующие элементы, что уменьшает подачу топлива в двигатель. Применение дизельного топлива с водой при положительной температуре приводит к разрушению фильтрующих элементов. Однако в связи с «чувствительностью» метода оценки содержания механических примесей (ГОСТ 6370-83) и воды (ГОСТ 2477-65) за отсутствие загрязнений принимаются содержание в топливе механических примесей до 0,005 % и воды до 0,03 % (по массе). Содержание воды в нефтепродуктах до 0,025 % включительно называют «следами».

Содержание в топливе загрязнений, способных закупоривать поры бумажных фильтров и нарушать работу топливной аппаратуры (механических примесей, воды, смол, серы, нафтенатов) регламентируется коэффициентом фильтруемости, значение которого

тем выше, чем больше в топливе примесей. Степень очистки дизельного топлива, определяемая коэффициентом фильтруемости, не должна превышать 3. Наиболее опасными считаются механические примеси.

#### **Температура вспышки.**

Температура вспышки характеризует пожарную опасность топлива при его транспортировке и хранении. Согласно ГОСТ 305-82 нефтеперерабатывающие предприятия выпускают топлива с температурой вспышки не ниже 40 °С - для дизелей общего назначения и не ниже 62 °С - для тепловозных и судовых дизелей. Низкая температура вспышки указывает на наличие легких компонентов, присутствие которых может быть опасно также и при работе двигателей. Поднять температуру вспышки дизельного топлива можно, повысив температуру начала кипения, а, следовательно, снизив отбор топлива от нефти.

### **3.3. КОНСТРУКТИВНЫЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ФАКТОРЫ ВЛИЯЮЩИЕ НА СГОРАНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**

На сгорание дизельного топлива значительное влияние оказывают конструктивные и эксплуатационные факторы. Положительно влияет повышение степени сжатия  $\epsilon$ , а следовательно, температуры и давления воздуха, при этом улучшается процесс сгорания, двигатель работает более мягко.

Увеличение угла опережения впрыска топлива отрицательно сказывается на самовоспламенении, ибо топливо впрыскивается в менее сжатую и нагретую среду и работа двигателя становится более жесткой, а также из-за преждевременного сгорания большей части топлива значительное давление развивается до прихода поршня в ВМТ, что вызывает потерю мощности.

Конструкция камеры сгорания должна обеспечивать интенсивное вихреобразование при сжатии воздуха, что уменьшает время нагрева топлива. В качестве материала для поршней лучше использовать не алюминий, а чугун, так как он обладает меньшей теплопроводностью, следовательно, при поршнях из чугуна более интенсивно будут нагреваться воздух и топливо, что способствует уменьшению времени сгорания топлива.

#### **Экологические требования к дизельным топливам**

Основными показателями качества, ответственными за экологические последствия выбросов отработавших газов дизелей, являются:

1. массовая доля серы;
2. массовая доля ароматических углеводородов, связанная с

цетановым числом дизельного топлива;

3. фракционный состав, характеризующий пределы выкипания топлива.

В таблице 11 приведены действующие, а также перспективные отечественные и зарубежные требования к дизельным топливам по ряду экологических показателей. Отечественные дизельные топлива по ГОСТ 305-82 не соответствуют европейским нормам EN 590 по содержанию серы имеют в среднем несколько меньшее цетановое число.

Таблица 11

*Требования к экологическим показателям дизельных топлив*

Наименование показателей	Нормы экологических показателей дизельных топлив						
	Отечественные				Зарубежные		
	Действующие		Вводимые		Действующие нормы по EN 590	Перспективные	
	«Л» по ГОСТ 305-82	«З» по ГОСТ 305-82	ДЭК-Л	ДЭК-З		Предложение комиссии ЕС	Предложение Ассоциации европейских автомобильных компаний
1	2	3	4	5	6	7	8
Цетановое число	45	45	49	45	49-летнее 45-зимнее	51	58
Фракционный состав, °С, не выше: конец перегонки 96% перегоняется при температуре	360	340	360	340	370	350	340



1	2	3	4	5	6	7	8
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	860	840	860	860	860*	845	870
Объемная доля ароматических углеводов, %, не более						**	**
Объемная доля полициклических углеводов, %, не более						9	1

Примечания: \* — при температуре 15 °С; \*\* — предложение Германии (BMW) — не более 10%, США — не более 5%

Таблица 12

*Количество выброса диоксида при сжигании 1 т дизельного топлива.*

Содержание серы в топливе, %	Масса выброса диоксида Серы, г/кг.
0,2	3,6
0,1	1,8
0,05	0,9

Содержание серы в дизельном топливе определяет количество выброса, образующегося в отработавших газах диоксида серы. Масса выброса диоксида серы при сжигании 1 т дизельного топлива в зависимости от содержания в нем серы приведена в таблице 12. В 1996 г. в Европе было введено ограничение на содержание серы в дизельных топливах до 0,05 %.

Фракционный состав дизельных топлив с улучшенными экологическими свойствами установлен на уровне летнего топлива со следующими показателями: температура выкипания 50 % объема — не выше 280 °С, температура выкипания 96 % объема (конец перегонки) —

не выше 360 °С; температура вспышки в закрытом тигле — не ниже 40 °С.

Содержание ароматических углеводородов для большинства товарных дизельных топлив, выпускаемых отечественной промышленностью, составляет 23-28 %. Колебания состава ароматических углеводородов зависят от природы перерабатываемой нефти, их компонентного состава и технологии производства топлив. Для удовлетворения экологических требований массовая доля ароматических углеводородов должна быть не более 10 %.

Европейский стандарт EN 590 (действующий в странах Европейского экономического сообщества с 1996 г.) предусматривает выпуск дизельных топлив для различных климатических регионов. Для районов с умеренным климатом выпускается 6 марок дизельных топлив (А, В, С, D, E и F), имеющих предельные температуры фильтруемости соответственно +5, 0, -5, -10, -15 и -20 °С. Для районов с холодным климатом предусмотрен выпуск 5 классов (0, 1, 2, 3 и 4) дизельного топлива с низкотемпературными свойствами (табл. 13).

Таблица 13

*Характеристики дизельных топлив различных классов для районов с холодным климатом (по Европейскому стандарту EN 590)*

Наименование показателя	Класс топлива				
	0	1	2	3	4
Температура помутнения, °С, не выше	-10	-16	-22	-28	-34
Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	-20	-26	-32	-38	-44

### **Влияние присадок на качество работы и долговечность дизеля**

Эксплуатационные свойства дизельных топлив в значительной степени определяют качество работы и долговечность дизельных двигателей. Улучшение свойств топлив достигается путем введения в их состав многофункциональных присадок.

Для улучшения эксплуатационных свойств дизельных топлив применяют присадки различного назначения: депрессорные, повышающие цетановое число, антиокислительные, моюще-диспергирующие, снижающие дымность отработавших газов и др.

Применение антидымных присадок МСТ-15, АДП-2056, ЭФАП-6 в концентрации 0,2-0,3 процента позволяет снизить дымность отработавших газов на 40-50 процентов.

Таблица 14

*Потребительские свойства присадок и добавок в дизельные топлива*

Наименование препарата	Назначение	Страна, фирма-производитель
1	2	3
Ice Proof	Улучшает пусковые свойства дизельного топлива при отрицательных температурах	Бельгия, Wynn's
DIESEL SUPER	Обеспечивает эксплуатацию дизельных двигателей при температуре до -47 °С	США, Hi-gear
Diesel & Fuel Oil Anti-Gel	Добавка к летнему топливу, обеспечивающая его текучесть до температуры -29 °С	США, CD-2
Diesel Conditioner	Удаляет влагу из топлива, облегчает пуск двигателя при низких температурах окружающей среды	Германия, SCT, MANNOL
FUEL treatment & ANTIGEL	Удаляет влагу из топливной системы и облегчает пуск двигателя	США, Hi-Gear
DIESEL ANTIGEL WITH ER	Снижает температуры застывания топлива до -47 °С, облегчает пуск дизеля при низких температурах, восстанавливает компрессию	США, Hi-Gear
Diesel Cetane + Plus	Увеличение цетанового числа любого топлива на 5 единиц, облегчает пуск холодного двигателя и снижает расход топлива	Бельгия, Wynn's
DIESEL TUNE UP & CETANE BOOST	Очистка от нагара, повышение цетанового числа топлива до 6 единиц и улучшение эксплуатационных характеристик дизеля	США, Hi-Gear
Diesel Fuel System Conditioner	Очистка системы питания двигателя и снижение температуры загустевания масла	США, Energy Release

1	2	3
Clean Burn	Снижает образование черного дыма и содержание сажи в выхлопных газах двигателя	Бельгия, Wynn's
3xА Diesel Engines	Очистка системы питания двигателя через 5 тыс. км пробега	Бельгия, Wynn's
Очиститель форсунок Profix	Очистка форсунок дизеля через 3 тыс. км пробега автомобиля	Россия, LT «Лаборатория Триботехнологии»
DIESEL PLUS WITHER	Очистка форсунок и системы питания	США, Hi-Gear
Diesel Fuel System Cleaner	Очистка и смазка топливного насоса и форсунок двигателя	Бельгия, Wynn's
Diesel Rower 3	Очистка системы питания двигателя, увеличение мощности и предотвращение черного выхлопа	Бельгия, Wynn's
DIESEL JET CLEAN	Очистка форсунок, системы питания и камеры сгорания дизеля	США, Hi-Gear
DIESEL INJECTOR CLEANER	Очистка форсунок дизельного двигателя	США, Ster Up
DIESEL JET CLEAN	Очистка сильно загрязненных форсунок, которые необходимо менять	США, Hi-Gear
SYNTHETIC DIESEL TUNE	Очистка системы питания, восстановление эксплуатационных характеристик и продление срока службы дизеля в 1,5-2 раза	США, Hi-Gear
Total Diesel Fuel Maintenance	Улучшает качество топлива, оптимизирует работу и экономичность двигателя	США, CD-2

Разрушающее действие кислот нейтрализуют добавлением в моторные масла для дизельных двигателей противокоррозионных присадок, из которых наиболее эффективен нафтенат цинка (0,25-0,3 %). Дизельные топлива с содержанием серы более 0,2 % применяют только при условии, что в двигателе применяется масло с

противокоррозионной присадкой.

Многофункциональные присадки для дизельных топлив, состоящие из депрессорного, моющего и противодымного компонентов, не только расширяют низкотемпературные свойства топлив, но и снижают токсичность отработавших газов. Введение присадки АДДП в дизельное топливо в количестве 0,05-0,3 % снижает температуру застывания топлива на 20-25 °С. Предельная температура фильтруемости при этом снижается на 10-12 °С, дымность отработавших газов — на 20-55 %, а нагарообразование — на 50-60 %. В таблице 14 приведены потребительские свойства некоторых присадок и добавок в дизельные топлива, предназначенные для улучшения их эксплуатационных качеств.

#### **Ассортимент дизельных топлив**

В зависимости от условий применения по ГОСТ 305-82 производятся дизельные топлива трех марок: Л (летнее), З (зимнее) и А (арктическое). По содержанию серы они делятся на 2 группы: первая — до 0,2 % и вторая — до 0,5 % (для арктического топлива доля серы составляет 0,4 %). Основные показатели дизельных топлив, определяемые стандартными методами, приведены в таблице 15.

В маркировке дизельных топлив, кроме обозначений «Л», «З» и «А», указывают массовую долю (в процентах) серы и температуру застывания. Например, маркировка З-0,5 минус 35 означает, что данное топливо — зимнее, с массовой долей серы 0,5 % и температурой застывания -35 °С.

При температуре 0 °С и выше применяют летнее топливо марки «Л», от -20 °С до 0 °С — зимнее («З»), при -50 °С и ниже — арктическое («А»). В северной климатической зоне летом используют зимнее, а зимой — арктическое топливо.

По ТУ 38.101889-81 выпускают зимнее дизельное топливо ДЗП, которое получают путем добавления в летнее дизельное топливо с температурой помутнения -5 °С депрессорной присадки. В результате предельная температура фильтруемости топлива снижается до -15 °С, а температура застывания до -30 °С, что дает возможность использовать это топливо при температурах окружающего воздуха до -15 °С.

Для районов с холодным климатом по ТУ 38.401-58-36-92 выпускаются дизельные топлива двух марок: зимнее ДЗП-15/-25 (базовое топливо с температурой помутнения -15 °С, товарное — с предельной температурой фильтруемости -25 °С) и арктическое ДАП-35/-45 (базовое топливо с температурой помутнения -35 °С, товарное — с предельной температурой фильтруемости -45 °С).

По ТУ 38.1011348-90 выпускают экологически чистые дизельные

топлива: летние ДЛЭЧ-В и ДЛЭЧ и зимнее ДЗЭЧ с содержанием серы в летних видах до 0,05 %, а в зимнем виде — до 0,1 %. Норма содержания ароматических углеводородов для ДЛЭЧ-В составляет не более 20 %, для ДЗЭЧ — не более 10 %.

Таблица 15

*Основные показатели качества дизельных топлив, выпускаемые в соответствии с ГОСТ 305-82*

Наименование показателя	Л	З	А
Цетановое число, не менее:	45	45	45
Фракционный состав, °С:			
t <sub>50</sub> %, не выше	280	280	255
t <sub>96</sub> % (конец перегонки), не выше	360	340	330
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,0-6,0	1,8-5,0	1,5-4,0
Температура помутнения, °С, не выше, для климатической зоны:			
умеренной	-5	-25	-
холодной	-	-35	-
Температура застывания, °С, не выше, для климатической зоны:			
Умеренной	-10	-35	-
холодной	-	-45	-55
Массовая доля серы, %, не более: в топливе вида 1	0,2	0,2	0,2
в топливе вида 2	0,5	0,5	0,4
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01	0,01	0,01
Температура вспышки (в закрытом тигле), °С, не ниже для дизелей общего назначения	40	35	30
Концентрация фактических смол, мг/100 см <sup>3</sup> , не более	40	30	30
Кислотность, мг КОН/100 см <sup>3</sup> , не более	5	5	5
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,01
Коэффициент фильтруемости, не более	3	3	3
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	860	840	830

По ТУ 38.401-58-170-96 выпускают городские экологически чистые летнее и зимнее дизельные топлива, предназначенные для использования в крупных мегаполисах:

1. летнее ДЭК-Л, рекомендуется для применения при температуре окружающего воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$  и выше;
2. зимнее ДЭК-З, рекомендуется для применения при температуре окружающего воздуха  $-25^{\circ}\text{C}$  и выше;
3. летнее с присадкой ДЭКП-Л, рекомендуется для применения при температуре окружающего воздуха  $-5^{\circ}\text{C}$  и выше;
4. зимнее ДЭКП-З минус 15  $^{\circ}\text{C}$ , рекомендуется для применения при температуре окружающего воздуха  $-15^{\circ}\text{C}$  и выше.

В летние топлива вводят антидымную присадку (ЭФАП-Б или Лубризол-8288), в зимние — антидымную и депрессорную (сополимеры этилена с винила-цетатом). Это снижает показатели дымности и токсичности отработавших газов на 30-35 %.

В зависимости от массовой доли серы эти дизельные топлива делятся на два вида: в первом массовая доля серы составляет не более 0,05 %, во втором — не более 0,1 %.

Для поставок на экспорт по ТУ 38.401-58-110-94 выпускают летнее (ДЛЭ) и зимнее (ДЗЭ) дизельные топлива с содержанием массовой доли серы в летнем виде не более 0,2 % и в зимнем — не более 0,3 %. Топливо марки ДЛЭ имеет температуру застывания не выше  $-10^{\circ}\text{C}$  и предельную температуру фильтруемости.

## **4. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

### **4.1 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Автомобильная и тракторная техника различного назначения с двигателями внутреннего сгорания является основным потребителем смазочных материалов.

Современные машины требуют использования высококачественных смазочных материалов. В настоящее время отечественная промышленность выпускает широкий ассортимент смазочных материалов, отвечающий высоким требованиям современной техники. С другой стороны, российский рынок насыщен маслами практически всех зарубежных фирм-производителей. Например, только моторных масел на нашем рынке насчитывается более 100

наименований. К сожалению, имеющаяся информация о смазочных материалах носит, в основном, рекламный характер, поэтому потребителю бывает трудно разобраться в обилии номенклатуры масел, особенно при недостатке или отсутствии профессиональных знаний и навыков, а также при трудностях с пониманием иностранных языков и специфичной маркировки масел.

Между тем для грамотной эксплуатации и продления срока службы машины подбирать и использовать смазочные материалы следует осознанно. Экономия может обойтись дороже. В то же время цены на нефтепродукты, а значит, и на смазочные материалы растут. Это связано в том числе с совершенствованием методов переработки нефти, использованием нетрадиционных способов получения так называемых синтетических смазочных материалов, что повышает их качество и расширяет возможности применения.

В отдельных случаях тип двигателя или ходовой части автомобиля требует разработки специальных видов масел. Например, для смазки шестерен с гипоидным зацеплением (такие применяются в задних мостах заднеприводных автомобилей) требуются трансмиссионные масла с особыми свойствами.

Важную роль в производстве смазочных материалов играют присадки, содержание которых в современных маслах может превышать 20 %.

За последние годы совершенствование конструкции автомобилей и улучшение качества моторных масел позволили снизить расход топлива в среднем на 10-15 % и увеличить ресурс двигателей на 30-40 %, в результате чего уменьшились затраты на ремонт и запасные части. При этом срок службы масел возрос в полтора раза, а их расход снизился в 2-3 раза.

## **4.2 НАЗНАЧЕНИЕ И ВИДЫ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Смазочные материалы предназначены для уменьшения интенсивности изнашивания и сил сопротивления в узлах трения, а также для обеспечения нормального функционирования систем, содержащих смазки. Смазочные материалы, применяемые для автомобилей, делятся на:

1. моторные масла;
2. трансмиссионные смазочные материалы;
3. пластичные смазки для использования в негерметизированных узлах трения (например, шкворнях, пальцах и листах рессор, подшипниках ступиц колес и т.п.);



4. масла для гидравлических систем приводов дополнительных специальных устройств, расширяющих функциональное использование базового автомобиля (автомобили-самосвалы, автомобили коммунального назначения и т.п.).

### 4.3 ОБЩИЕ ПОНЯТИЯ О ТРЕНИИ И ИЗНОСЕ

Под трением (внешним) понимают сопротивление относительно перемещению, возникающее между двумя телами в зонах соприкосновения поверхностей по касательным к ним. Уменьшение потерь на трение и снижение износа рабочих поверхностей деталей - основное назначение смазочных материалов.

По характеру взаимного перемещения трущихся поверхностей деталей различают трение покоя (трение двух тел при предварительном их смещении) и трение движения (трение двух тел, находящихся в относительном движении). Трение движения, в свою очередь, по характеру движения делится на трение скольжения и трение качения, а по наличию (отсутствию) смазочного материала - на трение без смазки, граничное и жидкостное.

Трение скольжения возникает при движении соприкасающихся тел, у которых скорости в точках касания различны.

При трении качения скорости тел в точках касания одинаковы по величине и направлению. Трение качения с проскальзыванием возникает при одновременном качении и скольжении соприкасающихся тел.

Трение без смазки возникает при отсутствии на поверхностях трения тел специально введенного смазочного материала (рис. 7, а).

Граничное трение возникает в случае, когда поверхности трения разделены слоем смазки малой толщины (менее 0,1 мкм), не превышающем высоты микронеровностей (шероховатости) поверхности. При этом величина силы трения зависит от природы и состояния трущихся поверхностей (рис. 7, б).

При жидкостном трении (рис. 7, в) смазочный слой полностью отделяет взаимоперемещающиеся рабочие поверхности одну от другой и имеет толщину, при которой проявляются нормальные объемные свойства масла.

При трении без смазки дополнительная энергия тратится на преодоление:

1. взаимного механического зацепления неровностей (шероховатостей) трущихся поверхностей при их относительном перемещении;

2. сил межмолекулярного притяжения;
3. явления сваривания отдельных острых выступов поверхностей трущихся пар в условиях высоких удельных давлений и значительного выделения тепла.

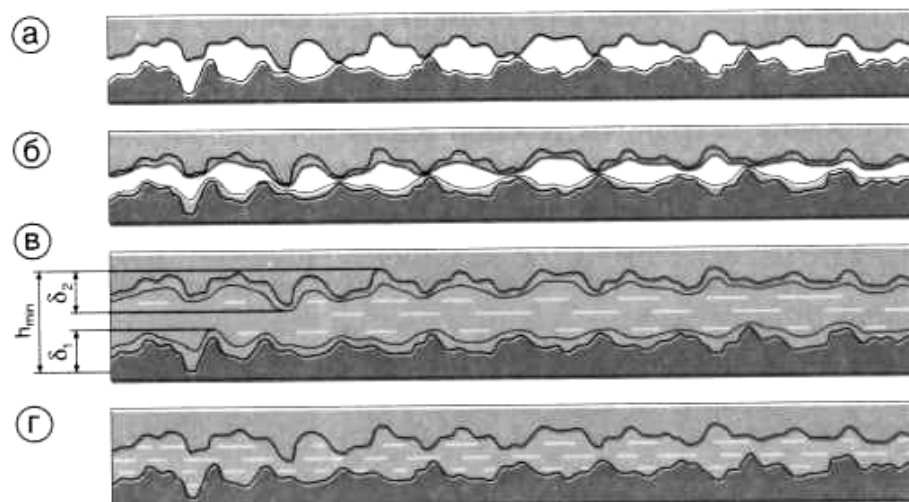


Рисунок 7 – Виды трения по наличию смазочного материала:  
 а - трение без смазки (сухое трение); б – граничное трение; в – жидкостное трение; г – смешанное трение;  $h_{min}$  – величина зазора между трущимися поверхностями;  $\delta_1, \delta_2$  – высота микронеровностей на трущихся поверхностях

Согласно формуле Амонтова, сила трения скольжения  $F$  зависит от коэффициента трения  $f$  и величины нормальной нагрузки  $P$ :

$$F = f \cdot P, \quad (7)$$

где  $f$  - коэффициент трения, значение которого зависит от вида трущихся материалов и качества обработки их поверхностей. В среднем коэффициент трения составляет 0,1-0,8, а при трении меди по меди - 1,3.

Сила трения качения примерно на порядок меньше силы трения скольжения несмазанных поверхностей. Это свойство используется в подшипниках качения (шарик или ролик соприкасаются с поверхностью в точке или по линии). Однако такие подшипники удастся применить не везде, кроме того, в реальных механизмах преобладает трение с проскальзыванием, что значительно увеличивает коэффициент трения.

Коэффициент граничного трения составляет 0,08-0,15. Режим граничного трения очень неустойчив и характеризует предел

работоспособности узла трения. Если граничный слой разрушается, а нагрузка превышает силы сцепления смазочного материала с рабочей поверхностью детали, то в месте контакта возникает сухое трение и, как следствие, задиры, заклинивания и другие аварийные повреждения деталей (например, выплавление антифрикционного слоя вкладышей коленчатого вала).

Толщина и прочность граничного слоя масла при трении рабочих поверхностей деталей двигателя зависит от химического состава масла и входящих в него присадок, химической структуры деталей (например, баббитовые или алюминиевые вкладыши коленчатого вала) и состояния поверхности трения (шлифование или суперфиниширование). При этом работоспособность граничного слоя масла не зависит от его вязкости, а определяется взаимодействием молекулярной пленки масла с трущейся поверхностью металла. Возникающие молекулярные пленки масла бывают физического (адсорбция) или химического (хемосорбция) происхождения.

Образование смазочных пленок силами адсорбции обусловлено наличием в смазочных материалах поверхностно-активных веществ (ПАВ), несущих электрический заряд. К таким веществам относятся соединения, содержащие карбоксильные группы, спирты, различные эфиры, смолы, сернистые соединения. Смазочные материалы, содержащие ПАВ, обладают способностью адсорбироваться на поверхностях раздела двух сред: жидкости и твердого тела. Способность смазочных материалов, содержащих ПАВ, образовывать на смазываемых поверхностях достаточно прочные слои ориентированных молекул, называют маслянистостью или смазывающей способностью масел. В некоторые масла для улучшения их смазывающей способности вводят противоизносные и противозадирные присадки.

Хемосорбированные пленки - устойчивые химические пленки фосфатов, хлоридов или сульфидов - создаются на поверхности металла благодаря присутствию в смазочных материалах соответствующих химических элементов. Большая скорость образования этих пленок обеспечивает их быстрое восстановление в местах разрушения граничного слоя. К пленкам этого типа относят также различные мыла, которые образуются из органических кислот, содержащихся в масле.

Адсорбированные и хемосорбированные пленки, обладая определенной прочностью и стойкостью, защищают поверхности трения от механических и тепловых воздействий, препятствуют взаимной адгезии трущихся поверхностей.

Коэффициент жидкостного трения находится в пределах 0,003-0,03, что в 50-100 раз меньше, чем при трении без смазки. Сила трения при

этом виде смазки зависит только от трения внутренних слоев в смазочном материале.

Устойчивость смазочного слоя, необходимого для жидкостного трения, зависит от следующих факторов: конструкции узла трения; скорости взаимного перемещения трущихся поверхностей; величины и равномерности распределения нагрузки на трущиеся поверхности; вязкости смазочного материала; площади трущихся поверхностей; величины зазора между трущимися поверхностями; температурного состояния узла трения и др.

Механизм образования масляного клина (слоя) в коренном подшипнике коленчатого вала при пуске двигателя показан на рисунке 8. Вращаясь в подшипнике скольжения, вал увлекает находящееся в зазоре масло, и там, где величина зазора  $h_{\min}$  меньше, возникает давление, под действием которого вал «всплывает» в заполняющем зазор масляном слое (рис. 8, б). С увеличением частоты вращения коленчатого вала «клиновое действие» масляного слоя возрастает, увеличивается величина  $h_{\min}$  и шейка вала стремится занять центральное положение в подшипнике (рис. 8, в). Минимальная толщина масляного слоя  $h_{\min}$  зависит от конструкции подшипника скольжения (наличия упорных буртиков, сальниковых уплотнений и других элементов), абсолютной вязкости масла, скорости перемещения трущихся поверхностей и величины давления на трущиеся поверхности.

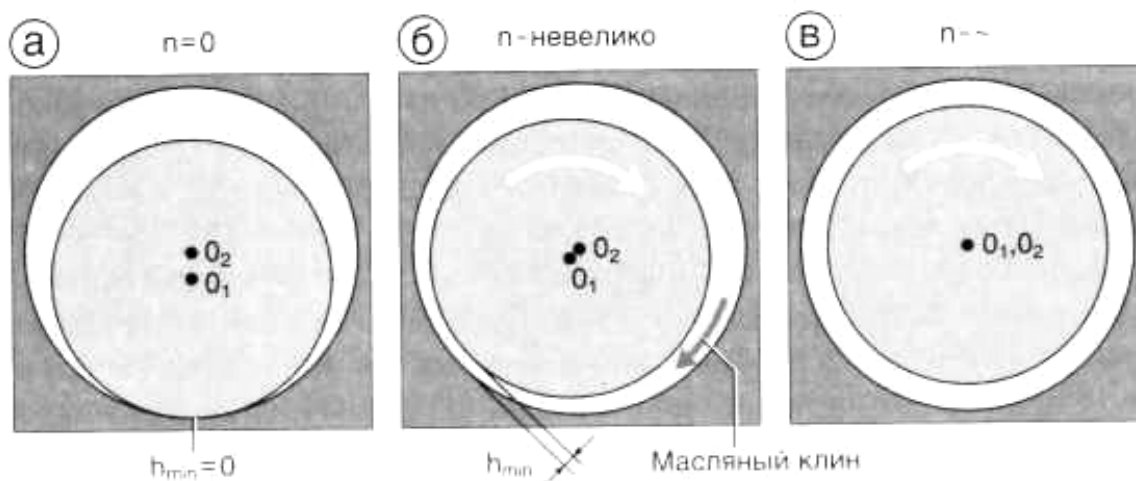


Рисунок 8 – Образование масляного клина в подшипниках скольжения коленчатого вала: а – двигатель не работает; б – момент пуска двигателя; в – работа двигателя (постоянное вращение коленчатого вала)

Соблюдение закономерности:

$$h_{\min} \geq 1,5 (\delta_1 + \delta_2) \quad (9)$$

где  $\delta_1$ , и  $\delta_2$  — максимальные высоты выступов на поверхностях трения.

Для любых пар трущихся поверхностей вязкость масла должна быть наименьшей, но в то же время обеспечивающей жидкостное трение. Так, для подшипника скольжения коленчатого вала двигателей внутреннего сгорания кинематическая вязкость должна быть не менее 4-5 мм<sup>2</sup>/с.

Полужидкостное трение возникает при пуске и остановке двигателя, высоких рабочих температурах и нагрузках, недостаточной вязкости масла и его подаче, а также при попадании в масло абразивных механических примесей. В этих ситуациях масла в зазоре между трущимися парами может оказаться недостаточно для обеспечения жидкостного трения, масляный слой частично разрушен, в результате чего в отдельных местах соприкосновения трущихся поверхностей возникает граничное или сухое трение. Если масло обладает высокой смазывающей способностью, только это и позволяет максимально уменьшить трение и износ, а также предотвратить заклинивание трущихся деталей.

Изнашивание - это процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердой детали накопления в ней остаточной деформации или постепенного изменения ее размеров или формы поверхностей под воздействием трения.

Количественной мерой оценки изнашивания является износ, который может выражаться в единицах длины, массы (поршневые кольца) или объема (угар масла).

Различают скорость изнашивания и интенсивность изнашивания. Скорость изнашивания определяют как отношение значения износа к интервалу времени, в течение которого он возник, а интенсивность изнашивания - как отношение значения износа к величине расстояния (пробега, измеряемого в км), на котором происходило изнашивание, или объему выполненной работы (т/км, м<sup>3</sup> и т.д.).

По характеру разрушения деталей различают следующие виды изнашивания: механическое, молекулярно-механическое и коррозионно-механическое.

Механическое изнашивание, возникающее в результате механических воздействий, подразделяется на абразивное, гидроабразивное, газоабразивное, усталостное, эрозионное и кавитационное.

Абразивное изнашивание становится результатом режущего или царапающего воздействия на поверхности трения относительно более твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии. Даже незначительное количество абразивных частиц ведет к очень быстрому изнашиванию трущихся поверхностей деталей автомобиля (например, песок, попавший в тормозные барабаны или картер сцепления).

Гидроабразивное изнашивание, как и газоабразивное, — результат воздействия на детали твердых частиц, увлекаемых, соответственно, жидкостью или газом. Такие загрязнения, как твердые продукты износа, частицы нагара, пыль и другие, попадая в двигатель, вызывают интенсивное изнашивание поверхностей трения деталей, систем смазки и питания.

Усталостное изнашивание — следствие повторного деформирования микрообъемов материала, из-за которого возникают трещины и происходит отделение частиц. Усталостное изнашивание может происходить как при трении качения (галтели поворотного кулака балки переднего моста автомобиля), так и при трении скольжения (галтели коленчатого вала двигателя).

Эрозионное изнашивание наблюдается при воздействии на поверхность трения жидкости или газа. Наиболее часто этот вид изнашивания встречается на поверхностях деталей охлаждающей и выпускной систем двигателя. Разновидностью эрозионного изнашивания является электроэрозионное изнашивание поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока. Наиболее часто от электроэрозионного изнашивания страдают (подгорают) контакты замка зажигания, прерывателя-распределителя, тягового реле стартера, электропривода насоса охлаждающей жидкости и т.п.

Кавитационное изнашивание возникает в условиях кавитации - процесса «охлопывания» пузырьков газа вблизи поверхности трения, создающего местное повышение давления или температуры. При кавитационном изнашивании наружные поверхности гильз цилиндров двигателя покрываются кратерами или вырывами, образовавшимися от разрывов пузырьков.

Молекулярно-механическое изнашивание (изнашивание при заклинивании) является результатом совместного действия механического изнашивания с молекулярными или атомными силами. В этом случае происходит глубинное вырывание материала, местное соединение (схватывание) двух твердых тел, перенос металла с одной поверхности трения на другую и воздействия возникших неровностей

на сопряженную поверхность.

Заклинивание двигателя становится следствием схватывания, как правило, коренного либо шатунного подшипника коленчатого вала из-за нарушения жидкостного трения. Возникающее при этом повышение температуры приводит к выплавлению антифрикционного сплава (баббитового или алюминиевого) вкладышей. При этом антифрикционный слой заполняет зазор между трущейся поверхностью вкладыша и шейкой коленчатого вала, что и приводит к заклиниванию вала. Задиры на стенках гильз цилиндров двигателей возникают при нарушении подвижности или разрушении поршневых колец.

Коррозионно-механическое изнашивание возникает в результате механического воздействия на трущиеся поверхности, сопровождаемого химическим или электрическим взаимодействием материала со средой. Коррозионные разрушения в этом случае развиваются при воздействии на трущиеся поверхности таких агрессивных веществ, как химически активные газы, кислотные примеси смазочных материалов и др. При этом изнашивание вызывается главным образом химической реакцией материала поверхности трения с кислородом или окисляющей окружающей средой (пример - окисление выводов аккумуляторной батареи).

На возникновение какого-либо вида изнашивания и повышение его интенсивности влияют:

1. свойства материалов поверхностей трения деталей (баббит, алюминий, закаленная сталь и др.);
2. свойства и качества смазочных материалов;
3. способы подвода смазки к трущимся поверхностям (разбрызгиванием, под давлением, самотеком);
4. давление и место подачи смазочного материала к трущимся поверхностям (расположение масляного канала относительно трущихся поверхностей);
5. форма и размеры поверхностных неровностей (шероховатость) и трущихся поверхностей (овальность, конусность);
6. характер приложения нагрузки (динамический, статический, знакопеременный);
7. скорость относительного перемещения трущихся тел и ее изменение во времени (разгон автомобиля, торможение двигателем);
8. температурный режим работы двигателя и, как следствие, пары трения;
9. присутствие механических и химических примесей, влаги в месте контакта и полнота удаления продуктов изнашивания из зоны трения;
10. качество топлива;

11. режим работы и климатические условия эксплуатации автомобиля и др.

#### **4.4 ВИДЫ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ**

Смазочные материалы классифицируются на группы в зависимости от следующих признаков: происхождение или исходное сырье для получения; внешнее состояние; назначение.

По происхождению или исходному сырью различают такие смазочные материалы:

- минеральные, или нефтяные, являются основной группой выпускаемых смазочных масел (более 90 %). Их получают при соответствующей переработке нефти. По способу получения такие материалы классифицируются на дистиллятные, остаточные, компаундированные или смешанные;

- растительные и животные, имеющие органическое происхождение. Растительные масла получают путем переработки семян определенных растений. Наиболее широко в технике применяются касторовое масло.

- животные масла вырабатывают из животных жиров (баранье и говяжье сало, технический рыбий жир, костное и спермацетовые масла и др.).

- органические, масла по сравнению с нефтяными обладают более высокими смазывающими свойствами и более низкой термической устойчивостью. В связи с этим их чаще используют в смеси с нефтяными;

- синтетические, получаемые из различного исходного сырья многими методами (каталитическая полимеризация жидких или газообразных углеводородов нефтяного и ненефтяного сырья; синтез кремнийорганических соединений - полисиликонов; получение фтороуглеродных масел). Синтетические масла обладают всеми необходимыми свойствами, однако из-за высокой стоимости их производства применяются только в самых ответственных узлах трения.

По внешнему состоянию смазочные материалы делятся на:

- жидкие смазочные масла, которые в обычных условиях являются жидкостями, обладающими текучестью (нефтяные и растительные масла);

- пластичные, или консистентные, смазки, которые в обычных условиях находятся в мазеобразном состоянии (технический вазелин, солидолы, констатины, жиры и др.). Они подразделяются на антифрикционные, консервационные, уплотнительные и др.;



- твердые смазочные материалы, которые не изменяют своего состояния под действием температуры, давления и т. п. (графит, слюда, тальк и др.). Их обычно применяют в смеси с жидкими или пластичными смазочными материалами.

По назначению смазочные материалы делятся на масла:

- моторные, предназначенные для двигателей внутреннего сгорания (бензиновых, дизельных, авиационных);

- трансмиссионные, применяемые в трансмиссиях тракторов, автомобилей, комбайнов, самоходных и других машин;

- промышленные, предназначенные главным образом для станков;

- гидравлические для гидравлических систем различных машин;

- компрессорные, приборные, цилиндрические, электроизоляционные, вакуумные и др.

## **5. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ МАСЛА В ДВИГАТЕЛЕ, КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИ МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

### **5.1 НАЗНАЧЕНИЕ И ТРЕБОВАНИЕ К МОТОРНЫМ МАСЛАМ**

Масла, применяемые в смазочных системах двигателей внутреннего сгорания, называются моторными маслами. Их главное назначение - снижать износ деталей двигателя за счет создания на поверхности трущихся деталей прочной масляной пленки.

Основой отечественных моторных масел являются продукты, полученные в процессе перегонки нефти, главным образом, в процессе фракционной перегонки мазута - остатка образующегося после получения так называемых светлых нефтепродуктов (бензина, керосина, дизельного топлива). Сами по себе эти продукты обладают неплохим смазывающим действием, однако для современных двигателей эти свойства явно недостаточны. Необходимый качественный уровень моторных масел достигается введением в нефтяную основу специальных присадок в определенных количествах и сочетаниях. Среди них наиболее важны противоизносные, противозадирные, моющие, антипенные, антиокислительные. Объем и эффективность введенных в основу присадок определяют эксплуатационные свойства и назначение каждого конкретного сорта масла.

На надежность и долговечность автомобильных двигателей большое влияние оказывает качество применяемых моторных масел.

Условия работы масел в двигателях внутреннего сгорания постоянно ужесточаются. Форсирование нагрузочных и скоростных

режимов двигателей, уменьшение удельной емкости системы смазки приводит к росту температуры основных деталей и, как следствие, к ускорению окисления масел.

Основная функция моторного масла — снижение трения и износа трущихся поверхностей деталей двигателя за счет создания на их поверхностях прочной масляной пленки. Одновременно моторные масла должны обеспечивать:

1. уплотнение зазоров в сопряжениях работающего двигателя и, в первую очередь, деталей цилиндра-поршневой группы;
2. эффективный отвод тепла от трущихся поверхностей деталей, удаление из зон трения продуктов износа и других посторонних веществ;
3. надежную защиту рабочих поверхностей деталей двигателя от коррозионного воздействия продуктов окисления масла и сгорания топлива;
4. предотвращение образования всех видов отложений (нагары, лаки, зольные отложения, шламы) на деталях двигателя при его работе на различных режимах;
5. высокую стабильность при окислении, механическом воздействии и обводнении, т.е. сохранение первоначальных свойств как в многообразных условиях применения, так и при длительном хранении;
6. малый расход масла при работе двигателя;
7. большой срок службы масла до замены без ущерба для надежной работы двигателя.

Для выполнения этих функций моторные масла должны удовлетворять следующим эксплуатационным требованиям:

1. обладать оптимальными вязкостными свойствами, обеспечивающими надежную и экономичную работу двигателей на всех эксплуатационных режимах;
2. иметь хорошую смазывающую способность для предотвращения интенсивного изнашивания трущихся поверхностей деталей;
3. обладать достаточной химической стойкостью, обеспечивающей минимальное изменение свойств смазочного материала в процессе применения, а также небольшое образование коррозионно-активных продуктов и вредных отложений, что позволяет увеличить продолжительность работы смазочных материалов при минимальном коррозионно-механическом изнашивании сопряжений двигателя;
4. обладать устойчивостью к испарению, вспениванию и образованию эмульсий, а также к выпадению присадок;
5. надежно защищать трущиеся поверхности и другие

металлические детали от атмосферной коррозии.

## 5.2 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Важнейшими эксплуатационными свойствами моторных масел являются: вязкостно-температурные (вязкость, индекс вязкости, температура застывания), противоизносные, противоокислительные, диспергирующие (моющие), коррозионные и др.

Вязкостью называется свойство жидкости оказывать сопротивление при перемещении ее слоев под действием внешней силы. Это свойство является следствием трения, возникающего между молекулами жидкости.

Различают динамическую и кинематическую вязкость.

Вязкость существенно меняется с изменением температуры. С понижением температуры взаимодействие между молекулами усиливается, и вязкость масла увеличивается. Так, например, при изменении температуры на  $100^{\circ}\text{C}$  вязкость масла может изменяться в 250 раз. На рисунке 9, на сетке с логарифмическими координатами показана зависимость вязкости от температуры. Учитывая линейный характер зависимости, можно по номограмме определить вязкость масла при любой температуре.

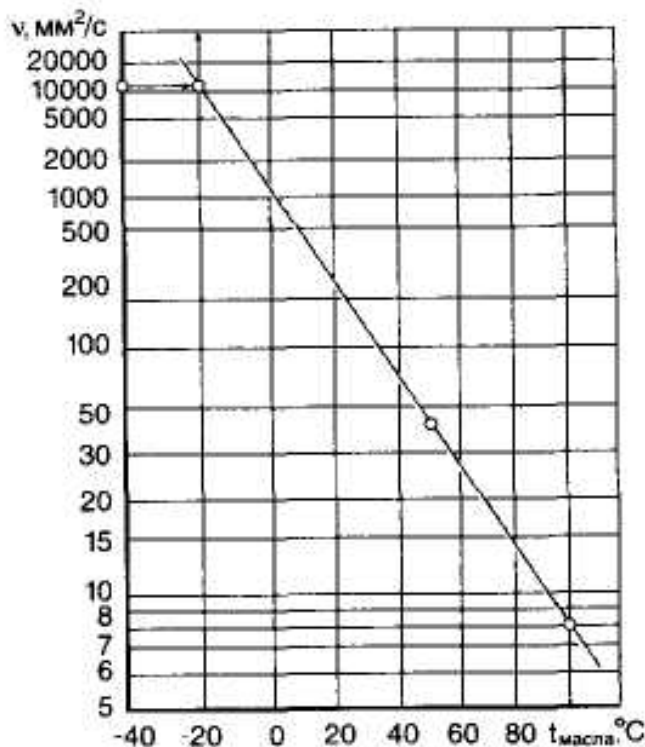


Рисунок 9 – Номограмма для определения вязкости масла при различных его температурах в двигателе

С повышением давления вязкость масла возрастает. Величины давления в масляной пленке, заключенной между трущимися поверхностями, могут быть значительно выше, чем сами нагрузки на эти поверхности. В масляной пленке коренного подшипника коленчатого вала двигателя величина давления достигает 500 МПа.

Зависимость вязкости масла от давления определяют по уравнению Гуревича:

$$V_P = V_0(1 + KP), \quad (10)$$

где  $V_0$  и  $V_P$  - соответственно вязкость при давлении 0,4 МПа и  $P$ , мм<sup>2</sup>/с;  
 $K$  - коэффициент для нефтяных (минеральных) масел, ( $K=0,025$ ).

С повышением давления вязкость более жидких масел (с пологой вязкостно-температурной характеристикой) возрастает в меньшей степени, чем более вязких масел (с более крутой вязкостно-температурной характеристикой).

При давлении  $(1,5-2,0) \cdot 10^3$  МПа минеральное масло затвердевает. Вводимые присадки в базовое масло способствуют сохранению несущей способности масляного слоя при увеличении нагрузки.

Вязкость является основным параметром при подборе масла, поэтому она всегда указана в маркировке масла. Для маркировки вязкость определяют при тех температурах, при которых работают узлы трения. Моторные масла для двигателей внутреннего сгорания маркируют по кинематической вязкости мм<sup>2</sup>/с (Сст) при температуре 100 °С, которая принята в качестве средней температуры масла в двигателе (картер, система смазки).

Вязкость — одно из важнейших свойств масла, имеющее многостороннее эксплуатационное значение. От вязкости в значительной степени зависит режим смазки пар трения, отвод тепла от рабочих поверхностей и уплотнение зазоров, энергетические потери в двигателе, его эксплуатационные свойства. Быстрота пуска двигателя, прокачивание масла по системе смазки, охлаждение трущихся поверхностей деталей и их очистка от загрязнений также зависят от вязкостно-температурных свойств масла.

Масла повышенной вязкости используются для высоконагруженных, низкооборотных или работающих в условиях напряженного теплового режима двигателей. При этом, чем выше вязкость масла в работающем двигателе, тем надежнее уплотнения, меньше вероятность прорыва газов, ниже угар масла. Поэтому масла с большой вязкостью применяют в случаях, когда двигатель изношен, зазоры увеличены или условия эксплуатации характеризуются высокой запыленностью, повышенной температурой, изменяющимися в больших пределах нагрузками.

Масла с меньшей вязкостью применяют для легконагруженных высокооборотных двигателей. Они облегчают пуск двигателя, лучше прокачиваются по системе смазки и очищаются от механических примесей, обеспечивают хороший отвод тепла от рабочих поверхностей деталей.

Температура масла значительно влияет на его кинематическую вязкость. С понижением температуры вязкость увеличивается, а с повышением — уменьшается. Чем меньше перепад вязкости в зависимости от температуры, тем в большей степени масло удовлетворяет эксплуатационным требованиям.

Увеличение вязкости масел с понижением температуры приводит к значительным трудностям при использовании автомобилей, особенно в зимнее время года при пуске двигателей. При отрицательных температурах в диапазоне от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $-30^{\circ}\text{C}$  резко увеличивается момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала двигателя, медленнее достигается минимальная пусковая частота вращения, ухудшается подача масла к трущимся поверхностям деталей.

Для получения масел с хорошими вязкостно-температурными свойствами в качестве базовых используют маловязкие масла, имеющие вязкость менее  $5 \text{ мм}^2/\text{с}$  при температуре  $+100^{\circ}\text{C}$ , и добавляют в них вязкостные присадки (загустители). В качестве присадок применяют такие полимерные соединения, как полиизобутилен, полиметакрилаты, полиалкилстиролы и др.

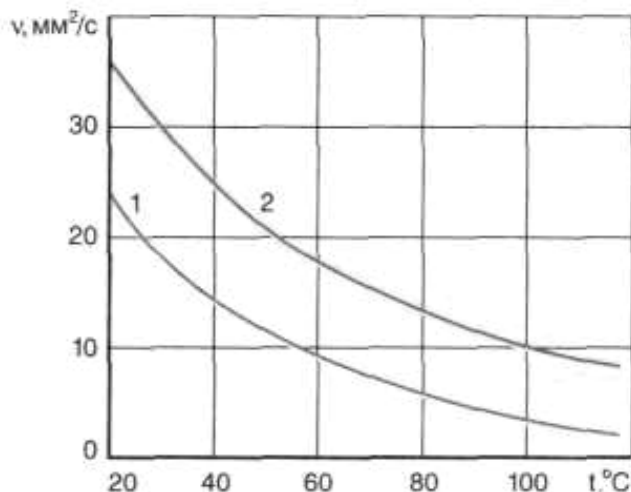


Рисунок 10 – Влияние вязкостной присадки на вязкость масла при различных температурах: 1 – маловязкое масло; 2 – то же самое масло с вязкостной присадкой (загущенное)

С понижением температуры объем макромолекул полимера уменьшается (молекулы «свертываются» в клубки). При повышении температуры клубки макромолекул «разворачиваются» в длинные разветвленные цепи, присоединяя молекулы базового масла, объем их становится больше, и вязкость масла возрастает.

Загущенные присадками масла обладают необходимым уровнем вязкости при положительных температурах 50-100 °С, пологой кривой изменения вязкости (рис. 10) и, следовательно, высоким индексом вязкости, равным 115-140. Такие масла получили название всесезонных, так как имеют одновременно свойства одного из зимних классов и одного из летних.

В системах смазки современных автомобильных двигателей применяются именно загущенные всесезонные масла. При их использовании мощность двигателя повышается на 3-7 % (что обеспечивается высоким индексом вязкости и способностью загущенных масел снижать вязкость в парах трения при высоких скоростях сдвига), облегчается пуск и сокращается время прогрева, снижаются механические потери на трение, и, как следствие, расход топлива, увеличиваются долговечность деталей и срок службы масел. Экономия топлива достигает 5 % при больших пробегах и 15 % при коротких пробегах в зимнее время с частыми пусками двигателя (рис. 11).



*Рисунок 11 – Снижение расхода бензина при движении автомобиля по мере прогрева двигателя до рабочей температуры*

К недостаткам загущенных масел относят низкую стабильность загущенных присадок при высоких температурах, что вызывает ухудшение

вязкостно-температурных характеристик масел при длительной беспрерывной работе их в двигателях.

Индекс вязкости (ИВ), оценивающий вязкостно-температурные свойства масел, является условным показателем, характеризующим степень изменения вязкости масла в зависимости от температуры и определяемый путем сравнения вязкости данного масла с двумя эталонными маслами, вязкостно-температурные свойства одного из которых приняты за 100, а второго — за 0 единиц.

Индекс вязкости определяют по номограмме (рис. 12), расчетным путем или по специальным таблицам. Для определения ИВ по номограмме необходимо знать значения кинематической вязкости масла при температурах  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Чем выше ИВ, тем более пологой кривой (рис. 13) характеризуется масло и тем лучше его вязкостно-температурные свойства. Из двух масел с одинаковой вязкостью при температуре  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , но с разными ИВ, одно (1) можно применять только в теплое время, так как при низких температурах оно теряет подвижность, а другое (2) — всепогодное, так как оно обеспечит легкий пуск двигателя при низких температурах воздуха и жидкостное трение при рабочих температурах.

Учитывая то обстоятельство, что вязкость масла и индекс вязкости определяют работоспособность узла трения, то в стандартах на масла эти параметры нормируются в количественном выражении. Для автомобильных масел ИВ должен быть не менее 90.

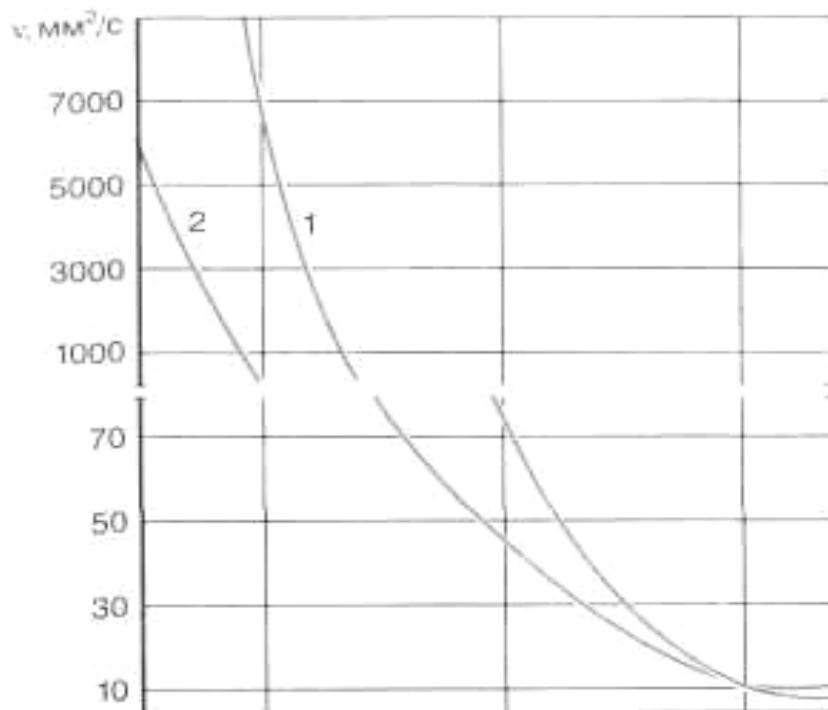
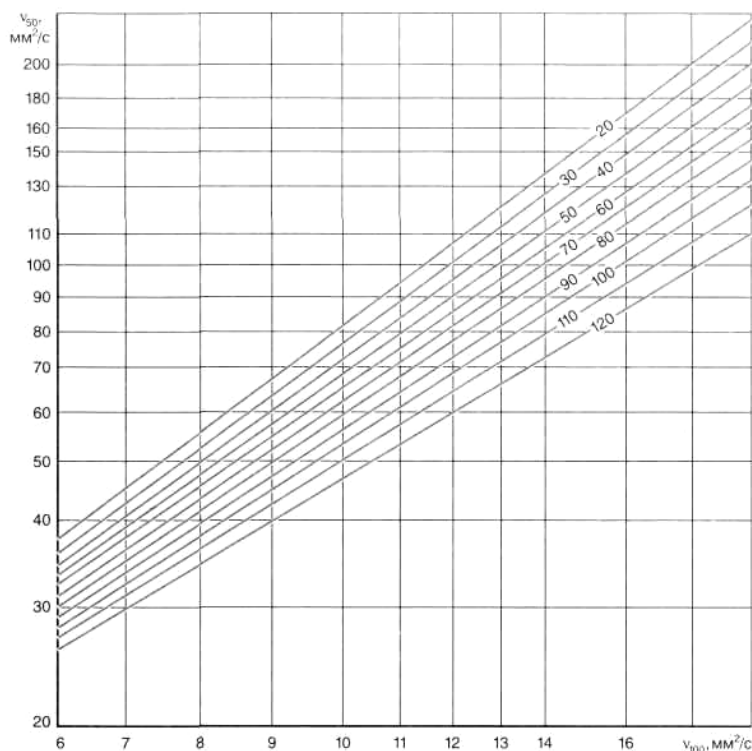


Рисунок 12 – Номограмма для определения индекса вязкости моторных масел



*Рисунок 13 – Зависимость вязкости моторных масел от температуры для различных значений индекса вязкости: 1 – ИВ 90; 2 – ИВ 140*

**Застывание** — свойство, определяющее потерю текучести масла. При понижении температуры до определенной величины текучесть масла снижается, а при дальнейшем понижении оно застывает. С увеличением вязкости масла из него выделяются наиболее высокоплавкие углеводороды (парафин, церезин), а при полной потере текучести масла микрокристаллы твердых углеводородов (парафина) образуют пространственную кристаллическую решетку, связывающую все масло в единую неподвижную массу.

Температуру, при которой масло теряет текучесть, называют **температурой застывания**. Нижний температурный предел применения масла примерно на 8-12 °С выше температуры застывания.

Снижения температуры застывания масел добиваются путем депарафинизации (частичного удаления парафинов) или добавлением присадок депрессаторов в процессе их производства. Депрессаторы предотвращают образование кристаллической решетки, когда кристаллы парафина объединяются в объемные структуры. Понижая температуру застывания масла, депрессаторы не влияют на его



вязкостные свойства.

Противоизносные (смазывающие) свойства характеризуют способность масла препятствовать износу поверхностей трения, образованию на трущихся поверхностях прочной пленки, исключая непосредственный контакт деталей. Высокие противоизносные свойства масла особенно востребованы при небольших частотах вращения коленчатого вала, когда высоки удельные нагрузки, а также когда геометрические формы или размеры деталей имеют существенные отклонения, что чревато задирами, схватыванием и разрушением трущихся поверхностей.

Противоизносные свойства масла зависят от его вязкости, вязкостно-

температурной характеристики, смазывающей способности, чистоты масла.

С повышением температуры масла адсорбционный слой ослабляется, а при достижении критической температуры 150-200 °С, на грани прочности пленки и сухого трения, разрушается. Масла с высокими противоизносными свойствами способны формировать для предупреждения изнашивания такой режим трения, который исключает непосредственный контакт трущихся поверхностей металлов. Поэтому возможное в данном случае изнашивание вызывается цикличностью нагрузок на отдельных участках поверхностей трения и усталостными разрушениями металла (усталостные трещины в галтелях коленчатых валов).

Противоокислительные свойства характеризуются стойкостью масла к окислению, полимеризации и алкилированию в процессе работы двигателя, а также разложению при хранении и транспортировании.

Продолжительность работы масла в двигателе зависит от его химической стабильности, под которой понимается способность масла сохранять свои первоначальные свойства и противостоять внешнему воздействию при нормальных температурах.

На стабильность моторных масел оказывают влияние следующие факторы: химический состав, температурные условия, длительность окисления, каталитическое действие металлов и продуктов окисления, площадь поверхности окисления, присутствие воды и механических примесей. Повышенное давление воздуха ускоряет процесс окисления масла, так как усиливается процесс его взаимной диффузии с воздухом.

На процесс окисления решающее влияние оказывает температура. Масла, хранящиеся при температуре 18-20 °С, сохраняют свои первоначальные свойства в течение 5 лет. Начиная с 50-60 °С, скорость

окисления удваивается с увеличением температуры на каждые  $10^{\circ}\text{C}$ . Поэтому высокая тепловая напряженность деталей форсированных двигателей, с которыми приходится контактировать моторному маслу, и взаимодействие с прорывающимися в картер газами из камер сгорания (на такте сжатия их температура составляет около  $150-450^{\circ}\text{C}$  для бензиновых двигателей и около  $500-700^{\circ}\text{C}$  для дизелей) резко ухудшают условия их работы. Повышение тепловой напряженности моторных масел связано также с отдельными конструктивными решениями: использование наддува; применение герметизированной системы охлаждения (увеличивает температуру поршня на  $10-20^{\circ}\text{C}$ ); уменьшение объема системы смазки двигателя; масляное охлаждение поршней и др.

Термоокислительную стабильность определяют как устойчивость масла к окислению в тонком слое при повышенной температуре методом оценки прочности масляной пленки.

Для замедления реакций окисления и уменьшения образования отложений в двигателе в масла вводят противоокислительные присадки.

Диспергирующим (моющим) свойством масла называют его способность препятствовать слипанию углеродистых частиц и удерживать их в состоянии устойчивой суспензии, что значительно снижает процессы образования лаковых отложений и нагара на горячих поверхностях деталей двигателя.

При использовании масел с хорошими диспергирующими свойствами детали двигателей выглядят чистыми, как бы вымытыми, отсюда и появление термина «моющие».

Диспергирующие свойства масел оценивают в баллах от 0 до 6 по методу ПЗВ. Образование лаковых отложений на деталях двигателя, работающего на маслах с моющими присадками, уменьшается в 3-6 раз, т.е. с 3-4,5 до 0,5-1,5 балла.

Моющие присадки бывают зольными и беззольными. Зольные присадки содержат бариевые и кальциевые соли сульфокислот (сульфонаты), а также алкилфеноляты щелочноземельных металлов бария и кальция. Масла с зольными присадками в количестве 2-10 %, сгорая, образуют золу, прилипающую к поверхности деталей. Беззольные моющие присадки не образуют золы при сгорании масел, так как не содержат металлов.

Коррозионные свойства масел зависят от наличия в них органических кислот, перекисей и других продуктов окисления, сернистых соединений, неорганических кислот, щелочей и воды.

Коррозионность свежего масла, в котором присутствуют природные органические кислоты и сернистые соединения,

незначительна, но резко возрастает в процессе эксплуатации. Присутствие в свежих маслах органических (нафтенowych) кислот связано с их неполным удалением в процессе очистки.

Коррозионное действие масел связано также с содержанием в них 15-20 % сернистых соединений в виде сульфидов и компонентов остаточной серы, которые при высоких температурах приводят к выделению сероводорода, меркаптанов и других активных продуктов. В условиях высоких температур сернистые соединения особенно агрессивны по отношению к серебру, меди, свинцу. В процессе использования масла содержание кислот в нем возрастает в 3-5 раз, что зависит от его химической стабильности, содержания антиокислителей и условий работы.

Оценку коррозионной стойкости производят по кислотному числу, которое для свежих масел не превышает 0,4 мг КОН на 1 г масла. В коррозионном отношении эта концентрация практически не опасна.

Коррозионные процессы в двигателях замедляют нейтрализацией кислых продуктов путем введения антикоррозионных присадок; замедлением процессов окисления путем добавления в масла антиокислительных присадок; созданием на поверхности металла (при изготовлении деталей) стойкой защитной пассивированной пленки из органических соединений, содержащих серу и фосфор.

Известны присадки и ингибиторы коррозии и их композиции, которые снижают все виды износа.

### **5.3 ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ МАСЕЛ И ОЦЕНКА ИХ КАЧЕСТВА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДВИГАТЕЛЯ**

При эксплуатации автомобиля под воздействием различных факторов (рис. 14) масло теряет свои первоначальные свойства, или, как принято говорить, стареет. Загрязняющие примеси (их доля достигает 0,08-0,23 %), попадающие в Двигатель вместе со свежим маслом, образуются при его изготовлении и накапливаются в масле в процессе его транспортирования, хранения и непосредственно при заправке системы смазки.

Загрязнения моторного масла по характеру происхождения бывают органическими и неорганическими. Частицы органических загрязнений (размером немногим более 2 мкм) попадают в масло из камеры сгорания двигателя (продукты неполного сгорания топлива), а также образуются при термическом разложении, окислении и полимеризации масла, к неорганическим загрязнениям относятся: частицы пыли, попавшие в двигатель через систему питания (с воздухом); продукты износа

деталей (размером 0,5-1 мкм); оставшиеся в двигателе после его изготовления технологические загрязнения (стружка, абразив); продукты срабатывания зольных присадок в маслах; вода, соединения серы и свинца, проникающие в масло из камеры сгорания двигателя.

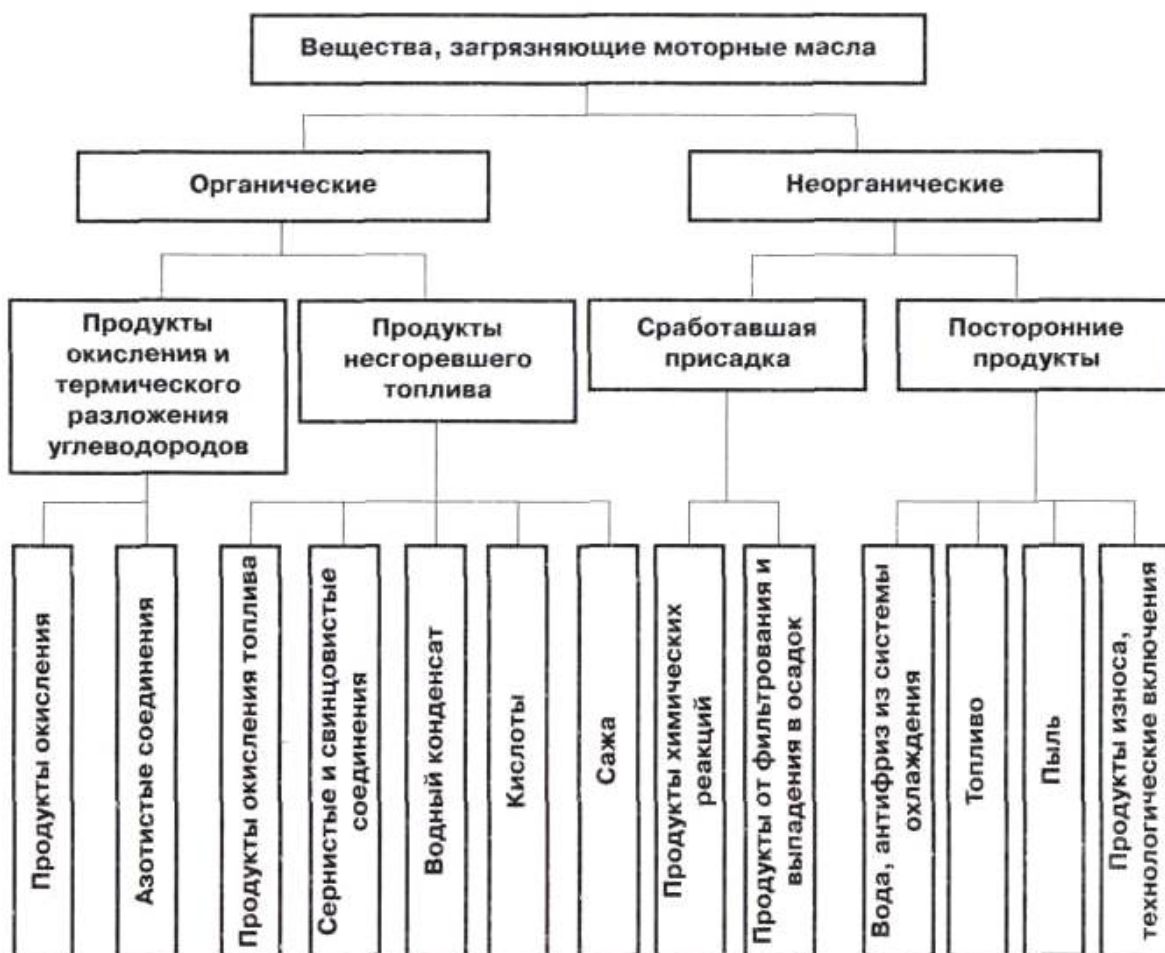


Рисунок 14 – Вещества загрязняющие моторные масла

Кроме того, при старении масла окисляются его углеводороды, срабатываются присадки и др.

При старении масел изменяются практически все их физико-химические и эксплуатационные свойства: вязкость, температура вспышки, коксуемость, содержание воды, щелочное и кислотное числа, содержание нерастворимого осадка и продуктов изнашивания.

Вязкость масла в процессе работы двигателя может как увеличиваться, так и уменьшаться. Увеличивается она в результате

испарения легких фракций масла, накопления в нем продуктов неполного сгорания топлива в виде сажи, окисления углеводородов масла, уменьшается — при попадании в масло топлива, а также в результате разрушения полимерной присадки в загущенных маслах.

При нормальной работе двигателя и использовании обычного минерального (незагущенного) масла в связи с накоплением в нем продуктов окисления и полимеризации, попаданием продуктов износа и сгорания топлива вязкость масла, как правило, увеличивается. Интенсивность повышения вязкости масла зависит от температуры в зонах окисления, качества топлива (содержания в нем серы), совершенства процесса сгорания, эффективности фильтрации масла и попадания в него охлаждающей жидкости. Значительное увеличение вязкости масла нежелательно, так как при этом уменьшается его поступление к парам трения и снижается эффективность фильтрации, а также ухудшаются пусковые свойства двигателя. Вязкость моторных масел оценивают с помощью вискозиметра типа «Флостик», вискозиметра СЭВ-1, двухкапиллярного вискозиметра и др.

При неполном сгорании топливно-воздушной смеси или вследствие утечек из системы питания в масло может попадать топливо, в результате чего вязкость масла заметно снижается. Кроме того, под воздействием легких фракций топлива масло окисляется значительно быстрее, образуя при этом органические кислоты и отложения, которые значительно ухудшают его качество. В результате возможно повреждение подшипников, на деталях двигателя интенсивнее образуются нагар и лаковые отложения.

Степень разжижения масла топливом и наличие в масле легких топливных фракций определяют по температуре вспышки масла в открытом тигле и с помощью ловушки. Современные масла при производстве имеют температуру вспышки, превышающую 200 °С. Снижение температуры вспышки масла до 175 °С и ниже обычно указывает на присутствие в нем топлива.

Коксуемость масла повышается по мере его работы в результате накопления в нем продуктов окисления и неполного сгорания топлива.

Содержание воды в масле ухудшает его эксплуатационные свойства: повышает коррозионность, снижает смазывающие свойства. При этом возрастают водородный износ деталей, коррозия вкладышей подшипников скольжения и других деталей из цветных металлов и сплавов при высоких температурах. Вода может попадать в масло вместе с прорывающимися газами из камер сгорания; из системы охлаждения двигателя через негерметичные уплотнения; в результате конденсации влаги при резком понижении температуры, в частности,

при охлаждении двигателя после работы; вследствие заливки в двигатель масла, по каким-либо причинам уже содержащего воду.

Для нейтрализации вредного воздействия воды следует содержать системы охлаждения и вентиляции картера двигателя в исправном состоянии, сокращать время прогрева двигателя до рабочей температуры, соблюдать оптимальный тепловой режим двигателя.

Содержание воды в масле оценивают по характеру горения фильтровальной бумаги, пропитанной проверяемым маслом; при опускании в масло металлической пластины или стержня (масляного щупа); с помощью сульфата магния, а также гидроксида кальция.

Щелочное число масла снижается при уменьшении концентрации моющих присадок. При этом в масле накапливаются кислые продукты, что повышает коррозионный износ деталей.

Основной функцией щелочных присадок масла является нейтрализация кислот и защита от коррозии.

Детергентно-диспергирующие свойства и загрязнение масла оценивают методом капельной пробы и методом определения объема выделившегося осадка под действием растворителя селективного характера.

Кислотное число увеличивается при ускоренной степени окисления масла и разложении присадок.

Содержание нерастворимого осадка в количественном выражении определяет интенсивность поступления в масло продуктов неполного сгорания топлива, частиц износа, пыли, срабатывания присадок.

Содержание продуктов изнашивания определяют методами нейтральной активации, спектрального анализа или радиоактивных изотопов.

Старение масел при работе двигателей представляет собой сложный процесс. В процессе старения масла наблюдаются изменения концентрации, строения и эффективности присадок. Это происходит в результате разложения, взаимодействия с продуктами сгорания топлива и окисления масла, фильтрующими элементами и деталями автомобиля.

Повышенная температура и кислород воздуха, с которым контактирует масло, вызывают окисления и окислительную полимеризацию его молекул. Такие продукты окисления углеводородов, как смолы, органические кислоты, присутствующие в масле в растворенном состоянии, способствуют увеличению вязкости и кислотного числа, а асфальтеновые соединения, вызывающие образование лаковых отложений, — залеганию и пригоранию поршневых колец. Мелкая устойчивая механическая смесь продуктов окисления приводит к образованию нагара и шлама. Продукты глубокой окислительной

полимеризации, отличающиеся в зонах высокой температуры и поступающие обратно в картер, как и другие выпавшие отложения, продолжают оказывать негативное влияние на масло.

Таким образом, в картере работающего двигателя формируется сложная смесь исходного масла с самыми разнообразными продуктами его старения, от которых полностью очистить масло фильтрацией не удастся.

Отложения, образующиеся в двигателе в результате превращения углеводородов, делятся на нагары, лаки и осадки.

Нагары — твердые углеродистые вещества, откладывающиеся на стенках камеры сгорания, клапанах, свечах, днище поршня и на верхнем пояске боковой поверхности поршня.

Химический состав нагара зависит как от качества масла и топлива, так и от режима работы двигателя, запыленности воздуха, наличия присадок и др. Основную часть нагара составляют карбены и карбоиды (50-70 %), смолы и масла (15-40 %), асфальтены и оксикислоты (3-6 %), зола (1-10 %).

Количество образующегося нагара зависит от качества масла и его расхода, а также от качества применяемого топлива. Толщина слоя нагара зависит от теплового режима работы двигателя: чем ниже температура стенок камеры сгорания, тем больший слой нагара на них образуется. Летом нагара образуется меньше, чем зимой.

Обильный нагар ухудшает охлаждение камеры сгорания и уменьшает ее объем, в результате чего увеличивается степень сжатия, возникает детонация (характерный металлический стук), снижается мощность двигателя. Возможно разрушение деталей из-за преждевременного воспламенения смеси от раскаленных частиц нагара, абразивный износ зеркала цилиндра частицами нагара, а также загрязнение моторного масла.

Нагар с деталей двигателя удаляют механическим или химическим способами, используя различные добавки в моторное топливо.

Лаковые отложения представляют собой богатые углеродом вещества, формирующиеся в виде отложений на поршне: в канавках под поршневые кольца, на юбке и внутренних стенках.

В состав лаковых отложений входят оксикислоты, асфальтены и другие продукты глубокого окисления масла.

Несмотря на относительно небольшую толщину (50-200 мкм), лаковые отложения существенно ухудшают отвод тепла от деталей двигателя из-за теплоизоляционного воздействия лаковой пленки. Возможно пригорание («залегание») поршневых колец, что вызывает снижение компрессии в цилиндрах и мощности двигателя, а также

повышенный расход масла. Нарастает изнашивание и возможны задиры зеркала цилиндра, а также поломка поршневых колец и даже заклинивание поршня. Вероятно повреждение сепаратора подшипника качения, установленного в заднем торце коленчатого вала (передний подшипник первичного вала коробки передач).

На интенсивность лакообразования влияют температура, количество и качество применяемого масла, его термоокислительная стабильность и моющая способность, техническое состояние цилиндро-поршневой группы двигателя.

Кроме того, для предотвращения образования лаковых отложений эксплуатационных условиях нежелательно подвергать двигатель частым перегрузкам и экстремальным тепловым режимам.

Осадки — это мазеобразные сгустки, откладывающиеся на стенках поддона картера, крышке головки блока цилиндров, шейках коленчатого вала и других деталях двигателя, а также в фильтрах и маслопроводах.

Осадки состоят из масла (50-85 %), воды (5-35 %) и продуктов их окисления: окислилот (2-15 %), карбенов и карбоидов (2-10 %), асфальтенов (0,1-15 %), а также механических примесей различного происхождения. В результате цементирующего действия асфальтосмолистых продуктов частицы осадков образуют конгломераты размером до 30-40 мкм, которые под действием собственной массы выпадают в осадок, формируя на деталях низкотемпературной зоны двигателя (в поддоне) отложения в виде шламов. Отложение осадков в масляных каналах и маслопроводах приводит к прекращению подачи масла к трущимся поверхностям и вызывает повреждение деталей (например, задиры шатунных шеек коленчатого вала).

Для предотвращения образования осадков необходимо:

1. поддерживать оптимальный тепловой режим работы двигателя;
2. применять масла, обладающие хорошей химической стабильностью;
3. вводить в масла диспергирующие присадки, которые сдерживают коагуляцию частиц, размягчают и даже переводят в коллоидальный раствор органические примеси;
4. своевременно менять масляные фильтры и тщательно промывать картер и систему смазки двигателя перед заправкой свежим маслом.

На процесс загрязнения масла, происходящий в работающем двигателе практически непрерывно, оказывают влияние прежде всего вид и свойства топлива, качество моторного масла, тип, конструкция, техническое состояние (степень изношенности), режим работы и



условия эксплуатации двигателя и др. факторы.

Так, например, при снижении полноты сгорания топлива и увеличении прорыва газов в картер масло загрязняется прежде всего органическими примесями. Средняя скорость загрязнения масла в дизелях из-за повышенного содержания в масле сажи в 2-5 раз выше, чем в бензиновых двигателях и в 10-20 раз больше, чем в газовых (при одинаковой их мощности). При сроке службы масла, соответствующем 6-12 тыс. км пробега автомобиля, содержание загрязняющих примесей в бензиновых двигателях составляет 0,6-0,8 %, а в дизелях — 1-3%.

Кроме того, на изменение свойств масел существенно влияют температурный режим и техническое состояние двигателя. Скорость окисления и загрязнения масла значительно выше в изношенных двигателях, когда увеличен прорыв газов в картер и повышена температура деталей, а также при работе автомобиля с перегрузкой или с неустановившимися нагрузками.

В холодное время года, при пробегах на короткие расстояния, частых пусках и остановках, продолжительной работе на холостом ходу двигателя нередко работают в пониженном тепловом режиме. При этом условия работы масел столь же жесткие, как при напряженном тепловом режиме из-за ухудшения процесса сгорания топлива, увеличения попадания в картер сажи и тяжелых фракций топлива. В результате ускоряются процессы старения и загрязнения масла, выпадения осадков. При работе двигателя на пониженном тепловом режиме образование осадков ускоряется в 20-30 раз. Кроме того, повышается износ деталей из-за нарушения жидкостного режима смазки трущихся поверхностей. При оптимальном тепловом режиме работы двигателя температура масла в картере примерно равна 95-100 °С.

Скорость срабатывания введенных в масло присадок зависит от типа и технического состояния двигателя, теплового режима его работы, условий эксплуатации, качества используемого топлива.

Срабатывание присадок приводит к изменению показателей качества масла: снижается его щелочное число, ухудшаются моющие свойства, повышается коррозионность и т.д.

Таким образом, в работавшем масле накапливаются продукты превращения углеводородов, загрязнения, попавшие с воздухом и топливом, увеличивает количество агрессивных соединений.

Оценка старения масла может быть как количественной, так и качественно. Количественные изменения происходят при испарении легких масляных фракций, сгорании масла (угар масла), частичном вытекании через уплотнения. Качественные изменения связаны со

старением масла и с химическими превращениями его компонентов, попаданием в масло пыли, продуктов износа деталей, воды и несгоревшего топлива. Уменьшение количества и ухудшение качества работающего масла может привести к выходу современного высокофорсированного двигателя из строя.

При контроле качества масел используются предельные значения браковочных показателей состояния масла для автомобильных двигателей внутреннего сгорания (табл. 16). Выбор браковочных показателей зависит от типа двигателя режима его работы, качества применяемого масла и других факторов. Замена масла в двигателе необходима, если достигнуты предельные значения одного или нескольких браковочных показателей. Замену масла по фактическому состоянию производят на основе оценки экспресс-методами в лабораториях по контролю качества масел.

Вязкость масла, зависящая от изменения работоспособности систем двигателя, режимов его работы, качества эксплуатационных материалов, а также уровня технического обслуживания позволяет объективно оценить состояние сопряжений, узлов и агрегатов автомобиля.

Таблица 16

*Предельные значения браковочных показателей работавших моторных масел*

Наименование показателей	Предельные значения браковочных показателей для двигателей	
	бензиновых	дизельных
Изменение вязкости, %:		
прирост	25	35
снижение	20	20
Содержание примесей, не растворимых бензине, %, не более	1,0	3,0
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	0,5-2,0	1,0-3,0
Снижение температуры вспышки, С, не более	20	20
Содержание воды, %, не более	0,5	0,3
Содержание топлива, %, не более	0,8	0,8
Диспергирующие свойства по методу масляного пятна, у.е., не менее	0,3-0,35	0,3-0,35

При диагностировании двигателей и коробок передач наибольшее распространение получил метод спектрального анализа масла, основанный на взаимозависимости показателей качества работавших масел и технического состояния двигателей.

#### **5.4 ОСОБЕННОСТИ СИНТЕТИЧЕСКИХ И ПОЛУСИНТЕТИЧЕСКИХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

Синтетические и полусинтетические моторные масла, обладающие по ряду эксплуатационных свойств лучшими, чем нефтяные (минеральные) масла, показателями, находят в настоящее время все большее применение.

К достоинствам синтетических и полусинтетических моторных масел относятся:

1. значительно более высокий индекс вязкости, чем у минеральных масел аналогичных и даже лучших марок и сортов;
2. лучшая вязкостно-температурная характеристика некоторых синтетических масел в зоне отрицательных температур, а также более низкая температура потери подвижности обеспечивают более легкий пуск двигателей при более низких температурах окружающего воздуха;
3. меньшая склонность к образованию низкотемпературных отложений способствует нормальной эксплуатации двигателей в районах Крайнего Севера;
4. высокие показатели вязкости при рабочих температурах 250-300 °С (в 3-5 раз выше равновязких им минеральных масел при температуре 100 °С) обеспечивают гарантированные условия гидродинамической смазки до более высоких температур и термическую стабильность;
5. низкая испаряемость и малая склонность к образованию высокотемпературных отложений позволяют использовать эти масла в высокофорсированных теплонагруженных двигателях и при эксплуатации автомобилей в условиях жаркого климата;
6. синтетические масла обеспечивают хорошее состояние двигателя, так как характеризуются лучшими противоокислительными, диспергирующими свойствами и механической стабильностью, равными или лучшими (в зависимости от синтетической основы) противоизносными и противозадирными характеристиками;
7. большой срок службы синтетического масла до замены и меньший расход на угар сокращает его эксплуатационный расход на 30-40 %;
8. применение синтетических моторных масел на 4-5 % снижает расход топлива благодаря созданию оптимальных условий трения.

Основные показатели нефтяного (минерального) масла и синтетических моторных масел представлены в таблице 17.

Таблица 17

*Основные показатели синтетических и минеральных моторных масел*

Наименование показателей	Нефтяное (минеральное масло)	Синтетические масла			
		Диэфирные	Полиалкеногликолевые	Полисилоксановые	Фторуглеродные
Вязкость кинематическая, при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с	2,5	3,2	3,2	3,5	–
Индекс вязкости	70	140-150	135-180	270	500
Температура застывания, °С	-40 ...-73	-43 ...-63	-53 ... -63	-63 ...-100	-3 ...-23
Температура вспышки, °С	149	232	193	315	–
Температурный предел работоспособности, °С	220	220	260-300	250	400-500
Потери на испарение при 100 °С за 22 ч, %	8	0,1	0,1	0,1	0

Синтетические моторные масла в зависимости от основы бывают диэфирными (при их производстве используются сложные эфиры двухосновных карбоновых кислот), полиалкеногликолевыми, полисилоксановыми, фторуглеродными и хлорфторуглеродными.

Диэфиры, образующиеся при взаимодействии двухосновных кислот с одноатомными спиртами и одноосновных кислот с многоатомными спиртами, применяются при производстве синтетических масел наиболее часто. Каталитические процессы этерификации при получении диэфира путем взаимодействия себациновой кислоты C<sub>8</sub>H<sub>6</sub>, вырабатываемой из касторового масла с изооктиловым спиртом C<sub>8</sub>H<sub>7</sub>ОН.

Масла, получаемые на основе диэфиров, превосходят минеральные почти по всем важнейшим эксплуатационным свойствам: имеют более высокие индексы вязкости и низкие температуры застывания, меньшие испаряемость и огнеопасность. В то же время диэфирные масла более агрессивны по отношению к деталям из маслостойкой резины,

вызывают набухание и размягчение резиновых прокладок, шлангов и др.

Полиалкенгликоли по своей структуре — простые полиэфиры с длинными цепями, получаемые взаимодействием различных гликолей и других спиртов с окисью этилена, окисью пропилена или их смесями. Молекула полигликоля может содержать одну или несколько свободных гидроксильных групп, замена которых на алкильную эфирную группу приводит к получению эфиров полигликолей. Различные радикалы, вводимые в молекулу полигликоля, влияют на свойства получаемых масел.

Полигликолевые масла, помимо лучших, чем у минеральных, противоизносных свойств, отличаются более пологой вязкостно-температурной характеристикой, более низкой температурой застывания, имеют высокий индекс вязкости, выдерживают высокие рабочие температуры (до 300 °С), не провоцируют коррозии металлов, а также, в отличие от эфирных масел, не вызывают набухания и размягчения натуральной и синтетической резины. Широкое применение синтетических масел на полигликолевой основе ограничивается только высокой стоимостью их производства.

Полисилоксаны (силиконы) — полимерные кремнийорганические соединения, находящие все более широкое применение в качестве специальных смазочных масел и жидкостей. В их основе лежит цепочка из чередующихся атомов кремния и кислорода. Углеводородные и другие органические радикалы различного строения закрывают боковые цепи атомов кремния. Практическое применение в качестве смазочных масел имеют полимеры с метильными радикалами (метилполисилоксаны) и этильными радикалами (этилполисилоксаны).

Полисилоксаны отличаются низкой температурой застывания, имеют пологую вязкостно-температурную кривую, термостабильны. Эти масла и масла на их основе химически инертны, не вызывают коррозию стали, чугуна, меди, латуни, бронзы, свинца и других металлов даже при нагревании до температуры 150 °С. Однако у масел этой группы низкая смазывающая способность и противоизносные свойства, которые несколько улучшаются введением присадок. Поэтому полисилоксаны более перспективны в качестве рабочих жидкостей в гидравлических системах и гидроамортизаторах, а также для изготовления пластичных смазок.

Фторуглеродные масла получают путем замены в углеводородах всех атомов водорода фтором, а хлорфторуглеродные масла — путем замены атомов водорода частично хлором, а частично фтором.

Фторуглеродные масла обладают хорошими смазочными

свойствами. Высокие термическая и химическая стабильность, инертность к кислотам и щелочам, минимальная коррозионная агрессивность позволяют использовать их в узлах трения, работающих при высоких температурах в атмосфере химически активных веществ. Однако низкая температура кипения и высокая температура замерзания при очень крутой вязкостно-температурной кривой исключают их применение в качестве моторных масел.

Хлорфторуглеродные масла характеризуются более высокой температурой кипения, лучшими вязкостно-температурными свойствами и смазывающей способностью, но несколько худшими термической и химической стабильностью.

Синтетические масла объединяют в себе свойства самых маловязких зимних и вязких летних классов (SAE 5W-50 и SAE 0W-40) и имеют обозначение Fully Synthetic, что переводится как «полностью синтетическое». Стоимость синтетических моторных масел в среднем в 2-3 раза выше минеральных. Тем не менее, применение их целесообразно не только с эксплуатационной точки зрения, но и с экономической, так как они обладают большим сроком службы в двигателях до замены и меньшим расходом на угар.

Полусинтетические моторные масла — это минеральные масла, улучшенные благодаря специальной технологии очистки и содержащие синтетические добавки или 30-40 % синтетической основы. Обозначаются они как Semi-Synthetic. Такие масла обладают лучшими эксплуатационными свойствами и, конечно, дороже минеральных, однако дешевле полностью синтетических.

Переход на хорошо очищенные минеральные, полусинтетические и синтетические масла облегчает пуск двигателя при низких (до -40 °С) температурах и экономит 2-5 % топлива за счет снижения потерь на трение в гидродинамическом режиме смазки.

При всесезонной эксплуатации автомобиля ориентировочно могут быть рекомендованы к применению зимой масла вязкостью (по SAE) 0W-40, 5W-30 и 10W-40, а летом — 5W-50 и 15W-40. Однако эти общие рекомендации не учитывают всех особенностей состояния и условий эксплуатации конкретного автомобильного двигателя. В качестве температурных пределов применения некоторых всесезонных моторных масел можно ориентироваться на диаграмму, представленную на рисунке 15.

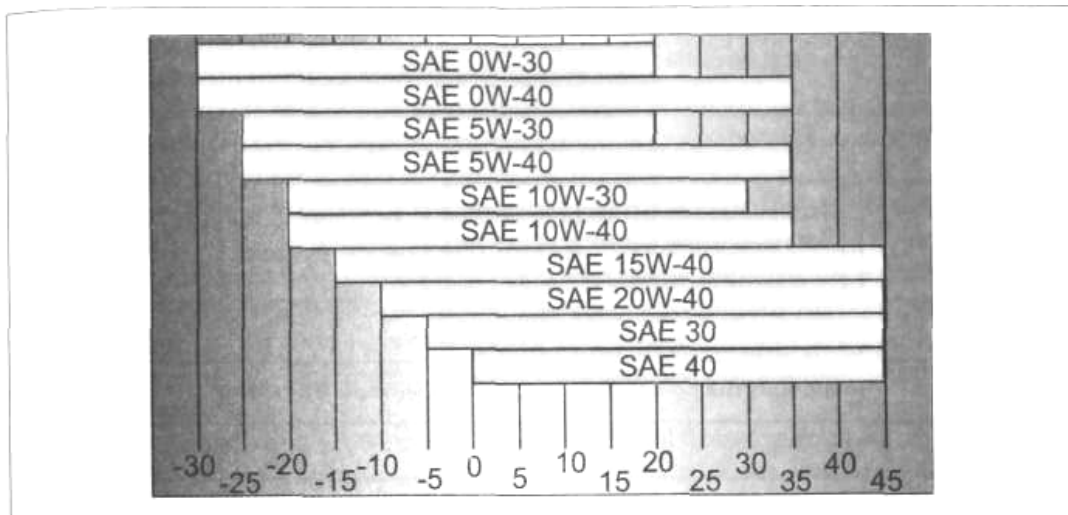


Рисунок 15 – Рекомендуемые температурные диапазоны применения моторных масел различных классов вязкости по SAE

## 5.5 ПУТИ СНИЖЕНИЯ РАСХОДА МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Основная доля потерь масла в двигателе внутреннего сгорания приходится на угар. Потери масла в результате его угара зависят от свойств топлива и масла, типа двигателя, технического состояния и режима эксплуатации автомобиля и др. Схема влияния физико-химических и эксплуатационных свойств моторного масла на его расход приведена на рисунке 16.

Угар определяют как разность между количеством масла, залитым в двигатель, и количеством масла, слитым при его смене (с учетом количества, добавленного между сменами).

Нормативный расход масла  $G_M$  связан с расходом топлива  $G_T$  уравнением:

$$G_M = kG_T, \quad (11)$$

где  $k$  - нормативный коэффициент расхода масла (для карбюраторных двигателей  $k=0,024$ ; для четырехтактных дизелей  $k=0,032$ ; для двухтактных дизелей  $k=0,075$ ).

По мере совершенствования конструкций двигателей и улучшения качества масел значение коэффициента снижается. Так, для двигателей автомобилей ВАЗ  $k=0,008$ .

Угар масла существенно зависит от состояния двигателя, степени износа его деталей (например, поршневых колец, некоторых уплотнительных элементов), а также от условий и даже манеры езды. С увеличением частоты вращения коленчатого вала и нагрузки на двигатель (например, при движении по загородным трассам со

значительными скоростями) угар масла возрастает. Одновременно величина угара масла косвенно свидетельствует о техническом состоянии двигателя.



Рисунок 16 – Схема физико-механических свойств моторного масла на его потери и угар

Уменьшение расхода масла достигается также понижением удельной (отнесенной к единице мощности) емкости системы смазки. Такого эффекта добиваются за счет совершенствования конструкции двигателей (улучшение рабочего процесса, уплотнений цилиндропоршневой группы и т.д.), а также уменьшения интенсивности старения масла (применение масел с большим запасом эксплуатационных свойств).



## 5.6 КЛАССИФИКАЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ МОТОРНЫХ МАСЕЛ

Руководства по эксплуатации автомобилей допускают применение моторных масел различных фирм-производителей, объединенных общей классификацией по вязкостным и эксплуатационным свойствам.

На упаковке с названием фирмы-изготовителя обязательно присутствуют буквенные и цифровые обозначения.

Маркировка моторных масел российского производства производится по ГОСТ 17479.1-85. В соответствии с этим стандартом моторные масла по вязкости делятся на три класса (зимние, летние и всесезонные), а по эксплуатационным свойствам — на шесть групп, обозначаемых буквами А, Б, В, Г, Д и Е.

Зимние масла нормируются значением кинематической вязкости при температурах  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$  и  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , летние — при температуре  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Всесезонные масла обозначаются дробью, в числителе которой указывается класс вязкости зимнего, а в знаменателе — летнего масла (табл. 18). Кинематическая вязкость при температуре  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  определяется по номограмме до введения в действие стандарта на определение динамической вязкости при температуре ниже  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Рекомендуемые для применения в автомобильных двигателях группы моторных масел отечественного производства в зависимости от эксплуатационных свойств представлены в таблице 19.

Структура обозначений моторных масел включает группу букв и цифр. Буква «М» указывает на принадлежность к моторным маслам. Следующие через дефис цифры характеризуют класс кинематической вязкости (см. табл. 18). При обозначении дробными цифрами в числителе указывается класс вязкости масла при температуре  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в знаменателе — класс вязкости при температуре  $+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Прописные буквы после цифр указывают на принадлежность к группе масел по эксплуатационным свойствам (см. табл. 19). Индекс «1» у букв обозначает масла для карбюраторных двигателей, а «2» — для дизелей.

В необходимых случаях применяют дополнительные индексы: «з» — масло, содержащее загущающую присадку; «цл» — для циркуляционных и лубрикаторных смазочных систем; «рк» — рабочие-консервационные масла; «20», «30» — значение щелочного числа и т.д.

Так, в обозначении масла отечественного производства М-8В, буква «М» означает вид смазочного материала (моторное масло); цифра «8» — класс вязкости (летнее); буква с индексом «В» означает, что по эксплуатационным свойствам масло относится к группе «В» и предназначено для смазывания среднефор-сированных карбюраторных

двигателей.

Таблица 18

*Классы кинематической вязкости моторных масел в соответствии с ГОСТ 17479.1-85*

Класс вязкости	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при температуре	
	+100°С	-18°С не более
1	2	3
<b>Зимние классы</b>		
3з	Не менее 3,8	1250
4з	Не менее 4,1	2600
5з	Не менее 5,6	6000
6з	Не менее 5,6	10400
<b>Летние классы</b>		
6	5,6-7,0	
8	7,0-9,5	
10	9,5-11,5	
12	11,5-13,0	
14	13,0-15,0	
16	15,0-18,0	
20	18,0-23,0	
<b>Всесезонные классы</b>		
3з/8	7,0-9,5	1250
4з/6	5,6-7,0	2600
4з/8	7,0-9,5	2600
4з/10	9,5-11,5	2600
5з/10	9,5-11,5	6000
5з/12	11,5-13,0	6000
5з/14	13,0-15,0	6000
6з/10	9,5-11,5	10400
6з/14	13,0-15,0	10400
6з/16	15,0-18,0	10400

В обозначении масла отечественного производства М- 10Г<sub>2</sub>к буква «М» означает моторное масло; цифра «10» — класс вязкости (летнее); буква «Г» с индексом «2» означает, что по эксплуатационным свойствам масло относится к группе «Г» и предназначено для смазывания высокофорсированных дизелей без наддува; буква «к» свидетельствует о том, что масло используется для автомобилей КамАЗ.

Таблица 19

Группы масел в зависимости от эксплуатационных свойств по ГОСТ  
17479.1 -85

Группа масел	Рекомендуемая область применения
А	Нефорсированные карбюраторные двигатели и дизели
Б, Б <sub>1</sub>	Малофорсированные карбюраторные двигатели, работающие в условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений и коррозии подшипников
Б <sub>2</sub>	Малофорсированные дизели
В, В <sub>1</sub>	Среднефорсированные карбюраторные двигатели, работающие в условиях, способствующих окислению масла и образованию всех видов отложений
В <sub>2</sub>	Среднефорсированные дизели, предъявляющие повышенные требования к противокоррозионным, противоизносным свойствам масел и склонности к образованию высокотемпературных отложений
Г, Г <sub>1</sub>	Высокофорсированные карбюраторные двигатели, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях, способствующих окислению масла, образованию всех видов отложений, коррозии и ржавлению
Г <sub>2</sub>	Высокофорсированные дизели без наддува или с умеренным наддувом, работающие в эксплуатационных условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений
Д	Высокофорсированные дизели с наддувом, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях или в случае, когда применяемое топливо требует использования масел с высокой нейтрализующей способностью, антикоррозионными и противоизносными свойствами.
Е	Лубрикаторные системы смазки цилиндров дизелей, работающих на топливе с высоким содержанием серы

В обозначении масла отечественного производства М-6<sub>3</sub>/10В буква «М» означает моторное масло; индекс «6<sub>3</sub>/10» — класс вязкости (всесезонное), буква «з» означает, что масло имеет загущенную присадку, улучшающую вязкостно-температурные свойства масла, и предназначено для применения в качестве всесезонного сорта; буква

«В» без индекса означает, что по эксплуатационным свойствам это масло универсальное и предназначено для смазывания карбюраторных и дизельных двигателей.

Основные характеристики отечественных моторных масел по ГОСТ 10541-78 и ОСТ 38-01 -370-84 для карбюраторных автомобильных двигателей приведены в табл. 2.6, а для дизелей по ГОСТ 8581-78 — в табл. 2.7.

В США и странах Западной Европы моторные масла маркируют в соответствии с их вязкостью (по классификации SAE — Общества американских автомобильных инженеров). Эксплуатационные свойства моторных масел определяются по классификациям, разработанным API (Американский нефтяной институт) и ACEA (Ассоциация европейских производителей автомобилей), которая в 1996 г. заменила ССМС (Комитет изготовителей автомобилей Общего рынка).

По классификации SAE моторные масла делят на летние, зимние и всесезонные. В зависимости от вязкостно-температурных показателей моторных масел классификация SAE J-300 включает 5 летних и 6 зимних классов (табл.20).

Масла маркируют следующим образом: летние — SAE 20, 30, 40, 50, 60 (цифра означает вязкость в секундах Сейболта при температуре +98,9 °С); зимние — SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W (цифра означает вязкость в секундах Сейболта при температуре -17,8 °С, а «W» — первая буква от слова «Winter» — зима); все-зонные (загущенные) масла обозначаются двойной нумерацией. Например, SAE 10W-50 означает, что данное масло при температуре -17,8 °С соответствует по SAE вязкости 10, а при температуре +98,9 °С соответствует по SAE вязкости 50.

Чем выше число, входящее в обозначение класса, тем выше вязкость масел, относящихся к нему. Масла, имеющие класс вязкости больше, чем 60W, в автомобильных двигателях не применяются.

Классификация по условиям эксплуатации API подразделяет масла на две категории: S — категория «Сервис» (для бензиновых двигателей), C — коммерческая категория (для дизельных двигателей).

Маркировка моторных масел складывается из букв латинского алфавита: S или C обозначают категорию масла применительно к типу двигателя (бензиновый или дизельный), а вторая буква обозначает уровень эксплуатационных свойств.

Например, масла с обозначениями API SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SJ предназначены для бензиновых двигателей, а масла API CA, CB, CC, CD, CE, CF — для дизельных. Чем ближе к началу латинского алфавита вторая буква в маркировке масла, тем меньшим требованиям

отвечает данное масло и наоборот. Универсальные масла, имеющие сдвоенное обозначение API SG/CD, API SJ/CF, пригодны как для бензиновых, так и для дизельных двигателей. Классы дизельных масел CD и CF подразделяются на предназначенные для четырех- и двухтактных дизелей. Последние обозначаются CD II и CF-2.

Таблица 20

*Классификация моторных масел по вязкости — SAE J-300 (декабрь 1995 г)*

Класс вязкости	Низкотемпературная вязкость		Высокотемпературная вязкость	
	Проворачиваемость МПа с, max. при температуре, °C	Проворачиваемость МПа с, max. при температуре, °C	Кинематическая вязкость мм <sup>2</sup> /с	
			min	max
1	2	3	4	5
Зимние:				
0W	3250 при -30	6000 при -40	3,8	-
5W	3500 при -25	6000 при -35	3,8	-
10W	3500 при -20	6000 при -30	4,1	-
15W	3500 при -15	6000 при -25	5,6	-
20W	4500 при -10	6000 при -20	5,6	-
25W	6000 при -5	6000 при -15	9,3	-
Летние:				
20	-	-	5,6	<9,3
30	-	-	9,3	< 12,5
40	-	-	12,5	< 16,3
40	-	-	12,5	< 16,3
50	-	-	16,3	<21,9
60	-	-	21,9	< 26,1

*Примечание. Показатель проворачиваемости определяют на имитаторе холодного пуска CCS (ASTM D 2602); показатель прокачиваемости определяют на миниротационном вискозиметре MRV (ASTM D 4684); показатель кинематической вязкости определяют по стеклянному капиллярному вискозиметру (ASTM D 445); показатель высокотемпературной вязкости при сдвиге определяют на коническом имитаторе подшипника (ASTM D 4683)*

Уровень эксплуатационных свойств, характеризуемый второй буквой в маркировке масла по классификации API, определяется по таблице 21.

Европейская классификация эксплуатационных свойств ACEA

(1998 г.), предъявляя более жесткие требования к маслам, содержит 9 категорий и делит масла по назначению: А — для бензиновых двигателей легковых автомобилей (А1-96, А2-96 и А3-96); В — для дизелей легковых автомобилей (В1-96, В2-96 и В3-96); Е — для дизелей грузовых автомобилей (Е1-96, Е2-96 и Е3-96). Эксплуатационные свойства указанных категорий двигателей приведены в таблице 22.

В 2002 г. была принята новая классификация моторных масел по АСЕА (табл. 23).

В маркировку современных моторных масел входит также «одобрение» заводов-производителей автомобилей. Оно изображается фирменным знаком или кодом (табл. 24) и означает одобрение применения данного масла на автомобилях этого изготовителя.

Таблица 21

*Классификация API моторных масел по эксплуатационным свойствам*

Классификационные категории двигателей			
Бензиновые двигатели (категория S)		Дизельные двигатели (категория C)	
Классы	Характеристики двигателей	Классы	Характеристики двигателей
1	2	3	4
SA	Двигатели, работающие в легких условиях	CA	Дизели, работающие при умеренных нагрузках на малосернистом топливе
SB	Двигатели, работающие при умеренных нагрузках	CB	Дизели без наддува, работающие при повышенных нагрузках на сернистом топливе
SC	Двигатели, работающие с повышенными нагрузками (модели выпуска до 1964 г.)	CC	Дизели, в том числе с умеренным наддувом, работающие в тяжелых условиях
SD	Двигатели, работающие в тяжелых условиях (модели выпуска до 1968 г.)	CD	Дизели легковых автомобилей с одним турбонаддувом (модели до 1993 г.)
SE	Двигатели, работающие в тяжелых условиях (модели	CD II	То же, с учетом специфических требований

	выпуска до 1972 г.)		двухтактных дизелей
--	---------------------	--	---------------------

Окончание таблицы 21

1	2	3	4
SF	Двигатели автомобилей иностранного производства выпуска 1980-1989 г., все отечественные автомобили	CE	Дизели грузовых автомобилей, с наддувом (модели выпуска до 1983 г.), работающие в тяжелых условиях (высокие нагрузки, малая частота вращения вала)
SG	Двигатели европейских, американских автомобилей выпуска 1989-1993 г., японских с 1989-95 г.	CF	Дизели легковых автомобилей с одним или двумя турбонаддувами «битурбо», выпуска с 1993 г.
SH	Двигатели европейских, американских автомобилей выпуска 1993-1996 г., японских с 1995 г.	CF-2	Улучшенные характеристики CD II для двухтактных двигателей
SJ	Двигатели европейских, американских автомобилей выпуска с конца 1996 г.	CF-4	Высоконагруженные дизели грузовых автомобилей выпуска до 1994 г.
		CG-4	Высоконагруженные дизели грузовых автомобилей выпуска с 1994 г. Улучшенные характеристики и ужесточенные требования к токсичности отработавших газов

Таблица 22

*Классификация эксплуатационных свойств моторных масел по ACEA*

Категория масла	Характеристики	Назначение
«А» — бензиновые двигатели легковых автомобилей		
1	2	3
A1-96	Предотвращение образования отложений на поршне и шлама, стойкость к высокотемпературному окислению, защита от износа	Масло с максимальным топливосберегающим эффектом. Новый стандарт для моторных масел с низким значением вязкости при 150 °С (без турбонаддува)
A1-98	То же, что и A1-96	То же, что и A1 -96, но с лучшими энергосберегающими характеристиками
A2 -96	То же, что и A1-96, но с лучшей защитой подшипников	Стандартный класс для двигателей современных и перспективных автомобилей, используемых на скоростных автострадах (с турбонаддувом и без него)
A3-98	То же, что и A3-96, но с лучшей стойкостью к пенообразованию и высокотемпературному окислению	Экстракласс для двигателей скоростных автомобилей, предъявляющих особые требования к пенообразованию, противоокислительным, вязкостным и противоизносным свойствам масла(с турбонаддувом и без него)
«В» — дизельные двигатели легковых автомобилей		
B1-96	Предотвращение образования отложений на поршне, диспергирование сажи (загущение масла), защита кулачков распределительного вала от износа	Масло с максимальным топливосберегающим эффектом. Новый стандарт для моторных масел с низким значением вязкости при 150 °С (без турбонаддува)



B2-96	То же, что и B1 -96, но с лучшей защитой подшипников	Стандартный класс, дизели легковых автомобилей с турбонаддувом и без него
-------	--	---

окончание таблицы 22

1	2	3
B2-98	То же, что и B2-96, но с лучшими эксплуатационными свойствами	Дизели легковых автомобилей с турбонаддувом и без него
B3-96	То же, что и B2-96, но с лучшей защитой кулачков распределительного вала от износа, способность диспергировать сажу и сохранять вязкостную характеристику	Экстракласс, дизели с турбонаддувом для легковых автомобилей
B3-98	То же, что и B3-96, но с лучшими эксплуатационными свойствами	То же, что и B3-96
B4-98	То же, что и B3-98, но с лучшими эксплуатационными свойствами	То же, что и B3-98
«Е» — дизельные двигатели грузовых автомобилей		
E1-96	Лучшие характеристики, чем для E1 -96, по тем же показателям	Стандартный класс, двигатели с высоким наддувом и без него, работающие в легких и тяжелых условиях, по свойствам (чистота и износ) лучше, чем E1-96
E3-96	Лучшие характеристики, чем для E2-96 по тем же показателям. Дополнительно контролируется способность диспергировать сажу	Экстракласс, с отличной способностью диспергировать сажу, двигатели с высоким наддувом, работающие в особо тяжелых условиях
E4-98	Лучшие характеристики, чем для E3-96 по тем же показателям	Класс для нового поколения быстроходных дизелей грузовых автомобилей

E5-98	То же, что E4-98, но с увеличенным интервалом замены	Для быстроходных дизелей грузовых автомобилей нового поколения с увеличенным интервалом замены масла
-------	--	--

Таблица 23

*Классификация эксплуатационных свойств моторных масел по ACEA (2002 г.)*

Класс масла	Категория масла	Область применения и свойства масла
<b>Бензиновые двигатели легковых автомобилей</b>		
А	A1-02	Двигатели, конструкция которых допускает применение снижающих трение энергосберегающих масел, маловязких при высокой температуре (150 °С) и большой скорости сдвига (2,6-3,5 мПа с)*. Могут быть не пригодны для некоторых моделей двигателей, поэтому необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации автомобиля или справочниками.
	A-96 выпуск 3	Большинство умеренно форсированных двигателей с нормальным интервалом замены масла. Не предназначены для высокофорсированных двигателей
	A3-02	Высокофорсированные двигатели и/или при увеличенных интервалах замены масла, рекомендуемых автопроизводителями. Сесезонное применение маловязких масел. Тяжелые условия эксплуатации, определяемые производителями двигателей. Масла, стойкие к деструкции** вязкостных загущающих присадок
	A4-xx	Зарезервирована для перспективных двигателей с непосредственным впрыском бензина в камеру сгорания
	A5-02	Высокофорсированные двигатели, конструкция которых допускает применение снижающих трение энергосберегающих масел, маловязких при высокой температуре (150 °С) и большой скорости сдвига*. Могут быть не пригодны для некоторых моделей двигателей, поэтому необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации автомобиля. Масла, стойкие к деструкции**.

продолжение табл. 23

1	2	3
Дизели легковых автомобилей и автофургонов		
В	В1-02	Дизели, конструкция которых допускает применение снижающих трение энергосберегающих масел, маловязких при высокой температуре (150 °С) и большой скорости сдвига*. Могут быть не пригодны для некоторых моделей дизелей, поэтому необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации автомобиля или справочниками.
	В1-98 выпуск 2	Большинство дизелей (преимущественно с отдельной камерой сгорания) с нормальным интервалом замены масла. Могут быть не пригодны для высокофорсированных дизелей
	В3-98 выпуск 2	Высокофорсированные дизели и/или при увеличенных интервалах замены масла, рекомендуемых автопроизводителями.
		Всесезонное применение маловязких масел. Тяжелые условия эксплуатации, определяемые производителями дизелей. Масла, стойкие к деградации**
	В4-02	Дизели с непосредственным впрыском топлива. Масла, стойкие к деградации**. Могут быть использованы в тех же условиях, что и категория В3-98 выпуск 2
	В5-02	Дизели, конструкция которых допускает применение снижающих трение энергосберегающих масел, маловязких при высокой температуре (150 °С) и большой скорости сдвига*. Могут быть не пригодны для некоторых моделей дизелей, поэтому необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации автомобиля. Масла, долго работающие и стойкие к деградации
Дизели грузовых автомобилей		

<b>Е</b>	Е2-96 выпуск 4	Большинство дизелей без наддува и с турбонаддувом, работающие в средних и тяжелых условиях эксплуатации с нормальным интервалом замены масла
----------	-------------------	--

окончание таблицы 23

1	2	3
	Е3-96 выпуск 2	Дизели, выполняющие требования по выбросу токсичных веществ Евро 1 и Евро 2 и работающие в тяжелых условиях. Допускается увеличенный интервал замены масла, если это рекомендовано автопроизводителем. Масла обладают высокими моющими свойствами, препятствуют полировке цилиндров, износу, росту вязкости от накопления сажи, имеют высокую стойкость к старению
	Е4-99 выпуск 2	Высокофорсированные дизели, выполняющие требования по выбросу токсичных веществ Евро 1, Евро 2 и Евро 3 и работающие в особо тяжелых условиях с увеличенными интервалами замена масла согласно рекомендациям автопроизводителям. Масла, стойкие к деградации**, обеспечивающие лучшую чистоту поршней, меньший износ и рост вязкости из-за накопления сажи по сравнению с маслами категории Е3-96 выпуск 4
	Е5-02	Высокофорсированные дизели, выполняющие требования по выбросу токсичных веществ Евро и Евро 3 и работающие в особо тяжелых условиях с увеличенными интервалами замена масла согласно рекомендациям автопроизводителей. Масла, стойкие к деградации**, обеспечивающие особо хорошую чистоту поршней, предотвращение полировки цилиндров, износ и образование отложений в турбокомпрессоре. По сравнению с маслами категории Е3-96 выпуск 4 обладают меньшим ростом вязкости от накопления сажи и лучшей стойкостью к старению

Примечания.

- \* — перемещение слоев масла относительно друг друга;  
 \*\* — разрушение структуры

Таблица 24

*Коды одобрения некоторых фирм-производителей автомобилей*

Коды одобрения	Характеристика эксплуатационных свойств моторных масел
BMW	Только для всесезонных масел (на основе испытаний)
Mercedes-Benz (MB)	MB 226.0 — сезонное масло для легковых автомобилей; MB 226.1 — всесезонное масло для легковых автомобилей; MB 226.3 — всесезонное масло с увеличенным интервалом замен для легковых автомобилей; MB 226.5 — всесезонное масло с еще более увеличенным интервалом замен для легковых автомобилей; MB 229.1 — масло для новых двигателей легковых автомобилей с 1997 г. выпуска (с интервалом замены 30000 км)
Volkswagen — Audi (VW)	VW 500.00 — всесезонное; VW 501.01 — всесезонное; VW 505.00 — для двигателей с турбонаддувом; VW T4 — спецификация, характеризующая увеличение интервала замены
Porsche	Только синтетические и полусинтетические масла с увеличенными интервалами замен, так как Porsche обеспечивает минимальный интервал замены 20000 км

Маркировка моторного масла для европейского рынка должна содержать 4 параметра: вязкость (по SAE), эксплуатационные свойства по американской (API) и европейской (ACEA) классификациям, одобрение фирм-производителей автомобилей.

Пример маркировки моторного масла: SAE 5W-50; API SJ/CF, ACEA A3-96, B3-96; MB 229.1, BMW, VW 501.01/505.00, Porsche.

Указанная маркировка означает:

1. по вязкостно-температурным свойствам SAE 5W-50 данное моторное масло относится к всесезонным маслам, сочетающим в себе зимний (SAE 5W) и летний (SAE 50) классы вязкости;

2. эксплуатационные свойства API SJ/CF по американской классификации API свидетельствуют, что масло может быть использовано для бензиновых двигателей легковых автомобилей, выпускаемых с конца 1996 г. (SJ), а также для дизелей легковых автомобилей, выпускаемых с 1993 г. (CF);

3. эксплуатационные свойства ACEA A3-96 и B3-96 по европейской классификации ACEA свидетельствуют, что это масло экстракласса для бензиновых двигателей скоростных легковых автомобилей, предъявляющих особые требования к противоокислительным, вязкостным и противоизносным свойствам (A3-96), а также масло экстракласса для легковых дизельных двигателей с турбонаддувом (B3-96);

Таблица 25

Соответствие классов вязкости моторных масел и групп условий эксплуатации по ГОСТ 17479.1-85, системам SAE и API

ГОСТ 17479.1-85	Система SAE	ГОСТ 17479.1-85	Система API
Класс вязкости		Группа условий эксплуатации	
1	2	3	4
Зимние:		A	B
3 <sub>3</sub>	5W	B	SC/CA
4 <sub>3</sub>	10W	B1	SC
5 <sub>3</sub>	15W	B2	CA
6 <sub>3</sub>	20W		
Летние:			
6	20	B1	SD
8	20	B2	CB
10	30	Г	SE/CC
12	30	Г1	SE
14	40	Г2	CC
16	40	Д	CD
20	50	Е	CE
Всесезонные:		-	SG
3 <sub>3</sub> /8	5W20		
4 <sub>3</sub> /6	10W20		
4 <sub>3</sub> /8	10W20		
4 <sub>3</sub> /10	10W30		
5 <sub>3</sub> /10	15W30		

5 <sub>3</sub> /12	15W30		
6 <sub>3</sub> /10	20W30		
6 <sub>3</sub> /12	20W30		
6 <sub>3</sub> /14	20W40		
6 <sub>3</sub> /16	20W40		

4. коды одобрения фирм-производителей автомобилей MB 229.1, BMW, VW 501.01/505.00 и Porsche указывают, что масло может быть использовано для двигателей легковых автомобилей фирмы Mercedes-Benz выпуска с 1997 г. (MB 229.1), одобрено к применению для двигателей BMW и Porsche, используется как все сезонное масло (VW 501.01) для двигателей автомобилей Volkswagen и Audi и двигателей с турбо наддувом (VW 505.00) этих же заводо-изготовителей.

Отечественные масла, имеющие маркировку по ГОСТ 17479.1-85, стали дополнительно маркироваться и по международной классификации.

Ориентировочное соответствие моторных масел по классам вязкости и группам условий эксплуатации по ГОСТ 17479.1-85, системе SAE и системе API можно определить по таблице 25.

## **5.7 АССОРТИМЕНТ МОТОРНЫХ МАСЕЛ, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ**

Имея информацию о физико-химических свойствах масел, зная, к какому классу по эксплуатационным свойствам оно относится (классификация по ГОСТ 17479.1-85, системам SAE и API), можно подобрать масло другой фирмы-производителя, пригодное для замены. Возможно, заменитель не будет полным эквивалентом, что связано с различиями, встречающимися в классификациях по вязкости (разное число и границы классов) и эксплуатационными свойствами (разные методы испытаний).

В общем случае для подбора прямых аналогов масел различных фирм необходимо проведение моторных испытаний заменителей в аналогичных условиях. Приведенные данные по взаимозаменяемости моторных масел отечественного производства и некоторых зарубежных фирм позволяют легко подобрать зарубежные эквиваленты (табл.26) российским маслам, а также определить российских заменителей зарубежных нефтепродуктов.

Таблица 26

Эксплуатационные свойства моторных масел зарубежных фирм-производителей

Фирма производи- тель	Марка масла	Класс вязкости по SAE	Группа свойств по ACEA	Вязкость, мм <sup>2</sup> /с. При 100 °С	Температ ура застывани я, °С
1	2	3	4	5	6
Синтетические масла высшего качества					
Shell	Helix Ultra	5W50	SH/CD	14,2	-50
Mobil	1 Rally Formula	5W50	SH/CD	17,8	-54
Esso	Ultron	5W50	SH/CD	15,0	-54
BP	Visco 5000	5W40	SH/CD	13,8	-52
Valvoline	Syn Power TXT	5W50	SH/CD	12,8	-54
Castrol		5W50	SG/CD		
Castrol	Formula RS	10W60	SG/CD	24,8	-42
Total	Quartz 9000	5W40	SG/CD	14,5	-
Total	Quartz 9000	10W50	SG/CD	18,0	-
Motul	300 V Power	5W40	SG/CD	14,0	-52
Motul	300 V Competition	15W50	SG/CD	18,0	-30
Quaker State Quaker State	Synquest Synquest	5W40 5W50	SH/CD SH/CD	14,1 18,3	-
Elf	Synthese	5W50	SG/CD	18,0	-50
Texaco	Havoline Synthetic	5W40	SH/CE	14,2	-
Mobil	Super XHP	10W40	SH/CD	14,2	-40
Shell	Helix Plus	10W40	SG/CD	14,4	-39
Shell	Helix Standart	10W40	SG/CD	14,2	-36
Esso	Ultra Oil	10W40	SG/CD	14,2	-39
BP	Visco 2000 Plus	10W40	SG/CD	12,0	-37
Castrol	GTX3 Lightes	10W40	SG/CD	14,1	-36



Motul	Synergie Turbo	10W40	SG/CE	14,0	-35
Полусинтетические масла высокого качества					
Motul	Synergie Turbo	15W50	SG/CE	19,0	-29
Motul	2100	10W40	SG/CD	13,0	-35
Motul	2100	15W50	SG/CD	19,0	-29

продолжение табл. 26

1	2	3	4	5	6
Elf	Competitions	10W50	SG/CD	14,5	-36
Total	Quartz 7000	10W40	SG/CD	14,9	
Total	Quartz 7000	15W50	SG/CD	19,5	-
Valvoline	Syn Gard	10W40	SH/CE	-	-
Texaco	Havoline X1	10W40	SH/CE	14,0	-
Минеральные масла общего пользования					
Shell	Super Plus	10W40	SG/CD	14,2	-36
Mobil	Super	15W40	SG/CD	14,2	-29
Mobil	Special	15W40	SF/CC	14,5	-29
Esso	MNC	15W40	SG/CD	14,2	-30
Esso	Super	15W40	SG/CD	14,2	-30
BP	Visco 2000	15W40	SG/CC	14,5	-27
Castrol	GTX3	15W40	SC/CD	16,0	-33
Castrol	GTX	15W40	SF/CC	15,5	-27
Motul	HP 200	15W40	SG/CD	14,0	-29
Elf	Sporti Super	15W40	SG/CC	14,3	-30
Elf	Sporti	20W50	SF/CC	17,4	-25
Elf	Sporti	15W40	SF/CC	14,0	-30
Elf	Sporti	10W30	SF/CC	11,0	-33
Texaco	Havoline	15W40	SG/CE	14,1	-
Texaco	Multigrade	15W40	SF/CE	13,9	-
Quaker State Quaker State	Deluxe Deluxe	5W30 10W40	SH/CD SH/CD	10,0 15,2	-
Quaker State Quaker State	Super Blend Super Blend	10W30 15W40	SH/CD SH/CD	12,1 14,2	-
Quaker State Total	Performance Quartz 5000	20W40 15W40	SH/CD SG/CD	20,1 14,5	-

Масла для дизелей грузовых автомобилей					
Total	Quartz 3000	15W40	SF/CC	14,5	-
Total	Quartz 3000	20W50	SF/CC	17,0	-
Valvoline	Turbo V All-	15W40	SH/CE	-	-
Valvoline	Climate Plus	10W40	SH/CE		-

продолжение табл. 26

1	2	3	4	5	6
Valvoline	All-Climate All-	5W30	SF/CC	-	
Valvoline	Climate	10W40	SF/CC		-
Масла для дизелей легковых автомобилей					
Shell	Super Diesel T	10W40	CD/SE	14,2	-36
BP	Visco Diesel	15W40	CE	14,5	-30
Elf	Turbo Diesel	5W40	CD	15,5	-30
Texaco	Diesel TEX	15W40	CG/CE	14,1	-
Total Total	Quartz Diesel	10W40	CD CD CD	14,5 14,5	
Total	7000 Quartz	15W40	SF/CE	14,5	
Valvoline	Diesel 5000	15W40			-
	Quartz Diesel	10W40			
	3000 Special				
	Diesel				
Quaker State	HDX Universal	15W40	SG/CF-4	15,1	-
	Fleet				
Масла для дизелей большегрузных грузовых автомобилей					
Shell	RimulaX	10W30	CF-4	11,5	-33
Shell	RimulaX	15W40	CF-4	14,0	-30
Shell	Rotella TX	10W30	CD/SF	11,5	-33
Shell	Rotella TX	15W40	CD/SF	14,0	-30
Mobil	Dilvac 1300	15W40	CE/SG	14,0	-29
	Super				
BP	Vanellus C3	15W40	CD	14,4	-27
	Multigr				
Motul	Traffic X (Synt)	15W40	CE/SF	14,0	-30
Motul	HP 40	15W40	CF-4/SF	14,0	-27
Elf	Performance	15W40	CE/SE	15,0	-30
	Trophy				
Elf	Performance	15W40	CF-4/SF	14,5	-30
	Super				
Texaco	Ursa Super LA	10W	SG/CD	6,3	-

Texaco	Ursa Super LA	30W	SG/CD	11,3	-
Texaco	Ursa Super LA	40W	SG/CD	15,0	-

окончание таблицы 26

1	2	3	4	5	6
Texaco	Ursa Super TD	15W40	CE	14,3	-
Total	Rubia Tir XLD	15W40	CE	14,5	-
Total	Rubia XT	15W40	CF-4/SG	14,5	-
Valvoline	All Fleet Plus	15W40	SF/CE	-	-
Valvoline	All Fleet Extra	15W40	SF/CF-4	-	-

## 6. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ

### 6.1 НАЗНАЧЕНИЕ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ

Основное назначение трансмиссионных масел — смазка высоконагруженных зубчатых механизмов силовых передач, подшипников и других деталей и узлов автомобилей. Масла для гидродинамических и гидрообъемных передач также относят к трансмиссионным, хотя условия их работы несколько специфичны. Так, в гидродинамических передачах масло служит и средством передачи мощности, и одновременно средой, которая заполняет регулирующие системы.

Доля трансмиссионных масел в общем потреблении смазочных материалов составляет 0,3-0,5 % в зависимости от параметров автомобиля. Однако, несмотря на относительно малую долю потребления, значение трансмиссионных масел для обеспечения оптимальных условий эксплуатации автомобилей чрезвычайно велико.

По уровню напряженности работы зубчатых передач трансмиссионные масла делятся на следующие группы:

1. универсальные, обеспечивающие работу всех типов зубчатых передач и других трущихся деталей агрегатов трансмиссии;
2. общего назначения — для цилиндрических, конических и червячных передач автомобилей;

3. для гипоидных передач, сочетающих высокие скорости относительного скольжения профилей зубьев с высокими давлениями, что обуславливает очень неблагоприятные условия трения и вызывает необходимость применения масел с высокоэффективными противозадирными присадками;

4. масла для гидромеханических передач;

5. масла для гидрообъемных передач.

## **6.2 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К КАЧЕСТВУ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ**

Условия работы трансмиссионных и моторных масел существенно отличаются друг от друга температурным режимом, скоростью относительного скольжения трущихся поверхностей и удельным давлением в зоне их контакта. Существенны также вид и конструктивные особенности механизма трансмиссии (прямозубая, косозубая, цилиндрическая, коническая или гипоидная передача), металл, использованный для изготовления шестерен (марка стали), вид поверхностного упрочнения (термическое, химико-термическое), вид окончательной обработки зубьев (шевингование, шлифование) и др.

К наиболее важным эксплуатационным требованиям, которым должны удовлетворять трансмиссионные масла, относятся:

1. уменьшение интенсивности изнашивания и величины износа всех деталей трансмиссии;

2. снижение потерь энергии, передаваемой от двигателя к ходовой части автомобиля;

3. отвод тепла и удаление из зон трения продуктов износа и других загрязняющих масло примесей;

4. отсутствие коррозионной агрессивности по отношению к деталям трансмиссии;

5. снижение вибрации и шума шестерен и защита их от ударных нагрузок (при движении автомобиля на режиме «разгон — накат — разгон»);

6. отсутствие вспенивания и стабильность свойств масла при работе смазываемых им механизмов.

Для соответствия этим требованиям трансмиссионные масла должны обладать следующими свойствами:

1. пологой вязкостно-температурной кривой и сравнительно малой вязкостью в области отрицательных температур;

2. высокими противоизносными, противозадирными (демпфирующими) и противопиттинговыми (препятствующими

вырыванию металла из зоны контакта) свойствами; хорошей термоокислительной стабильностью;

3. способностью предотвращать коррозионно-механический и водородный износ;

4. стойкостью к образованию эмульсий с водой;

5. высокой физической стабильностью в условиях длительного хранения;

6. минимальным воздействием на резинотехнические и уплотнительные материалы, лаки, краски и пластмассы.

Общим требованием для всех трансмиссионных масел является надежное разделение контактирующих зубьев шестерен, защита поверхностей от износа, снижение потерь на трение.

### **6.3 ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ**

Процессы, происходящие в агрегатах трансмиссии автомобиля при их работе несколько отличаются от характера процессов, происходящих в двигателях внутреннего сгорания. Так, максимальная температура поверхностей трения деталей трансмиссии, как правило, не превышает 300 °С, однако контактные напряжения достигают 2000 МПа, а в гипоидных передачах — 4000 МПа. Поэтому физико-химические и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел должны в полной мере гарантировать долговечную и надежную работу агрегатов трансмиссии автомобиля. Физико-химические и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел отечественного производства приведены в таблице 27.

Для обеспечения меньшей интенсивности изнашивания высоконагруженных зубчатых передач трансмиссионные масла должны обладать также хорошими смазочными свойствами. Смазывающая способность (маслянистость) трансмиссионных масел зависит от их состава, определяемого методом их получения: смешением маловязких масел с остаточными маслами или с экстрактом (смолкой).

Повышению смазочных свойств трансмиссионных масел способствует также добавление антифрикционных, противоизносных и противозадирных присадок.

Антифрикционные присадки, в состав которых входят вещества, обладающие поверхностной активностью (животные или растительные жиры, жирные кислоты, мыла жирных кислот и т.п.) предназначены для снижения или стабилизации коэффициента трения соприкасающихся поверхностей.

Противоизносные присадки применяют для предотвращения

интенсивного изнашивания трущихся поверхностей при нормальных режимах трения, когда сохраняется масляная пленка.

Противозадирные присадки снижают интенсивность изнашивания и предотвращают заедание трущихся поверхностей, образуя на них тонкие пленки, изолирующие детали и препятствующие свариванию и заеданию зубьев шестерен при сверхвысоких нагрузках, когда

Таблица 27

*Характеристика отечественных трансмиссионных масел*

Наименование показателей	Общего назначения для цилиндрических, конических, спирально-конических и червячных передач				Универсальные		Для гипоидных передач грузовых автомобилей	
	ТМ-2-18	ТМ-3-9	ТМ-3-18	ТМ-3-18	ТМ-5-18	ТМ-5-12	ТМ-4-18	ТМ-4-9
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с: при 100 °С при 50 °С	Не менее 15 130-140	Не менее 10	14-16 130-140	Не менее 15 95-105	Не менее 17,5 110-120	Не менее 17,5	Не менее 14 95-105	9 35-40
Индекс вязкости, не менее	80	90	80	90	100	140	90	120
Температура вспышки, °С, не ниже	180	128	180	180	200		180	160
Температура застывания, °С, не выше	-18	-40	-20	-25	-25	-40	-50	-20
Эксплуатация при температуре, °С, не ниже		-25		-25		-30	-30	-20
Содержание активных элементов, %:								
кальций	-	-	-	-	-	-	-	-
Фосфор	0,06	-	-	-	0,1	0,1	-	-
цинк	0,05	-	-	-	-	-	-	-
хлор	-	-	-	1,2-1,9	-	-	0,5	2,8
сера	-	-	-	1,2-1,9	2,7-3,0	2,4-3,0	-	-

суммарное	0,11				2,8-3,1	2,5-3,1	0,5	2,8
Класс вязкости по SAE	90	75W	90	90	90	80W/85	90W	75W
Группа свойств по API	GL-2	GL-4	GL-4	GL-4	GL-5	GL-5	GL-4	GL-4

граничный слой смазочного слоя разрушается из-за чрезмерного выделения тепла в зоне трения.

Смазочные свойства трансмиссионных масел улучшают добавлением в них присадок, в которые входят: органические вещества (серо-, фосфор-, галоид- и азотсодержащие соединения); металлоорганические соединения свинца, цинка, алюминия, молибдена, вольфрама и др.; сложные соединения (в их молекуле содержится одновременно несколько активных элементов, например, сера, хлор, фосфор), эффективность которых зависит от их активности и концентрации в масле.

Смазывающую способность, противозадирные и противоизносные свойства трансмиссионных масел оценивают при испытаниях на машинах трения.

Вязкостно-температурные свойства относятся к важнейшим характеристикам масел, определяющим возможность их применения на автомобилях.

Значения температуры и вязкости масла влияют на: способность бесперебойно смазывать трущиеся поверхности деталей трансмиссии; возможность начала движения автомобиля при низких температурах окружающей среды, когда масло имеет ее температуру; мощностные показатели агрегатов трансмиссии. Например, при изменении вязкости трансмиссионного масла с  $5 \text{ мм}^2/\text{с}$  при температуре  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $30 \text{ мм}^2/\text{с}$  в условиях городского режима движения автомобиля КПД трансмиссии снижается почти на 2 %, кроме того, по мере снижения температуры масла резко возрастает сила сопротивления вращению деталей трансмиссии.

Вязкостно-температурные свойства масел характеризуют к тому же минимальную температуру окружающего воздуха, при которой возможно трогание автомобиля с места (начало движения).

Вязкость масла значительно влияет на условия смазки в зоне контакта деталей. Такие характеристики, как скорость скольжения (от

1,5 до 25 м/с) и удельные нагрузки на поверхности зубьев (от 500 до 4000 МПа по линии контакта) определяют возможность применения масла в передаче того или иного типа по показателям вязкости. Так, например, при резком увеличении вязкости масла при указанных нагрузках в зоне контакта условия смазки ухудшаются.

Нижний допустимый уровень вязкости масла — 5 мм<sup>2</sup>/с при достаточно надежном уплотнении картеров редукторов. Вязкость при эксплуатационной температуре на установившемся рабочем режиме должна быть достаточной для предотвращения износа при больших контактных нагрузках.

Предельно допустимое значение вязкости (300-600 Па·с в зависимости от колесной формулы автомобиля) определяется величиной вязкости при минимальной рабочей температуре, допускающей свободное трогание автомобиля без ущерба для зубчатых передач и подшипников и без предварительного подогрева масла в агрегатах.

Применение масел с оптимальными температурными значениями вязкости снижает гидравлические потери, повышает КПД трансмиссии автомобилей, что обеспечивает меньший расход топлива.

В случаях, когда вязкость несколько больше, возможны повреждения деталей сцепления, коробки передач при трогании автомобиля, а при значительном превышении неизбежны поломки деталей и агрегатов.

Для достижения необходимой вязкости масел при низких температурах окружающего воздуха в случаях отсутствия зимних или арктических сортов в имеющиеся масла допускается добавлять зимнее или арктическое дизельное топливо в соотношениях, указанных в таблице 28. Благодаря наличию в трансмиссионном масле большого количества противоизносных, противозадирных и других присадок при добавлении в него 20 % дизельного топлива эксплуатационные свойства масла (в том числе и смазывающие) практически не ухудшаются.

Температура масла в агрегатах трансмиссии колеблется в широких пределах, что значительно влияет на интенсивность изнашивания (истирания) зубьев шестерен. Так, при понижении температуры с +20 °С до -20 °С интенсивность истирания возрастает в 2 раза, а при температуре до -30 °С — в 4 раза. С повышением температуры интенсивность истирания замедляется и при температуре масла +70-80 °С и воздуха +20-40 °С стабилизируется.

При оценке температурного режима работы масла в зубчатых передачах определяют минимальную, максимальную и среднеэксплуатационную температуры. Минимальная температура



характерна для момента начала работы передачи после длительного перерыва. Она равна, как правило, наиболее низкой температуре окружающего воздуха. Максимальная температура устанавливается при экстремальных для данной передачи условиях работы. Как правило, это режимы работы при передаче максимального крутящего момента. За среднеэксплуатационную температуру принимают наиболее вероятную во время эксплуатации передачи температуру. В значительной степени она определяется температурой окружающего воздуха, вязкостью масла, его уровнем в картере передачи и другими эксплуатационными условиями (например, величиной передаваемого агрегатом трансмиссии крутящего момента).

Таблица 28

*Рекомендации по применению отечественных трансмиссионных масел при низких температурах*

Марка масла	Температура, С, при которой возможна свободное трогание автомобиля, не ниже				
	Стандартное масло	При добавлении зимнего или арктического дизельного топлива по ГОСТ 305-82, %			
		5	10	15	20
ТМ-5-12рк	-55	-	-	-	-
ТМ-4-9	-50	-	-	-	-
ТМ-3-9	-45	-50	-55	-	-
ТМ-3-18	-30	-40	-45	-50	-55
ТМ-3-18	-25	-30	-35	-40	-50
ТМ-4-18	-30	-40	-45	-50	-55
ТМ-5-18	-30	-40	-45	-50	-55

Для получения масел с пологой вязкостно-температурной кривой в них добавляют загущающие присадки в виде полимеров (полиизобутилен или полимета-крилат). Вязкость масел с такими присадками снижается, что связано с механическим разрушением (деструкцией) полимера. Независимо от условий эксплуатации автомобилей вязкость не должна снижаться более чем на 30 процентов.

Термоокислительную стабильность трансмиссионных масел оценивают на приборе типа ДК-2-НАМИ.

Термоокислительные процессы в результате каталитического действия наиболее активно протекают на деталях из меди, свинца, их сплавов, железа.

При обволакивании металлических деталей агрегатов трансмиссии

продуктами окисления роль металла как катализатора сводится к нулю.

Температура является самым эффективным ускорителем процесса окисления масла. Так, при ее увеличении со 140 °С до 160 °С содержание нерастворимого осадка в масле возрастаете 0,05 до 0,19 %, вязкость (по сравнению с ее величиной при 100 °С) — с 3 до 5 %, а показатель коррозии медной пластинки — с 53 до 480 г/м<sup>2</sup>.

Окисление масла, интенсивно разогревающегося в процессе работы в агрегатах трансмиссии, вызывает изменение его физико-химических и эксплуатационных свойств. Свойства присадок, добавляемых в основу масла, также влияют на показатели температурной окисляемости.

Противокоррозионными свойствами трансмиссионное масло должно обладать для уменьшения коррозионных процессов, которые объективно протекают на поверхностях деталей.

Детали агрегатов трансмиссии автомобилей, изготовленные из цветных металлов, металлокерамики на медной основе, сплавов, содержащих олово, активно корродируют в результате химического взаимодействия с кислыми продуктами (образующимися в процессе окисления). Коррозию медных деталей вызывают также входящие в состав трансмиссионных масел противозадирные и противоизносные присадки, отличающиеся высокой химической стабильностью. Повышенные рабочие температуры масел усиливают коррозионные процессы.

Для предупреждения или уменьшения коррозионных процессов в масла добавляют присадки. Механизм действия противокоррозионных присадок основывается на их способности создавать на поверхности металла защитные пленки, которые исключают прямой контакт с ними агрессивных соединений и одновременно пассивируют металлическую поверхность. Это исключает действие металла как катализаторов окисления масла и накопления в нем агрессивных соединений.

Ввиду того, что противокислительные и моющие (диспергирующие) присадки замедляют процессы окисления (благодаря снижению концентрации в масле агрессивных продуктов) или нейтрализуют уже образовавшиеся кислые вещества, их можно рассматривать и как противокоррозионные.

Защитные свойства масла обеспечиваются путем введения в них защитных присадок или, как их еще называют, ингибиторов коррозии.

Концентрация воды в трансмиссионных маслах во время эксплуатации автомобилей может достигать 8 процентов. Обводнение масла происходит из-за проникновения во внутренние полости картера через уплотнения и сапун воздуха, содержащего пары воды, а также при негерметичности системы охлаждения редукторов. Влага привносит в

масло неорганические соли и коррозионно-агрессивные компоненты (подобные могут образовываться также и в процессе старения масла). Кроме того, вода выполняет также и функции электролита, проводящего электрический ток, а потому становится причиной возникновения электрохимической коррозии.

Ингибиторы коррозии вытесняют влагу и другие электролиты с поверхности металла и создают на ней прочную адсорбционную или хемосорбционную пленку. Таким образом, исключается контакт металла деталей с агрессивной средой.

Отличие защитных присадок от противокоррозионных состоит в их устойчивости к действию не только органических кислот, но и воды.

Рекомендации по применению отечественных трансмиссионных масел по типам передач, группам автомобилей, условиям эксплуатации, а также возможным отечественным заменителям указаны в таблице 29.

Таблица 29

*Рекомендации по применению отечественных трансмиссионных масел*

Марка масла	Возможные заменители	Тип масла, рекомендуемая область применения
ТМ-2-18	ТМ-3-18	Прямозубые и червячные передачи; всесезонное, работоспособно до $-20^{\circ}\text{C}$
ТМ-3-18	ТМ-5-12В, ТМ-5-12рк	Прямозубые, спирально-конические и червячные передачи; всесезонное, работоспособно до $-25^{\circ}\text{C}$
ТМ-3-9	ТМ-5-12В, ТМ-5-12рк	В агрегатах трансмиссии автомобилей при температуре воздуха до $-45^{\circ}\text{C}$ ; всесезонное для северных районов, зимний сорт для северной полосы
ТМ-5-12		Всесезонное для холодной климатической зоны и зимнее для средней полосы. Масло универсальное. Температурный диапазон работоспособности масла от $-40^{\circ}\text{C}$ до $140^{\circ}\text{C}$
ТМ-4-18	ТМ-5-18, ТМ-5-12В, ТМ-5-12рк	Гипоидные передачи грузовых автомобилей, всесезонное для умеренной климатической зоны, работоспособно до $-30^{\circ}\text{C}$
ТМ-5-18	ТМ-5-12В, ТМ-5-12рк	Агрегаты трансмиссии с гипоидными передачами, коробки передач и рулевое управление легковых автомобилей; всесезонное, работоспособно до $-30^{\circ}\text{C}$
ТМ-4-9	ТМ-5-12В, ТМ-5-12рк	Агрегаты трансмиссии автотракторной техники, в том числе с гипоидными главными передачами при эксплуатации в холодной климатической

		зоне до температуры -50 °С
--	--	----------------------------

Для улучшения качества трансмиссионных масел в них вводят, кроме проти-возадирных, противоизносных и противоокислительных присадок, еще и моющие (диспергирующие), депрессорные, деэмульгирующие, противопенные, антисептические и ряд других присадок. В таблице 30 приведены потребительские свойства некоторых присадок и добавок в трансмиссионные масла с целью улучшения их эксплуатационных свойств.

Важнейшее требование к присадкам и добавкам, как и к другим компонентам, входящим в состав трансмиссионных масел, состоит в создании с их основой физически стабильных смесей. Выпадение в осадок и расслаивание присадок должны быть исключены.

Таблица 30

*Потребительские свойства присадок и добавок к трансмиссионным маслам*

Наименование препарата	Назначение	Страна, фирма-производитель
Кондиционер для механической трансмиссии серии Fenom MANUAL TRANSMISSION CONDITIONER FENOM	Улучшение эксплуатационных характеристик коробок переключения передач, раздаточных коробок и главных передач ведущих мостов, в том числе гипоидного типа	Россия, ЛТ «Лаборатория Триботехнологии»
H.P.L.S.	Снижение износов и шума в механических коробках передач, раздаточных коробках и редукторах	Бельгия, Wynn's

#### 6.4 ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ МАСЛА В ГИДРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕДАЧАХ

Ввиду того, что гидромеханическая передача (ГМП) включает несколько разнохарактерных узлов (гидротрансформатор, шестеренную коробку передач, сложную систему автоматического управления), к маслу, работающему в ней, предъявляются более жесткие требования,

чем к маслу для механических коробок передач.

Основными функциями масел в ГМП являются: передача мощности от двигателя к ходовой части автомобиля; смазка узлов и деталей коробки переключения передач; циркуляция в системе управления ГМП; передача энергии для включения фрикционных муфт ГМП; охлаждение деталей узлов и механизмов агрегата.

Средняя температура масла в картере ГМП составляет 80-95 °С, а в летний период при городском цикле движения — до 150 °С. Таким образом, ГМП — самый теплонапряженный из всех агрегатов трансмиссии автомобиля. Такая высокая температура масла в ГМП в отличие от механической коробки передач создается главным образом за счет внутреннего трения (скорость течения масла в гидротрансформаторе достигает 80-100 м/с). Кроме того, в случае, если с двигателя снимается большая мощность, чем это необходимо для преодоления дорожного сопротивления, избыточная мощность расходуется на внутреннее трение масла, что еще больше повышает его температуру. Высокие скорости движения масла в гидротрансформаторе приводят к его интенсивной аэрации, усиленному пенообразованию, ускоряют окисление масла.

Особенности конструкции ГМП предъявляют к маслу жесткие, порой противоречивые требования (например, повышенная плотность и малая вязкость, малая вязкость и высокие противоизносные свойства, высокие противоизносные свойства и достаточно высокие фрикционные свойства). Основные физико-химические и эксплуатационные свойства масел отечественного производства для гидромеханических передач приведены в таблице 31.

Чтобы обеспечить работу гидротрансформатора с наибольшим КПД и надежную работу смазываемых деталей масло должно иметь оптимальную вязкость. Повышение вязкости масла из-за понижения его температуры с 90 °С до 30 °С приводит к снижению КПД гидротрансформатора в среднем на 5-7 %. С другой стороны, для обеспечения наличия на поверхности трения прочной масляной пленки и снижения утечек через уплотнительные устройства масло должно быть относительно вязким. Использование в ГМП масел с вязкостью при температуре 100 °С равной 1,4 мм<sup>2</sup>/с вместо 5,1 мм<sup>2</sup>/с на 6-8 % улучшает динамические характеристики автомобиля, а также способствует экономии топлива. Наибольший КПД гидравлических трансмиссий обеспечивается при вязкости масла не выше 4-5 мм<sup>2</sup>/с при температуре 100 °С.

Противоизносные требования к маслу также весьма высоки. Большое разнообразие материалов пар трения (сталь — сталь, сталь —

металлокерамика и т.д.), используемых в ГМП затрудняет подбор масел и присадок к ним. Наличие одних присадок в маслах снижает износ черных металлов, но вызывает большой износ цветных металлов, а иногда наоборот.

Кроме того, для нормальной работы фрикционных дисков масло должно обеспечивать повышенный коэффициент трения: от 0,1 до 0,18. При коэффициенте трения меньше 0,1 работа дисков сцепления сопровождается пробуксовкой, а при коэффициенте трения больше 0,18 — рывками. В обоих случаях это ведет к преждевременному выходу из строя фрикционных дисков.

Таблица 31

*Характеристики отечественных масел для гидромеханических передач*

Наименование показателей	Марка масла	
	А (для гидромеханических передач)	Р (для гидрообъемных передач)
Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с при: 100 °С 50 °С	7,8 23-30	3,8 12-14
Температура вспышки, °С, не ниже	175	163
Температура застывания, °С, не выше	-40	-45
Эксплуатация при температуре, °С, не ниже	-30	-40
Содержание активных элементов, %:		
кальций	0,15 - 0,18	0,15-0,18
фосфор	-	-
цинк	0,08-0,11	0,08-0,11
хлор	-	-
сера	-	-
суммарное	0,23-0,29	0,23-0,29
Класс вязкости по SAE	75W	-
Группа свойств по API	GL-2	GL-2

Противоокислительная стойкость масла обеспечивает надежную и долговечную работу ГМП. Окисление масла, кроме его общего загрязнения и повышения содержания кислых продуктов, приводит к нарушению нормальной работы фрикционных дисков.

Высокая рабочая температура масла в ГМП, непосредственный контакт с большим количеством воздуха в присутствии каталитически активных цветных металлов вызывает быстрое его окисление в объеме, тонком слое и туманообразном состоянии.

Кроме того, на окисляемость масла большое влияние оказывают конструктивные особенности ГМП, а также условия эксплуатации автомобиля. Так, например, движение автомобиля в городском режиме с частыми остановками и пониженными скоростями вызывает более быстрое окисление масла, чем езда по загородным трассам.

Для снижения интенсивности окисления масла и уменьшения отложения лака и шлама на деталях гидропередачи к маслам добавляют противоокислительные и моющие присадки. Кроме того, автоматические коробки передач иногда оснащаются системами охлаждения.

Коррозионная агрессивность масла к различным материалам должна быть минимальна, так как детали ГМП изготовлены из разнообразных металлов и их сплавов. Наиболее подвержены коррозии детали, изготовленные на основе цветных металлов.

Химический состав масла не должен оказывать вредного воздействия на резиновые уплотнительные устройства, т.е. вызывать чрезмерного набухания или усадки резиновых деталей, приводящих к утечке масла. Набухание деталей из резины должно быть не более 1-6 %. Для предотвращения коррозии деталей ГМП в масло добавляют противокоррозионные присадки.

Плотность масла имеет большое значение для эффективной работы ГМП. Чем выше плотность, тем большую мощность может передавать гидропередача.

Плотность масла, применяемого в ГМП, при рабочей температуре 80-95 °С колеблется в пределах  $(81,8-80,9) \cdot 10^6 \text{ Н/мм}^3$ , а при комнатной температуре —  $(86,3-86,7) \cdot 10^6 \text{ Н/мм}^3$ .

Стойкость масла к пенообразованию обеспечивают добавлением в него противопенных присадок.

Качество трансмиссионных масел и увеличение срока их службы добиваются путем введения в их состав присадок. В таблице 32 приведены потребительские свойства некоторых присадок и добавок в трансмиссионные масла для ГМП с целью улучшения их

эксплуатационных свойств.

## 6.5 КЛАССИФИКАЦИЯ ОТЕЧЕСТВЕННЫХ И ЗАРУБЕЖНЫХ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ

Согласно ГОСТ 17479.2-85 трансмиссионные масла в зависимости от эксплуатационных свойств делятся на 5 групп, определяющих области их применения (табл. 33) и на 4 класса по вязкости (табл. 34 ).

Таблица 32

*Потребительские свойства присадок и добавок к маслам для  
автоматических коробок передач*

Наименование препарата	Назначение	Страна, фирма-производитель
Automatic transmission and Power	Обеспечение плавности переключения передач и устранение течи жидкости из автоматической трансмиссии	Бельгия, Wynn's
Тюнинг для АвтоКПП Trans Extend With ER	Обеспечивает идеальную работу АКПП, используется через 10 тыс. км пробега автомобиля или после его стоянки в течение 3—4 месяцев	США, Hi-Gear
Trans-Aid Conditioner & Sealer	Устранение пробуксовывания, увеличение срока службы и остановка течи жидкости	США, CD-2
Герметик и тюнинг для АКПП Trans Plus	Предохраняет передачу от перегрева при работе, устраняет течи из коробки за 15 км пробега автомобиля, совместим со всеми типами жидкостей для АКПП	США, Hi-Gear
Герметик и тюнинг для АКПП Trans Plus With ER	Предохраняет от перегрева при работе, обеспечивает идеальную работу АКПП, устраняет течи из коробки за 15 км пробега автомобиля, совместим со всеми типами жидкостей	США, Hi-Gear



Маркировка трансмиссионных масел, например, ТМ-2-9, осуществляется следующим образом: ТМ — трансмиссионное масло; 2 — группа масла по эксплуатационным свойствам; 9 — класс вязкости.

Классы вязкости трансмиссионных масел в соответствии с SAE приведены в таблице 35.

В соответствии с классификацией API трансмиссионные масла подразделяют по уровню их противоизносных и противозадирных свойств.

Масла классов GL-1 применяют при невысоких давлениях и скоростях скольжения в зубчатых зацеплениях. Они не содержат присадок.

Масла классов GL-2 содержат противоизносные присадки, а масла класса GL-3 — противозадирные присадки и обеспечивают работу спирально-конических передач, в том числе гипоидных.

Масла класса GL-4 применяют для гипоидных передач среднего нагружения и трансмиссий, работающих в условиях экстремальных скоростей и ударных нагрузок, а также на режимах высоких скоростей вращения и малых крутящих моментов или низких скоростей вращения и больших крутящих моментов.

Масла класса GL-5 используют для высоконагруженных гипоидных передач легковых автомобилей, а также коммерческих, оснащенных трансмиссиями, работающими в режимах ударных нагрузок при высоких частотах вращения, и, кроме того, в режимах малых крутящих моментов при высоких частотах вращения или больших крутящих моментов при низких частотах вращения.

Ориентировочное соответствие трансмиссионных масел по классам вязкости и группам условий эксплуатации по ГОСТ 17479.2-85, системе SAE и системе API приведены в таблице 36.

Ввиду специфических требований к маслам для автоматических гидравлических передач эти масла иногда называют жидкостями ATF (Automatic Transmission Fluids).

Крупнейшие производители гидромеханических коробок передач разработали спецификации для автоматических трансмиссионных жидкостей. Наиболее распространены требования General Motors и Ford.

Классификации General Motors соответствуют масла под маркой DEXRON (DEXRON II, DEXRON HE, DEXRON III).

Масла фирмы Ford обозначаются маркой MERCON (V2C 1380CJ, M2C 166H).

Таблица 33

*Группы трансмиссионных масел по содержанию присадок,*

*эксплуатационным свойствам и области их применения*

Группа масел	Наличие присадок в масле	Рекомендуемая область применения, контактные напряжения и температура масла в объеме
1	2	3
1	Минеральные масла без присадок	Цилиндрические, конические и червячные передачи, работающие при контактных напряжениях от 900 до 1600 МПа и температуре масла в объеме до 90 °С

окончание таблицы 33

2	Минеральные масла с противоизносными присадками	То же при контактных напряжениях до 2100 МПа и температуре масла в объеме до 130 °С
3	Минеральные масла 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
4	Минеральные масла 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
5	Минеральные масла 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

Таблица 34

*Классы вязкости трансмиссионных масел в соответствии с ГОСТ 17479.2-85*

Класс вязкости	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с при температуре 4-100 °С	Температура, °С при которой динамическая вязкость не превышает 150 Па·с
9	6,00-10,99	-45
12	11,00-13,99	-35
18	14,00-24,99	-18
34	25,00-41,00	-

Таблица 35

Классы вязкости трансмиссионных масел в соответствии с SAE

Класс вязкости	Температура, °С при которой вязкость не превышает 150 Па·с не выше	Вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при температуре 100 °С	
		min	max
75W	-40	4,2	-
80W	-26	7,0	-
85W	-12	11,0	-
90	-	13,5	<24,0
140	-	24,0	<41,0

Таблица 36

Соответствие классов вязкости и групп трансмиссионных масел по эксплуатационным свойствам по ГОСТ 17479.2-85, системам SAE и API

ГОСТ 17479.2-85	Система SAE	ГОСТ 17479.2-85 Система API		Область применения в соответствии с условиями эксплуатации
Класс вязкости		Группа условий эксплуатации		
1	2	3	4	5
9	75W	TM-1	GL-1	Механизмы, в которых используются масла с депрессорными и антипенными присадками
12	80W/85W	TM-2	GL-2	Механизмы, в которых используются масла с антифрикционными

				присадками
18	90	TM-3	GL-3	Ведущие мосты со спирально-коническими передачами; слабые противозадирные присадки
34	140	TM-4	GL-4	Гипоидные передачи; противозадирные присадки средней активности

окончание таблицы 36

	250	TM-5	GL-5	Гипоидные передачи грузовых и легковых автомобилей; активные противозадирные и противоизносные присадки
			GL-6	Гипоидные передачи, работающие в очень тяжелых условиях; высокоэффективные противозадирные и противоизносные присадки

Таблица 37

*Применение и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел зарубежных и отечественных фирм-производителей*

Назначение масла	Фирма-производитель	Марка масла	Класс вязкости по SAE	Группа свойств по API	Вязкость, мм/с, при 100°C	Температура застывания °C
1	2	3	4	5	6	7
<b>Синтетические масла высшего качества</b>						
Для всех видов трансмиссий	Castrol	TAF-X	75W-90	GL-5	14,4	-45

Для всех видов трансмиссий	Motul	Gear 300	75W-90	GL-5	14,0	-36
Для всех видов трансмиссий	Quaker State	Synquest EP Gear (Lubricant) 100%	75W-90	>GL-5	17,4	-38
Для всех видов трансмиссий	Motul	Motulgear	75W-90	GL-5	19,0	-30

продолжение табл. 37

1	2	3	4	5	6	7
Минеральные масла общего пользования						
Для КПП	Castrol	EP	80W	GL-4	10,5	-32
Для КПП	Castrol	EP	90W	GL-4	14,5	-26
Для гипоидных передач	Castrol	EPX	90W	GL-5	10,4	-34
Для гипоидных передач	Castrol	EPX	90W	GL-5	15,8	-25
Для всех видов трансмиссий	Mobil	Mobiludw-ND-90	85W-90	GL-5	17,7	-26
Полусинтетические масла высокого качества						
По инструкции производителя	Mobil	Mobilude-SHC-25	5W-90	GL-5	15,2	-54
По инструкции производителя	Mobil	Mobilude GX-80W	80W	GL-4	10,4	-26
Для всех видов трансмиссий	Quaker State	High Performance Gear Lubricant	80W-90	>GL-5	13,8	
Для всех видов	Motul	Gear Box	80W-90	GL-5	18,0	-18

трансмиссий						
Кроме гипоидных передач	Valvoline	Trans Gear OilX-18MD	80W-90	GL-4	-	-
Для всех видов трансмиссий	Valvoline	High Performance GearX-18MD	80W-90	GL-5		
Для КПП	Texaco	Geartex EP-C	80W-90	GL-5	15,1	-27

окончание таблицы 37

1	2	3	4	5	6	7
Для гипоидных передач	Texaco	Geartex EP-C	85W-140	GL-5	26,1	-15
Масла для ГМП						
Синтетические	Castrol	Transmas S	Dexron II D		7,1	-60
Минеральные	Castrol	TQ	Dexron II D		7,4	-42
Минеральные	Valvoline	ATF Type D	Dexron II D		-	-
Минеральные	Motul	Dexron II D	Dexron II D		7,0	-40
Минеральные	Quaker State	Dexron II D	Dexron II D		6,95	-
Минеральные	Quaker State	Mercon Multi-Purp AutomatictransMission Fluid Mobil	Dexron II D		7,0	-44
Минеральные	Texaco	Texamatic4261	Dexron II D		7,42	-48
Минеральные	Texaco	Texamatic 9330	Dexron II D		8,4	-45

В таблице 38 приведены данные по взаимозаменяемости трансмиссионных масел отечественного производства и некоторых зарубежных фирм.

Таблица 38

*Соответствие марок трансмиссионных масел отечественных и зарубежных фирм-производителей*

Марка отечественного масла	Спасе вязкости по SAE	Группа свойств по API	Фирма-производитель импортного масла	Марка импортного масла
1	2	3	4	5
TM-2-18	90	GL-2	Shell	Shell Spirax 90 EP
			Mobil	Mobilude C 90
TM-3-9	80	GL-4	Shell	Shell Spirax 80 EP
			Mobil	Mobilube CX SAE 80

окончание таблицы 38

1	2	3	4	5
TM-3-18	90	GL-4	BP	BP Multi Gear Oil 80/90 EP
			Esso	Esso Gear Oil CP 80
			Shell	Shell Spirax 90 EP
			Mobil	Mobilube C 90
			BP	BP Gear Oil EP SAE 90
			Esso	Esso Gear Oil EP 90
TM-4-Эз	80W	GL-4	Shell	Shell Spirax EP 75W
			BP	BP Gear Oil 75W EP
TM-4-18	90W	GL-4	Shell	Shell Spirax EP SAE 70
			Mobil	Mobilube HD 90
			BP	BP Multi Gear SAE 90 EP
			Esso	Esso Gear Oil 90 EP
TM-5-18	90	GL-5	Shell	Shell Spirax 90 HD
			Mobil	Mobil CX 90
			BP	BP Hypogear SAE 90

			Esso	Esso Gear Oil CX SAE 90
--	--	--	------	----------------------------

Эти материалы позволят легко подобрать зарубежные эквиваленты российским трансмиссионным маслам, а также решить обратную задачу по определению российских заменителей зарубежных нефтепродуктов.

## **7. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК**

### **7.1 НАЗНАЧЕНИЕ И ПРИМЕНЕНИЕ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК**

Пластичные смазки использовались еще в XIV веке до н.э.: древние египтяне смазывали оси деревянных колесниц оливковым маслом, смешанным с известью.

Современные пластичные смазки представляют собой многокомпонентные структуры, отвечающие многим, зачастую противоречивым требованиям, которые выдвигает специфика работы различных узлов автомобиля. Автомобильный транспорт потребляет около 25 % производимых промышленностью пластичных смазок.

Пластичные смазки используют для уменьшения трения и износа узлов, в которых либо нецелесообразно (невозможно) создать принудительную циркуляцию масла, либо масло не удерживается, либо невозможно обеспечить непрерывное пополнение его запаса. Легко проникая в зону контакта трущихся деталей, смазки удерживаются на трущихся поверхностях, не стекая с них, как это происходит с маслом. Смазки применяются также в качестве защитных или уплотнительных материалов.

При малых нагрузках пластичные смазки проявляют свойства твердого тела, которые придает им наличие структурного каркаса. Когда нагрузки малы, структурный каркас и сама смазка не разрушаются, а упруго деформируются. Это обусловлено размером, формой и характером сцепления частиц загустителя. В то же время структурный каркас смазки не отличается значительной прочностью. С ростом нагрузок он разрушается, и смазка деформируется. Благодаря этому смазку используют в узлах трения и наносят на защищаемые от



коррозии поверхности. При критической нагрузке смазка начинает пластично деформироваться (течь, как жидкость). Однако процесс разрушения структурного каркаса пластичных смазок обратим. После снятия нагрузки течение смазки прекращается, структурный каркас мгновенно восстанавливается и смазка вновь приобретает свойства твердого тела.

Смазка состоит из трех компонентов: масляной основы, твердого загустителя и добавок.

В качестве масляной основы смазок используют масла нефтяного и синтетического происхождения. В составе большинства смазок на долю жидкого масла приходится 70-90 % массы. От масляной основы зависят многие свойства смазок, хотя важнейшие их характеристики определяются типом загустителя.

Загустителями, образующими твердые частицы размерами 0,1-10 мкм, служат вещества органического и неорганического происхождения (мыла жирных кислот, парафин, силикагель, бентонит, сажа, органические пигменты и т. п.). Они создают пространственный каркас смазки, а их количество составляет 8-20 % массы смазки.

Добавки необходимы для улучшения эксплуатационных свойств смазок. К ним относятся:

1. присадки — маслорастворимые поверхностно-активные вещества (преимущественно те же, что используются в моторных, трансмиссионных и других маслах). Присадки составляют 0,1-5 % массы смазки;

2. наполнители, улучшающие антифрикционные и герметизирующие свойства. Это твердые вещества, как правило, неорганического происхождения, не растворимые в масле (дисульфид молибдена, графит, слюда и др.). Наполнители составляют 1-20 % массы смазки;

3. модификаторы структуры, способствующие формированию более прочной и эластичной структуры смазки. Они представляют собой поверхностно-активные вещества (кислоты, спирты и др.) и составляют 0,1-1 % массы смазки.

## **7.2 ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА СМАЗОК И МЕТОДЫ ИХ ОЦЕНКИ**

К основным эксплуатационным характеристикам пластичных смазок относятся:

1. пенетрация (проникновение);
2. предел прочности;
3. эффективная вязкость;

4. коллоидная стабильность;
5. температура каплепадения;
6. механическая стабильность;
7. водостойкость;
8. термоупрочнение;
9. испаряемость;
10. химическая стабильность;
11. противокоррозионные и защитные свойства.

Пенетрация (проникновение) — характеризует консистенцию (густоту) смазки по глубине погружения в нее конуса стандартных размеров и массы. Пенетрация измеряется при различных температурах и численно равна количеству миллиметров погружения конуса, умноженному на 10.

Предел прочности соответствует минимальному удельному напряжению, при котором происходит разрушение каркаса смазки в результате сдвига одного ее слоя относительно другого.

Этот показатель характеризует способность смазок удерживаться в узлах трения, противостоять сбросу с движущихся деталей под влиянием инерционных сил и удерживаться на наклонных и вертикальных поверхностях, не стекая и не сползая. При напряжении сдвига выше предела прочности смазки начинают течь.

Предел прочности смазки зависит от температуры (с ее повышением он чаще всего снижается) и скорости приложения силы. При невысоком пределе прочности смазки плохо удерживаются в негерметизированных узлах трения, а при высоком — не поступают к трущимся поверхностям даже при достаточном количестве смазочного материала в механизме.

При рабочей температуре узла предел прочности не должен превышать 300-500 Па, а минимальное его значение при наибольшей температуре в рабочей зоне должно быть не ниже 100-200 Па. При температуре 20 °С предел прочности должен быть равен 300-1500 Па.

Предел прочности определяют на приборе, называемом пластомером.

Вязкость пластичных смазок из-за значительной зависимости показателя вязкости от скорости деформации определяется показателем «эффективная вязкость», которая подразумевает способность Ньютоновской жидкости оказывать при данном режиме течения такое же сопротивление сдвигу, как и смазка.

Когда смазка начинает течь подобно жидкости (после разрушения связей структурного каркаса) при постоянной температуре с увеличением скорости течения, которая измеряется в  $\text{с}^{-1}$ , вязкость

смазки понижается в 100-1000 раз. Вязкость и вязкостно-температурные характеристики пластичных смазок определяют при скорости течения  $10 \text{ с}^{-1}$ .

Вязкостные характеристики относятся к важнейшим эксплуатационным показателям пластичных смазок. Пусковые характеристики механизмов, потери при работе различных узлов трения во многом зависят от вязкости смазок, которая в условиях минимальной рабочей температуры и скорости деформации  $10 \text{ с}^{-1}$  не должна превышать 15-20 МПа.

Вязкостные свойства смазок при температурах от  $-70 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  определяют на автоматических капиллярных вискозиметрах АКВ, в которых смазка при помощи пружины продавливается с переменной скоростью через капилляр.

Коллоидная стабильность — это способность смазки сопротивляться отделению (спрессовыванию) жидкого масла при хранении и в процессе применения.

Спрессовывание масла из смазки увеличивается и ускоряется с повышением температуры, с ростом одностороннего давления на смазку, под действием центробежных сил, в сужениях мазепроводов на входе в фильтры и в других аналогичных местах.

Для оценки коллоидной стабильности смазок используют приборы, в которых смазка опрессовывается под действием постоянного груза или сжатого воздуха.

Температура каплепадения соответствует температуре, при которой падает первая капля смазки, помещенной в капсуле специального прибора, нагреваемого в стандартных условиях. Она зависит в основном от типа загустителя и в меньшей степени от его концентрации.

Во избежание вытекания смазки из узла трения температура каплепадения должна превышать температуру трущихся деталей на 15-20  $^\circ\text{C}$ .

Механическая стабильность характеризует тиксотропные свойства, т.е. способность смазок практически мгновенно восстанавливать свою структуру (каркас) после выхода из зоны непосредственного контакта трущихся деталей. Благодаря этому уникальному свойству смазка легко удерживается в негерметизированных узлах трения.

Смазки с низкой механической стабильностью быстро разрушаются, разжижаются и вытекают из узлов трения. Это опасно особенно в тех узлах, где в процесс деформирования вовлекается весь запас смазки (подшипники скольжения, шарниры, плоские опоры и т.п.). Механически нестабильные смазки достаточно хорошо работают только в надежно герметизированных узлах трения, если их вытеканию

из узла препятствуют специальные уплотнительные устройства или капиллярные силы.

Полноценная смазка не должна значительно изменять свои свойства ни в процессе работы (деформации), ни при последующем отдыхе. Если смазка при отдыхе после разрушения сильно затвердевает, то она перестает поступать к рабочим поверхностям, и работа узла трения затрудняется.

Механическую стабильность смазки определяют на тиксометре, измеряя пределы ее прочности до и после разрушения смазки.

Водостойкость смазки определяется: устойчивостью к растворению в воде, способностью поглощать влагу, проницаемостью смазочного слоя парами влаги, смываемостью водой со смазываемых поверхностей и др.

Растворимость смазки в воде зависит в основном от природы загустителя. Наилучшей водостойкостью обладают смазки с углеводородным загустителем, водостойкость кальциевых смазок удовлетворительна, и только смазки на натриевых и калиевых мылах хорошо растворимы в воде.

Растворимость смазок определяют только качественно по изменению внешнего вида комка смазки в холодной (при 20 °С в течение 24 ч) и кипящей (в течение 1 ч) воде. Если температура плавления смазки ниже 100 °С, испытания в кипящей воде не проводятся.

Термоупрочнение характеризует изменение свойств смазок при нагревании и последующем охлаждении.

Большинство смазок после нагрева до температуры на 50-60 °С ниже температуры их плавления и последующего охлаждения не меняют свои свойства. Однако у некоторых смазок после кратковременного нагрева и последующего охлаждения предел прочности повышается в 10-100 раз. Такие смазки перестают поступать к рабочим поверхностям.

Склонность смазки к термоупрочнению определяют на приборе-прочномере СК путем измерения ее пределов прочности до и после выдержки при повышенных температурах.

Испаряемость смазок, определяемая летучестью жидкой среды, достаточно высокая, хотя давление их насыщенных паров при обычных эксплуатационных температурах невелико.

Из-за увеличения скорости испарения жидкой среды повышается вязкость смазки и ухудшаются низкотемпературные свойства, а при высыхании — уменьшается адгезия к металлу.

Испаряемость оценивают потерей массы смазки в нормированных

условиях.

Химическая стабильность оценивается стойкостью смазки к окислению кислородом воздуха.

Окисление приводит к изменению кислотного числа и уменьшению предела прочности на сдвиг, как правило, при повышенных температурах (более 100°C). Кроме того, смазки окисляются из-за возможной коррозии металлических поверхностей деталей узла трения.

Оценку химической стабильности смазки производят по увеличению ее кислотного числа. Для этого смазку толщиной слоя 1 мм окисляют на медной пластине при повышенной температуре 120 °С.

Противокоррозионные свойства смазок характеризуют их коррозионное воздействие на металлические поверхности деталей узла трения. Если свежие смазки обладают устойчивыми противокоррозионными свойствами, то в процессе их применения или после длительного хранения их свойства ухудшаются.

Для оценки противокоррозионных свойств металлические пластинки погружают в смазку и затем осматривают их поверхности после выдержки в течение определенного времени при повышенной температуре.

Защитные (консервационные) свойства определяют способность смазки предохранять трущиеся металлические поверхности от коррозионного воздействия внешней среды (вода, растворы солей и др.).

Консервационные свойства смазок определяются и зависят от следующих факторов: способности удерживаться на поверхности металла, не стекая; коллоидной и химической стабильности; водостойкости и воздухопроницаемости. Пленка консервационной смазки толщиной около 0,01 мм может предотвращать коррозию металла в условиях 100-процентной относительной влажности в течение многих месяцев, а иногда и лет.

При оценке защитных свойств смазок по ГОСТ 9.054-75 металлические пластинки, покрытые слоем смазки, выдерживают в определенных условиях над водой в эксикаторе или в камере влажности.

### **7.3 КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИРОВКА ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК**

Пластичные смазки по консистенции занимают промежуточное положение между маслами и твердыми смазочными материалами (графитами).

Несмотря на отсутствие единой классификации пластичных смазок,

некоторые их российские и зарубежные производители указывают в документации на них не только принятое ими же обозначение и маркировку, но и уровень пенетрации.

Пластичные смазки делятся:

1. по типу масла (основы);
2. природе загустителя;
3. области применения и консистенции (густоте).

Смазки в зависимости от типа основы бывают:

1. на минеральных ;
2. синтетических ;
3. растительных маслах ;
4. а также на смесях, в основном, минерального и синтетического происхождения.

По природе загустителя смазки делят:

1. мыльные;
2. углеводородные;
3. органические;
4. неорганические.

Для производства мыльных смазок в качестве загустителя применяют мыла (соли высших карбоновых кислот).

В зависимости от основы мыльные смазки бывают:

1. натриевые (созданы в 1872 г.);
2. кальциевые и алюминиевые (созданы в 1882 г.);
3. литиевые (созданы в 1942 г.);
4. комплексные (например, кальциево-литиевые) и др.

На мыльные смазки приходится более 80% всего производства смазок.

В углеводородных смазках в качестве загустителя используются парафины, церезины, петролатумы и др.

В органических смазках в качестве загустителя используются сажа, полимочевина, полимеры и др.

В неорганических смазках в качестве загустителя используются силикагели, бентониты и др.

По области применения пластичные смазки в соответствии с ГОСТ 23258-78 подразделяются на группы:

1. антифрикционные;
2. консервационные;
3. уплотнительные;
4. канатные.

Каждая из групп разбита на подгруппы (табл. 39).

Антифрикционные смазки предназначены для снижения износа и

трения скольжения сопрягаемых деталей.

Консервационные смазки служат для предотвращения коррозии при хранении, транспортировании и эксплуатации деталей.

Уплотнительные смазки используют для герметизации зазоров, облегчения сборки и разборки арматуры, сальниковых устройств, резьбовых, разъемных и любых подвижных соединений.

Канатные смазки применяют для предотвращения износа и коррозии стальных канатов.

В зависимости от сферы использования смазки делят:

1. смазки общего назначения;
2. многоцелевые;
3. специализированные.

По работоспособности в различных температурных условиях пластичные смазки могут быть: работоспособными в умеренной климатической зоне, термостойкими и низкостойкими (морозостойкими).

Классификация пластичных смазок и область их применения в соответствии с ГОСТ 23258-78 приведены в таблице 39.

Таблица 39

*Классификация пластичных смазок в соответствии с ГОСТ 23258-78*

Подгруппа	Индекс	Область применения
1	2	3
<b>Антифрикционные</b>		
Общего назначения для обычных температур	С	Узлы трения с рабочей температурой до 70 °С
Общего назначения для повышенных температур	О	Узлы трения с рабочей температурой до 110 °С
Многоцелевые	М	Узлы трения с рабочей температурой -30...+130 °С в условиях повышенной влажности среды; в достаточно мощных механизмах сохраняют работоспособность до -40 °С
Термостойкие	Ж	Узлы трения с рабочей температурой > 150 °С
Низкостойкие (морозостойкие)	Н	Узлы трения с рабочей температурой < -40 °С
Противозадирные и противоизносные	И	Подшипники качения при контактных напряжениях более 250 кПа и подшипники скольжения при

		удельных нагрузках > 15 кПа; содержат противозадирные и противоизносные присадки или твердые добавки
Химически стойкие	Х	Узлы трения, имеющие контакт с агрессивными средами
Приборные	П	Узлы трения приборев и точных механизмов
Редукторные (трансмиссионные)	Т	Зубчатые и винтовые передачи всех видов

окончание табл. 39

1	2	3
Приработанные пасты	Д	Сопряжение поверхности с целью облегчения сборки, предотвращения задиров и ускорения приработки
Узкоспециализированные (отраслевые)	У	Узлы трения, смазки для которых должны удовлетворять дополнительным требованиям, не предусмотренном в вышеперечисленных подгруппах (прокачиваемость, эмульгируемость, искрогашение и т.д.)
Брикетные	Б	Узлы и поверхности скольжения с устройствами для использования смазки в виде брикетов
Консервационные	З	Металлические изделия и механизмы всех видов, за исключением стальных канатов и случаев, требующих использования консервационных г^асел или твердых покрытий
Уплотнительные		
Арматурные	А	Запорная арматуру и сальниковые устройства
Резьбовые	Р	Резьбовые соединения
Вакуумные	В	Подвижные и разъемные соединения и уплотнения вакуу <sub>мных</sub> систем
Канатные		



Канатные	К	Стальные канаты, органические сердечники канатов
----------	---	--

*Примечание. Смазку, относящуюся одновременно к двум или более группам (подгруппам), относят к той группе (подгруппе), которая наиболее типична для ее использования*

Классификация смазок по консистенции (густоте) разработана Национальным институтом смазочных материалов США (NLGI).

Согласно этой классификации смазки делятся на классы в зависимости от уровня пенетрации — чем выше численное значение пенетрации, тем мягче смазка.

Классификация NLGI пластичных смазок по консистенции приведенная в таблице 40, соответствует маркировке по сортам по DIN 51818, принятой институтом стандартов в Германии (DIN).

Следует отметить, что как отечественные, так и зарубежные производители пластичных смазок обозначают и маркируют их произвольно. Поэтому при выборе смазки лучше руководствоваться рекомендациями завода-изготовителя автомобиля.

В классификационном обозначении смазок, принятой в России, указывают:

1. тип загустителя;
2. рекомендуемый температурный диапазон применения;
3. тип жидкого масла;
4. консистенцию (густоту).

Тип загустителя обозначают первыми двумя буквами входящего в состав мыла металла: Ка — кальциевое, На — натриевое, Ли — литиевое, Ли-Ка — смешанное (литиево-кальциевое).

Рекомендуемый тепловой диапазон применения указывают дробью: в числителе — уменьшенная в 10 раз без знака минус минимальная температура применения, в знаменателе — уменьшенная в 10 раз максимальная температура применения.

Таблица 40

*Классификация пластичных смазок NLGI по консистенции*

Класс	Диапазон пенетрации	Визуальная оценка консистенции
1	2	3
000	445-475	Очень мягкая, аналогичная очень вязкому маслу
00	400-430	Очень мягкая, аналогичная очень вязкому маслу
0	355-385	Мягкая
1	310-340	Мягкая

2	265-295	Вазелинообразная
3	220-250	Почти твердая
4	175-205	Твердая
5	130-160	Твердая
	85-115	Очень твердая, мылообразная

*Примечание. Пластичные смазки для легковых автомобилей относятся, как правило, ко 2 классу.*

Температурный диапазон имеет ориентировочное значение, так как он зависит от конструкции сопряжений и условий работы.

Тип жидкого масла и присутствие твердых добавок обозначают строчными буквами: у — синтетические углеводороды, к — кремнийорганические жидкости, г — добавка графита, д — добавка дисульфида молибдена. Смазки на нефтяной основе индекса не имеют.

Консистенцию смазки обозначают условным числом от 0 до 7.

Пример (классификационное обозначение товарной литиевой смазки Литол-24) МЛи 4/13-3: М — многоцелевая антифрикционная, работоспособна в условиях повышенной влажности; Ли — загущена литиевыми мылами; 4/13 — работоспособна в интервале от -40 до +130°C; «-» — отсутствие индекса указывает, что смазка приготовлена на нефтяном масле; 3 — условная характеристика густоты смазки.

За рубежом фирмы-производители смазок маркируют их произвольно из-за отсутствия единой для всех классификации по эксплуатационным показателям, с учетом классификации по консистенции NLGI.

## **7.4 АССОРТИМЕНТ СМАЗОК, ИХ ПРИМЕНЕНИЕ И ВЗАИМОЗАМЕНЯЕМОСТЬ**

Наибольшее применение при эксплуатации автомобилей находят антифрикционные и консервационные смазки.

Среди антифрикционных смазок широко используются смазки общего назначения, для повышенных температур, многоцелевые, термостойкие и низко-стойкие (морозостойкие).

Смазки общего назначения, известные под названием «Солидолы», наиболее массовые и дешевые.

Солидолы используют в механизмах, работающих при температурах до 70 °С, так как при больших температурах они теряют работоспособность. Они не растворимы в воде, очень водостойки и поэтому хорошо защищают металлические детали от коррозии.

Смазки для повышенных температур применяют в разнообразных узлах трения, работающих при температурах от -30° до +100 °С.

Для приготовления натриевых и натриево-кальциевых смазок используют естественные жиры, реже синтетические кислоты. Общий недостаток смазок - растворимость в воде.

Многоцелевые (универсальные) смазки водостойки и работоспособны в широком интервале скоростей, температур и нагрузок и поэтому применяются во всех основных узлах трения разнообразных механизмов. Кроме того, они обладают хорошими консервационными свойствами.

Термостойкие смазки имеют максимальный диапазон температур работоспособности от 150° до 250 °С в течение 10-100 часов. Эти смазки изготавливают на синтетических маслах и специальных загустителях.

Низкостойкие смазки, относящиеся к морозостойким, применяют при температурах до -50 °С.

Тип загустителя на морозостойкость смазки почти не влияет, а низкотемпературные свойства смазок обусловлены, в основном, свойствами жидкого масла, которое используется для их приготовления. Для получения морозостойких смазок применяют масла, имеющие невысокую вязкость при низких температурах (синтетические масла, сложные эфиры и др.).

Основные эксплуатационные свойства пластичных антифрикционных смазок приведены в таблице 41.

Консервационные смазки занимают важное место среди пластичных смазок. Узлы и агрегаты поставленных на хранение автомобилей без защитных смазок корродируют в 1,5-2 раза быстрее, чем на автомобилях, находящихся в постоянной эксплуатации.

Таблица 41

*Эксплуатационные свойства пластичных антифрикционных смазок*

Марка смазки	Цвет	Температура каплепадения, °С	Температурный предел работоспособности, °С	Возможные заменители
1	2	3	4	5
<b>Смазки общего назначения</b>				
Солидол С	От светло-желтого до темно-коричневого	85-105	-20...+65	Солидол Ж, Литол-24, Зимол
Смазка графитовая	Черный с серебристым	77-90	-20...+60	Солидол С и 10% графита

Усса	отливом			
Дня повышенных температур				
Смазка 1-13, жировая	От светло - до темно-желтого	> 130	-25...+90	Литол-24, Зимол
Консталин-1	От желтого до светло-коричневого	> 130	-20...+120	Литол-24
Консталин-2	От желтого до светло-коричневого	>150	-20...+120	Литол-24

окончание табл. 41

1	2	3	4	5
Автомобильная, ЯНЗ-2	Коричневый или желтый	160-170	-30...+100	Литол-24, Зимол
Смазка АМ-карданная	Светло-темно-коричневый	130-150	-20...+120	Литол-24
Смазка № 158	Синий	140-160	-40...+120	Литол-24, Фиол-2У, Фиол-2М
Литол-24	Коричневый	185-195	-40...+130	Фиол-3, Зимол
Фиол-1	От светло-темно-коричневого до	185-200	-40...+120	Литол-24, Фиол-2
Фиол-2	Коричневый	188-200	-40...+120	Литол-24, Фиол-2
Фиол-2М	Серебристо-черный	180-195	-40...+130	Фиол-2У
Фиол-2У	Серебристо-черный	185-195	-40...+130	Литол-24, Смазка № 158
Фиол-3	Зеленый	190-200	-40...+130	Литол-24
Смазка ЛСЦ-15	Светло-желтый	185-200	-40...+140	Литол-24, ШРБ-4
Смазка ШРБ-4	Темно-коричневый	185-240	-40...+130	Литол-24, ЛСЦ-15
Термостойкие				
Униол-3	Серебристо-черный	220-260	-60...+120	Лита, Зимол
ЦИАТИМ-221	Белый или	200-220	-60...+150	-

	светло-серый			
Низкостойкие (Морозостойкие)				
ЦИАТИМ-2-1	Желтый или светло- коричневый	175-190	-60...+90	Лита, Зимол, ЦИАТИМ-203
Лита	От светло- до темно- коричневого	185-200	-50...+100	Литол-24, ЦИАТИМ-203
Зимол	Коричневый	190-200	-40...+130	-

К защитным относятся пушечная смазка, технический вазелин и др.

Пушечная смазка (ГОСТ19537-83) — густая липкая мазь коричневого цвета, изготовленная сплавлением петролатумов с вязким маслом. Дополнительно в смазку вводят 5 % церезина и окисленный церезин в качестве присадки.

Смазка сохраняет свою защитную способность и предотвращает коррозию вплоть до  $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При температуре  $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$  она оплавляется и стекает с защищаемых поверхностей. Ее используют для защиты от коррозии металлических изделий любой формы и размеров.

Технический вазелин волокнистый ВТВ-1 отличается хорошим сцеплением с металлом благодаря присутствию в нем адгезионной присадки. Эта смазка, изготовленная на маловязком масле, характеризуется лучшей стойкостью к низким температурам. Наиболее часто технический вазелин применяется для смазывания выводов аккумуляторных батарей и клемм крепления к ним проводов.

Не растворимые в воде, химически- и коллоидно-стабильные антифрикционные смазки с низкой испаряемостью также можно использовать в качестве консервационных смазочных материалов, поскольку они обладают хорошими защитными свойствами (Солидол С, Литол-24 и др.).

Области применения пластичных смазок в узлах автомобилей рекомендуют заводы-изготовители автомобиля. Некоторые рекомендации по использованию пластичных смазок в автомобилях российского производства приведены в таблице 42.

При обновлении пластичных смазок следует иметь в виду, что не каждая смазка может смешиваться с другой, поэтому перед закладкой новой смазки рекомендуется тщательно удалить остатки старой смазки. Это необходимо сделать еще и по той причине, что старая смазка может содержать продукты износа деталей. В табл. 2.32 приведена совместимость отечественных пластичных смазок, а в табл. 2.33 — вза-

имозаменяемость некоторых отечественных и зарубежных аналогов пластичных смазок, наиболее часто используемых

Таблица 42

*Применение пластичных смазок в узлах автомобилей Российского производства*

Наименование узла трения	Наименование (обозначение) смазки
1	2
Регулируемые подшипники ступицы, нерегулируемые подшипники полуоси	Литол-24, ЛСЦ-15, Зимол, Лита
Подшипники промежуточной опоры карданного вала	Литол-24, ЛСЦ-15

окончание табл. 42

1	2
Игольчатые подшипники карданных шарниров	Фиол-2У*, ШРУС-4*, № 158
Шарниры равных угловых скоростей	ШРУС-4
Шарниры подвески и рулевого управления, имеющие пресс-масленки	ШРБ-4, ШРУМ-4, Литол-24
Герметизированные разборные и неразборные шарниры подвески	ШРБ-4*
Шлицевые соединения	ЛСЦ-15*, Литол-24
Шарниры и оси привода педалей газа, выключения сцепления	ЛСЦ-15*
Герметизированные шарниры рулевого управления	ЛСЦ-15*
Шарниры подвески и рулевого управления легковых автомобилей ГАЗ	Фиол-2У
Рессоры	Графитная, Лимол, ВНИИ НП-242
Оси, валики, подшипники скольжения, петли, тросы в оболочках	ЛСЦ-15*, Литол-24, ЦИАТИМ-201
Подшипники генератора, стартера и др. электродвигателей, оси октан-корректора распределителя зажигания	Фиол-2М*, Литол-24, Зимол, № 158, ЦИАТИМ-201
Гибкий вал спидометра	ЦИАТИМ-201
Переключатель указателя поворота	КСБ*
Стеклоподъемники, замки, стопорные	ЛСЦ-15*

механизмы дверей	
Монтаж деталей, работающих в контакте резина-металл	ДТ-1

*\* Применяется в качестве несменяемой на весь период эксплуатации машины*

Таблица 43

*Совместимость пластичных смазок*

Марка смазки	Литол-24	Зимол	Лита
Солидол С	Н	Н	Н
Солидол Ж	С	С	Н
Консталин-1, 2	С	-	С
Смазка 1-13, жировая	С	С	С
Смазка автомобильная ЯНЗ-2	С	С	С
ЦИАТИМ-201	С	С	С
ЦИАТИМ-203	-	-	С
Литол-24	-	С	С
Зимол	С		С
Лита	С	С	-

*Примечание. С — совместимость, Н — несовместимость*

Таблица 44

*Взаимозаменяемость некоторых отечественных и импортных пластичных смазок*

Марка отечественной смазки	Фирма-производитель импортной смазки			
	Shell	Mobil	BP	Esso
Солидол С	Uneda 2, 3 Lirona 3	Mobilgrease AA№2, Greasrex D 60	Energrease C2, C3 Energrease GP2, GP3	Chassis XX, Cazar K 2

Пресс-солидол	Uneda 1, Retinax C	Mobilgrease AA № 1	Energrease C1, CA	Chassis L, H Cazar K 1
Графитная Усса	Barbatia 2, 3, 4	Graphited № 3	Energrease C2G, C36	Van Estan 2
ЦИАТИМ-201	Aeroshell Grease 6	Mobilgrease BRB Zero	-	Beacon 325
Смазка ЯНЗ-2	1-13, Nerita 2, 3, Retinax H	Mobilgrease BRB № 3	Energrease № 2, № 3	Andok M275, Andok B
Литол-24	Retinax A, Alvania 3, R3	Mobilgrease 22, Mobilgrease BRB	Energrease L2, Multi-Purpose	Beacon 3, Unereх 3

## 8. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

В тракторах и автомобилях применяются следующие основные виды специальных жидкостей: охлаждающие, тормозные, амортизаторные, для обмыва стекол, консервационные, для удаления нагара с деталей двигателя и пусковые жидкости.

### 8.1 ОХЛАЖДАЮЩИЕ ЖИДКОСТИ

В процессе работы двигателя внутреннего сгорания для обеспечения его нормального теплового состояния необходимо постоянно отводить теплоту от нагреваемых деталей (головка цилиндров, поршни, клапаны, цилиндры и др.).

Количество теплоты, отводимой при охлаждении, в зависимости от типа двигателя и способа охлаждения колеблется в пределах 25 ... 35 % от общей теплоты, выделяющейся при сгорании рабочей смеси.

Если не обеспечить оптимальное охлаждение двигателя, то перегревание его, так же как и переохлаждение, будет в значительной степени нарушать нормальные условия его работы вплоть до аварийного состояния.

Следствием перегревания может быть:

1. преждевременное самовоспламенение рабочей смеси и детонация в двигателях с искровым зажиганием;
2. ухудшение работы смазочной системы;
3. заклинивание перегретых деталей двигателя и снижение их



механической прочности;

4. пригорание поршневых колец и клапанов;
5. ухудшение наполнения цилиндров топливовоздушной смесью;
6. увеличение потерь мощности на преодоление трения.

Вследствие переохлаждения двигателя может произойти:

1. снижение индикаторной мощности из-за повышенной теплоотдачи;
2. резкое увеличение потерь мощности на преодоление трения от увеличения вязкости моторного масла;
3. значительное ухудшение смесеобразования и сгорания топлива;
4. повышение износа деталей цилиндропоршневой группы двигателя из-за конденсации топлива, стекания его по стенкам гильз цилиндров и смывания смазочного масла, а также разжижения моторного масла;
5. образование низкотемпературных отложений в картере двигателя и на маслофильтрующих элементах.

Следовательно, для наилучшей работы двигателя необходимо создать оптимальный температурный режим.

Охлаждение автотракторных двигателей может быть воздушным и жидкостным.

При воздушном охлаждении двигателей блок цилиндров обдувается воздухом и теплота отводится непосредственно в атмосферу. Воздушное охлаждение осуществляется в двигателях Д-37, Д-37М, Д-144 тракторов Т-40 и Т-40А.

Водяное охлаждение двигателей более распространено. В этом случае теплота от нагреваемых деталей двигателя передается жидкости, омывающей их поверхности. Жидкость нагревает радиатор, обдуваемый воздухом. Далее с воздухом теплота уходит в атмосферу.

Надежность системы охлаждения в значительной мере зависит от свойств применяемой жидкости, которая должна отвечать следующим основным требованиям:

1. иметь достаточно высокие температуру кипения и теплоемкость;
2. обладать температурой замерзания ниже температуры окружающего воздуха;
3. не образовывать на водяной рубашке двигателя и приборах системы охлаждения накипи;
4. не вызывать коррозию деталей и быть нейтральной к уплотнительным соединениям системы охлаждения;
5. быть безопасной в обращении, дешевой и универсальной.

В качестве охлаждающих жидкостей для двигателя внутреннего сгорания широко применяют воду и низкозамерзающие смеси - антифризы.

При эксплуатации автомобиля вода необходима не только для заполнения системы охлаждения, но и для приготовления электролита, заливаемого в аккумуляторные батареи, а также для мойки самого автомобиля. Пригодность воды для применения в указанных целях определяет значение ее жесткости, которая зависит от содержания в воде растворимых солей кальция и магния. Практически жесткость воды может быть определена по тому, как она смывает мыло с рук. Чем мягче вода, тем хуже смывается мыло. В жесткой воде руки намыливаются плохо, а мыло с них смывается водой быстро.

Умягчение воды. Операцию проводят следующими способами: длительным (30 ... 40 мин) кипячением, добавлением соды (6 ... 7 г каустической, 10 ... 20 г кальцинированной на 10 л воды) или тринатрийфосфата (3 ... 4 г на 10 л воды). Перед заливкой в систему охлаждения умягченная вода должна быть профильтрована для удаления выпавших солей.

Антинакипины (азотнокислый аммоний или гексаметафосфат натрия). При добавлении их к воде предупреждают образование накипи, не позволяя образовываться нерастворимым осадкам. К 10 л воды средней жесткости требуется добавить 40 ... 50 г азотнокислого аммония или 2 г гексаметафосфата натрия, для очень жесткой воды соответственно 100 и 4 г. Воду с введенными антинакипинами заливают непосредственно в систему охлаждения.

Дистиллированная вода. Эта вода не содержит солей жесткости. Ее получают перегонкой обыкновенной воды в электродистилляторах. Применяют для приготовления электролита и для доливки в элементы аккумуляторных батарей при понижении в них уровня электролита. Хранить воду, предназначенную для приготовления электролита, можно только в неметаллической посуде.

Низкозамерзающие охлаждающие жидкости (антифризы). Они представляют собой смеси этиленгликоля и воды с добавлением антикоррозионных и антивспенивающих присадок. Выпускают два вида антифризов: тосолы (Тосол А, Тосол А-40 и Тосол А-65) и низкозамерзающие жидкости марок 40 и 65. Замерзание (кристаллизация) антифризов не представляет опасности для системы охлаждения. В отличие от воды антифризы при замерзании почти не изменяют своего объема. При замене или после слива антифриза систему охлаждения двукратно промывают чистой водой, прогрев залитую воду на работающей двигателе до температуры 60 °С.

Тосолы: А-40, -65 °С. Температура замерзания Тосола А-40, -40 °С, тосола А-65, -65 °С. Они предназначены для круглогодичного применения в закрытых системах охлаждения с расширительным бач-

ком (автомобили ВАЗ, "Волга", КамАЗ и др.). Тосол А - это концентрат антифриза (этиленгликоля по массе не менее 96 %, воды не более 3 %, остальное - антикоррозионные и антивспенивающие присадки) с температурой замерзания минус 71,5 °С и плотностью при 20 °С, равной 1,12 ... 1,14 г/см<sup>3</sup>. Для получения Тосола А-40 к 1 л концентрата добавляют 0,79 л дистиллированной воды, для получения Тосола А-65 - 0,58 л. Тосола имеют сине-зеленую окраску. Тосола в системе охлаждения заменяют через каждые 60 тыс. км пробега, но не реже одного раза в два года.

Низкозамерзающие жидкости марок 40 и 65. Предназначены для заполнения закрытых систем охлаждения без расширительного бачка (УАЗ, ГАЗ-52-04, -53А, КрАЗ и др.). Температура их замерзания соответственно —40 и -65°С. Антифриз марки 40 светло-желтого, марки 65 - оранжевого цвета. Низкозамерзающие жидкости марок 40 и 65 сливают из системы охлаждения весной при подготовке автомобиля к летней эксплуатации.

Правила обращения с антифризами:

1. нельзя засасывать антифриз через шланг ртом, так как этиленгликоль, являясь пищевым ядом, при попадании в желудок, вызывает сильное отравление. Доза в 100 г антифриза смертельна. Для кожи антифриз безвреден;

2. перед заливкой антифриза в систему охлаждения обеспечивают ее герметичность, так как антифриз легко просачивается через малейшие неплотности;

3. во избежание повреждения окраски не допускают попадания антифриза на окрашенные поверхности при заполнении им системы охлаждения;

4. заполняют систему охлаждения без расширительного бачка только на 93 ... 95 % от полного ее объема, поскольку антифризы обладают большим коэффициентом объемного расширения, системы охлаждения с расширительным бачком - на 3 ... 5 см выше метки MIN на стенке бачка;

5. при понижении уровня антифриза из-за испарения жидкости в системе охлаждения доливают в радиатор воду, так как этиленгликоль не испаряется;

6. в зимнее время регулярно (при ТО-2) проверяют плотность антифриза гидрометром. Антифризы, плотность которых при 20 °С меньше 1,97 к применению не годны.

## 8.2 ТОРМОЗНЫЕ ЖИДКОСТИ

Их применяют для заполнения систем гидравлического или гидропневматического тормозных приводов, а также гидравлического привода выключения сцепления. Основные требования, которым должны отвечать тормозные жидкости это:

1. возможно меньшее изменение вязкости в зависимости от температуры;
2. низкая температура застывания (- 40 °С для районов с умеренным климатом и -65 °С для Северных районов);
3. достаточно высокая температура кипения (не ниже +115 °С для тормозных систем с барабанными тормозами и не ниже +190 °С для систем с дисковыми);
4. хорошие смазывающие свойства;
5. отсутствие коррозионного воздействия на металлические детали и разрушающего влияния на детали из резины.

Марки применяемых тормозных жидкостей зависят от конструкции тормозных систем автомобиля и от климатических условий его эксплуатации. Выпускают тормозные жидкости нескольких видов и сортов: на касторовой, глицериновой, гликолевой и нефтяной основах. В настоящее время широко применяются следующие марки тормозных жидкостей: "Нева", "Томь", "Роса", БСК, ЭСК.

На касторовой основе выпускают тормозные жидкости марок ЭСК и БСК. Жидкость ЭСК представляет собой смесь 60 % касторового масла и 40 % этилового спирта, окрашивается она в красный цвет; жидкость БСК состоит из 50 % касторового масла и 50 % бутилового спирта, окрашена в оранжевый цвет. Эти тормозные жидкости применяются в основном в тормозных системах с барабанными тормозами (из-за не достаточно высокой температуры кипения 115 °С) и приводах выключения сцепления. Наличие касторового масла в этих жидкостях обуславливает их высокую смазывающую способность.

Однако, недостатком является то, что их нельзя применять в зимних условиях при температуре окружающего воздуха ниже -20 ... -25 °С. При низких температурах в этих жидкостях касторовое масло кристаллизуется в виде салообразной массы. Спирт из этих тормозных жидкостей достаточно легко испаряется, поэтому хранить их надо в герметизированных емкостях.

Тормозные жидкости "Нева", "Томь", "Роса", являются сложной композицией ряда синтетических химических соединений, в том числе и гликолей. В их состав входят также антикоррозионные присадки. Работоспособны в интервале температур окружающего воздуха от +50 до -50 °С, закипает при +190 °С, поэтому использоваться может все сезонно и на всех типах тормозных систем. Положительным

свойством тормозных жидкостей на гликолевой основе является то, что при поглощении ими воды расслаивания не происходит, так как гликоль хорошо растворяется в воде. Основными преимуществами гликолевых тормозных жидкостей является: небольшая гигроскопичность, незначительное снижение температуры кипения при обводнении, хорошие противоизносные и антикоррозийные свойства.

Недостатками этих тормозных жидкостей являются то, что они ядовиты и огнеопасны, обладают повышенной агрессивностью к резинотехническим изделиям и невысокие смазывающие свойства по сравнению с жидкостями на касторовой основе.

### 8.3 АМОРТИЗАТОРНЫЕ ЖИДКОСТИ

Для того чтобы амортизаторы автомобиля были работоспособны в широком диапазоне температур, заливаемые в них жидкости должны иметь низкую температуру застывания не выше +40 °С), обладать невысокой вязкостью (около 10 ... 12 мм<sup>2</sup> /с при 50 °С), незначительно изменяющейся в зависимости от температуры. Кроме того, амортизаторные жидкости должны иметь хорошие смазывающие свойства, иметь высокую термическую и механическую стабильность.

В качестве жидкостей для амортизаторов используют либо маловязкие нефтяные масла (например, веретенное масло АУ), либо их смеси с жидкими кремнийорганическими соединениями и с антиокислительными и противоизносными присадками (например, жидкость АЖ-12Т или масло МІ 11-10).

Всесезонная жидкость АЖ-12Т работоспособна в интервале температур от +50 до -50 °С, обеспечивает устойчивую работу амортизаторов, детали уплотнений которых выполнены из маслостойкой резины, при повышенных температуре и давлении. Она представляет собой смесь маловязкого минерального масла и кремнийорганической жидкости с добавлением противоизносной и антиокислительной присадок. Предназначена для амортизаторов всех грузовых и легковых автомобилей, кроме автомобилей ВАЗ.

Для всесезонной работы гидравлических амортизаторов применяют также масло МГП-10 температура застывания которого -40 °С. Это масло состоит из смеси трансформаторного масла, кремнийорганической жидкости, животных жиров, антиокислительной и противопенной присадок. Его заливают в амортизаторы как грузовых, так и легковых автомобилей в районах, с умеренным климатом.

В производственных условиях при отсутствии специальных амортизаторных жидкостей применяют смесь масел турбинного 22 и трансформаторного в отношении 1:1, и используют в качестве заменителя жидкости АЖ-12Т. В зимнее время также можно использовать веретенное масло АУ. Оно имеет достаточно хорошие низкотемпературные и противоизносные свойства. Может применяться на грузовых автомобилях в районах с умеренным климатом как заменитель жидкости АЖ-12Т.

#### 8.4 ЭЛЕКТРОЛИТ ДЛЯ СВИНЦОВЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

Электролит представляет собой раствор аккумуляторной серной кислоты в дистиллированной воде. Аккумуляторная серная кислота в не разведенном состоянии - бесцветная маслянистая не пахнущая жидкость плотностью 1,83 г/см<sup>3</sup>.

Приготовление электролита. Его готовят только в кислотоупорной посуде (эбонитовой, керамической или освинцованной). Стеклопосуда непригодна из-за недостаточной прочности и термостойкости. Серную кислоту медленно вливают в посуду с дистиллированной водой. Вливать воду в кислоту категорически запрещено! Вследствие бурной реакции выделяется большое количество тепла, серная кислота разбрызгивается, разрушающе действуя на одежду, а при попадании на тело вызывает сильные ожоги. При работе с серной кислотой и ее растворами обязательно применяют резиновые фартуки, перчатки, сапоги и защитные очки. Электролит нужной плотности получают добавлением аккумуляторной серной кислоты к дистиллированной воде (количественные соотношения компонентов (табл. 45). Для большей безопасности рекомендуется сначала разбавить серную кислоту до плотности 1,40 г/см<sup>3</sup>, а затем, вливая этот раствор в дистиллированную воду, получать электролит требуемой плотности.

Температура замерзания электролита. Эта температура понижается по мере уменьшения плотности электролита и соответственно составляет: при плотности 1,29 г/см<sup>3</sup> - минус 70 °С; 1,27 г/см<sup>3</sup> - минус 58 °С; 1,23-минус 36 °С.

Таблица 45

*Объемы серной кислоты и дистиллированной воды для приготовления 1 л электролита при 15 °С, см<sup>3</sup>*

Компоненты	Плотность электролита, г/см <sup>3</sup>					
	1,23	1,25	1,27	1,29	1,31	1,4
Серная кислота	0,225	0,246	0,268	0,290	0,310	0,416

Дистиллированная вода	0,775	0,754	0,732	0,710	0,690	0,584
-----------------------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

В полностью разряженной батарее плотность электролита понижается до 1,11 г/см<sup>3</sup>, а температура замерзания до -7 °С. Поэтому в зимнее время года разряженные батареи нельзя оставлять вне отапливаемого помещения.

## 8.5 ЖИДКОСТЬ ДЛЯ СТЕКЛОМЫВАТЕЛЕЙ

К ней относится смесь, состоящая из жидкости НИИСС-4 и чистой воды. Эта смесь содержит 79 % изопропилового спирта (по массе) и чистой воды с добавкой 0,1 % моющего средства - сульфанола.

Жидкость ядовита и огнеопасна. Ее заливают в бачок стеклоомывателя при отрицательных температурах окружающего воздуха и обязательно в смеси с водой. Соотношение воды и жидкости меняется в зависимости от окружающего воздуха, так как в чистом виде она вредно воздействует на окрашенные поверхности автомобиля.

## 8.6 ПУСКОВЫЕ ЖИДКОСТИ

Для пуска холодного бензинового двигателя при низких температурах окружающего воздуха необходимо, чтобы в цилиндры поступала топливоздушная смесь, способная воспламениться от искры зажигания при небольшой частоте вращения коленчатого вала. Для пуска дизеля в его цилиндрах должна образовываться топливоздушная смесь, способная в этих же условиях самовоспламениться. При очень низких температурах (ниже -20 ... -25 °С) пусковых свойств бензина или дизельного топлива может оказаться недостаточно. В этих случаях для пуска двигателя применяют специальные хорошо испаряющиеся и легко воспламеняющиеся жидкости.

Эксплуатационные требования к пусковым жидкостям.

Пусковые жидкости должны иметь:

хорошую испаряемость при низкой температуре;

быструю воспламеняемость от искры или самовоспламеняемость от сжатия;

высокие противокоррозионные и противоизносные свойства;

низкую температуру застывания;

стабильность при длительном хранении.

Ассортимент и потребительские свойства пусковых жидкостей

Различия в принципе воспламенения топлива в бензиновых и дизельных двигателях обуславливают разный подход к составу пусковых жидкостей и содержанию в них отдельных компонентов.

Основным компонентом всех жидкостей, обеспечивающим их высокую эффективность, служит этиловый эфир. Добавление этилового эфира к углеводородам значительно расширяет возможность самовоспламенения топливовоздушной смеси и позволяет воспламенить искрой чрезвычайно бедные смеси, которые без эфира не воспламеняются.

Введение в пусковую жидкость изопропилнитрата способствует плавной работе дизельных и бензиновых двигателей, а также интенсификации предпламенных реакций. Газовый бензин, выкипая в пределах 30-70 °С, способствует более равномерному испарению жидкости и плавному нарастанию давления в камере сгорания двигателя.

В качестве компонента, обеспечивающего легковоспламеняющимся жидкостям хорошие противоизносные и противоокислительные свойства, используют масло для судовых газовых турбин, застывающее при температурах ниже -60 °С и содержащее противоокислительную присадку.

Таблица 46

*Характеристики пусковых жидкостей отечественного производства*

Наименование показателей	Наименование пусковых жидкостей для двигателей			
	бензиновых	дизельных		
	«Арктика»	Диэтиловый эфир	Жидкость НАМИ	«Холод Д-40»
Цвет	Прозрачный или светло-желтый	Прозрачный или светло-голубой	-	-
Состав (по массе), %:				
диэтиловый спирт (эфир)	45-60	100	65	58-62
петролейный эфир	38-43	-	20	13-17
турбинное масло	1,5-2,5	-	-	9-11
изолиропилнитрат	2-4	-	-	13-17
противоизносная и противозадирная		-	-	-



присадки	ДО 2	-	-	-
Противоокислительная присадка	ДО 0,5		0,2	-
Минимальная температура надежного пуска без подогрева, °С	-35	-35	-	-

Таблица 47

*Потребительские свойства средств для облегчения пуска двигателей при низких температурах*

Наименование препарата	Назначение	Страна, фирма-производитель
Быстрый запуск «ПУЛЬ-ЭЛ»	Обеспечивает запуск бензиновых и дизельных двигателей при низкой температуре и повышенной влажности	ООО «Эльтранс», Россия
Starting Fluid	Облегчает пуск двигателя при низких температурах	Wynn's, Бельгия
START-UP FOR GAS & DIESEL ENGINES	Облегчает пуск бензиновых (карбюраторных, инжекторных) и дизельных двигателей при низких температурах	Hi-Gear, США

Для обеспечения холодного пуска дизеля при наиболее низких температурах окружающего воздуха содержание масла в пусковой жидкости не должно превышать 10-20 % массы. В составе пусковой жидкости для бензинового двигателя количество масла снижено до 2 %, что предотвращает загрязнение маслом электродов свечей, которые в этом случае становятся неработоспособными.

Эффективность пусковых жидкостей определяется совокупностью свойств всех составляющих ее компонентов. Эксплуатационные характеристики пусковых жидкостей российского производства представлены в таблице 46.

Жидкости «Арктика» и НАМИ впрыскиваются во впускной трубопроводе помощью приспособления 5 ПП-40 или 6 ПП-40, которые

легко устанавливаются на двигатель. Жидкость «Арктика» поставляется в баллонах объемом 20 мл.

Диэтиловый эфир подается в виде 5-8 капель в воздушный трубопровод при снятом воздухоочистителе в момент проворачивания вала двигателя.

Пусковая жидкость «Холод Д-40» впрыскивается в камеру сгорания с помощью специального приспособления. Жидкость выпускается в баллонах объемом 20, 50 или 100 мл.

В таблице 47 приведены потребительские свойства средств для облегчения пуска двигателей при низких температурах.

## **9. ОСНОВЫ РАЦИОНАЛЬНОГО И ЭКОНОМНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВА И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

### **9.1 ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА**

Экономические преобразования, произошедшие в последние годы в России, привели к кардинальным переменам на товарном рынке. На фоне бурного роста парка автомобилей в несколько раз возросло число АЗС, а также значительно изменился ассортимент предлагаемых нефтепродуктов.

Все более жесткие требования сейчас предъявляются и к эксплуатационным материалам (бензинам, дизельным топливам, смазочным маслам) в плане повышения качества и экономичного использования. Поэтому знание состава, свойств, областей применения и эксплуатационных характеристик нефтепродуктов является необходимым всем, кто связан с их производством, транспортировкой, хранением, потреблением, маркетингом.

На внутреннем рынке нефтепродуктов в настоящее время появились также бензины, дизельные топлива, моторные и трансмиссионные масла всевозможных зарубежных фирм. Обилие отечественных и зарубежных нефтепродуктов требует ориентироваться в эксплуатационных характеристиках.

### **9.2 РЕГЕНЕРАЦИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

Регенерация (восстановление качества) отработанных масел и повторное их использование позволяют не только расширить топливно-

энергетические ресурсы, но и предотвращают загрязнение окружающей среды.

В соответствии с ГОСТ 21046-81 «Нефтепродукты отработанные. Общие технические условия» все отработанные нефтепродукты делятся на масла моторные отработанные (ММО), масла индустриальные отработанные (МИО) и смеси нефтепродуктов отработанные (СНО).

Выход базового масла зависит как от глубины очистки, так и от технологии регенерации. При регенерации выход базовых масел составляет 70-85 % (по массе) на обезвоженное масло, содержащее около 5 % низкокипящих фракций (бензино-керосиновых и легких газойлевых). По групповому углеводородному составу и физико-химическим свойствам регенерированные масла близки соответствующим по марке свежим.

Для регенерации отработанных моторных масел применяют следующие технологические процессы:

1. физический, предусматривающий отстаивание, фильтрацию, отгон топливных фракций, центрифугирование, промывку водой, вакуумную перегонку и др.;

2. физико-химический, включающий коагуляцию загрязнений поверхностно-активными веществами или контактную очистку отбеливающими глинами и селективную очистку пропаном, фенолом, фурфуролом и др.;

3. химический, включающий обработку сернокислотными или щелочными растворами или гидрогенизационное воздействие.

Регенерация отработанных масел, включающая коагуляцию их в растворе бензина, отделение загрязнений и воды на центробежных сепараторах, отгон бензина, воды и топливных фракций и последующую вакуумную перегонку масла позволяет получать дистиллятные фракции и остаток от перегонки.

Из дистиллятных фракций после гидроочистки получают дистиллятные компоненты, а из остатков от перегонки после селективной очистки пропаном и гидроочистки — остаточные компоненты. Дистиллятные и остаточные компоненты масел, полученные путем регенерации, по основным физико-химическим свойствам не уступают товарным маслам.

### **9.3 ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТОПЛИВА, МАСЕЛ И СПЕЦИАЛЬНЫХ ЖИДКОСТЕЙ**

Все сорта топлива, смазочные материалы и специальные жидкости в той или иной степени ядовиты (токсичны) и огнеопасны, а топлива и

органические растворители к тому же еще и взрывоопасны. Поэтому необходимо хорошо знать основные экологические свойства топлив, смазочных материалов и специальных жидкостей, которые воздействуют на человека и окружающую среду и могут проявляться при хранении, транспортировании или использовании. К наиболее важным относятся: токсичность, пожароопасность, взрывоопасность и способность электризоваться.

Развитие современного общества связано с использованием энергии. в связи с ускорением научно-технического прогресса исключительно важная роль отводится топливно-энергетическим ресурсам. при складывающейся структуре современного производства большую роль составляют жидкие и газообразные виды топлива - газ, дизельное топливо, бензин, мазут и различные масла в качестве основного энергетического средства всех мобильных машин (автомобилей, тракторов, комбайнов), благодаря компактности, экономичности и малой удельной массе (кг/кВт) господствующее положение заняли двигатели внутреннего сгорания (ДВС) - карбюраторные и дизельные с точки зрения экономии жидкого топлива, а также уменьшения загрязнения окружающей среды все более активно находят применение газовое топливо, таковым является выделяющийся при добыче нефти попутный газ, пропано-бутановая смесь, получаемая при переработке нефти, природный, а также генераторный газ - продукт сухой переработки дерева или угля.

Несмотря на богатые природные ресурсы нашей страны и большой объем производства топлива, требуется экономное использование топливно-энергетических ресурсов. чтобы решить эту задачу необходимо знать и применять в производстве характеристики и свойства энергоносителей, с одной стороны, а с другой стороны характеристики машин и механизмов где они применяются, чтобы повысить надежность и долговечность этих устройств в эксплуатации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Павлов В.П.. Автомобильные эксплуатационные материалы / В.П. Павлов, П.П. Заскалько. - М.: Транспорт, 1982. - 208с.
2. Васильева Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы./ Л.С. Васильева. - М.: Транспорт, 1986. - 279 с.
3. Чулков П.В. Топлива и смазочные материалы: ассортимент, качество, применение, экология/ П.В. Чулков, Н.П. Чулков. - М.: Машиностроение, 1996. - 302 с.

4. Лышко Г.П. Топливо и смазочные материалы/ Г.П. Лышко. - М.: Агропромиздат, 1985. - 336 с.

5. Синельников А.Ф. Автомобильные топлива, масла и эксплуатационные жидкости. Краткий справочник./ А.Ф. Синельников, В.И. Балабанов – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2003. – 176 с.

6. Милованов А.В., Ведищев С.М. Топливо и смазочные материалы. Учебное пособие. - Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2003. - 80 с.

7. Джерихов В.Б. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учебное пособие. Ч. II. Масла и смазки. - СПб.: СПб. гос. архит.-строит. ун-т, 2009. - 256 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	3
1. Виды топлив, их свойства и горение .....	4
1.1 Общая классификация топлива .....	4
1.2 Получение топлива и смазочных масел из нефти .....	7
1.3 Способы очистки топлива.....	9
1.4 Общие физико-химические показатели нефтепродуктов .....	10
1.5 Содержание воды в нефтепродуктах.....	12
1.6 Механические примеси.....	12
1.7 Получение жидкого топлива из не нефтяного сырья .....	13
2. Эксплуатационные свойства и использование автомобильных бензинов .....	14
2.1 Требования и оценка эксплуатационных свойств автомобильных бензинов.....	14
2.2 Условия горения топлива в карбюраторном двигателе .....	15
2.3 Нормальное и детонационное горение.....	18
2.4 Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов, состава топлива на процесс горения.....	23
2.5 Стабильность топлива.....	23
2.6 Противокоррозионные свойства.....	26
2.7 Пути повышения качества и экологической безопасности автомобильных бензинов.....	28
2.8 Ассортимент автомобильных бензинов .....	30
3. Эксплуатационные свойства и использование дизельных топлив .....	36
3.1 Требования и эксплуатационные свойства.....	36
3.2 Свойства дизельных топлив .....	37

3.3. Конструктивные и эксплуатационные факторы влияющие на сгорание дизельного топлива .....	47
4. Эксплуатационные свойства и использование смазочных материалов .....	55
4.1 Использование смазочных материалов .....	55
4.2 Назначение и виды смазочных материалов.....	56
4.3 Общие понятия о трении и износе .....	57
4.4 Виды смазочных материалов и их классификация .....	64
5. Влияние различных факторов на изменение масла в двигателе, классификация и марки моторных масел .....	65
5.1 Назначение и требование к моторным маслам.....	65
5.2 Эксплуатационные свойства моторных масел.....	67
5.3 Изменение свойств масел и оценка их качества при эксплуатации двигателя .....	75
5.4 Особенности синтетических и полусинтетических моторных масел .....	83
5.5 Пути снижения расхода моторных масел .....	87
5.6 Классификация отечественных и зарубежных моторных масел.....	89
5.7 Ассортимент моторных масел, их применение и взаимозаменяемость.....	103
6. Эксплуатационные свойства и применение трансмиссионных масел.....	107
6.1 Назначение трансмиссионных масел .....	107
6.2 Эксплуатационные требования к качеству трансмиссионных масел .....	108
6.3 Основные свойства трансмиссионных масел .....	109
6.4 Особенности работы масла в гидромеханических передачах .	116
6.5 Классификация отечественных и зарубежных трансмиссионных масел .....	120
7. Эксплуатационные свойства и применение пластичных смазок .....	128
7.1 Назначение и применение пластичных смазок.....	128
7.2 Эксплуатационные свойства смазок и методы их оценки .....	129
7.3 Классификация и маркировка пластичных смазок.....	133
7.4 Ассортимент смазок, их применение и взаимозаменяемость..	138
8. Эксплуатационные свойства и использование технических жидкостей.....	144
8.1 Охлаждающие жидкости.....	144
8.2 Тормозные жидкости .....	147
8.3 Амортизаторные жидкости.....	149
8.4 Электролит для свинцовых аккумуляторных батарей .....	150

8.5 Жидкость для стеклоомывателей .....	151
8.6 Пусковые жидкости.....	151
9. Основы рационального и экономного использования топлива и смазочных материалов .....	154
9.1 Экономия топлива .....	154
9.2 Регенерация моторных масел .....	154
9.3 Экологические свойства топлива, масел и специальных жидкостей .....	155
Список литературы.....	156

Учебное издание

## **ТОПЛИВО И СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Учебное пособие

*Составители*

СЫРБАКОВ Андрей Павлович  
КОРЧУГАНОВА Марина Анатольевна

Научный редактор *кандидат технических наук,*  
доцент, зав. кафедрой Агроинженерия *Ретюнский О.Ю.*

Корректурa

Компьютерная верстка М.А. Корчуганова


Дизайн обложки

Подписано к печати 00.00.2014. Формат 60x84/16. Бумага «Снегурочка».  
Печать XEROX. Усл. печ. л. 9,01. Уч.-изд. л. 8,16.  
Заказ 000-14. Тираж 100 экз.



Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Система менеджмента качества  
Издательства Томского политехнического университета  
сертифицирована в соответствии с требованиями ISO 9001:2008



**ИЗДАТЕЛЬСТВО**  **ТПУ**. 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30  
Тел./факс: 8(3822)56-35-35, [www.tpu.ru](http://www.tpu.ru)