



УЧЕБНИКИ  
И УЧЕБНЫЕ  
ПОСОБИЯ  
ДЛЯ ВЫСШИХ

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИИ

Г. П. ЛЫШКО

# ТОПЛИВО И СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Допущено Главным управлением высшего и среднего сельскохозяйственного образования Министерства сельского хозяйства СССР в качестве учебника для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по специальностям «Механизация сельского хозяйства» и «Сельское хозяйство»

МОСКВА АГРОПРОМИЗДАТ 1985



ББК 40.72

Л 88

УДК 631.3—6+631.3:621.89(075.8)

Рецензенты: зав. кафедрой тракторов и автомобилей Украинской сельскохозяйственной академии доктор технических наук профессор *В. В. Матвеев*; доцент Московского института инженеров сельскохозяйственного производства им. В. П. Горячкина кандидат технических наук *А. В. Кузнецов*.

**Лышко Г. П.**

**Л 88 Топливо и смазочные материалы.— М.: Агропромиздат, 1985.— 336 с., ил.— (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений).**

Учебник написан в соответствии с программой одноименного курса. В нем отражены новейшие достижения науки и передового опыта по подбору, рациональному использованию топлива, смазочных материалов и технических жидкостей, применяемых при эксплуатации тракторов, комбайнов и других сельскохозяйственных машин.

Для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по специальностям «Механизация сельского хозяйства» и «Сельское хозяйство».

Л  $\frac{3802040400-198}{035(01)-85}$  64—85

ТП изд-ва «Колос»

ББК 40.72

631.3

Георгий Парфенович Лышко

**ТОПЛИВО И СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Зав. редакцией *Л. И. Чичева*

Редактор *М. И. Нагаткина*

Художественный редактор *С. В. Соколов*

Технические редакторы *Н. В. Новикова, Л. А. Бычкова*

Корректоры *И. Н. Молодкина, Р. Н. Корчагина, Т. Р. Сидорова*

ИБ № 3934

Сдано в набор 06.12.84. Подписано к печати 25.03.85. Т-08329. Формат 84×108 $\frac{1}{32}$ . Бумага тип. № 2. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 17,64+0,21 форзац. Усл. кр.-отт. 18,06. Уч.-изд. л. 18,74+0,33 форзац. Изд. № 300. Тираж 40 000 экз. Заказ № 59. Цена 95 коп.

Ордена Трудового Красного Знамени ВО «Агропромиздат», 107807, ГСП, Москва, Б-53, ул. Садовая-Спасская, 18.

Владимирская типография Союзполиграфпрома при Государственном комитете СССР по делам издательств, полиграфий и книжной торговли 600000, г. Владимир, Октябрьский проспект, д. 6.

ВО «Агропромиздат», 1985

В постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему повышению технического уровня и качества машин и оборудования для сельского хозяйства, улучшению использования, увеличению производства и поставок их в 1983—1990 годах» предусматриваются широкое внедрение новейшей сельскохозяйственной техники с высокими технико-экономическими показателями и ее эффективное использование.

Для современных энергонасыщенных тракторов, высокопроизводительных комбайнов, автомобилей повышенной грузоподъемности, самоходных машин, оснащенных высокофорсированными двигателями внутреннего сгорания, требуются высококачественное топливо, моторные, гидравлические и трансмиссионные масла, различные технические жидкости, пластичные смазки и т. п.

Источником получения этих продуктов служит нефть. Одновременно она является также незаменимым ценнейшим сырьем для производства различных химических веществ во многих отраслях народного хозяйства, причем по мере развития научно-технического прогресса количество и номенклатура производимых из нефти продуктов и сфера их применения непрерывно увеличиваются. Поэтому нефть и продукты ее переработки следует использовать весьма обоснованно и расходовать экономно.

На эксплуатацию сельскохозяйственной техники ежегодно расходуются десятки миллионов тонн нефтепродуктов. Повышение эффективности использования машинно-тракторного парка и рациональное экономное применение топливо-смазочных материалов взаимосвязаны и имеют важное народнохозяйственное значение.

В развитии отечественной нефтяной промышленности исключительно важная роль принадлежит Д. И. Менделееву, придававшему особое значение науке о нефти.

Русские и советские ученые являются основоположниками в решении основных вопросов по добыче и технологии переработки, использованию и методам исследования нефти и нефтепродуктов.

Исключительно велики заслуги академиков Н. Д. Зе-

линского, С. С. Наметкина, Н. Н. Семенова, других ученых в изучении углеводородов нефти и нефтепродуктов.

Эффективное применение и использование нефтепродуктов невозможно без знания процессов превращения углеводородов топлива и смазочных масел, а также методов оценки и приборов для исследования, без разработки и совершенствования технологии повышения качества топливо-смазочных материалов и т. д. В этом направлении многое сделали советские ученые Н. И. Черножуков, С. Э. Крейн, Б. В. Лосиков, Г. В. Виноградов, К. К. Папок, К. С. Рамайя и др.

Особое значение для развития производства и применения смазочных масел имела разработанная Н. П. Петровым гидродинамическая теория смазки, которая нашла свое продолжение в трудах Н. Е. Жуковского, С. А. Чаплыгина, Л. С. Лейбензона и других.

Знание теории и эксплуатационных свойств нефтепродуктов, приемов их рационального использования — важная составная часть общей подготовки инженерно-технических работников, призванных обеспечивать надежную и долговечную работу сельскохозяйственной техники и снижать издержки на эксплуатацию огромного парка тракторов, автомобилей, комбайнов и других машин, для которых применяется множество нефтепродуктов (см. форзац).

Все это необходимо для реализации Продовольственной программы СССР, предусматривающей, в частности, широкое внедрение энергосберегающих техники и технологии, а также повсеместное использование организационно-экономических факторов энергосбережения, не требующих крупных затрат и длительного времени.

В данном учебнике, в соответствии с программой дисциплины, особое внимание обращено на основы рационального применения, характеристику требований и оценку эксплуатационных свойств используемого топлива, смазочных масел, смазок и технических жидкостей, необходимых для технически правильной эксплуатации машинно-тракторного парка.

Основой изложения материала служит взаимосвязь и взаимообусловленность машины, двигателя, сборочной единицы с качеством и изменением свойств топлива и смазочных материалов, являющихся необходимым условием их надежной и долговечной работы.



# **Раздел I. ПРИМЕНЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ТОПЛИВА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА**

## **Глава 1. ВИДЫ ТОПЛИВА, СВОЙСТВА И ГОРЕНИЕ**

### **1.1. Общая характеристика топлива**

Развитие современного общества связано с использованием энергии. В связи с ускорением научно-технического прогресса исключительно важной стала роль топливно-энергетических ресурсов. В настоящее время затраты на топливо составляют основную часть стоимости производимой многими отраслями народного хозяйства продукции. В условиях нашей страны каждый процент сэкономленных в общественном производстве топлива и энергии дает огромный экономический эффект, в несколько раз превышающий экономию от роста производительности труда.

Наша страна — одна из ведущих индустриальных держав мира по производству топлива и энергии и единственная, которая развивается на базе собственных ресурсов.

Структура производства и потребления различных видов топлива зависит от экономического и научно-технического развития страны. Так, в 1955 г. в общем топливном балансе страны (в пересчете на условное топливо) удельный вес твердого топлива составлял 53,9%, нефти — 30,5, природного газа — 7,9 и прочих видов топлива — 7,7%. В 1982 г. главное место занимали наиболее прогрессивные и эффективные виды топлива и баланс характеризовался следующим процентным составом: уголь — 24,1, нефть и конденсат — 44, природный газ — 29,7 и другие виды топлива (торф, сланцы, дрова и т. д.) — 2,2%.

В результате интенсивного развития сельскохозяйственного производства, постоянного роста его материально-технической базы значительно расширяются границы использования топливно-энергетических ресурсов. При складывающейся структуре использования большую до-

лю составляют жидкие виды топлива — дизельное, бензины, мазуты и др. В качестве основного энергетического средства всех мобильных сельскохозяйственных машин (тракторов, автомобилей, комбайнов и др.) благодаря компактности, экономичности и малой удельной массе (кг/кВт) господствующее положение заняли двигатели внутреннего сгорания — карбюраторные и дизели. Однако в перспективе планируется значительно расширить сферу применения дизелей, в которых используется более дешевое, чем бензин, топливо и с меньшим расходом. Дизели устанавливают не только на тракторах и комбайнах, но и на автомобилях (КамАЗ, БелАЗ, КрАЗ, УралАЗ, ЗИЛ и др.).

С точки зрения экономии жидкого топлива, а также уменьшения загрязнения окружающей среды очень эффективно применение газового топлива. Таковым является выделяющийся при добыче нефти попутный газ, пропано-бутановая смесь, получаемая при нефтепереработке, природный, а также генераторный газ — продукт сухой перегонки дерева или угля.

Один из перспективных видов газового топлива — водород, запасы которого практически неисчерпаемы. Однако серьезным недостатком его остается образование с воздухом взрывающихся смесей. Возможное решение этой проблемы — использование гидридов, способных при охлаждении поглощать водород, а при нагревании — выделять.

Сегодня в целях сокращения расхода нефти в нашей стране и за рубежом проводятся исследовательские работы по замене жидкого нефтяного топлива другими видами и расширению использования иных источников энергии (атомной, солнечной, ветровой, приливов морей и т. д.).

Экономное использование топливно-энергетических ресурсов страны — одна из важнейших народнохозяйственных задач; чтобы ее успешно решать, необходимо прежде всего хорошо знать характеристики и свойства применяемых в сельскохозяйственном производстве энергоносителей.

Кроме того, определение состояния смазочного масла в механизме с целью выяснения оптимальных сроков его работы до замены позволит повысить надежность и долговечность машин в эксплуатации.

## 1.2. Классификация и общий состав топлива

Не каждое способное гореть вещество может быть топливом. Топливо представляет собой вещество, умышленно сжигаемое для получения теплоты. Оно должно отвечать следующим требованиям: при сгорании выделять возможно большее количество теплоты, сравнительно легко загораться и давать высокую температуру, быть достаточно широко распространенным в природе, доступным для разработки, дешевым при использовании, сохранять свои свойства во время хранения. Очень важно, чтобы в процессе сгорания топлива не образовывались вредные для окружающей среды вещества.

Этим требованиям наиболее полно отвечают вещества органического происхождения: нефть, природные газы, ископаемый уголь, горючие сланцы, торф.

По агрегатному состоянию все виды топлива могут быть разделены на *жидкие, газообразные и твердые*, а по происхождению на *естественные и искусственные* (табл. 1).

### 1. Общая классификация топлива

| Агрегатное состояние | Топливо                                      |                                                                                                                 |
|----------------------|----------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | естественное                                 | искусственное                                                                                                   |
| Жидкое               | Нефть                                        | Бензин, керосин, дизельное, мазут, спирт, бензол, смолы (каменноугольная, торфяная, сланцевая) и др.            |
| Газообразное         | Природный и нефтепромысловый газы            | Газы (генераторный, водяной, светильный, коксовый, полукоксовый, доменный, нефтеперерабатывающих заводов и др.) |
| Твердое              | Ископаемые угли, горючие сланцы, торф, дрова | Каменноугольный кокс и полукокс, брикетированное и пылевидное топливо, древесный уголь и др.                    |

Сельскохозяйственное производство — одно из основных потребителей топлива, в первую очередь жидкого, которое используют для обеспечения работы огромного парка тракторов, автомобилей, комбайнов, стационарных двигателей и других установок.

Показательно, что с каждым годом в сельском хозяйстве возрастает доля потребления газообразного топлива, как наиболее экономичного и дешевого, для технологических (в теплицах, парниках, на животноводческих фермах и комплексах) и бытовых целей.

Топливо состоит из *горючей* и *негорючей* частей.

Горючая часть представляет собой совокупность различных органических соединений, в которую входят углерод, водород, кислород, азот и сера.

Негорючая часть (балласт) состоит из минеральных примесей, включающих золу и влагу.

Жидкие и твердые виды топлива состоят из горючих веществ различной молекулярной массы с трудноустановливаемой химической природой. Поэтому при исследовании химического состава и свойств обычно определяют *элементный состав* топлива (в процентах по массе), который характеризует его качество.

Углерод С — основная горючая часть топлива. С увеличением его содержания тепловая ценность топлива повышается. В различных видах топлива содержится от 50 до 97% углерода.

Водород Н — вторая по значимости после углерода горючая составляющая топлива. В сравнении с углеродом содержание водорода в топливе меньше (до 25%), а теплоты при его сгорании выделяется в 4 раза больше.

Кислород О, входящий в состав топлива, не горит и не выделяет теплоты, поэтому фактически является внутренним балластом. Его содержание в зависимости от вида топлива составляет 0,5...43%.

Азот N не горит и, так же как кислород, является внутренним балластом топлива. Содержание его в жидком и твердом видах топлива невелико и составляет 0,5...1,5%.

Сера S, при сгорании которой выделяется определенное количество теплоты, является весьма нежелательной составной частью топлива, ибо продукты ее сгорания — сернистый  $\text{SO}_2$  и серный  $\text{SO}_3$  ангидриды — вызывают сильную газовую или жидкостную коррозию металлических поверхностей. Содержание серы в твердом топливе колеблется от долей процента до 8%, а в нефтях — от 0,1 до 4%.

Зола А представляет собой негорючий твердый компонент, количество которого определяют после полного сгорания топлива. Она является нежелательной и даже

вредной примесью, так как в ее присутствии усиливаются абразивные износы, усложняется эксплуатация котельных установок и т. д. У топлива с высоким содержанием золы понижены теплота сгорания и загоряемость.

Влага  $W$  является весьма нежелательной примесью топлива, так как часть теплоты отбирается на ее испарение, в результате чего снижается теплота и температура сгорания топлива. При наличии влаги усложняется эксплуатация установок (особенно в зимнее время), увеличивается коррозия и т. д.

Минеральные примеси — золу и влагу — разделяют на *внешние* и *внутренние*. Первые попадают в топливо из окружающей среды при его добыче, транспортировании или хранении, вторые входят в его химический состав.

В зависимости от физического состояния топлива, при котором определяют его элементный состав, получают различные данные о содержании тех или иных веществ. Это затрудняет объективный сравнительный анализ. Поэтому в практике пересчитывают элементный состав топлива на его *рабочую, аналитическую (лабораторную), сухую, горючую и органическую* массы.

Топливо, которое поступает к потребителям в естественном состоянии и содержит, кроме горючей части, золу и влагу, называется рабочим топливом.

Элементный состав рабочего топлива выражается уравнением:

$$C_p + H_p + O_p + N_p + S_p + A_p + W_p = 100\%. \quad (1)$$

В тех случаях, когда топливо подвергается лабораторному исследованию и из него готовят аналитическую пробу, приводимую затем к воздушно-сухому состоянию, элементный состав выражается так:

$$C_a + H_a + O_a + N_a + S_a + A_a + W_a = 100\%. \quad (2)$$

При определении так называемой сухой массы топлива, из которой путем искусственной сушки при температуре  $105^\circ\text{C}$  удалена влага, элементный состав выражают в виде:

$$C_c + H_c + O_c + N_c + S_c + A_c = 100\%. \quad (3)$$

Элементный состав горючей массы топлива, не содержащей золы и влаги, определяют по уравнению:

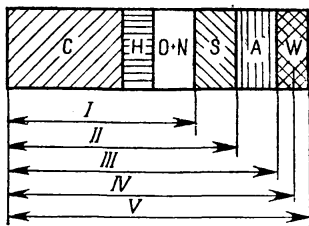
$$C_r + H_r + O_r + N_r + S_r = 100\%. \quad (4)$$

## 2. Формулы для пересчета элементного состава топлива

| Масса топлива | Множители для пересчета на массу топлива |                                     |                               |                               |                                     |
|---------------|------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|
|               | рабочую                                  | аналитическую                       | сухую                         | горючую                       | органическую                        |
| Рабочая       | 1                                        | $\frac{100 - W_a}{100 - W_p}$       | $\frac{100}{100 - W_p}$       | $\frac{100}{100 - A_p - W_p}$ | $\frac{100}{100 - S_p - A_p - W_p}$ |
| Аналитическая | $\frac{100 - W_p}{100 - W_a}$            | 1                                   | $\frac{100}{100 - W_a}$       | $\frac{100}{100 - A_a - W_a}$ | $\frac{100}{100 - S_a - A_a - W_a}$ |
| Сухая         | $\frac{100 - W_p}{100}$                  | $\frac{100 - W_a}{100}$             | 1                             | $\frac{100}{100 - A_c}$       | $\frac{100}{100 - S_c - A_c}$       |
| Горючая       | $\frac{100 - A_p - W_p}{100}$            | $\frac{100 - A_a - W_a}{100}$       | $\frac{100 - A_c}{100}$       | 1                             | $\frac{100}{100 - S_r}$             |
| Органическая  | $\frac{100 - S_p - A_p - W_p}{100}$      | $\frac{100 - S_a - A_a - W_a}{100}$ | $\frac{100 - S_c - A_c}{100}$ | $\frac{100 - S_r}{100}$       | 1                                   |

Рис. 1. Общий состав топлива:

*I* — органическая масса;  
*II* — горючая; *III* — сухая;  
*IV* — лабораторная (аналитическая); *V* — рабочая масса.



Органическая масса топлива может быть представлена так:

$$C_o + H_o + O_o + N_o = 100\% . \quad (5)$$

Общий состав топлива, в зависимости от сочетания его отдельных элементов, представлен на рисунке 1.

В таблице 2 приведены соотношения, которыми пользуются для пересчета элементного состава топлива при переходе от одного вида массы к другому.

Например, содержание (%) углерода в сухой массе, по данным анализа рабочего топлива, определяют при помощи выражения:

$$C_c = C_p \frac{100}{100 - W_p} .$$

Аналогичным образом может быть пересчитано содержание любого элемента в рабочем топливе для сухой, горючей и органической массы.

В случае изменения влажности или зольности топлива для подсчета его элементного состава используют следующие формулы:

$$X_2 = X_1 \frac{100 - A_{p2}}{100 - A_{p1}} ; \quad (6)$$

$$X_2 = X_1 \frac{100 - W_{p2}}{100 - W_{p1}} ; \quad (7)$$

$$X_2 = X_1 \frac{100 - A_{p2} - W_{p2}}{100 - A_{p1} - W_{p1}} , \quad (8)$$

где  $X_1$  и  $X_2$  — содержание соответствующего элемента при различной влажности и зольности топлива;  $A_{p1}$ ,  $A_{p2}$ ,  $W_{p1}$ ,  $W_{p2}$  — соответственно первоначальная и измененная зольность и влажность топлива.

У газообразных видов топлива горючая часть состоит из водорода H, оксида углерода (II) CO, метана CH<sub>4</sub>

и других углеводородов ( $C_nH_m$ ) с числом углеродных атомов до четырех включительно. Основную тепловую ценность газообразного топлива представляют метан и более тяжелые углеводороды. Оксид углерода дает небольшое количество тепла. Балластную часть газообразного топлива составляют негорючие газы, такие, как азот N, углекислый  $CO_2$  и сернистый  $SO_2$ , кислород  $O_2$  и пары воды  $H_2O$ .

### 1.3. Теплота сгорания топлива

О качестве топлива судят по теплоте его сгорания.

Для характеристики твердых и жидких видов топлива служит *показатель удельной теплоты сгорания*, который представляет собой количество теплоты, выделяемое при полном сгорании единицы массы (кДж/кг).

Для газообразных видов топлива применяют *показатель объемной теплоты сгорания*, представляющий собой количество теплоты, выделяемое при полном сгорании единицы объема (кДж/м<sup>3</sup>). Кроме того, газообразное топливо в ряде случаев оценивают по теплоте сгорания, т.е. по количеству теплоты, выделяемой при полном сгорании одного моля газа (кДж/моль). (Ранее удельная теплота сгорания оценивалась в ккал; 1 ккал=4,1886 кДж.)

Зная элементный состав топлива, можно определить теплоту его сгорания по закону Г. И. Гесса, согласно которому она зависит от состава начальных и конечных продуктов горения и не зависит от характера промежуточных реакций. В соответствии с этим теплота сгорания топлива будет равна суммарной теплоте сгорания всех его составных элементов. Однако, поскольку топливо не механическая смесь элементов, а сложное химическое соединение, при его горении получается несколько меньший тепловой эффект. Это объясняется тем, что некоторая часть теплоты затрачивается на разрушение химических связей молекул топлива.

В связи с этим теплоту сгорания жидкого и твердого топлива обычно вычисляют по формуле Д. И. Менделеева:

при определении высшего удельного количества теплоты сгорания (кДж/кг)

$$Q_v = 339C + 1256H - 109(O - S); \quad (9)$$



при определении низшего, или рабочего, удельного количества теплоты сгорания

$$Q_n = Q_b - 25(9H + W), \quad (10)$$

причем содержание химических элементов выражают в процентах.

Низшая, или рабочая, теплота сгорания  $Q_n$  — это теплота сгорания, получаемая в практических условиях. Вычитаемое —  $25(9H + W)$  представляет собой удельное количество теплоты (кДж/кг), которое затрачивается на превращение в пар влаги, выделяющейся при сгорании топлива, и уносится с продуктами сгорания в атмосферу ( $9H$  — число массовых частей воды, образующихся при сгорании одной массовой части водорода;  $H$  и  $W$  — содержание в топливе водорода и воды). Для приведенного выражения приняты условия, что дымовые газы охлаждаются до  $20^\circ\text{C}$ , оставаясь в газо- и парообразном состоянии. Значит, 1 кг пара при выносе в атмосферу будет забирать  $2671 - (100 - 20) \cdot 2,0096 = 2512$  кДж/кг, где 2671 кДж/кг — количество удельной теплоты, затрачиваемой на испарение 1 кг воды;  $(100 - 20)$  — условный перепад температуры паров воды ( $^\circ\text{C}$ ); 2,0096 кДж/кг·град. — теплоемкость паров воды.

Показатель объемной теплоты сгорания на практике определяют делением молярного количества теплоты сгорания на объем одного киломоля газа. Этот объем для любого газа при нормальных условиях ( $0^\circ\text{C}$  и давлении 760 мм рт. ст. или 101,3 кПа) равен  $22,4 \text{ м}^3$ .

С учетом сказанного высшее объемное количество теплоты сгорания газообразного топлива в расчете на сухую массу может быть определено по формуле:

$$Q_{св} = 128(\text{CO} + \text{H}_2) + 399\text{CH}_4 + 639\text{C}_n\text{H}_m, \quad (11)$$

а ее низшее объемное количество

$$Q_{сн} = 128\text{CO} + 108\text{H}_2 + 356\text{CH}_4 + 589\text{C}_n\text{H}_m. \quad (12)$$

Состав газа в приведенных формулах принят в объемных процентах при  $0^\circ\text{C}$  и давлении 760 мм рт. ст.

Объемное количество теплоты сгорания рабочей массы газообразного топлива, содержащего водяные пары, вычисляют по формулам:

$$Q_{рв} = Q_{св} \frac{0,805}{0,805 + W} \quad (13)$$

или

$$Q_{\text{пр}} = Q_{\text{сн}} \frac{0,805}{0,805 + W}, \quad (14)$$

где 0,805 — масса 1 м<sup>3</sup> водяного пара, кг; W — содержание влаги в 1 м<sup>3</sup> газа, кг.

Теплоту сгорания определяют не только теоретически, но и опытным путем, сжигая определенное количество топлива в специальных приборах, называемых калориметрами. Теплоту сгорания оценивают по повышению температуры воды в калориметре. Результаты, полученные этим методом, близки к значениям, рассчитанным по элементному составу топлива.

При сжигании одинаковых масс разных видов топлива выделяется различная теплота сгорания. Поэтому для удобства сравнительной оценки введено понятие *условного* топлива. За единицу его принято топливо, при полном сгорании 1 кг или 1 м<sup>3</sup> которого выделяется 29307,6 кДж.

Чтобы перевести какое-либо топливо в условное, необходимо теплоту его сгорания разделить на теплоту сгорания условного топлива. Полученное число представляет собой *калорийный эквивалент* данного топлива и показывает, во сколько раз реальное топливо выделяет больше или меньше теплоты по сравнению с условным.

В таблице 3 приведены значения теплоты сгорания (рабочей) для основных видов топлива и их калорийные эквиваленты.

3. Теплота сгорания и калорийные эквиваленты различных видов топлива

| Вид топлива                                | Теплота сгорания $Q_{\text{н}}^{\text{р}}$ , кДж/кг | Калорийный эквивалент |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------|-----------------------|
| Условное топливо (донецкий каменный уголь) | 29 307                                              | 1,00                  |
| Антрацит                                   | 30 230                                              | 1,03                  |
| Бурый уголь                                | 14 235                                              | 0,49                  |
| Торф                                       | 13 440                                              | 0,46                  |
| Дрова                                      | 12 560                                              | 0,43                  |
| Нефть                                      | 41 867                                              | 1,42                  |
| Мазут                                      | 41 448                                              | 1,40                  |

#### 1.4. Понятие о средней пробе топлива

Средней пробой называют небольшое количество взятого для исследования топлива, которое по своему составу и свойствам отражает средний состав и свойства всей данной партии.

Правильно отобранная средняя проба позволяет точно и объективно оценить характеристики исследуемого топлива.

Неправильный отбор пробы практически обесценивает результаты проведенного анализа. Чем однороднее состав топлива, тем легче взять среднюю пробу: сравнительно просто отобрать пробу газообразного топлива, несколько сложнее — жидкого и труднее всего — твердого топлива.

Средние пробы различных видов топлива отбирают в соответствии с требованиями специальных ГОСТ.

Для газообразного топлива обычно используют аспираторы — специальные приборы, состоящие из двух стеклянных сосудов. Один из них предназначен для отбора пробы, другой заполнен инертной жидкостью.

Для составления средней пробы твердого топлива сначала в точках, равномерно распределенных по всей исследуемой партии, отбирают первичные, равные по массе, пробы. Их масса должна быть тем больше, чем крупнее куски в данной партии топлива. Число проб увеличивают в зависимости от возрастания неоднородности топлива. Затем отобранные пробы разделяют, перемешивают и квартуюют для уменьшения количества топлива в пробе и доведения ее до необходимой массы.

Пробы жидкого топлива берут специальными прободоборниками при его приеме, отпуске, хранении из резервуара или бочки, при работе трактора из топливного бака и т. д. Поэтому проба может быть индивидуальной, характеризующей качество продукта из одной емкости, средней — отражающей качество определенной партии, контрольной и др.

Среднюю пробу приготавливают путем смешивания индивидуальных проб, число которых зависит от объема, формы и числа емкостей. Например, для горизонтального резервуара среднюю пробу составляют из индивидуальных проб, взятых с трех уровней: верхнего — с глубины 200 мм от поверхности нефтепродукта (одна часть), среднего — из середины объема (три части) и

нижнего — на расстоянии 250...300 мм от дна резервуара (одна часть). Затем эти пробы сливают в общую емкость, хорошо перемешивают и отбирают среднюю пробу для исследования. Берут также пробу со дна резервуара — для обнаружения воды. Уровень воды можно определить также, опуская в резервуар измерительную рейку, нижняя часть которой покрыта специальной водочувствительной пастой. По высоте растворения пасты на линейке судят об уровне воды в резервуаре.

### **1.5. Количество воздуха, необходимое для горения топлива**

Горение — химический процесс соединения горючего вещества и окислителя. Практически горение представляет собой окисление топлива кислородом воздуха. В результате этого процесса выделяется определенное количество тепловой энергии и резко повышается температура.

При горении скорость протекания окислительных реакций очень высока, и выделяемая теплота не успевает рассеиваться. Эта характерная особенность отличает горение от многих процессов окисления.

Впервые объяснение процесса горения, как химической реакции соединения горючего вещества с воздухом, было дано М. В. Ломоносовым. Впоследствии в работах советских ученых Н. Н. Семенова, Я. Д. Зельдовича, Г. Ф. Кнорре и других были раскрыты механизм реакции горения, его химическая кинетика и создана стройная теория.

Горение — весьма сложный процесс, при котором химические реакции сопровождаются физическими явлениями: перемешиванием топлива и воздуха, диффузией, теплообменом, гидро- и газодинамическими процессами. Различают *гомогенное* горение, когда топливо и окислитель находятся в газообразном состоянии; *гетерогенное*, когда вступающие в реакцию вещества находятся в различном агрегатном состоянии (например, в твердом и газообразном), и *взрывное*.

Процесс горения топлива может протекать как при недостатке, так и избытке окислителя. Топливо полностью сгорает при стехиометрическом соотношении топлива и окислителя, которое соответствует уравнениям химических реакций окисления горючих элементов.

Для того чтобы судить о полноте сгорания топлива, необходимо знать: количество воздуха, теоретически необходимое для горения топлива; действительное количество воздуха, которое требуется для полного сгорания топлива; теоретическую температуру горения; состав продуктов горения. Все эти величины определяют расчетным путем, исходя из элементного состава топлива.

Количество кислорода, теоретически необходимое для сгорания 1 кг твердого или жидкого топлива состава C, H, S и O, может быть подсчитано на основании стехиометрических соотношений для реакций горения элементов горючей массы топлива.

Углерод реагирует с кислородом по уравнению  $C + O_2 = CO_2$  ( $12 + 32 \rightarrow 44$ ), т. е. для сгорания 1 кг углерода требуется  $32/12 = 8/3 \approx 2,67$  кг кислорода.

Водород реагирует с кислородом в соответствии с уравнением  $2H_2 + O_2 = 2H_2O$  ( $4 + 32 \rightarrow 36$ ). Значит, для сгорания 4 кг водорода необходимо 32 кг кислорода, или на 1 кг водорода должно приходиться  $32/4 = 8$  кг кислорода.

Сера реагирует с кислородом по уравнению  $S + O_2 = SO_2$  ( $32 + 32 \rightarrow 64$ ), т. е. для сгорания 32 кг серы необходимо 32 кг кислорода, или на 1 кг серы требуется  $32/32 = 1$  кг кислорода.

Значит, для полного сгорания 1 кг топлива рассматриваемого элементного состава (в массовых процентах) потребуется кислорода  $O_B$  (кг)

$$O_B = \frac{2,67C + 8H + S - O}{100} \quad (15)$$

В этом случае предполагается, что содержащийся в топливе кислород полностью затрачивается на горение. В действительности же при сжигании топлива подводится не чистый кислород, а воздух, в котором содержится лишь 23,2% кислорода по массе. Тогда теоретически необходимое для полного сгорания 1 кг топлива количество воздуха  $L_{ТВ}$  (кг) можно опеределить по формуле

$$L_{ТВ} = \frac{2,67C + 8H + S - O}{23,2} \quad (16)$$

Если количество воздуха выражают в объемных единицах, то уравнение (16) делят на плотность воздуха при нормальном состоянии (температура  $0^\circ\text{C}$  и давление

101,3 кПа), равную 1,293. Тогда теоретическое количество воздуха ( $\text{м}^3$ ) выразится так:

$$L_{\text{ТВ}} = \frac{2,67C + 8H + S - O}{23,2 \cdot 1,293} = \frac{2,67C + 8H + S - O}{30}. \quad (17)$$

Теоретически необходимое количество воздуха ( $\text{м}^3$ ) для сжигания газообразного топлива можно определить по известному объемному составу (%) газа:

$$L_{\text{ТВ}} = \frac{0,5 (\text{CO} + \text{H}_2) + \left(n + \frac{m}{4}\right) \text{C}_n \text{H}_m - \text{O}_2}{21}, \quad (18)$$

где  $n$  — число атомов углерода;  $m$  — число атомов водорода; 21 — объемное содержание кислорода в воздухе, %.

Однако в реальных условиях невозможно добиться полного сгорания топлива при наличии теоретически необходимого количества воздуха. Поэтому в двигателях внутреннего сгорания и другие установки подают несколько большее по сравнению с теоретическим количество воздуха, называемое *действительным*.

Действительное количество воздуха при сгорании топлива определяют с помощью специальных газовых счетчиков или по коэффициенту избытка воздуха  $\alpha$ :

$$\alpha_{\text{дв}} = \alpha L_{\text{ТВ}}. \quad (19)$$

Коэффициентом избытка воздуха  $\alpha$  называется отношение количества воздуха, действительно израсходованного на сгорание топлива  $L_{\text{дв}}$ , к количеству воздуха, теоретически необходимого для полного сгорания топлива  $L_{\text{ТВ}}$ . Значение  $\alpha$  зависит от вида применяемого топлива, условий его сжигания, конструкции двигателя или топочного устройства (табл. 4).

#### 4. Ориентировочные значения коэффициента избытка воздуха $\alpha$

| Вид топлива                               | $\alpha$    |
|-------------------------------------------|-------------|
| Газообразные                              | 1,05...1,20 |
| Бензин                                    | 0,90...1,15 |
| Дизельное                                 | 1,20...1,40 |
| Моторное                                  | 1,50...1,70 |
| Твердое пылевидное                        | 1,04...1,10 |
| Бурый уголь, торф, дрова                  | 1,50...2,0  |
| Каменный уголь                            | 1,30...1,90 |
| Кокс, антрацит                            | 1,40...1,60 |
| Отходы сельскохозяйственного производства | 1,60...2,0  |

Уменьшение коэффициента избытка воздуха в сравнении с его оптимальным значением приводит к повышенному расходу топлива за счет неполноты его сгорания. При чрезмерном увеличении  $\alpha$  процесс сгорания также будет неоптимальным из-за потерь тепла на нагрев избыточного воздуха, а значит, и снижения температуры горения.

Температуру, которую приобретают газообразные продукты сгорания в результате действия теплоты, выделяемой в процессе горения, называют *температурой горения топлива*. Различают *калориметрическую, теоретическую и действительную* температуру горения. Наибольший практический интерес представляет действительная температура горения, которая обычно несколько ниже теоретической в связи с передачей газами теплоты поверхностям нагрева, а также из-за неполного сгорания топлива.

Действительную температуру горения  $T_d$  определяют по формуле:

$$T_d = \frac{Q_o + Q_n^p \eta_T - q - q_{\text{дис}}}{\Sigma V_r c_r}, \quad (20)$$

где  $Q_o$  — удельное количество теплоты сгорания, содержащееся в топливе и воздухе, кДж/кг;  $Q_n^p$  — низшее удельное количество теплоты сгорания топлива, кДж/кг;  $\eta_T$  — к. п. д. двигателя (топки);  $q$  — удельное количество теплоты, отдаваемое при горении поверхностям нагрева, приходящееся на единицу массы топлива, кДж/кг;  $q_{\text{дис}}$  — удельное количество теплоты, затрачиваемое на реакцию диссоциации продуктов горения топлива, кДж/кг;  $V_r$  — объемы отдельных компонентов продуктов горения, м<sup>3</sup>/кг;  $c_r$  — объемные теплоемкости компонентов продуктов горения при калориметрической температуре горения  $T_k$ , кДж/кг·град.

В практических условиях температуру горения измеряют при помощи различных приборов (термопары, пирометры и др.).

## 1.6. Определение состава продуктов сгорания топлива

Характер процесса горения, как уже отмечалось, можно определять по составу продуктов сгорания топлива. Так, отсутствие в продуктах сгорания оксида углерода (II) СО свидетельствует о полном сгорании

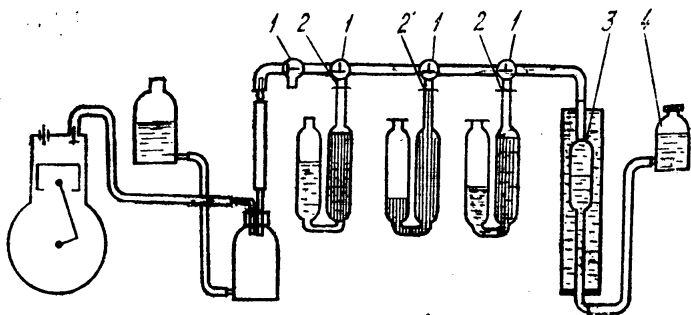


Рис. 2. Простейший газоанализатор:

1 — запорные краники; 2 — сосуды с поглотителями; 3 — заборная бюретка на 100 мл для исследуемого газа; 4 — уравнильный сосуд.

топлива, наличие  $\text{CO}$  или  $\text{H}_2$  указывает на неполное сгорание.

Для определения состава продуктов сгорания предназначены различные методы и приборы. Широко применяются, например, химические газоанализаторы, которые позволяют в контролируемой пробе определить содержание углекислого газа  $\text{CO}_2$ , кислорода  $\text{O}_2$  и оксида углерода (II)  $\text{CO}$ .

Схема простейшего газоанализатора приведена на рисунке 2. Принцип действия газоанализатора заключается в том, что проба отработавшего газа (из выпускной трубы двигателя) в объеме 100 мл последовательно пропускается через сосуды, заполненные растворами. В каждом сосуде поглощается определенный составной элемент отработавшего газа, после чего по градуированной заборной бюретке измеряют объем оставшегося газа. По соответствующему уменьшению объема находят процентное содержание каждого отдельного поглощенного компонента.

Сначала определяют количество углекислого газа  $\text{CO}_2$  по его поглощению раствором едкого кали  $\text{KOH}$  в сосуде 2, затем кислорода  $\text{O}_2$  в сосуде 2', заполненном щелочным раствором пирогаллола  $\text{C}_6\text{H}_3(\text{OH})_3$  и, наконец, оксида углерода (II)  $\text{CO}$  в сосуде 2'', содержащем аммиачный раствор однохлористой меди  $\text{CuCl}$ .

Содержание азота  $\text{N}$  вычисляют по формуле:

$$\text{N}_2 = 100 - (\text{CO}_2 + \text{O}_2 + \text{CO}).$$



После проведения анализа подсчитывают коэффициент избытка воздуха для случаев неполного сгорания топлива

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{3,76(O_2 - 0,5CO)}{N_2}} \quad (21)$$

и полного сгорания

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{3,76O_2}{N_2}} \quad (22)$$

Содержание составных элементов отработавшего газа, входящих в формулы, выражено в %.

## **Глава 2. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О ПОЛУЧЕНИИ ТОПЛИВА И СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

### **2.1. Нефть — основное сырье для получения топлива и смазочных масел**

Великий русский химик Д. И. Менделеев первым из ученых всего мира обратил особое внимание на исключительную ценность нефти. В то время нефть использовалась только как топливо, а Д. И. Менделеев видел в ней прежде всего прекрасное химическое сырье.

В наши дни нефть стала одной из главнейших основ технического прогресса. Сегодня нефть — это источник получения жидкого топлива различных видов и назначений, смазочных и специальных масел, пластичных смазок и другой разнообразной продукции.

Нефть представляет собой сложную смесь различных соединений углерода с водородом. По элементному составу она содержит 83...87 % углерода; 11...14 % водорода; 0,1...1,2 % кислорода; 0,02...1,7 % азота и 0,01...5,5 % серы. По внешнему виду нефть — маслянистая жидкость от темно-коричневого до желтого цвета. Ее плотность 0,75...1,3 г/см<sup>3</sup> (плотность нефти повышается по мере увеличения содержания смолисто-асфальтовых соединений и твердых углеводородов).

На основании исследований выдающихся советских ученых — академиков И. М. Губкина, А. Д. Архангельского, В. И. Вернадского, Н. Д. Зелинского и других

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; к ним параллельно добавлялись аналогичные вещества, приносимые водными потоками с суши.

В течение последующих геологических периодов при погружении морского дна и перемещениях осадочных пород содержащееся в них органическое вещество под действием тепла и давления частично распадалось и превращалось в газообразные и жидкие углеводороды нефти. Таким образом, состав и свойства нефти зависят от характера исходного органического вещества, свойств окружающих пород, времени и ряда других условий и факторов.

## **2.2. Химический состав нефтей и его влияние на свойства топлива и смазочных масел**

Основную массу вещества нефти составляют углеводороды трех главных групп — парафиновые (алканы), нафтеновые (цикланы) и ароматические (арены), состав и свойства которых зависят от происхождения и места добычи нефти.

Кроме углеводородов, в нефти содержатся незначительные количества кислородных, азотистых и сернистых соединений, присутствие которых в получаемых смазочных маслах и топливе существенно влияет на качество. Поэтому, чтобы оценить качество получаемого топлива или смазочного масла, необходимо знать свойства и углеводородный состав исходных нефтепродуктов.

**Парафиновые углеводороды**, общая эмпирическая формула которых  $C_nH_{2n+2}$ , составляют основную массу нефти. К ним относятся газообразные углеводороды, начиная с метана  $CH_4$ ; жидкие, начиная с пентана  $C_5H_{12}$ , и твердые, или *n*-парафины, начиная с гексадекана  $C_{16}H_{34}$ . Газообразные и твердые углеводороды способны растворяться в жидких, из которых газообразные могут вновь выделяться при повышении температуры или снижении

давления, а твердые — при понижении температуры.

Парафиновые углеводороды, молекулы которых имеют неразветвленные цепи атомов углерода, носят название *нормальных*. Углеводороды такого типа практически устойчивы к реакциям окисления. Однако с повышением температуры (более 250...300 °С) окислительные процессы у *н*-парафинов интенсифицируются.

Кроме *н*-парафинов, в нефтепродуктах содержатся также *изомерные* углеводороды (*и*-парафины), которые при аналогичной общей формуле обладают иным пространственным расположением атомов.

Изопарафины по свойствам отличаются от *н*-парафинов. В частности, *и*-парафины при умеренной температуре имеют более высокую реакционную способность, но с повышением температуры их окислительные реакции протекают медленнее, и в области высоких температур они оказываются более стойкими, чем *н*-парафины. Эти качества *н*- и *и*-парафинов оказывают большое влияние на эксплуатационные свойства топлива. В состав дизельного топлива для обеспечения мягкой работы двигателя должны входить *н*-парафины; в бензинах высокие противодетонационные свойства определяются наличием *и*-парафинов.

Парафиновые углеводороды обладают высокой температурой застывания, что делает их присутствие в зимних видах топлива и смазочных масел крайне нежелательным.

Общее содержание парафиновых углеводородов в нефтях и продуктах переработки составляет около 50...60 %, причем в нефтепродуктах наиболее высокое их содержание приходится на фракции, выкипающие до 150 °С.

**Нафтеновые углеводороды** имеют циклическое строение; в их молекулы входят замкнутые кольца атомов углерода, соединенных между собой простыми валентными связями.

В легких топливных фракциях нефти содержатся *моноциклические* нафтеновые углеводороды, молекулы которых включают в себя по одному кольцу, содержащему пять или шесть атомов углерода. Общая эмпирическая формула всех моноцикланов  $C_nH_{2n}$ . Представителями моноцикланов являются циклопентан  $C_5H_{10}$  и циклогексан  $C_6H_{12}$ .

У более сложных нафтеновых углеводородов в молекулу входят, кроме циклического ядра, одна или не-

сколько боковых цепей, представляющих собой радикалы *n*-парафиновых углеводородов. При одном и том же числе атомов в молекулах для нафтенных существует большое количество изомеров, которые различаются расположением и структурой боковых цепей.

Нафтенные углеводороды при одинаковой с парафиновыми молекулярной массе в области низких температур более инертны к окислению. С повышением температуры (около 400 °С и более) цикланы по стойкости к окислению превосходят *n*-парафины и приближаются к *и*-парафинам.

Нафтенные углеводороды, обладающие невысокими температурами плавления, понижают температуру застывания и поэтому являются ценным составным компонентом зимних видов топлива и смазочных масел. Благодаря устойчивости нафтенных углеводородов к окислению при высоких температурах карбюраторное топливо имеет хорошие противодетонационные свойства.

Содержание нафтенных углеводородов в нефти колеблется в пределах от 20 до 30 % и выше, в масляных фракциях достигает 70 %.

**Ароматические углеводороды** содержат шестичленные циклические (бензольные) ядра, простые или конденсированные.

В легких фракциях нефтепродуктов содержатся *моноциклические* углеводороды. В более тяжелых, кроме моноциклических, содержатся *полициклические* ароматические углеводороды, в молекулы которых входят два-три конденсированных кольца и более или же кольца, соединенные между собой промежуточными цепями.

Ароматические углеводороды обладают высокой термической устойчивостью к реакциям окисления; в реакцию замещения вступают, сохраняя при этом бензольное кольцо. Для этих углеводородов характерны более высокие значения вязкости, плотности, температуры кипения в сравнении с цикланами и алканами той же молекулярной массы. При понижении температуры вязкость ароматов резко возрастает, что отрицательно сказывается на свойствах смазочных масел.

Ароматические углеводороды устойчивы к окислению, поэтому в их присутствии противодетонационные свойства карбюраторного топлива повышаются. В силу этих же причин ароматические углеводороды нежелательны в

дизельном топливе, ибо они вызывают увеличение периода задержки самовоспламенения, что способствует жесткой работе дизеля.

В нефтях содержится от 10 до 50 % ароматических углеводородов. Их количество в отдельных фракциях нефти возрастает по мере повышения температуры кипения фракции.

**Непредельные углеводороды** образуются в процессе термической переработки нефти. Они характеризуются наличием двойных и тройных связей между углеродными атомами. Из соединений этого класса в нефтепродуктах часто встречаются *олефиновые* углеводороды (алкены), соответствующие структурной формуле  $C_nH_{2n}$  с одной двойной связью (например, этилен  $C_2H_4$ ). Распространены также *диолефиновые* углеводороды (алкадиены), отвечающие структурной формуле  $C_nH_{2n-2}$ , которые имеют две двойные связи (бутадиен  $C_4H_6$ ).

Наличие двойных связей в молекулах алкенов и алкадиенов способствует их повышенной химической активности. Они легко окисляются и имеют склонность к реакциям присоединения и уплотнения (полимеризации). Чем больше число двойных связей в молекуле и выше температура, тем интенсивнее протекает процесс окисления. В результате полимеризации образуются высокомолекулярные смолисто-асфальтовые вещества, из-за чего непредельные углеводороды в большинстве случаев нежелательны для моторного топлива и смазочных масел. Малая стабильность непредельных углеводородов является следствием смолообразования в топливе при хранении, особенно в крекинг-бензинах.

**Органические кислоты** — это соединения, содержащие кислород. Основными органическими кислотами нефтей и нефтепродуктов являются *нафтеновые*, относящиеся к числу карбоновых кислот. Они отвечают общей формуле  $R-COOH$ , где  $R$  — углеводородный радикал;  $COOH$  — карбоксильная группа, обуславливающая кислотный характер соединения. В молекулах нафтеновых кислот присутствуют радикалы цикланов (в основном циклопентанов).

Нафтеновые кислоты не вызывают коррозию черных металлов, но с цветными металлами (особенно с цинком и свинцом) взаимодействуют интенсивно, образуя соли.

Основное количество нафтеновых кислот содержится в топливно-газойлевых фракциях нефтей.

В результате окислительных процессов в нефтепродуктах образуются также *оксикислоты*, в молекулах которых, кроме карбоксильной, присутствует гидроксильная группа ОН.

**Смолисто-асфальтовые вещества** являются сложными соединениями углерода, водорода, кислорода, иногда серы, частично заменяющей водород.

Смолисто-асфальтовые вещества подразделяются на нейтральные нефтяные смолы, асфальтены, карбены и карбоиды и кислые нефтяные смолы.

*Нейтральные смолы* — это полужидкие тягучие вещества, темно-желтого или коричневого цвета, обладающие сильной окрашивающей способностью. Плотность смол около 1 г/см<sup>3</sup>. Элементный состав: 80...85 % С; 10 % Н; 5...10 % О. Общая эмпирическая формула смол  $C_nH_{2n-m}O_p$ , где  $n=16...69$ ,  $m=8...40$  и  $p=1...3$ . Смолы легко растворяются во всех нефтепродуктах, но трудно в спирте и ацетоне.

*Асфальтены* представляют собой темно-бурые или черные твердые вещества, также обладающие сильной окрашивающей способностью. Плотность их больше 1 г/см<sup>3</sup>, а по элементному составу они отличаются от смол несколько большим содержанием углерода и меньшим водорода. Асфальтены нерастворимы в легких фракциях нефти и спирте; в бензоле, хлороформе, четыреххлористом углероде, в тяжелых фракциях нефти (масляных) и особенно в нефтяных смолах они растворяются, образуя коллоидные растворы. Асфальтены при нагревании выше 300 °С разлагаются.

Если нефтяные смолы образуются в результате окислительной полимеризации углеводородов, то их дальнейшее уплотнение приводит к образованию асфальтенов, которые, в свою очередь, уплотняясь, образуют карбены и карбоиды.

*Карбены и карбоиды* внешне похожи на асфальтены, но имеют более темную окраску; карбены растворяются только в сероуглероде и пиридине, карбоиды являются нерастворимыми соединениями.

*Кислые нефтяные смолы* (асфальтогеновые кислоты и их ангидриды) — полутвердые или твердые вещества, плотность которых больше 1 г/см<sup>3</sup>. Они растворяются в спирте и хлороформе, не растворяются в бензине.

Кислые смолы образуются в результате полимеризации и конденсации кислот, оксикислот и т. п.

Наибольшее количество смолисто-асфальтовых веществ содержится в тяжелых фракциях нефти; в бензиновых фракциях смолы отсутствуют.

**Сернистые соединения** в нефтях и нефтепродуктах могут быть в свободном виде, а также в составе смолисто-асфальтовых веществ.

Сернистые соединения делятся на *активные*, непосредственно вступающие в реакцию с металлами (сероводород  $H_2S$ , элементная сера  $S$ , меркаптаны — летучие жидкости с неприятным запахом), и *неактивные*, или *нейтральные* (сульфиды), которые на металлы не действуют. Нейтральные соединения составляют основную массу сернистых соединений — 70...80 %.

Наличие активных сернистых соединений в нефтепродуктах не допускается. Неактивные сернистые соединения менее вредны. Присутствие некоторых из них в смазочных маслах повышает прочность масляной пленки, что способствует снижению износа. Для топлива все сернистые соединения являются нежелательными, так как в процессе сгорания выделяются сернистый и серный газы. Они, вступая в реакцию с водой, образуют сильнодействующие кислоты, вызывающие интенсивную коррозию деталей двигателя. При перегонке нефти содержание сернистых соединений повышается с утяжелением выкипающих фракций.

**Азотистые соединения** содержатся в нефтях в ничтожных количествах (0,03...0,3 %) и практически могут быть удалены при очистке нефтепродуктов.

**Минеральные примеси** (в виде различных солей нафтенных кислот) и вода в нефтях могут содержаться в небольших количествах и легко удаляются при отстаивании.

### **2.3. Получение топлива и смазочных масел из нефти**

Основная масса жидкого топлива получается путем прямой перегонки нефти (процесс протекает без нарушения структуры углеводородов сырья) или при перегонке химическим способом (структура углеводородов сырья изменяется).

**Прямая перегонка нефти** представляет собой физический процесс разделения ее на отдельные составные части — *фракции*, отличающиеся температурой кипения. Для этого нефть нагревают, а образовавшиеся пары от-

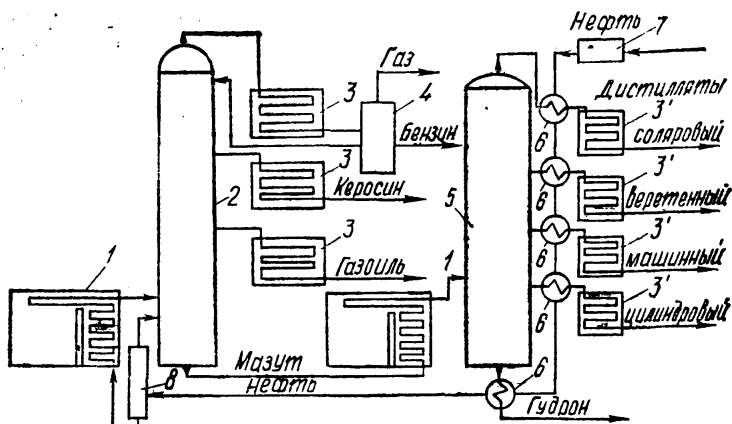


Рис. 3. Нефтеперегонная установка:

1 — трубчатая печь; 2 и 5 — ректификационные колонны; 3 и 3' — холодильники; 4 — конденсатор-газоотделитель; 6 — теплообменник; 7 — насос; 8 — испарительная колонна.

бирают 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 прямой перегонки нефти проводят на крупных установках непрерывного действия, позволяющих в едином технологическом процессе осуществить испарение и фракционирование дистиллятов (рис. 3). Процесс разделения нефти на топливные и затем мазута на масляные дистилляты происходит таким образом. Подаваемая насосом 7 нефть под давлением около 1 МПа проходит через теплообменники 6 дистиллятов и поступает в небольшую испарительную колонну 8, откуда легкокипящая часть нефти идет в ректификационную колонну 2, а основная масса поступает в трубчатую печь 1. Нефть, проходя по змеевику, плавно нагревается топочными газами, движущимися сверху вниз, до температуры 330...350 °С, а затем частично испаряется. При этом скорость движения ее в змеевике все время возрастает (от 1...2 м/с в начале змеевика до 60...80 м/с в конце), что предотвращает местные перегревы и разложение нефти. Смесь паров нефти и неиспарившейся ее части из змеевика трубчатой печи поступает в ректификационную ко-



лонну 2. При вводе в колонну скорость движения смеси резко возрастает, давление снижается и оставшиеся легкие фракции испаряются.

Пары нефти поднимаются в верхнюю часть колонны, которая разделена металлическими тарелками с отверстиями, прикрытыми колпачками. Сверху колонны подают орошение; в качестве оросителя используют часть легкокипящей фракции. Поднимающаяся вверх по колонне смесь паров охлаждается и конденсируется на соответствующих тарелках. Легкокипящие фракции в паровой фазе достигают верха колонны и вместе с испарившимся оросителем отводятся из колонны в конденсатор-газоотделитель 4, где одна часть их переходит в жидкую фазу, а другая остается в виде газообразной. Более тяжелые топливные фракции отводят из колонны через холодильники 3 и отбирают дистилляты: *бензиновый* — 40...200 °С, *керосиновый* — 140...300 °С и *газойлевый* — 230...250 °С. В остатке получается мазут, который далее используется в качестве сырья для получения масляных дистиллятов по аналогичной схеме. Во избежание расщепления масляных углеводородов в вакуумных трубчатых печах мазут нагревают и испаряют с применением перегретого пара при температуре до 420...430 °С, что позволяет снизить температуру кипения и полнее испарить его. При разгонке мазута на ректификационной колонне получают из легкокипящих фракций маловязкие смазочные масла типа промышленных; из высококипящих — средние и тяжелые масла, в том числе моторные.

После отгона из мазута масляных дистиллятов в остатке получают *гудрон*, а при менее глубоком отборе масляных фракций — *полугудрон*. Применяя глубокую обработку гудронов и полугудронов серной кислотой и очистку отбеливающими глинами, из них получают высоковязкие *остаточные* масла (главным образом авиационные).

**Деструктивные (химические) методы переработки нефти.** При прямой перегонке выход светлых фракций зависит от природы нефти и составляет, в частности, для бензинов не более 9...12 %, редко 20 %. Повышение спроса на бензин вызвало необходимость увеличения его производства, что оказалось возможным благодаря применению деструктивных методов переработки. Деструктивный метод или процесс расщепления высокомолекулярных фракций на фракции с меньшей молекулярной

массой получил название *крекинг-процесса*. Использование этого процесса позволяет увеличить выход бензиновых фракций из нефти до 50...60 %.

Крекинг-процесс, протекающий под действием теплоты, называется *термическим* крекингом, а под действием теплоты и в присутствии катализатора — *каталитическим*.

Основными факторами термического крекинга являются температура, давление, время процесса и состав сырья. Например, если при 400°C для получения 30 % бензина из мазута необходимо около 12 ч, то при нагревании до 500°C время процесса составляет лишь 30 с. Наиболее желательным сырьем для крекинга являются высокомолекулярные *n*-парафины. Непредельные углеводороды обладают большей стойкостью к реакциям расщепления. При крекинге нафтеновых углеводородов происходит отщепление и расщепление боковых цепей; крекинг ароматических углеводородов сопровождается разрывом колец. В результате крекинг-процесса происходят не только реакции расщепления молекул, но и разнообразные вторичные реакции, при которых получаются высокомолекулярные продукты уплотнения.

В состав крекинг-бензинов входит большое количество непредельных углеводородов, в то время как в бензинах прямой перегонки нефти их почти нет. Вследствие этого крекинг-бензины весьма нестойки при хранении. Для повышения стабильности в них добавляют специальные вещества-антиокислители, называемые *стабилизаторами*. В качестве антиокислителей применяют нафтол, фенольные фракции древесной смолы (240...310°C), параоксидифениламин, которые добавляют к топливу в количестве сотых или тысячных долей процента.

Если крекинг-процесс осуществляется при давлении 2...5 МПа и температуре 480...500°C, он называется *жидкофазным* крекингом, а при давлении 0,2...0,6 МПа и температуре 520...550°C и выше — *парофазным*. При парофазном процессе бензины более насыщены непредельными углеводородами и выход жидкого топлива ниже в сравнении с жидкофазным.

Каталитический крекинг по сравнению с термическим — более совершенный технологический процесс, так как часть образующихся непредельных углеводородов превращается в предельные, которые, в свою очередь, переходят в изомерную форму. Вследствие этого качество бензинов каталитического крекинга более высокое. Ката-

лизаторами служат алюмосиликаты и другие вещества.

При каталитическом крекинге с однократным пропуском сырья через установку выход автомобильных бензинов составляет около 40...50 %, фракций дизельного топлива — 30...40 % и газа до 10...15 %.

К разновидностям крекинг-процесса относятся: *риформинг*, применяемый для улучшения качества нефтепродуктов путем понижения молекулярной массы углеводородов; *деструктивная гидрогенизация* — процесс, протекающий в присутствии водорода и катализатора при давлении порядка 20...30 МПа, в результате чего происходит насыщение водородом продуктов расщепления; *пиролиз*, протекающий при температуре около 700 °С, особенность которого — образование ароматических углеводородов; *гидроформинг* — один из видов каталитического крекинга, при котором происходит высокая ароматизация углеводородов (этот процесс протекает при температуре 480...530 °С, давлении 2...3 МПа в присутствии водорода и катализатора — оксидов молибдена, ванадия, хрома, нанесенных на оксиды алюминия, магния или другого вещества; при этом процессе получают бензины высокого качества).

Путем выделения из природного газа и газов крекинга легких бензиновых углеводородов с последующим их сжижением получают газовый бензин. Перед использованием его подвергают стабилизации с целью удаления летучих углеводородов. Газовый бензин находит применение в качестве пускового топлива или вводится как высококачественная добавка к бензинам прямой перегонки и крекинг-бензинам.

## **2.4. Получение жидкого топлива из ненефтяного сырья**

Бурное развитие двигателестроения вызвало необходимость расширения сырьевой базы для получения жидкого топлива и смазочных масел. Благодаря достижениям науки теперь сырьем для получения жидкого топлива могут служить угли, сланцы, торфы, 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); де-

структивная гидрогенизация; синтез газов; получение спиртов и др.

**Термическая переработка для получения смол.** При такой переработке твердое горючее нагревают без доступа воздуха. Процесс, протекающий при температуре 500...550 °С, называется *полукоксованием*. Конечными продуктами являются полукокс, газы и смола полукоксовая. Выход смолы, например из бурых углей, составляет около 12...22 %.

Смолы подвергают фракционной перегонке, аналогично процессу перегонки нефти. При этом получают бензина 18...22 %, керосина 20...25 % и мазута 50...60 %. Последний в дальнейшем используют как сырье для крекинг-процесса, в результате чего повышается выход светлых видов топлива.

Если уголь нагревают без доступа воздуха при температуре выше 550 °С, процесс называется *коксованием*. Его применяют для получения металлургического кокса, а побочный продукт — каменноугольную смолу — используют как ценнейшее сырье для получения различных веществ.

**Деструктивная гидрогенизация** заключается в расщеплении соединений исходного сырья (угля, нефти, остатка и др.) и гидрирования их с целью присоединения водорода для получения смеси углеводородов. Для процесса деструктивной переработки состав исходного сырья выбирают так, чтобы иметь оптимальное соотношение между углеродом и водородом.

Перед процессом деструктивной гидрогенизации уголь измельчают в порошок, а затем смешивают со смолой или остатком нефти. Полученную пасту вводят в реакторы, в которых находится водород и специальные катализаторы (оксиды молибдена, железа и др.). При температуре 480...500 °С и давлении 20...30 МПа уголь (углерод) насыщается водородом и сжижается с образованием углеводородов. Полученную жидкую массу направляют на фракционную перегонку для разделения на топливные и масляные фракции.

При гидрогенизации угля выход бензина доходит до 60 %, газообразных продуктов до 30 % (при гидрогенизации жидкого нефтяного сырья — соответственно до 73...79 % и 20...24 %).

Расход водорода равен 8...10 % от органической массы перерабатываемого сырья. Получаемое топливо со-

держит 1...5 % непредельных углеводородов, остальное составляют парафиновые, нафтеновые и ароматические углеводороды.

**Синтез газов** основан на получении различных углеводородов путем взаимодействия оксида углерода (II) CO с водородом при повышенном давлении и в присутствии катализаторов.

Процесс синтезирования проводится при атмосферном, а иногда и более высоком (10...12 МПа) давлении в специальных реакторах, загруженных катализатором, при температуре 180...210 °С.

В результате синтеза газов получается бензин, газообразная фракция и конденсатное масло. Выход бензина составляет 40.45 %; дизельного топлива 15...20 % и тяжелой фракции 10...17 %. В этих топливах преобладают парафиновые углеводороды, в меньшем количестве присутствуют непредельные; ароматических углеводородов содержится 3.5 %. Синтез-топливо используют главным образом в смеси с топливными фракциями, полученными при прямой перегонке нефти.

**Спирты** — этиловый и метиловый — могут служить заменителями бензина. Они обладают высоким октановым числом (90...94 ед. по исследовательскому методу), имеют большую, чем у бензинов, скрытую теплоту испарения, что снижает тепловую напряженность деталей двигателя, но одновременно затрудняет пуск двигателя в холодную погоду. Из-за значительно меньшей теплотворной способности спиртов их расход увеличивается, однако высокая полнота сгорания спирта обуславливает значительно меньшее выделение оксидов азота и нагароотложение. 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 %.

## 2.5. 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, называемые *синтетическими*, получают путем синтезирования определенных групп углеводородов с введением ряда специальных соединений. Синтетические

масла по своему составу более однородны и содержат преимущественно парафиновые углеводороды, что обуславливает их высокие эксплуатационные качества.

Наиболее широкое распространение получили *полисилоксановые* масла, которые называются также *силиконами*. Они представляют собой полимерные кремнийорганические соединения. Эти масла обладают устойчивостью к воздействию высоких температур, низкой температурой застывания и хорошими антикоррозионными свойствами, мало изменяют вязкость при колебаниях температуры. Вместе с тем смазывающая способность у них по сравнению с нефтяными маслами несколько хуже. Однако улучшить это свойство можно путем добавления соответствующих присадок. По внешнему виду силиконы представляют собой бесцветные прозрачные маслянистые жидкости, которые хорошо растворяются в углеводородах, но не растворяются в спиртах.

Другой группой синтетических масел, представляющих собой продукты конденсации двухатомных спиртов, являются *полиалкиленгликоли*. Эти масла не образуют отложений на нагретых деталях, обладают хорошей смазывающей способностью и вязкостными свойствами, а также низкой температурой застывания (до  $-65^{\circ}\text{C}$ ) и т. д. Применение таких масел ограничено их высокой стоимостью.

Для работы в агрессивных средах, а также в условиях высоких температур изготавливают *фторуглеродные* и *хлоруглеродные* масла. Недостаток этих масел — резкое возрастание вязкости при понижении температуры, поэтому их используют главным образом для изготовления специальных пластичных смазок и жидкостей для гидросистем.

## 2.6. Способы очистки топлива

Для придания топливу необходимых эксплуатационных свойств его подвергают очистке с целью удаления вредных компонентов и повышения стабильности.

Методы очистки подразделяют на *химические*, при которых нежелательные соединения топлива вступают в химические реакции с реагентом, и *физические*, при которых топливо очищают путем растворения нежелательных соединений или их адсорбции на поверхностно-активных веществах.

К химическим способам относится очистка сернокислотная, щелочная, плюмбитами и хлоридами металлов, гидрогенизационная и т. д., к физическим — очистка селективными растворителями и различными адсорбентами.

**Сернокислотная очистка.** Сущность очистки топлива серной кислотой заключается в растворении различных сернистых соединений (меркаптанов, сульфидов, тиофанов, кроме свободной серы). Полученный раствор называется *кислым гудроном*. При этом методе очистки серная кислота не вступает в реакцию с парафиновыми, ароматическими и нафтеновыми углеводородами. Непредельные углеводороды реагируют с серной кислотой, поэтому топливо термического крекинга с большим содержанием непредельных углеводородов очищают плюмбитами и хлоридами металлов.

После обработки серной кислотой для удаления органических кислот, кислых эфиров, сульфокислот и остатков кислого гудрона очищаемое топливо обрабатывают водным раствором щелочи NaOH. Образующиеся при этом соли находятся в водном растворе щелочи, который отстаивают и сливают. Для полного удаления остатков солей топливо промывают водой и отстаивают.

**Гидрогенизационная очистка.** Этот метод является наиболее эффективным способом очистки топлива от сернистых соединений и других вредных примесей. Очистку проводят в присутствии водорода и катализаторов (смесей оксидов хрома и молибдена, кобальта и молибдена) при давлении 1...4 МПа и температуре 375...415 °С. Сернистые соединения в этих условиях под воздействием водорода переходят в газообразные продукты, которые затем легко удаляются. При очистке, например, дизельного топлива с исходным содержанием сернистых соединений 1...1,3 % выход товарного топлива составляет 97...98 % с конечным содержанием сернистых соединений 0,02...0,06 %.

**Очистка отбеливающими землями (адсорбентами).** Метод основан на явлении адсорбции, т. е. избирательном поглощении определенных соединений, находящихся в очищаемом продукте. Адсорбентами служат алюмосиликаты. Их применяют при очистке бензинов термического крекинга, содержащих значительное количество непредельных углеводородов. При очистке пары топлива пропускают через определенный слой отбеливающей зем-

ли. Расход адсорбента составляет 1...2 % от массы топлива. Исследованиями Л. Г. Гурвича, академика С. В. Лебедева и других установлено, что отбеливающие земли действуют также каталитически, вызывая реакции полимеризации ненасыщенных углеводородов и частично реакции изомеризации.

## 2.7. Способы очистки смазочных масел

Масляные дистилляты после перегонки мазутов содержат целый ряд нежелательных веществ, таких, как смолисто-асфальтовые, органические кислоты, легко окисляющиеся и полимеризующиеся непредельные углеводороды и т. п., резко снижающих качество смазочных масел.

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

**Кислотно-щелочная очистка** аналогична очистке топлива, но в данном случае расходуют больше серной кислоты (3...6 % для дистиллятных масел и 7...10 % для остаточных). Смолистые вещества масляного дистиллята, взаимодействуя с серной кислотой, частично растворяются, а частично уплотняются с образованием асфальтенов, которые переходят в кислый гудрон. После отстаивания и отделения кислого гудрона масло обрабатывают водным раствором щелочи NaOH. При этом нейтрализуются органические кислоты и остатки серной кислоты. Затем масло промывают водой для растворения и удаления солей. В завершение его просушивают горячим воздухом.

**Кислотно-контактная очистка** отбеливающими глинами заключается в том, что после очистки масла серной кислотой оно поступает не на щелочную, а на контактную очистку отбеливающими глинами. При этом из масла адсорбируются нежелательные полярно-активные соединения, в том числе органические и сульфокислоты, остатки серной кислоты, кислого гудрона и т. д.

Очистка отбеливающими глинами может быть *контактной*, когда глину непосредственно перемешивают с очищаемым маслом, и *перколяционной*, при которой масло пропускают через слой гранулированного адсорбента при температуре 20...100 °C (в зависимости от вязкости).



В качестве отбеливающих глин применяют природные — гумбрин, зикеевскую землю и другие, и искусственные — силикагель. Количество адсорбента при очистке равно 2...5 %.

**Селективная очистка** предусматривает подбор специальных селективных (избирательных) растворителей, которые, не воздействуя на основные углеводороды масла, растворяют нежелательные компоненты. При последующем отстаивании смесь расслаивается на *рафинатную* часть, состоящую только из очищенного масла, и на *экстрактную*, представляющую собой смесь растворителя и вредных примесей. Экстрактную часть перегоняют; отогнанный растворитель может быть использован повторно.

На качество процесса очистки оказывают большое влияние температура и количество взятого растворителя. Селективными растворителями служат фурфул (150...400 % от массы очищаемого масла), фенол (100...200 % от массы масла), нитробензол, технический пропан и др. Процесс проводят при температуре 50...120 °С.

**Деасфальтизация** применяется для дистиллятных масел с высоким содержанием смолисто-асфальтовых веществ, затрудняющих серно-кислотную или селективную очистку. При деасфальтизации используют специальные растворители, в частности жидкий пропан. Под действием растворителя смолисто-асфальтовые вещества переходят в осадок, который после отстоя удаляют. Поскольку пропан кипит при низкой температуре, деасфальтизацию проводят при давлении 2,5...4 МПа и температуре 60...85 °С. Соотношение пропана и очищаемого масла составляет от 5:1 до 10:1 по объему. После деасфальтизации масляный дистиллят поступает на основную очистку.

**Депарафинизация** проводится для масляных дистиллятов, получаемых из парафинистых нефтей. При этом процессе из масла удаляются углеводороды, склонные к кристаллизации при понижении температуры. Процесс основан на том, что парафины и церезины значительно хуже растворяются в ряде легких растворителей, чем основные углеводороды масла, особенно при низкой температуре.

Очищаемое масло смешивают с растворителем (метилэтилкетон, ацетон с бензолом, дихлорэтан с бензином и др.), полученную смесь нагревают до температуры, на

15...20°C превышающей температуру полного растворения парафинов и церезинов в смеси. Затем раствор постепенно охлаждают и на высокооборотных центрифугах или специальных фильтрах разделяют на *депарафинированное* масло и *петролятум* (смесь растворителя и твердых углеводородов). Депарафинизация является завершающей частью процесса очистки масла.

## 2.8. Общие физико-химические показатели нефтепродуктов

Топливо, смазочные материалы и технические жидкости должны обеспечить надежную и долговечную работу всех механизмов. Для этого качество применяемых нефтепродуктов, характеризующееся физико-химическими показателями, должно соответствовать требованиям ГОСТ.

Ниже описаны лишь общие физико-химические показатели нефтепродуктов, другие будут рассмотрены в соответствующих разделах.

**Плотность нефтепродуктов** — это масса вещества, содержащаяся в единице объема. Плотность углеводородов, входящих в состав нефтепродуктов, неодинакова. Так, парафиновые углеводороды обладают меньшей плотностью, чем ароматические, а нафтеновые занимают промежуточное положение. Более легкокипящие фракции углеводородов имеют меньшую плотность, чем высококипящие. Значит, по плотности можно судить о виде нефтепродукта, а для одинаковых нефтепродуктов — о преобладании в них тех или иных групп углеводородов. В практических ус-

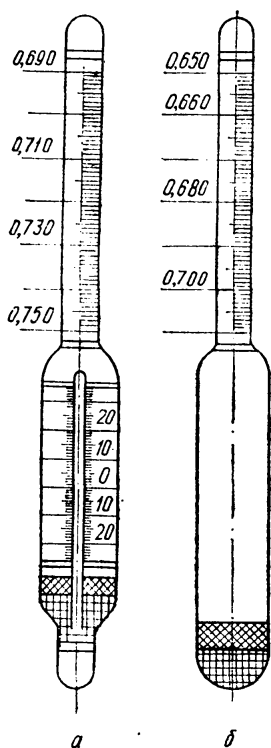


Рис. 4. Нефтеденсиметры (ареометры):  
а — с термометром; б — без термометра.

ловиях определяют обычно не абсолютную, а *относительную* плотность. Она представляет собой отношение плотности нефтепродукта при 20 °С к плотности воды в том же объеме при 4 °С и обозначается  $\gamma_4^{20}$ . Поскольку плотность воды при 4 °С равна 1 г/см<sup>3</sup>, то численные значения абсолютной и относительной плотностей будут одинаковы.

Плотность определяют в соответствии с ГОСТ 3900—47 при помощи нефтенсиметра (ареометра), который может быть с термометром или без него (рис. 4).

В стандартах предусмотрено определение относительной плотности  $\gamma_4^{20}$ , но практически температура, при которой определяется плотность, может отличаться от 20 °С. В этих случаях полученное значение плотности  $\gamma_4^t$  при  $t$  °С приводят к стандартному значению по формуле

$$\gamma_4^{20} = \gamma_4^t + \alpha (t - 20), \quad (23)$$

где  $\gamma_4^t$  — температурная поправка на 1 °С, г/(см<sup>3</sup>·град) (для бензинов 0,00087, для дизельного топлива — 0,00076 и смазочных масел — 0,00064).

Для определения плотности вязких жидкостей, когда невозможен непосредственный отсчет по нефтенсиметру, готовят смесь исследуемой жидкости с растворителем известной плотности в определенном соотношении. Устанавливают плотность смеси, а затем пересчитывают по формуле

$$X = 3D_{см} - 2d_{раст}, \quad (24)$$

где  $X$  — плотность вязкой жидкости, г/см<sup>3</sup>;  $D_{см}$  — плотность смеси, г/см<sup>3</sup>;  $d_{раст}$  — плотность растворителя, г/см<sup>3</sup>. (В данном случае на 1 объем вязкой жидкости взято 2 объема растворителя, в сумме 3 части смеси.)

В таблице 5 приведены значения плотностей отдельных видов нефтепродуктов.

**Вязкость нефтепродуктов** — это свойство частиц жидкости оказывать сопротивление взаимному перемещению под действием внешней силы. Вязкость зависит главным образом от температуры и химического состава нефтепродуктов. Различают *абсолютную* (динамическую, кинематическую, характеризующую внутреннее трение жидкости) и *условную* вязкость.

Динамическую вязкость  $\eta$  измеряют в Н·с/м<sup>2</sup> или в пуазах (П), размерность которого г/(см·с).

## 5. Плотность нефтепродуктов

| Вид нефтепродукта        | Плотность     |
|--------------------------|---------------|
| Бензин:                  |               |
| авиационный              | 0,700...0,725 |
| автомобильный            | 0,735...0,750 |
| Тракторный керосин       | 0,820...0,835 |
| Дизельное топливо        | 0,835...0,860 |
| Масло:                   |               |
| моторное (дизельное)     | 0,890...0,920 |
| авиационное              | 0,880...0,905 |
| моторное (карбюраторное) | 0,910...0,930 |

Динамическая вязкость является коэффициентом внутреннего трения; кинематическая вязкость представляет собой удельный коэффициент внутреннего трения.

Кинематическая вязкость  $\nu$  равна отношению динамической вязкости  $\eta$  к плотности жидкости  $\gamma$  при одинаковых температурах

$$\nu = \eta / \gamma. \quad (25)$$

Кинематическую вязкость измеряют в  $\text{м}^2/\text{с}$  или в стоксах (С), размерность которого  $\text{см}^2/\text{с}$ .

Кинематическая вязкость нефтепродуктов определяется по ГОСТ 33—82 в капиллярных вискозиметрах ВПЖ-1, ВПЖ-2 и Пинкевича. Вязкость прозрачных жидкостей при положительных температурах находят с помощью вискозиметров ВПЖ-1. Вискозиметры ВПЖ-2 и Пинкевича применяют для различных температур и жидкостей. Кинематическая вязкость топлива, предназначенного для применения в высокооборотных дизелях, нормируется при  $20^\circ\text{C}$ , низкооборотных — при  $50^\circ\text{C}$ , моторных масел — при  $100^\circ\text{C}$ .

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

Вискозиметр Пинкевича (рис. 5) состоит из сообщающихся трубок, различающихся диаметром. Для каждого вискозиметра указывается его постоянная  $C$ , представляющая собой отношение вязкости  $\nu_{20}^{\text{к}}$  калибровочной жидкости при  $20^\circ\text{C}$  ко времени  $\tau_{20}^{\text{к}}$  протекания этой жидкости под действием собственной массы также при

20°С из объема 2 от метки *a* до метки *b* через капилляр 3 в расширение 4:

$$C = v_{20}^k / \tau_{20}^k \quad (26)$$

Вязкость нефтепродукта при температуре *t*°С находят по формуле:

$$v = C \tau_t, \quad (27)$$

где *C* — постоянная вискозиметра;  $\tau_t$  — время, за которое нефтепродукт перетекает от метки *a* к *b*, с.

Объем нефтепродукта для вискозиметра берут равным сумме объемов расширений 1 и 2.

Для сравнения показателей вязкости различных жидкостей на практике в соответствии с ГОСТ 6258—52 пользуются определением ус-

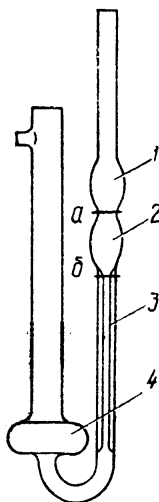


Рис. 5. Капиллярный вискозиметр Пинкевича:

1, 2 и 4 — расширения; 3 — капилляр.

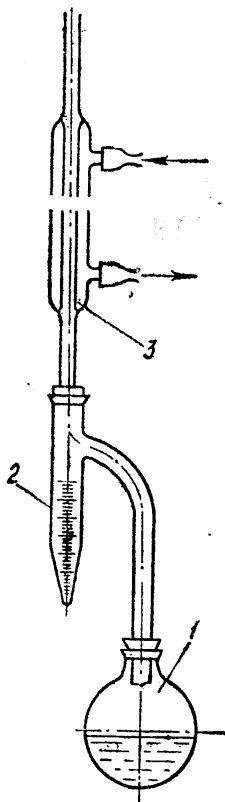


Рис. 6. Прибор для определения содержания воды в нефтепродуктах:

1 — колба; 2 — ловушка; 3 — холодильник.

ловной вязкости. За условную вязкость принимают отношение времени истечения 200 мл испытуемой жидкости при температуре  $t^{\circ}\text{C}$  из вискозиметра типа ВУ ко времени истечения такого же объема дистиллированной воды при  $20^{\circ}\text{C}$ . Численное значение этого отношения характеризует условную вязкость (в условных градусах) данной жидкости при  $t^{\circ}\text{C}$ .

Для перехода от условной вязкости к кинематической применяют следующую формулу:

$$\nu_t = 10^{-4} \left( 0,0731 \text{ВУ}_t - \frac{0,0631}{\text{ВУ}_t} \right). \quad (28)$$

Содержание воды в нефтепродуктах определяют по ГОСТ 2477—65 в приборе, показанном на рисунке 6. Для этого, например, берут 50 мл масла и растворяют его таким же количеством бензина, температура кипения которого близка к температуре кипения воды.

Полученную смесь заливают в колбу 1 прибора и помещают в нее несколько кусочков пористого вещества (пемзы) для выравнивания температуры кипения. При нагревании бензин и вода, содержащиеся в испытуемом масле, одновременно испаряются. Образующиеся пары, поднимаясь вверх, конденсируются в холодильнике 3 и в жидком виде стекают в градуированную ловушку 2. Поскольку плотность воды выше плотности растворителя, то смесь расслаивается: снизу находится вода, выше — растворитель. Процесс считается законченным, когда уровень воды в отстойнике остается постоянным в течение 2...3 мин. По градуировке отстойника определяют количество воды, которое затем пересчитывают в процентное содержание.

### **Глава 3.      ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА и ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВА для карбюраторных двигателей (бензинов)**

#### **3.1. Требования, предъявляемые к карбюраторному топливу**

Двигатели внутреннего сгорания представляют собой устройства, в которых химическая энергия топлива при сгорании преобразуется вначале в тепловую энергию, а затем в механическую работу.

У поршневых двигателей в полезную работу превращается 20...42 % теплоты, остальное количество затрачивается непроизводительно. Составляющими потерь являются: нагрев охлаждающей жидкости и деталей двигателя, унос теплоты с отработавшими газами в атмосферу, передача теплоты от двигателя непосредственно окружающей среде, затраты теплоты на преодоление трения, привод вспомогательных механизмов двигателя, неполное сгорание топлива и т. д.

Работы по повышению экономичности поршневых двигателей внутреннего сгорания проводятся в направлении усовершенствования двигателей и режима их эксплуатации, изыскания новых видов топлива и т. д.

В современных двигателях используют бензин, дизельное и газообразное топливо (природный, генераторный, сжиженный и сжатый газы); существуют также двигатели, работающие на нескольких видах жидкого топлива.

Важнейший фактор, от которого зависят технико-экономические показатели двигателя,— это качество применяемого топлива. Поэтому топливо должно обладать определенными эксплуатационными свойствами, которые регламентируются численными значениями его физико-химических показателей, фиксируемых в соответствующих ГОСТ. По этим характеристикам можно устанавливать вид топлива, обеспечение им соответствующего смесеобразования, характер его сгорания, устойчивость к нагарообразованию, склонность к коррозионному воздействию, возможность хранения без нарушения первоначальных качеств и т. п.

Для обеспечения надежной, экономичной и долговечной работы двигателей внутреннего сгорания топливо должно отвечать следующим требованиям:

- иметь высокую теплоту сгорания;

- обладать хорошими смесеобразующими свойствами, обуславливающими легкий пуск двигателя, плавный переход с одного режима работы на другой и устойчивую работу двигателя при эксплуатации в различных климатических условиях;

- не детонировать при всех эксплуатационных режимах;

- не образовывать нагароотложений, приводящих к перегреву и повышению износов двигателя;

- не вызывать коррозии деталей как при непосред-

венном контакте с ними, так и от образующихся продуктов сгорания;

быть стабильным при транспортировке и хранении, т. е. не изменять своих первоначальных свойств;

иметь низкую температуру застывания, чтобы обеспечивать хорошую прокачиваемость при минусовой температуре окружающего воздуха;

не оказывать вредного воздействия на человека и окружающую среду.

Чтобы соответствовать этим требованиям, карбюраторное топливо должно иметь определенные углеводородный и фракционный составы и высокую испаряемость, от которых прежде всего зависит качество смесеобразования, и противодетонационные свойства. Оптимальное протекание процессов смесеобразования и сгорания топлива в двигателе зависит от качества применяемого топлива и совершенства системы питания.

### 3.2. Условия сгорания топлива в двигателе

Приготовление горючей смеси и поступление ее в камеру сгорания двигателя происходит по следующей схеме (рис. 7). Топливо из бака 1 проходит через фильтр-отстойник 2 для удаления из него случайно попавших механических примесей и бензонасосом 3 по-

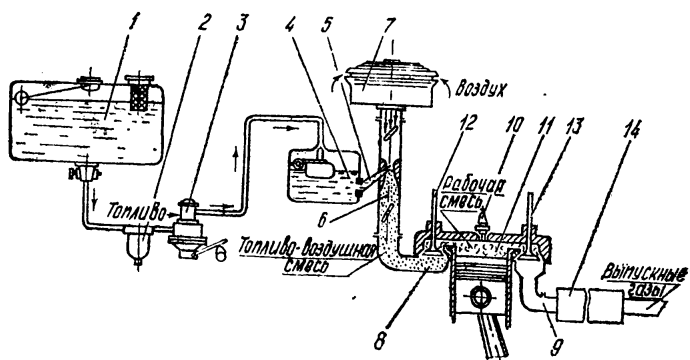


Рис. 7. Получение рабочей смеси в карбюраторном двигателе:

1 — топливный бак; 2 — фильтр-отстойник; 3 — бензонасос; 4 — поплавковая камера; 5 — главный жиклер; 6 — смесеобразующая камера; 7 — воздухоочиститель; 8 — впускной трубопровод; 9 — выпускной трубопровод; 10 — искровая свеча зажигания; 11 — камера сгорания; 12 — впускной клапан; 13 — выпускной клапан; 14 — глушитель.



дается в поплавковую камеру 4 карбюратора. В смесеобразующей камере 6 топливо смешивается с воздухом, поступающим из воздухоочистителя 7. Через впускные трубопроводы 8 топливовоздушная смесь поступает в камеру сгорания 11. Для удаления отработавших газов служат выпускные клапаны 13 газораспределительного механизма и глушитель 14 с трубой.

Рабочий процесс в четырехтактном карбюраторном двигателе осуществляется так. В первом такте — такте всасывания, при котором поршень движется от верхней мертвой точки (ВМТ) к нижней (НМТ) и впускной клапан открыт, а выпускной закрыт, — в смесеобразующей камере 6 карбюратора создается разрежение. Вследствие этого воздух поступает из воздухоочистителя 7 в смесеобразующую камеру 6 карбюратора и захватывает топливо из главного жиклера 5. Оно перемешивается во впускном трубопроводе с движущимся воздухом и испаряется, образуя *топливовоздушную смесь*. Эта смесь поступает в камеру сгорания 11 двигателя, где дополнительно смешивается с остатками продуктов сгорания топлива от предыдущего цикла. Получается *рабочая смесь*. При втором такте, такте сжатия, когда поршень движется от НМТ к ВМТ, рабочая смесь дополнительно перемешивается, сжимается и топливо доиспаряется.

В зависимости от степени сжатия  $\epsilon$  давление в камере сгорания повышается до 1...1,2 МПа, температура смеси возрастает до 260...370 °С. При третьем такте, такте рабочего хода, приготовленная смесь воспламеняется от искры свечи зажигания. Выделившаяся при сгорании теплота преобразуется в механическую работу с помощью кривошипно-шатунного механизма. При последнем, четвертом такте, такте выпуска, продукты сгорания топлива в виде выпускных газов удаляются из цилиндра и камеры сгорания в атмосферу. Затем процесс повторяется.

### **3.3. Теплота сгорания топливовоздушной смеси**

Количество теплоты, выделяемое при сгорании топливовоздушной смеси, зависит от теплоты сгорания топлива и состава смеси. Чем выше теплота сгорания, тем меньше затраты топлива на единицу мощности или работы.

Теплоту сгорания топливовоздушной смеси  $Q_{\text{ТВС}}$  подсчитывают по формуле

$$Q_{\text{ТВС}} = \frac{Q_{\text{н}} \eta_{\text{т}}}{1 + \alpha L_{\text{в}}^{\text{т}}}, \quad (29)$$

где  $Q_{\text{н}}$  — низшая удельная теплота сгорания топлива, кДж/кг;  $\eta_{\text{т}}$  — коэффициент полноты сгорания топлива;  $\alpha$  — коэффициент избытка воздуха;  $L_{\text{в}}^{\text{т}}$  — теоретическое количество воздуха, необходимого для полного сгорания 1 кг топлива, кг.

При определении теплоты сгорания рабочей смеси делают поправку на коэффициент остаточных газов в камере сгорания, но обычно для практических расчетов понятия топливовоздушной и рабочей смеси отождествляют.

В таблице 6 приведена теплота сгорания стехиометрической (нормальной) топливовоздушной смеси для

**6. Теплота сгорания различных видов топлива и топливовоздушных смесей**

| Топливо               | Теплота сгорания<br>кДж/кг |                                  | Расчетное<br>количество<br>воздуха,<br>кг/кг |
|-----------------------|----------------------------|----------------------------------|----------------------------------------------|
|                       | топлива                    | топливовоз-<br>душной сме-<br>си |                                              |
| Бензин:               |                            |                                  |                                              |
| авиационный           | 44 380                     | 2788                             | 14,9                                         |
| автомобильный         | 43 961                     | 2780                             | 14,8                                         |
| Керосин               | 42 915                     | 2767                             | 14,5                                         |
| Дизельное             | 42 705                     | 2771                             | 14,4                                         |
| Этиловый спирт (96 %) | 25 958                     | 2763                             | 8,4                                          |
| Бензол                | 39 356                     | 2771                             | 13,2                                         |

различных видов топлива. Из таблицы видно, что с увеличением теплоты сгорания потребность воздуха возрастает.

Воспламенение топливовоздушной смеси зависит от ее состава и вида топлива. Например, верхний предел воспламеняемости бензиновоздушной смеси наступает при  $\alpha = 0,45 \dots 0,5$ , нижний — при  $\alpha = 1,35 \dots 1,4$ . На воспламеняемость смеси оказывают влияние температура и давление: с возрастанием их значений *пределы воспламеняемости* увеличиваются.

За *верхний предел* воспламеняемости 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 продолжение обеднения делает ее невоспламеняемой.

В таблице 7 приведены значения пределов воспламеняемости некоторых видов горючих веществ при нормальном давлении.

#### 7. Воспламеняемость горючих веществ

| Вещество            | Концентрация горючего вещества в воздухе, % по объему, для пределов воспламеняемости |          |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|----------|
|                     | нижнего                                                                              | верхнего |
| Бензин              | 1,7                                                                                  | 5,4      |
| Керосин             | 2,4                                                                                  | 6,0      |
| Бензол              | 1,4                                                                                  | 5,7      |
| Спирт:              |                                                                                      |          |
| метиловый           | 5,5                                                                                  | 21,0     |
| этиловый            | 4,0                                                                                  | 13,7     |
| Скисл углерода (II) | 16,4                                                                                 | 75,1     |
| Водород             | 9,4                                                                                  | 66,5     |

При расширении пределов устойчивого горения бедной рабочей смеси повышается экономичность двигателя, так как возрастают значения индикаторного к. п. д. из-за снижения температуры продуктов сгорания и степени их диссоциации, уменьшения общей теплоотдачи и т. д.

Применение форкамерно-факельного зажигания, разработанного А. С. Соколик, А. Н. Воиновым и Л. А. Гуссаком, позволяет расширить пределы использования бедных смесей. При таком зажигании обедненная рабочая смесь воспламеняется от факела, который выбрасывается из форкамеры, где воспламеняется от искровой свечи зажигания и сгорает нормальная смесь. В результате топливо сгорает более полно, уменьшается содержание вредных веществ в отработавших газах и расход топлива снижается на 10...18 %.

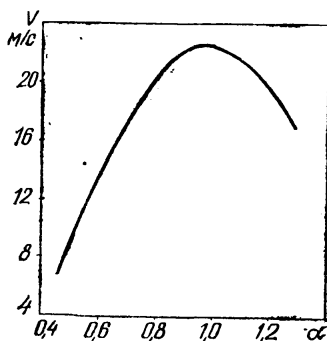


Рис. 8. Влияние состава топливовоздушной смеси на скорость сгорания,

В обычных условиях двигатели эксплуатируют на слегка обедненной топливовоздушной смеси ( $\alpha=1,05...1,15$ ), что обеспечивает наиболее экономичный режим. Если на короткое время требуется большая мощность двигателя, прибегают к некоторому переобогащению смеси ( $\alpha=0,9...0,95$ ), хотя в этом случае из-за неполноты сгорания топливо расходуется неэкономно.

Полнота сгорания топлива зависит от скорости распространения фронта пламени. Эта скорость возрастает при повышении давления и температуры рабочей смеси, увеличении частоты вращения коленчатого вала и т. п. Наиболее благоприятный состав рабочей смеси соответствует  $\alpha=0,93...0,95$  (рис. 8). При более обогащенной или обедненной смеси скорость распространения фронта пламени значительно снижается. В первом случае это вызвано тем, что кислорода недостаточно, во втором — тем, что часть теплоты расходуется на нагревание избыточного количества воздуха.

### 3.4. Смесеобразующие свойства

Полнота сгорания топлива определяется качеством топливовоздушной смеси. Оно зависит, с одной стороны, от конструкции карбюратора и топливopодающей системы, с другой — от физико-химических свойств применяемого топлива. Основное из них — *испаряемость*, которая характеризуется фракционным составом топлива и давлением его насыщенных паров. Под испаряемостью понимают свойство топлива переходить из жидкого в газообразное состояние. Это свойство в значительной степени обусловлено химическим составом топлива.

В двигателях внутреннего сгорания сгорает топливо, находящееся только в газообразном состоянии. Этому процессу должно предшествовать полное испарение жидкого топлива и высококачественное перемешивание образовавшихся паров с воздухом. Если топливо плохо испаряется, то его неиспарившаяся часть (в виде жидкой фазы) не сгорает. Полнота испарения топлива возрастает при повышении скорости движения воздуха и температуры испарения. Эта температура зависит от начальной температуры поступающего воздуха и от скрытой теплоты испарения топлива. С увеличением молекулярной массы углеводородов в топливе в связи с возрастанием

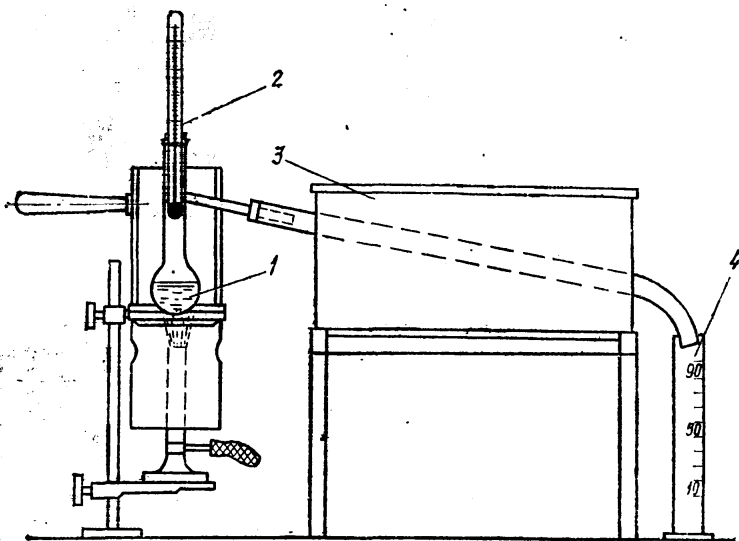


Рис. 9. Прибор для определения фракционного состава топлива:

1 — колба; 2 — термометр; 3 — холодильник; 4 — мерный цилиндр.

их плотности и температуры кипения испаряемость ухудшается.

Испарение различают *статическое*, примером которого является испарение топлива из резервуаров при его хранении, и *динамическое*, которое происходит в условиях относительного перемещения жидкости и воздуха. Последнее имеет место в карбюраторе при образовании топливовоздушной смеси. Испаряемость топлива оценивают его *фракционным составом*, который характеризуется температурными пределами выкипания отдельных частей топлива (фракций). *Фракция* — это часть бензина, выкипающая в определенных температурных пределах.

Фракционный состав определяют по ГОСТ 2177—82 при помощи специального прибора (рис. 9). Для этого в колбу 1 заливают 100 мл исследуемого топлива и нагревают до кипения. Пары топлива поступают в холодильник 3, где конденсируются и далее в виде жидкой фазы поступают в мерный цилиндр 4. При падении первой капли конденсата температуру фиксируют с помощью

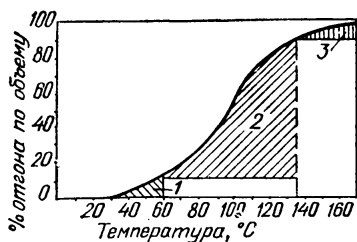


Рис. 10. Кривая фракционной разгонки автомобильного бензина А-72:

1 — пусковые фракции; 2 — рабочие; 3 — концевые или хвостовые фракции.

после достижения своего наивысшего значения температура начинает падать. Остающееся в колбе небольшое количество неперегнанного топлива называется *остатком*. Объем его измеряют отдельно. Разность между взятым объемом топлива (100 мл) и суммой объемов отгона в мерном цилиндре и остатком в колбе представляют *потери*, характеризующие летучесть топлива. По результатам перегонки строят кривую фракционной разгонки испытуемого топлива (рис. 10).

Существующие стандарты на бензины предусматривают определение температуры начала кипения, выкипания 10, 50, 90 % топлива и конца кипения (98; 97,5; 97 %).

Первая пусковая фракция выкипания 10 % топлива характеризует его пусковые качества. Чем ниже температура выкипания этой фракции, тем лучше пуск двигателя. Для бензина зимних сортов необходимо, чтобы 10 % топлива выкипало при температуре не выше 55 °С; летних — не выше 70 °С. Зная температуру выкипания 10 % бензина  $t_{10\%}$ , можно определить минимальную температуру воздуха  $t_b$  (°С), при которой возможен легкий пуск двигателя

$$t_b = 0,5t_{10\%} - 50,5. \quad (30)$$

Для облегчения пуска холодных двигателей при температуре окружающего воздуха ниже —20 °С следует применять специальные приспособления либо предварительно подогревать двигатель или же использовать бензин с более низким значением  $t_{10\%}$ . Легкие пусковые

термометра 2. Этот момент считается *началом кипения* топлива. Затем фиксируют температуру, при которой в мерном цилиндре накапливается 10, 20, 30 % перегоняемого топлива и т. д. Температуру выкипания 98 % (97,5; 97 %) считают температурой *конца кипения* топлива. Она характеризуется наивысшим значением. Процесс перегонки заканчивается, когда по-

фракции топлива нужны главным образом в период пуска и прогрева двигателя, поэтому вид бензина для двигателя выбирают в зависимости от температуры окружающего воздуха.

В летнее время при относительно высокой температуре воздуха под капотом прогретого двигателя наиболее легкие фракции бензина испаряются в топливопроводах, что может привести к образованию *паровых пробок* и нарушению работы двигателя. Во избежание этого рекомендуется применять бензин при температуре окружающего воздуха не выше  $t_b$ , температура выкипания 10 % которого определяется по формуле

$$t_{10\%} \geq 0,5t_b + 46,5. \quad (31)$$

Бензин с максимально допустимым значением  $t_{10\%}$  должен обеспечивать легкий пуск холодного двигателя в зимнее время, а с минимально допустимым — надежную работу прогретого двигателя без образования паровых пробок.

Количество легкокипящих углеводородов в бензинах ограничивается также температурой начала кипения, которая для автомобильных бензинов всех марок должна быть не ниже 35 °С. При таком условии уменьшаются потери легкокипящих углеводородов бензина от испарения при хранении в случае нагревания резервуаров солнцем.

Часть бензина от 10 до 90 % выкипания называют *рабочей фракцией*. Температура ее испарения не должна быть выше 160...180 °С. Чем однороднее углеводородный состав бензина, тем более круто поднимается кривая разгонки в своей средней части. Бензин с таким характером кривой разгонки позволяет двигателю устойчиво и экономично работать на всех эксплуатационных режимах. В соответствии со стандартом рабочую фракцию нормируют по температуре выкипания 50 % бензина.

Температура выкипания 50 % топлива  $t_{50\%}$  для автомобильных бензинов составляет 100...115 °С. Топливо с такой  $t_{50\%}$  обеспечивает после пуска и прогрева плавный перевод двигателя с одного скоростного режима работы на другой. Увеличение этой температуры снижает приемистость двигателя.

Тяжелые углеводороды бензина в интервале от 90 % выкипания до конца кипения представляют собою *концевые*, или *хвостовые*, фракции, которые крайне нежелательны в топливе. Наличие этих фракций приводит к от-

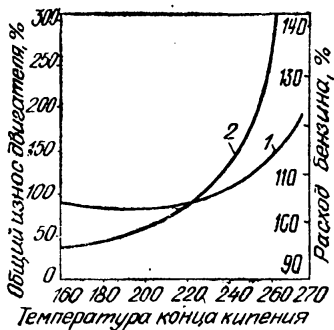


Рис. 11. Влияние температуры конца кипения бензина на его эксплуатационные показатели: 1 — расход бензина; 2 — износ деталей двигателя.

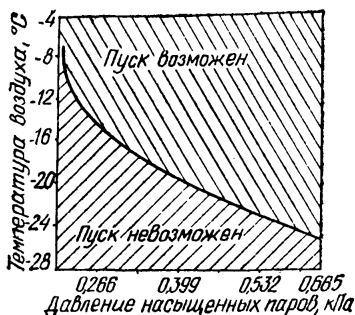


Рис. 12. Зависимость температуры воздуха, при которой возможен пуск двигателя, от давления насыщенных паров бензина.

рицательным явлениям при работе двигателя: неполному сгоранию топлива, повышению износов деталей за счет смывания смазки с гильз цилиндров и разжижения моторного масла в двигателе, увеличению нагарообразования и т. д. Чем меньше интервал температур от точки выкипания 90 % бензина до конца кипения, тем качество его выше. На рисунке 11 представлена зависимость между температурой конца кипения бензина, его расходом (кривая 1) и износом деталей двигателя (кривая 2).

Кроме фракционного состава, испаряемость топлива характеризуется также *давлением насыщенных паров*. Давление, которое развивают пары, находящиеся в условиях равновесного состояния с жидкостью при данной температуре, называется давлением насыщенных паров данной жидкости. С повышением температуры это давление возрастает.

Чем выше давление насыщенных паров топлива, тем лучше его испаряемость и тем меньше теплоты потребуется для его испарения при образовании топливовоздушной смеси. Вместе с тем использование топлива с высоким давлением насыщенных паров также недопустимо, так как это приводит к образованию паровых пробок, снижению наполнения цилиндров и, следовательно, к падению мощности. Поэтому давление насыщенных паров для летних сортов бензинов допускается не выше



0,667 кПа (500 мм рт. ст.), для зимних — 0,667...0,933 кПа (500...700 мм рт. ст.). От значения давления насыщенных паров бензина зависит температура возможного пуска двигателя (рис. 12). Из рисунка видно, что при давлении насыщенных паров ниже 0,332 кПа (250 мм рт. ст.) пусковые свойства бензина резко ухудшаются.

### 3.5. Нормальное и детонационное сгорание

От совершенства процесса горения топлива в цилиндре зависят основные технико-экономические показатели двигателя. Главными факторами, влияющими на этот процесс, являются: химический состав топлива, состав топливовоздушной смеси, давление, температура и время сгорания рабочей смеси.

При *нормальном сгорании* рабочей смеси отдельные ее части воспламеняются и фронт пламени перемещается за счет передачи теплоты посредством теплопроводности и лучеиспускания. В результате сгорания порции смеси давление повышается и перемещает несгоревшую часть смеси впереди фронта пламени (рис. 13). Скорость распространения фронта пламени при нормальном сгорании топлива составляет 25...40 м/с. Эта скорость увеличивается с повышением давления и температуры рабочей смеси. Максимальное значение скорости соответствует коэффициенту избытка воздуха  $\alpha = 0,93...0,95$ ; обогащение или обеднение смеси способствует снижению скорости.

Увеличение частоты вращения коленчатого вала двигателя вызывает усиление вихревых движений рабочей смеси, что приводит к увеличению поверхности фронта пламени. Это обстоятельство очень важно для эксплуатации двигателей, ибо иначе работа двигателя на переменных режимах была бы невозможна.

При нормальном сгорании топлива в цилиндре двигателя давление нарастает плавно (рис. 14, а), однако в результате повышения температуры и давления нормальное сгорание может нарушиться и перейти в *детонационное*, или взрывное, сгорание. При детонационном сгорании скорость распространения фронта пламени нарастает скачкообразно и достигает 1500...2500 м/сек. Для детонационного сгорания топлива характерно появление волн, которые, ударяясь о стенки камеры сгорания и

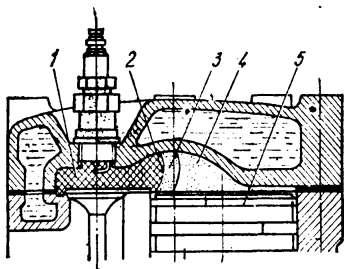


Рис. 13. Горение рабочей смеси в камере сгорания:

1 — сгорающая часть рабочей смеси; 2 — фронт пламени; 3 — зона предпламенного окисления; 4 — несгоревшая часть смеси; 5 — поршень.

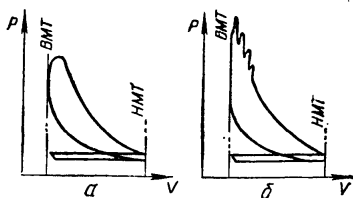


Рис. 14. Индикаторные диаграммы работы двигателя при сгорании топлива:

а — нормальном; б — детонационном.

многократно от них отражаясь, вызывают вибрацию. В результате вибрации возникает характерный металлический стук. На рисунке 14, б видны характерные пики повышения давления, которые являются следствием возникновения ударных волн.

В результате взрывного горения рабочей смеси часть топлива не успевает полностью сгореть, что внешне сопровождается появлением дымного выхлопа. За счет

ударного действия горячих газов на стенки камеры сгорания увеличивается теплоотдача, что приводит к перегреву и, в свою очередь, вызывает снижение мощности. Двигатель при этом работает неуравновешенно, из-за перегрева деталей прогорают поршни и клапаны, пригорают поршневые кольца, резко повышается износ деталей цилиндропоршневой группы и вкладышей подшипников коленчатого вала. На рисунке 15 показано распределение износов по высоте цилиндров для

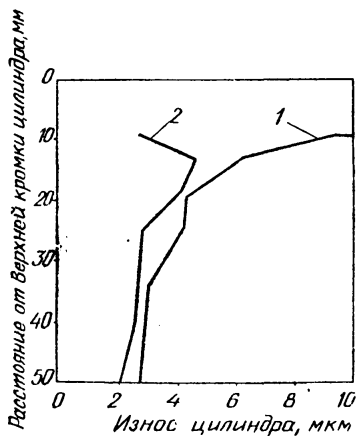


Рис. 15. Радиальный износ цилиндров при работе:

1 — с детонацией; 2 — без детонации.

двигателей, работавших при детонационном сгорании топлива и без детонации [3].

Интенсивность процесса зависит от того, какая часть топлива в смеси сгорает с детонацией. Внешние признаки ее появляются уже при сгорании 5 % смеси; при детонационном сгорании 10...12 % рабочей смеси процесс имеет среднюю интенсивность, а при детонации 18...20 % смеси он носит характер сильного детонационного сгорания. Такая детонация обычно передается на другие цилиндры и может привести к аварийному состоянию двигателя.

Для объяснения процесса детонационного сгорания предложено несколько теорий. Однако общее признание получила теория органических перекисей, в основе которой лежат работы академика А. Н. Баха, развитая затем лауреатом Нобелевской премии академиком Н. Н. Семеновым, а также академиками Я. Б. Зельдовичем и Л. Д. Ландау, профессорами А. С. Соколиком, А. П. Воиновым и другими советскими учеными.

Согласно теории, первичными продуктами окисления углеводородов являются перекисные соединения. В связи с тем, что молекула кислорода при окислении присоединяется к углеводородному радикалу целиком, образуются перекисные соединения типа  $R-O-O-R$  (диалкилперекись) или  $R-O-O-H$  (гидроперекись) и др. По этой теории процесс сгорания рабочей смеси распадается на две фазы. В первой фазе, характеризуемой повышением температуры и давления, происходит предпламенное окисление углеводородов, а во второй фазе протекает сгорание с видимым пламенем.

В процессе предпламенного окисления углеводородов, который начинается уже в такте сжатия, образуются в первую очередь перекисные соединения, количество которых возрастает с повышением температуры и давления рабочей смеси. По теории академика Н. Н. Семенова, реакция образования перекисей носит цепной характер, т. е., начавшись, она самопроизвольно развивается дальше. Наряду с конечными продуктами реакции создаются новые активные центры, которые, в свою очередь, ведут к образованию новых перекисей.

Скорость распространения реакций окисления возрастает во второй фазе, когда топливо воспламеняется и образуется фронт пламени, что является следствием дальнейшего резкого повышения температуры и давле-

ния в несгоревшей части рабочей смеси. По мере сгорания все большей части рабочей смеси температура и давление в камере сгорания продолжают возрастать, что, в свою очередь, увеличивает скорость процесса окисления углеводородов в несгоревшей ее части. При этом количество образующихся перекисных соединений резко увеличивается.

В таких условиях скорость окисления может возрасти настолько, что процесс образования перекисей примет лавинный характер и концентрация их в несгоревшей части рабочей смеси достигнет критического значения. Этот момент и будет сопровождаться взрывным характером сгорания смеси, т. е. детонацией. В этом случае скорость распространения фронта пламени нарастает скачкообразно и превышает скорость звука. Возникающая при этом ударная волна не опережает фронт пламени, а совпадает с ним, образуя усиливающуюся детонационную волну.

При нормальном процессе сгорания рабочей смеси в ней также образуются перекисные соединения, но концентрация их в несгоревшей части смеси так и не достигает критического значения.

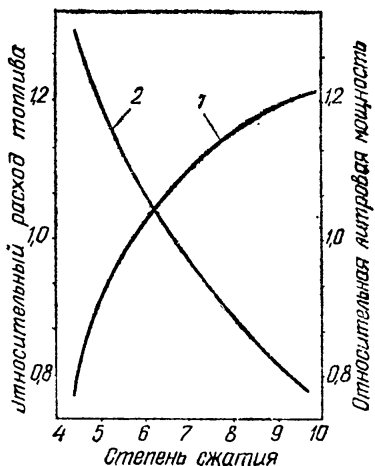
Анализируя сказанное, можно сделать вывод, что наиболее благоприятные условия перехода от нормального сгорания к детонационному создаются при горении последних частей рабочей смеси. Чем большее количество несгоревшей рабочей смеси будет детонировать, тем интенсивнее будет детонация и тяжелее ее последствия.

### **3.6. Влияние конструктивных и эксплуатационных факторов и состава топлива на процесс сгорания**

В карбюраторных двигателях с искровым зажиганием на характер сгорания топлива влияют следующие конструктивные факторы: степень сжатия; форма камеры сгорания; расположение и количество искровых свечей зажигания; размеры гильз цилиндров; материал поршней, головок блока и гильз цилиндров и др.

Одним из путей повышения экономичности двигателей, снижения их удельной массы, увеличения литровой мощности является повышение степени сжатия  $\epsilon$  (рис. 16). Однако беспредельно повышать степень сжатия нельзя, предельное ее значение равно 10...12. Дальнейшее

Рис. 16. Влияние степени сжатия двигателя на его литровую мощность (кривая 1) и расход топлива (кривая 2).



увеличение  $\epsilon$  не приводит к росту термического к. п. д., но при этом значительно возрастает стоимость двигателя и требуется топливо с более высоким октановым числом. Повышение степени сжатия вызывает увеличение давления и температуры в конце такта сжатия, что способствует самовоспламенению топлива.

В результате самовоспламенения в цилиндре двигателя развивается высокое давление, прежде чем поршень достигнет ВМТ. На преодоление этого давления затрачивается значительная часть мощности, что снижает технико-экономические показатели двигателя.

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

Уменьшить детонацию можно также снижением температуры рабочей смеси, что достигается более интенсивным ее охлаждением. Этому способствует более совершенная конструктивная форма камеры сгорания, использование для деталей металла с большей теплопроводностью и т. д. Например, изготовление поршней из алюминия, с более высокой теплопроводностью в сравнении с чугуном, позволяет снизить температуру рабочей смеси и, как следствие этого, уменьшить детонацию.

На характер сгорания рабочей смеси оказывают существенное влияние диаметр поршня, место расположения и число искровых свечей зажигания. Так, увеличение диаметра цилиндра или применение только одной свечи удлиняют путь прохождения фронта пламени. В результате этого возрастает время сгорания рабочей смеси, а в несгоревшей ее части резко повышается дав-

ление, что интенсифицирует возникновение детонации. Условия для нормального сгорания рабочей смеси в этом случае ухудшаются еще и потому, что поверхность охлаждения, приходящаяся на единицу объема камеры сгорания, уменьшается, а значит, рабочая смесь охлаждается слабее.

Детонационная стойкость бензинов находится в следующей эмпирической зависимости от степени сжатия и диаметра цилиндра двигателя:

$$ОЧ = 125,4 - 413/\varepsilon + 0,183D, \quad (32)$$

где ОЧ — необходимая для двигателя детонационная стойкость бензина, выражаемая октановым числом;  $\varepsilon$  — степень сжатия;  $D$  — диаметр цилиндра, мм.

На рисунке 17 представлена графическая зависимость диаметра цилиндра двигателя, степени сжатия и октанового числа бензина. Конструкция будет тем совершеннее, чем менее требователен двигатель при одной и той же степени сжатия, к детонационной стойкости бензина.

В качестве эксплуатационных факторов, влияющих на процесс сгорания рабочей смеси, следует отметить: угол опережения зажигания, частоту вращения коленчатого вала двигателя, коэффициент избытка воздуха, влажность и атмосферное давление воздуха, тепловой режим и нагрузку двигателя, нагарообразование на деталях камеры сгорания и др.

Для получения максимальной мощности двигателя необходимо установить для него строго определенный

угол опережения зажигания рабочей смеси. Однако с увеличением этого угла рабочая смесь воспламеняется при более низком давлении и температуре, что ухудшает оптимальные условия процесса горения смеси. Кроме того, к концу сгорания топлива, температура и давление рабочей смеси значительно возрастают, что создает наиболее благоприятные условия для образования и накопления в

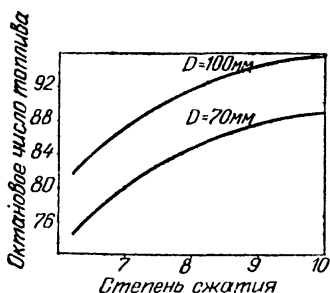


Рис. 17. Зависимость между степенью сжатия, диаметром цилиндра двигателя и октановым числом топлива.

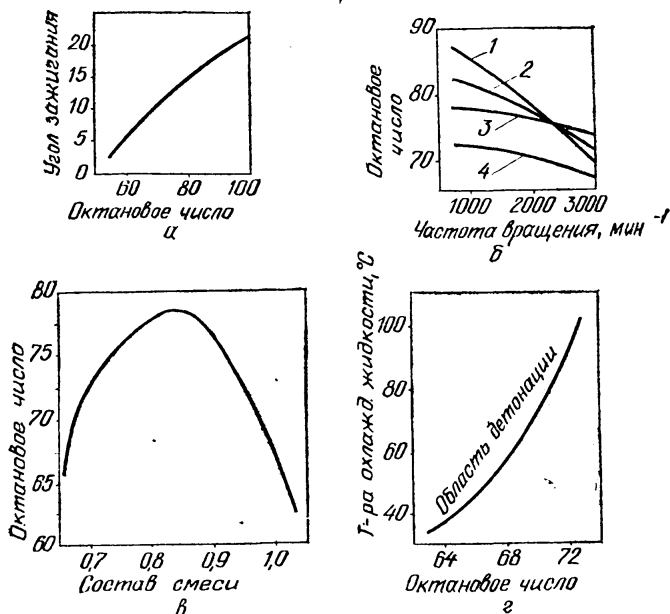


Рис. 18. Влияние эксплуатационных факторов на возникновение детонации:

$\alpha$  — угла опережения зажигания (по Н. В. Брусянцеву);  $\beta$  — частоты вращения коленчатого вала: 1 — ЗИЛ-130; 2 — «Урал-375»; 3 — ЗИЛ-120; 4 — ГАЗ-51 (по И. М. Ленину);  $\gamma$  — состава топливовоздушной смеси;  $\varepsilon$  — температуры охлаждающей жидкости.

смеси перекисных соединений, вызывающих детонацию. Чтобы ликвидировать детонацию, следует уменьшить угол опережения зажигания. Тогда мощность двигателя несколько снижается, однако потерь мощности можно избежать, если применить бензин с более высокой детонационной стойкостью. В этом случае уменьшение угла опережения зажигания целесообразно применять только как временную меру. На рисунке 18,  $\alpha$  показана зависимость между углом опережения зажигания рабочей смеси, склонностью к детонации и октановым числом бензина.

С увеличением частоты вращения коленчатого вала скорость распространения фронта пламени повышается и одновременно уменьшается время, отводимое на сгорание топлива. Следовательно, увеличение частоты вращения коленчатого вала является одним из способов

предотвращения или устранения детонации. На рисунке 18, б представлена зависимость между частотой вращения коленчатого вала, возникновением детонационного сгорания и октановым числом.

Скорость сгорания топлива, как уже отмечалось, зависит от состава смеси, т. е. коэффициента избытка воздуха (рис. 18, в). Наибольшая скорость протекания предпламенных процессов окисления в рабочей смеси наблюдается при  $\alpha = 0,9 \dots 1,1$ , т. е. в данном случае создаются наиболее благоприятные условия для появления детонации. Обеднение и обогащение топливовоздушной смеси будет уменьшать проявление детонации; в первом случае увеличивается расход теплоты на подогрев излишнего воздуха, а значит, снижается температура смеси; во втором понижается концентрация кислорода и, следовательно, уменьшается интенсивность образования перекисей.

Детонацию можно предотвратить, снижая температуру рабочей смеси при сгорании. Это возможно при хорошем охлаждении деталей двигателя и интенсивном отводе теплоты от стенок камеры сгорания. Увеличение влажности подаваемого в двигатель воздуха или впрыск воды в цилиндр также снижают температуру рабочей смеси за счет того, что вода отнимает часть теплоты на свое испарение. Кроме того, водяные пары в составе рабочей смеси действуют как инертные газы, препятствуя образованию перекисей. На рисунке 18, г показано влияние температуры охлаждающей жидкости на возникновение детонационного сгорания.

При уменьшении открытия дросселя детонация также снижается. Это объясняется тем, что увеличивается количество остаточных газов в рабочей смеси, концентрация кислорода снижается, препятствуя образованию перекисей.

Нагароотложения на поверхностях деталей камеры сгорания увеличивают возможность возникновения детонационного сгорания. Теплопроводность нагара, покрывающего стенки головки цилиндров и поршня, примерно в 50 раз меньше, чем теплопроводность чугуна или стали \*. Наличие отложений ухудшает отвод теплоты от рабочей смеси и вместе с тем как бы увеличивает степень сжатия. Аналогично действует образование на

---

\* По данным профессора И. М. Ленина. — Прим. авт.



цилиндрах и деталях системы охлаждения накали, обладающей низким коэффициентом теплопроводности.

Снижение атмосферного давления в некоторой степени уменьшает возможность детонации, ибо в этом случае уменьшается массовый заряд, а значит, давление и температура рабочей смеси, что не создает условий для интенсивного образования перекисей.

Все те конструктивные и эксплуатационные факторы, которые способствуют снижению давления, температуры и времени сгорания рабочей смеси, будут уменьшать возможность образования и накопления перекисей, а значит и детонацию.

Процесс горения топлива в значительной степени определяется его химическим составом и молекулярным строением углеводородов. Углеводороды, входящие в состав топлива, обладают неодинаковой детонационной стойкостью, причем она различна даже для одной группы и зависит от строения молекулы.

Парафиновые углеводороды нормального строения весьма склонны к детонационному сгоранию, а *и*-парафины, имеющие разветвленные цепи, обладают высокой детонационной стойкостью. По мере увеличения молекулярной массы склонность к детонации *н*- и *и*-парафинов снижается.

Нафтеновые углеводороды занимают по детонационной стойкости промежуточное положение между *н*- и *и*-парафинами. Стойкость возрастает с увеличением разветвленности присоединенной к углеводороду цепи и снижается при увеличении длины боковых цепей.

Ароматические углеводороды имеют наиболее высокую детонационную стойкость. Октановые числа таких ароматических углеводородов, как бензол, толуол, ксилол, составляют 100 ед. и выше. Характер строения боковой цепи, присоединенной к ароматическому ядру, влияет на детонационную стойкость так же, как и у нафтеновых углеводородов.

Непредельные углеводороды обладают довольно высокой детонационной стойкостью. Так, у непредельных углеводородов нормального строения она выше, чем у соответствующих парафиновых углеводородов.

Таким образом, в бензинах для карбюраторных двигателей желательно содержание изопарафиновых и ароматических углеводородов, обладающих наивысшей детонационной стойкостью.

### 3.7. Оценка и методы повышения противодетонационных свойств бензинов

Для оценки детонационных свойств бензинов существует несколько методов испытаний топлива на безмоторных установках, одноцилиндровых лабораторных и полноразмерных многоцилиндровых двигателях в стендовых и дорожных условиях. Наиболее распространены для этой цели установки УИТ-65, снабженные одноцилиндровыми двигателями с переменной степенью сжатия и необходимыми электронными устройствами, при помощи которых поддерживается постоянный режим и фиксируется начало детонационного сгорания смеси.

Для исследования детонационной стойкости бензинов применяется *метод сравнения* с известной детонационной стойкостью эталонного топлива. Оно представляет собой смесь двух индивидуальных парафиновых углеводородов: изооктана  $C_8H_{18}$  (2,2,4-триметилпентана) и нормального гептана  $C_7H_{16}$ . Высокая детонационная стойкость изооктана оценивается 100 ед., а низкая детонационная стойкость *n*-гептана принята за 0 ед. Общепринятым оценочным показателем детонационной стойкости бензинов является *октановое число*.

Октановым числом (ОЧ) называется величина, численно равная процентному содержанию (по объему) изооктана в такой его смеси с *n*-гептаном, которая по детонационной стойкости равноценна испытываемому топливу при оценочных исследованиях на стандартном двигателе в одинаковых условиях. Если октановое число бензина равно 76, то это значит, что его детонационная стойкость такая же, как у смеси, состоящей из 76 % изооктана и 24 % *n*-гептана. Чем больше детонационная стойкость бензина, тем выше его октановое число.

Октановые числа, превышающие 100 ед., определяют сравнением бензина с изооктаном, в который добавляют *антидетонатор* тетраэтилсвинец (ТЭС).

Для определения октанового числа бензинов *моторным методом* (ГОСТ 511—66) устанавливают стандартный режим работы одноцилиндрового двигателя и затем переводят его на испытываемое топливо. Изменяя степень сжатия, добиваются появления детонации определенной интенсивности и фиксируют при этом состав рабочей смеси. Затем подбирают такую эталонную

смесь изоктана с *n*-гептаном, которая в аналогичных условиях детонирует с той же интенсивностью.

Кроме моторного метода оценки октанового числа бензинов, применяют *исследовательский* (ГОСТ 8226—66), при котором режим работы двигателя менее напряженный (табл. 8). Поэтому октановое число по исследовательскому методу (ОЧИ) несколько выше, чем определенное моторным методом (ОЧМ).

#### 8. Технические условия на определение октанового числа

| Показатели                                           | Метод                                            |                          |
|------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------|
|                                                      | моторный                                         | исследовательский        |
| Установка для испытаний                              | УИТ-65                                           |                          |
| Двигатель                                            | Одноцилиндровый с переменной степенью сжатия     |                          |
| Размеры двигателя, мм:                               |                                                  |                          |
| диаметр цилиндра                                     | 85                                               | 85                       |
| ход поршня                                           | 115                                              | 115                      |
| Частота вращения вала, мин <sup>-1</sup><br>(об/мин) | 90±10                                            | 600±10                   |
| Температура, °С:                                     |                                                  |                          |
| в системе охлаждения                                 | 100±2                                            | 100±2                    |
| воздуха                                              | 40...50                                          | 52±2                     |
| смеси                                                | 140±1                                            | Не подогревается         |
| масла в картере                                      | 50...75                                          | 50...75                  |
| Угол опережения зажигания                            | 26° до ВМТ<br>при ε=5 и<br>19° до ВМТ<br>при ε=7 | Постоянный<br>13° до ВМТ |

Анализ октановых чисел бензинов в процессе эксплуатации показывает, что исследовательский метод лучше характеризует противодетонационные свойства бензинов при работе двигателя в условиях городской езды, когда тепловая напряженность двигателя сравнительно мала. При повышении температуры двигателя в тяжелых дорожных условиях фактическая детонационная стойкость бензина становится ближе к октановому числу, определенному моторным методом.

Если октановое число определено исследовательским методом, то в марке бензина ставят индекс «И», например автомобильный бензин АИ-93.

Разницу в октановых числах, получаемую по этим двум методам определения, называют *чувствительностью* бензина. Она зависит от физического и фракционного состава бензина. Соответствие октановых чисел,

определенных лабораторными методами (ОЧМ и ОЧИ), их фактической детонационной стойкости (ОЧД) в дорожных условиях зависит от конструктивных особенностей двигателя и системы питания, от фракционирования бензина во впускной системе двигателя, неравномерности распределения детонационной стойкости по фракциям и др. Эти факторы необходимо учитывать при определении детонационной стойкости бензинов в лабораторных условиях.

Чтобы учесть процесс фракционирования во впускном трубопроводе и предсказать фактическую (дорожную) детонационную стойкость бензина в двигателе, намечено два пути. Первый — оценка детонационной стойкости частей бензина, предварительно отогнанных лабораторным методом. Второй — оборудование обычной установки для определения октанового числа вставкой во впускной трубопровод, обеспечивающей фракционирование бензина. ОЧ товарного бензина могут отличаться от значений ОЧД на 5...6 ед. Наименьшим значением ОЧД характеризуются этилированные бензины с ТЭС, а наибольшими — бензины с ТМС и синтетическими компонентами (метанолом). Возможно, что при использовании таких антидетонаторов можно значительно улучшить ОЧД бензина, не увеличивая его ОЧИ и ОЧМ. Это один из способов более полного удовлетворения потребности в бензине.

Увеличение октановых чисел бензинов возможно по ряду направлений: подбору соответствующего нефтяного сырья; совершенствованию технологии переработки и очистки бензина; изменению строения углеводородов и др. Но наиболее эффективным и экономичным способом повышения детонационных свойств является добавление к бензинам антидетонаторов. В качестве антидетонатора, например, широко применяется тетраэтилсвинец  $Pb(C_2H_5)_4$  (ТЭС), представляющий собой густую бесцветную жидкость с плотностью  $\gamma = 1,659$ , хорошо растворяющуюся в нефтепродуктах и не растворяющуюся в воде. ТЭС — ядовитое вещество, поэтому при обращении с ним необходимо соблюдать меры предосторожности.

Механизм антидетонационного действия тетраэтилсвинца, по наиболее широко принятому мнению, заключается во взаимодействии диоксида свинца  $PbO_2$  с образующимися гидроперекисями углеводородов, в ре-

зультате последние разрушаются и цепная реакция окисления прерывается.

Недостатком ТЭС как антидетонатора является то, что свинец из камеры сгорания удаляется не полностью, что приводит к освинцеванию камеры и с течением времени к нарушению нормальной работы двигателя. С целью уменьшения этого явления к ТЭС добавляют бромистые и хлористые соединения, называемые *выносителями свинца*. Смесь ТЭС с выносителем представляет собой *этиловую жидкость*, в состав которой входят также наполнитель (бензин) и краситель для отличия этилированного бензина от неэтилированного (табл. 9).

#### 9. Этиловые жидкости

| Компоненты             | Химическая формула | Состав жидкости, % массы |        |      |
|------------------------|--------------------|--------------------------|--------|------|
|                        |                    | Р-9                      | 1-ТС   | П-2  |
| Тetraэтилсвинец        | $Pb(C_2H_5)_4$     | 54,0                     | 58,0   | 55,0 |
| Бромистый этил         | $C_2H_5Br$         | 33,0                     | —      | —    |
| Диброметан             | $C_2H_4Br_2$       | —                        | 36,0   | —    |
| Дибромпропан           | $C_3H_6Br_2$       | —                        | —      | 34,4 |
| Альфа-моноклорнафталин | $C_{10}H_7Cl$      | 6,8                      | —      | 5,5  |
| Красящее вещество      |                    | 0,1                      | 0,5    | 0,1  |
| Наполнитель (бензин)   |                    |                          | До 100 |      |

Недостатком выносителя бромистого этила в жидкости Р-9 является то, что он обладает низкой температурой кипения ( $34^\circ C$ ) и при хранении испаряется. Содержащийся в жидкости 1-ТС выноситель дибромэтан кристаллизуется при  $-8^\circ C$ , что делает невозможным применение бензина с этой жидкостью зимой. Выноситель дибромпропан, входящий в жидкость П-2, кипит при  $141^\circ C$  и кристаллизуется при  $-55^\circ C$ , поэтому является наиболее пригодным для условий эксплуатации.

В зависимости от вида бензина детонационная стойкость при добавлении к ним ТЭС увеличивается неодинаково. Наиболее эффективно действуют первые порции ТЭС, а затем их действие несколько снижается.

В современных двигателях применяется другое органическое соединение свинца — тетраметилсвинец (ТМС), который более эффективен в сравнении со своим предшественником. Это объясняется тем, что в форсированных двигателях, у которых температурный режим достаточно высок, ТЭС, видимо, разлагается слишком

рано и в связи с этим часть образующихся активных радикалов расходуется непроизводительно. ТМС вследствие более высокой термической устойчивости разлагается в момент максимального образования перекисных соединений и тем самым способствует прекращению цепных реакций. Это свойство ТМС наиболее положительно сказывается на работе тех двигателей, у которых фракции бензина неравномерно распределяются по цилиндрам.

Найдены более эффективные в сравнении с ТЭС и ТМС антидетонаторы, в состав которых входят соединения марганца. Это антидетонатор цикlopentадиенилтрикарбонилмарганец  $C_5H_5Mn(CO)_3$  ЦТМ и его гомолог метилциклопентадиенилтрикарбонилмарганец  $CH_3C_5H_4Mn(CO)_3$  МЦКМ. Они эффективно повышают детонационную стойкость не только чистых бензинов, но и содержащих ТЭС.

### **3.8. Склонность бензинов к образованию отложений**

При работе карбюраторного двигателя в зависимости от качества применяемого топлива отложения образуются на деталях топливной системы и камеры сгорания двигателя. В топливной системе (бак, фильтр, карбюратор, всасывающий трубопровод) отлагаются главным образом смолистые вещества различной консистенции. В баке, на фильтре и в карбюраторе эти отложения сравнительно мягкие и липкие, во всасывающем патрубке, где температура значительно выше, — плотные. На стержнях всасывающих клапанов отложения могут быть настолько плотными, что мешают клапанам закрываться. В дальнейшем эти отложения превращаются в нагар, в результате чего клапаны застревают и нормальная работа двигателя нарушается. На поверхностях деталей камеры сгорания образуются твердые отложения в виде нагара. В его присутствии резко ухудшается теплоотвод, что приводит к возникновению детонационного сгорания топлива. Наличие нагара на искровых свечах зажигания может привести к остановке двигателя.

Мощность и экономичность двигателя снижаются при налипании на жиклер карбюратора смолистых от-

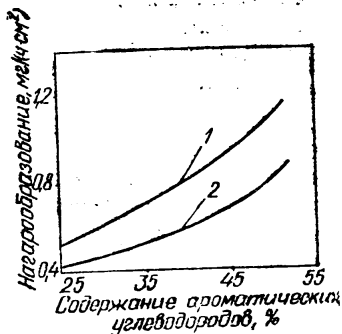


Рис. 19. Зависимость нагарообразования в камерах сгорания двигателей от содержания в бензине ароматических углеводородов:

1 — при водяном охлаждении;  
2 — при воздушном охлаждении.

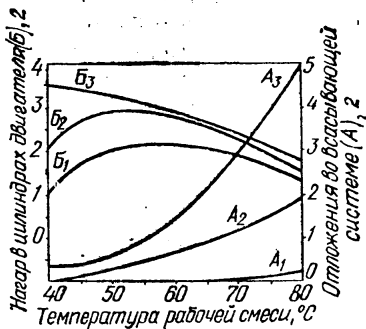


Рис. 20. Влияние температуры рабочей смеси на количество образующихся отложений во всасывающей системе и нагара в цилиндрах двигателя для бензинов, содержащих фактических смол в 100 мл объема:

1 — 3 мг; 2 — 18 мг; 3 — 35 мг.

ложений, которые уменьшают проходное сечение, в результате чего обедняется рабочая смесь.

Количество и характер отложений в двигателе зависят главным образом от качества применяемого топлива, а также от условий эксплуатации и режима работы двигателя.

Склонность бензинов к нагарообразованию увеличивается с повышением содержания в них ароматических углеводородов (рис. 19)\*, серы и антидетонационных присадок на базе ТЭС и ТМС.

При применении в двигателе бензинов, содержащих смолистые вещества и смолообразующие соединения, отложения получают в виде жидкой фазы. Они в дальнейшем, окисляясь и полимеризуясь, переходят в твердую фазу — нагар. Процесс окисления образующихся соединений ускоряется под действием избытка кислорода воздуха в смесеобразовательной камере карбюратора при высокой степени распыла топлива и повышенной температуры во всасывающем патрубке. В зависимости от температуры во всасывающей системе соотношение между количеством отложений в ней и

\* По исследованиям Т. Т. Шифрина. — Прим. авт.

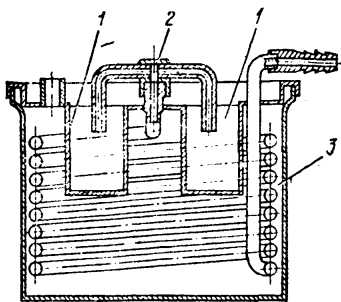


Рис. 21. Прибор для определения содержания фактических смол в топливе:

1 — гнезда; 2 — насадка-тройник;  
3 — масляная баня.

в цилиндре двигателя уменьшается. При высокой температуре во всасывающей системе окислительные процессы протекают более интенсивно, вследствие чего там в большом количестве отлагаются смолистые вещества, а в цилиндре двигателя — в меньшем количестве. При понижении температуры во всасывающей системе основная масса смолообразующих соединений окисляется и откладывается непосредственно в цилиндре двигателя (рис. 20).

В связи со сказанным топливо для карбюраторных двигателей не должно содержать большое количество смолистых соединений и веществ, малоустойчивых к образованию смол. С этой целью в бензинах определяют наличие фактических смол (ГОСТ 8489—58) и их содержание строго нормируют. Фактические смолы — это остаток, образовавшийся в стеклянной чашке после испарения определенного объема (100 мл) испытуемого бензина на водяной бане в струе воздуха. Потенциальные смолы представляют собой смолистые вещества, которые могут образовываться в процессе полимеризации и окисления содержащихся в топливе главным образом непредельных углеводородов.

Количество фактических смол определяют при помощи прибора, представленного на рисунке 21. В два взвешенных стаканчика наливают по 25 мл испытуемого топлива и ставят в гнезда 1 предварительно подогретого прибора. Температура в масляной бане 3 поддерживается терморегулятором (150°C для бензинов и 180°C для керосинов). Находящееся в стаканах топливо обдувается горячим воздухом через насадку-тройник 2 в начале опыта с расходом 20...30 л/мин, в конце 50...60 л/мин. После окончания выделения паров топлива из стаканчиков воздух подают еще 15 мин, затем подачу воздуха прекращают и стаканчики выдерживают в приборе еще 30 мин при установленной температу-



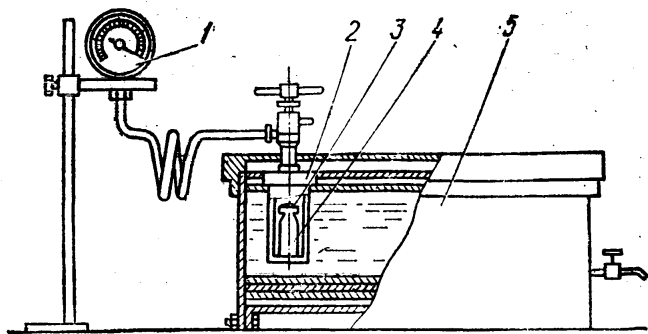


Рис. 22. Прибор для определения индукционного периода топлива:

1 — манометр; 2 — бомба; 3 — часовое стекло; 4 — стакан; 5 — баня.

ре. После этого их охлаждают в эксикаторе и взвешивают образовавшийся остаток. Количество смол  $G_{\text{фс}}$  (мг/100 мл топлива) вычисляют по формуле

$$G_{\text{фс}} = a/V, \quad (33)$$

где  $a$  — масса остатка, мг;  $V$  — объем испытуемого топлива, мл.

Содержание фактических смол в автомобильных бензинах не должно превышать 7...10 мг/100 мл топлива. Тогда двигатель будет работать без повышенного образования отложений во впускной системе и без значительного нагарообразования в камере сгорания.

Для определения содержания потенциальных смол в топливе нет общепринятого метода, поэтому судить о потенциальной способности топлива к смолообразованию можно лишь по показателю стабильности топлива, который оценивается индукционным периодом. Индукционным периодом называется время, в течение которого топливо, находящееся в условиях, благоприятных для окисления, практически не поглощает кислорода. Этот период определяют в специальном приборе (ГОСТ 4039—48), показанном на рисунке 22. В стакан 4 наливают 100 мл испытуемого топлива, накрывают часовым стеклом 3 и помещают в бомбу 2 из нержавеющей стали, продутую для удаления воздуха кислородом, а затем заполненную им до давления 0,7 МПа. Бомбу помещают в гнездо бани 5 и по манометру 1 отмечают изменение давления. За длительность индукционного



Рис. 23. Осмоление бензина термического крекинга при хранении (по Н. В. Брусянцеву):

1 — в емкости, залитой полностью; 2 — в емкости, залитой наполовину.

периода принимается время (мин) с момента погружения бомбы до начала падения в ней давления. Момент падения давления в бомбе показывает начало активного поглощения топливом кислорода. Чем меньше индукционный период, тем ниже химическая стабильность топлива. Индукционный период автомобильных бензинов составляет 900...1300 мин.

Для стабильности первоначальных качеств бензинов очень важное значение имеют условия хранения и транспортирования.

Интенсивность окисления и осмоления топлива в значительной степени зависит не только от углеводородного состава, но и от температуры, степени аэрации, а также наличия каталитически действующих на процесс окисления веществ. Из углеводородов топлива наиболее легко окисляются непредельные углеводороды, наибольшее количество которых содержится в крекинг-бензинах.

Для уменьшения осмоления бензинов при хранении необходимо резервуары окрашивать в светлые тона; по возможности полнее заливать их топливом; в первую очередь расходовать крекинг-бензины (рис. 23).

Для повышения стабильности топлива в них при изготовлении в количестве сотых или тысячных долей процента вводят специальные вещества, называемые *антиокислителями* или *стабилизаторами*. Среди наиболее широко применяемых антиокислителей следует отметить: древесно-смольный, ФЧ-16 (смесь фенолов), параоксидифениламин, гидрохинол. Действие антиокислителей сводится к прекращению цепных реакций за счет взаимодействия одного из радикалов, участвующих в цепи, с молекулой антиокислителя.

### 3.9. Коррозионные свойства бензинов

Оценка качества карбюраторного топлива по его коррозионным свойствам имеет практическое значение не только при использовании его в двигателе, но

и при хранении, перекачке, транспортировке и т. п. Входящие в состав топлива углеводороды не корродируют. Коррозия вызывается содержанием таких веществ, как водорастворимые кислоты и щелочи, остающиеся в топливе при очистке; органические кислоты, преимущественно нафтеновые; сера и сернистые соединения; вода.

Ввиду сильного коррозионного воздействия водорастворимых кислот на металлы, а щелочей на алюминий наличие их в топливе не допускается. Качественное определение водорастворимых кислот и щелочей проводят по ГОСТ 6307—75. В делительной воронке 50 мл испытуемого топлива взбалтывают с равным количеством дистиллированной воды. Реакцию водной вытяжки проверяют действием индикаторов (метилоранжа и фенолфталеина). Если в пробе обнаружено присутствие водорастворимых кислот и щелочей, топливо в двигателе не применяют, его выбраковывают. Находящиеся в топливе органические кислоты являются либо нафтеновыми кислотами, попадающими с высококипящими фракциями бензина при перегонке нефти, либо продуктами, образующимися в результате окислительных процессов при хранении. Нафтеновые кислоты корродируют только цветные металлы; образующиеся кислые продукты, которых по содержанию может быть значительно больше, действуют практически на все металлы.

Органические кислоты, содержащиеся в топливе, по своей коррозионной активности неизмеримо слабее водорастворимых, и наличие их в топливе допускается с ограничением. Содержание органических кислот оценивают по показателю *кислотности*, под которым понимается количество щелочи КОН (мг), необходимое для нейтрализации органических кислот в 100 мл топлива. Кислотность определяют по ГОСТ 11362—76. Допустимая кислотность в автомобильных бензинах не должна превышать значения 3 мг КОН/100 мл топлива, что обеспечивает удовлетворительные противокоррозионные свойства. |

Наличие в бензине сернистых соединений и элементной серы обуславливает коррозионные свойства самого бензина, а продукты сгорания серы вызывают дополнительную коррозию деталей двигателя. Наиболее сильное коррозионное воздействие на металл оказывают сероводород, элементная сера и низшие меркаптаны, ко-

торые вызывают коррозию емкостей и топливоподающей системы двигателя даже в обычных условиях. В связи с этим присутствие этих сернистых соединений в бензине не допускается.

Активность действия сернистых соединений в топливе проверяют *испытанием на медной пластинке*. С этой целью хорошо очищенную и отполированную медную пластинку помещают в пробирку с испытуемым топливом и нагревают в течение 3 ч в водяной бане при температуре 50 °С. Затем пластинку промывают. Если после этого на ней остался черный, темно-коричневый или серый налет, то это указывает на наличие в топливе активных сернистых соединений.

Неактивные сернистые соединения — сульфиды, тиофены и т. п. — практически не действуют на металлы в обычных условиях. Однако при их сгорании получаются сернистый  $\text{SO}_2$  и серный  $\text{SO}_3$  ангидриды, которые в присутствии даже небольшого количества воды образуют сернистую и серную кислоты, что вызывает сильную коррозию деталей. Таким образом, чем больше в топливе содержится сернистых соединений, тем сильнее коррозия и вызванный ею износ деталей двигателя (рис. 24). Повышенный износ и нагарообразование в двигателе при его работе на сернистом топливе вызывает снижение мощности и экономичности двигателя. Так, после 150 ч работы двигателя на топливе, содержащем

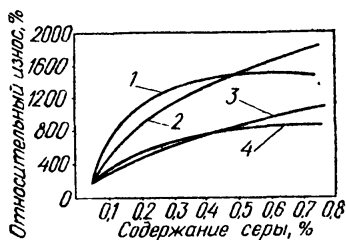


Рис. 24. Влияние сернистых соединений в топливе на износ деталей двигателя:

1 — толкатели; 2 — поршневые кольца; 3 — створки клапана; 4 — гильзы цилиндров.

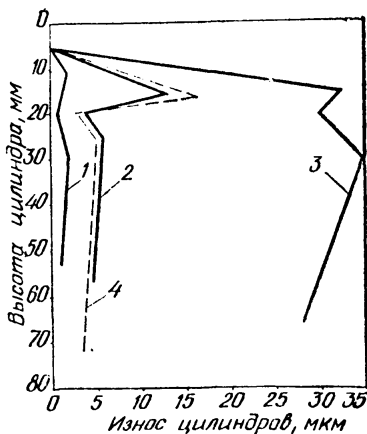


Рис. 25. Износ цилиндров двигателя ЗИЛ-130 при работе на бензине с различным содержанием механических примесей [4]:

1 — 0 г/т; 2 — 13,5 г/т; 3 — 40 г/т; 4 — средний эксплуатационный износ.

0,15 % серы, мощность снижалась на 10,5 %, а на топливе с 0,723 % серы — на 28 %. Соответственно удельный расход топлива повышался на 12,2 и на 36 %\*.

Содержание серы в автомобильном топливе по техническим требованиям не должно превышать 0,1...0,12 %.

Коррозионная активность топлива повышается с увеличением содержания воды в нем. Кроме того, в зимнее время наличие воды в бензине может вызвать закупорку в топливопроводах за счет образования кристаллов льда, в результате чего нарушается подача топлива и работа двигателя.

Весьма нежелательно наличие в топливе механических примесей, которые забивают жиклеры карбюратора и способствуют повышению износов деталей двигателя (рис. 25).

### **3.10. Виды и марки бензинов**

Товарные автомобильные бензины, как правило, получают путем смешения нескольких компонентов, что позволяет обеспечивать определенные свойства и требуемое качество. Такой метод дает возможность использовать в производстве бензинов различные фракции, в том числе с недостаточно высокой детонационной стойкостью, которую затем повышают добавлением высокооктановых компонентов. Компонентный состав товарных автомобильных бензинов определяется требованиями детонационной стойкости и соответствующим фракционным составом. В ряде случаев необходимо ограничивать содержание в товарных бензинах серы, иметь соответствующую стабильность и т. д. Недостающие свойства бензинов могут быть получены введением функциональных присадок.

В сельскохозяйственном производстве применяются следующие виды карбюраторного топлива: автомобильные бензины (для большинства марок автомобильных и ряда комбайновых двигателей, пусковых двигателей тракторов, мотоциклов, некоторых стационарных двигателей); авиационный бензин (при ремонте электрогенераторов, стационарного оборудования, автомобильных камер и др.); тракторный керосин (как промывочная жидкость при техническом обслуживании и ремонте тракторов).

---

\* По данным Б. П. Кнцкого, — *Прим. авт.*

| Показатель                            | Значение показателя бензина марки |                                        |      |                                         |       |                                         |       |
|---------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------|------|-----------------------------------------|-------|-----------------------------------------|-------|
|                                       | А-72                              | А-76 с государственным Знаком качества | А-76 | АИ-93 с государственным Знаком качества | АИ-93 | АИ-98 с государственным Знаком качества | АИ-98 |
| Детонационная стойкость:              |                                   |                                        |      |                                         |       |                                         |       |
| ОЧМ                                   | 72                                | 76                                     | 76   | 85                                      | 85    | '89                                     | 89    |
| ОЧИ                                   | Не нормируется                    |                                        |      |                                         |       |                                         |       |
| Масса свинца, г/кг бензина, не более: |                                   |                                        |      |                                         |       |                                         |       |
| этилированного                        | —                                 | —                                      | 0,24 | —                                       | 0,50  | —                                       | 0,50  |
| неэтилированного                      | Отсутствие                        |                                        |      |                                         |       |                                         |       |
| Фракционный состав                    |                                   |                                        |      |                                         |       |                                         |       |
| Температура, °С:                      |                                   |                                        |      |                                         |       |                                         |       |
| начала кипения, не ниже летнего       | 35                                | 35                                     | 35   | 35                                      | 35    | 35                                      | 35    |
| зимнего                               | Не нормируется                    |                                        |      |                                         |       |                                         |       |
| выкипания 10 % бензина, не выше       |                                   |                                        |      |                                         |       |                                         |       |
| летнего                               | 70                                | 70                                     | 70   | 70                                      | 70    | 70                                      | 70    |

|                                                      |              |              |              |              |              |              |
|------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| зимнего                                              | 55           | 55           | 55           | 55           | —            | —            |
| выкипания 50 % бензина, не выше                      |              |              |              |              |              |              |
| летнего                                              | 115          | 115          | 115          | 115          | 115          | 115          |
| зимнего                                              | 100          | 100          | 100          | 100          | 100          | 100          |
| выкипания 90 % бензина, не выше                      |              |              |              |              |              |              |
| летнего                                              | 180          | 180          | 180          | 180          | 180          | 180          |
| зимнего                                              | 160          | 160          | 160          | 160          | —            | —            |
| конца кипения, не выше летнего                       |              |              |              |              |              |              |
| зимнего                                              | 195          | 195          | 205          | 195          | 195          | 195          |
| Остаток в колбе, %, не более                         | 185          | 185          | 195          | 185          | —            | —            |
| Остаток и потери, %, не более                        | 1,5          | 1,5          | 1,5          | 1,5          | 1,5          | 1,5          |
| Давление насыщенных паров бензина, кПа (мм рт. ст.): |              |              |              |              |              |              |
| летнего, не более                                    | 4,0          | 4,0          | 4,0          | 4,0          | 3,5          | 4,0          |
|                                                      | 66,661 (500) | 66,661 (500) | 66,661 (500) | 66,661 (500) | 66,661 (500) | 66,661 (500) |

| Показатель                                                                 | Значение показателя бензина марки         |                                           |                                           |                                           |                                           |                                         |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------------------------------|
|                                                                            | А-72                                      | А-76 с государственным Знаком качества    | А-76                                      | АИ-93 с государственным Знаком качества   | АИ-93                                     | АИ-98 с государственным Знаком качества |
| зимнего                                                                    | 66,661...<br>93,325<br>(500...700)<br>3,0 | 66,661...<br>93,325<br>(500...700)<br>1,0 | 66,661...<br>93,325<br>(500...700)<br>3,0 | 66,661...<br>93,325<br>(500...700)<br>0,8 | 66,661...<br>93,325<br>(500...700)<br>3,0 | —                                       |
| Кислотность, мг КОН на 100 мл бензина, не более                            |                                           |                                           |                                           |                                           |                                           | —                                       |
| Концентрация фактических смол, мг на 100 м <sup>3</sup> бензина, не более: |                                           |                                           |                                           |                                           |                                           | 3,0                                     |
| на месте производства                                                      | 5                                         | 3                                         | 5                                         | Отсутствие                                | 5                                         | 5                                       |
| на месте потребления                                                       | 10                                        | 8                                         | 10                                        | 2                                         | 7                                         | 7                                       |
| Индукционный период на месте производства бензина, мин, не менее           | 600                                       | 1200                                      | 900                                       | 1200                                      | 900                                       | 900                                     |
| Массовая доля серы, %, не более                                            | 0,12                                      | 0,02                                      | 0,10                                      | 0,01                                      | 0,10                                      | 0,10                                    |
| Испытание на медной пластинке                                              |                                           |                                           |                                           | Выдерживает                               |                                           |                                         |
| Содержание водорастворимых кислот и щелочей                                |                                           |                                           |                                           | Отсутствие                                |                                           |                                         |
| механических примесей и воды                                               |                                           |                                           |                                           | Отсутствие                                |                                           |                                         |
| Цвет                                                                       | —                                         | —                                         | Желтый                                    | —                                         | Оранжево-красный                          | Синий                                   |



# 11. Область применения автомобильных бензинов

| Марки                 |                                                                                                                                                                                                          |                                                                                                                                                            | Степень сжатия |
|-----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Бензина               | автомобиля, спецмашины, тягача, автобуса                                                                                                                                                                 | двигателя                                                                                                                                                  |                |
| А-72 летний и зимний  | ГАЗ-51, ЗИЛ-157, ЗИЛ-158, ЗИЛ-164 и модификации; ГАЗ-21 и ГАЗ-22 «Волга», ГАЗ-52, ГАЗ-69, УАЗ-451, УАЗ-452, УАЗ-469, РАФ-977, РАФ-980, ЕрАЗ-762, «Москвич» моделей 402, 403, 407 и модификации, ЗАЗ-966. | ГАЗ-51 и модификации; ЗИЛ-157, ЗИЛ-158, ЗИЛ-164 и модификации; ЗМЗ-21 и модификации; ЗМЗ-977, МЗМА-407, МеМЗ-966, ГАЗ-52-01, ГАЗ-69, ЗМЗ-451 и модификации | 6,5...6,7      |
| А-76 летний и зимний  | ГАЗ-53, ГАЗ-66, ЗАЗ-966, ЗАЗ-968, «Москвич» моделей 408, 423, 424, 430, 2136, 2138, ЗИЛ-130, ЗИЛ-131, КАЗ-608, ЛАЗ-695М, ЛАЗ-697М, ЛиАЗ-677, Урал-375, Урал-377 и модификации, ГАЗ-24-01, ГАЗ-24-04      | ГАЗ-53, ГАЗ-66, ГАЗ-66-04, МеМЗ-968, АЗЛК-408 и модификации, ЗИЛ-131А, ЗИЛ-138, ЗИЛ-375 и модификации, ЗМЗ-24-01, ЗИЛ-130 и модификации                    | 6,7...7,2      |
| АИ-93 летний и зимний | «Волга» ГАЗ-24, «Москвич» моделей 412, 2137, 2140, «Жигули» ВАЗ и модификации, «Запорожец» модели ЗАЗ-968                                                                                                | ЗМЗ-24, УМЗ-412Э, ВАЗ всех модификаций, МеМЗ-968А                                                                                                          | 7,65...8,8     |

В соответствии с ГОСТ 2084—77 вырабатываются автомобильные бензины четырех марок; А-72, А-76, АИ-93 и АИ-98. Бензины А-76, АИ-93 и АИ-98 выпускаются в двух вариантах (с государственным Знаком качества и без него). В маркировке этих бензинов буква А указывает, что бензин автомобильный; И — октановое число определено исследовательским методом; цифры означают октановое число. Кроме того, по специальным техническим условиям выпускается бензин «Экстра». Бензины, кроме А-72, «Экстра» и бензинов с государственным Знаком качества, являются этилированными и окрашенными.

В зависимости от условий эксплуатации двигателей автомобильные бензины (за исключением бензина марки АИ-98) подразделяют на *летние* и *зимние*. Летние виды бензинов применяют во всех районах, кроме северных и северо-восточных, в период с 1 апреля по 1 октября, в южных районах — круглый год; зимние виды — круглый год в северных и северо-восточных районах, в остальных районах — с 1 октября по 1 апреля.

Основные показатели автомобильных бензинов и область их применения приведены в таблицах 10 и 11.

Зимние бензины от летних отличаются в основном облегченным фракционным составом и более высоким значением давления насыщенных паров, что обеспечивает более легкий пуск, прогрев и эксплуатацию автомобилей в зимних условиях.

Для правильной эксплуатации карбюраторных двигателей необходимо применять бензин рекомендуемой заводом-изготовителем марки, проверять его качество. В случае отклонений физико-химических показателей бензина от требований ГОСТ использование его не допускается.

Эксплуатация бензина с более низкой детонационной стойкостью, чем это указывается в инструкции двигателя, вызывает детонационное сгорание, которое приводит к увеличению износов, прогару прокладок головки цилиндров, снижению мощности и экономичности и т. п.

Использование бензина с более высоким октановым числом также нежелательно, ибо увеличиваются затраты на эксплуатацию автомобиля из-за более высокой стоимости бензина; в техническом отношении — из-за возрастающей температуры сгорания смеси прогорают клапаны и т. п.

При отсутствии автомобильных бензинов соответствующей марки в исключительных случаях можно временно использовать авиационные бензины и их смеси.

### **3.11. Применение водно-бензиновых эмульсий**

Проблема совершенствования конструкции и эксплуатации двигателей включает в себя ряд вопросов: оптимизация процессов сгорания рабочей смеси, улучшение системы внутреннего охлаждения двигателя, снижение склонности к детонации, сокращение расхода

топлива, уменьшение токсичности отработавших газов.

Один из наметившихся путей решения этой проблемы — применение в качестве моторного топлива водно-бензиновой эмульсии (ВБЭ). При этом снижается теплонпряженность деталей цилиндропоршневой группы без снижения к. п. д. двигателя и увеличения удельного расхода бензина, не предъявляются жесткие требования к октановому числу бензина, уменьшается концентрация оксидов азота в отработавших газах.

Однако внедрение ВБЭ задерживается из-за недостаточной их стабильности, которая в значительной степени обусловлена видом и количеством входящих в их состав поверхностно-активных веществ (ПАВ). Недостаточно также изучено влияние воды на износы и коррозию деталей, образование нагароотложений и закоксовывание поршневых колец.

При оценке стабильности ВБЭ различают устойчивость эмульсий к *коалесценции*, *феокуляции* и *седиментации*. При этом наиболее нежелательной является коалесценция, т. е. слияние капель дисперсной фазы. Феокуляция (объединение частиц в рыхлые хлопьевидные агрегаты) и седиментация (оседание) тесно связаны между собой, ибо увеличение устойчивости к феокуляции приводит к замедлению седиментации дисперсной фазы. Для стабилизации ВБЭ очень важно ввести оптимальное количество ПАВ. Найдены ПАВ, которые при содержании в эмульсии в количестве около 1 % обеспечивают ее устойчивость в течение нескольких лет, а стабильность к седиментации — в течение нескольких суток.

Для получения ВБЭ предложено несколько методов. В числе их получение эмульсий на борту автомобиля путем добавления небольшого количества олеата аммония и непосредственного впрыскивания воды во впускную систему двигателя.

Высокостабильные эмульсии получают при введении сложных композиций ПАВ, в результате чего эмульсии образуются самопроизвольно. Однако в этом случае требуется ПАВ в 3 раза больше, чем воды, вводимой для получения эмульсии. Для получения ВБЭ предложено\* использовать ультразвуковой гидродинамический

---

\* И. М. Никитин и др. Технология получения водно-бензиновой эмульсии. — Химия и технология топлив и масел, 1981, № 1.

диспергатор. В качестве ПАВ использована смесь (3:1) пентола и продукта ОП-7, которую вводят в количестве 10 % от массы добавляемой воды. Количество воды составляло 10...13 %. Продолжительность хранения такой эмульсии не более одних суток.

Проводились исследования\* ВБЭ с содержанием воды от 10 до 40 % и более. Выявлено, что оптимальным с точки зрения повышения детонационной стойкости топлива и сохранения мощностных и экономических показателей двигателя можно считать содержание в ВБЭ 20...25 % воды, что позволяет использовать для двигателя бензин А-72 вместо бензина А-76. При этом прямой экономии бензина не получено.

При одинаковых значениях коэффициента избытка воздуха концентрация оксида углерода в отработавших газах не зависит от содержания воды в ВБЭ, концентрация оксида азота снижается примерно на 1,3 % на каждый процент добавляемой воды.

#### **Глава 4.      ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА                   И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**

##### **4.1. Требования, предъявляемые к дизельному топливу**

Ввиду целого ряда преимуществ дизелей в сравнении с карбюраторными двигателями (высокая экономичность; применение в качестве топлива более широких фракций нефти; меньшая пожароопасность; лучшая приемистость и возможность перехода на режим с нагрузкой без полного прогрева; надежность и долговечность в эксплуатации и т. п.) они широко распространены в сельскохозяйственном производстве. Достаточно сказать, что практически на всех современных тракторах установлены дизели. Это энергонасыщенные тракторы Кировского завода К-700 и К-701, Харьковского завода Т-150 и Т-150К, Минского завода МТЗ-80 и МТЗ-82, Волгоградского завода ДТ-75М и др. Дизели используются на новых зерноуборочных комбайнах «Нива», «Колос» и «Сибиряк», а также на мощных грузо-

---

\* В. С. Заводов и др. Исследование работы карбюраторных двигателей на водно-бензиновых эмульсиях. — Химия и технология топлив и масел, 1982, № 1,

вых автомобилях Ярославского, Белорусского, Камского автомобильных заводов.

Рабочий процесс дизеля отличается от процесса карбюраторного двигателя приготовлением и воспламенением топливовоздушной смеси. В дизеле топливо непосредственно впрыскивается в среду сжатого и высоконагретого воздуха камеры сгорания, где одновременно происходит образование топливовоздушной смеси и самовоспламенение топлива. В связи с более высокими в сравнении с карбюраторными двигателями степенью сжатия ( $\epsilon=14...20$ ) и коэффициентом избытка воздуха ( $\alpha=1,4...1,5$ ) дизели более экономичны. Если у карбюраторных двигателей в среднем удельный расход топлива составляет 83...94 г/МДж, то у дизелей он равен 64...74 г/МДж.

Для обеспечения долговечной и экономичной работы дизеля топливо должно отвечать следующим требованиям:

- иметь хорошие смесеобразование и воспламеняемость;

- обладать соответствующей вязкостью;

- иметь хорошую прокачиваемость при различных температурах окружающей среды;

- не содержать сернистых соединений, водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды.

#### 4.2. Условия сгорания топлива

Общая схема движения топлива в системе питания дизеля следующая. Топливо после отстоя заправляют в топливный бак 8 (рис. 26) машины через заливную горловину 7 с мелкой сеткой. Из топливного бака с помощью подкачивающей помпы 10 насоса оно поступает вначале на фильтр грубой очистки 9, а затем на фильтр тонкой очистки 1, где дополнительно очищается от мельчайших примесей и смолисто-асфальтовых веществ. Отфильтрованное топливо поступает в топливный насос 11 и под высоким давлением по трубкам 3 нагнетается к форсункам 4. Форсунки при определенном угле рассеивания струи и давлении впрыскивают топливо в камеру сгорания 5 цилиндров, где находится сжатый воздух. Воздух в цилиндры поступает также высокой степени очистки, освободившись от примесей в воздухоочистителе 2.

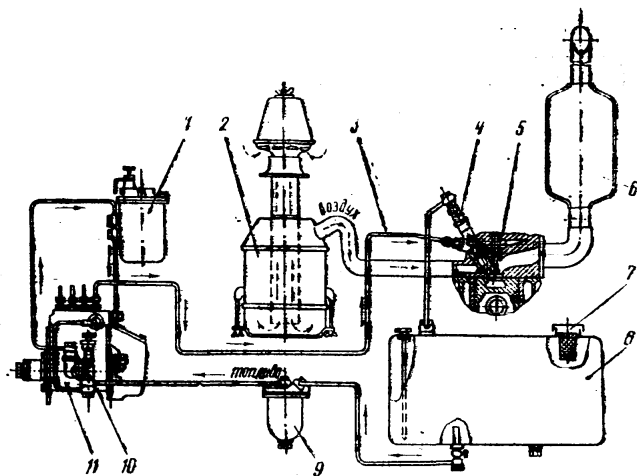


Рис. 26. Движение топлива в дизеле:

1 — фильтр тонкой очистки; 2 — воздухоочиститель; 3 — трубка; 4 — форсунка; 5 — камера сгорания; 6 — глушитель; 7 — заливная горловина; 8 — бак; 9 — фильтр грубой очистки; 10 — помпа; 11 — насос.

Рабочий процесс в четырехтактном дизеле осуществляется таким образом. При такте всасывания в цилиндр поступает хорошо очищенный воздух, который во втором такте сжатия сжимается. При этом давление в камере повышается до 2...5 МПа, а температура увеличивается до 600...900 °С. За 14...23° поворота коленчатого вала до прихода поршня в ВМТ начинается впрыскивание топлива в камеру сгорания, которое заканчивается на 6...12° поворота коленчатого вала после прихода поршня в ВМТ.

В этот период топливо интенсивно перемешивается с воздухом, испаряется и самовоспламеняется. Затем осуществляется такт рабочего хода, при котором топливо сгорает. Давление в цилиндре двигателя при этом повышается до 7...9 МПа, температура до 1700...2000 °С. Последний, четвертый такт выпуска происходит для удаления из рабочего объема цилиндра продуктов сгорания топлива через глушитель 6.

В дизелях с *неразделенными* камерами сгорания топливо впрыскивается через форсунку в камеру сгорания, заполненную сжатым воздухом. Под действием вихре-

вых движений воздуха топливо распыляется, перемешивается и сгорает. Разделенная камера сгорания состоит из двух объемов. Воспламенение и сгорание топлива начинается в предкамере, а затем переходит во вторую основную камеру. В этом случае значительно улучшаются процессы перемешивания и сгорания топлива за счет интенсивного завихрения перетекающих из предкамеры в основную камеру продуктов сгорания.

Процесс сгорания можно разделить на четыре фазы: *I* — фаза задержки (запаздывания) самовоспламенения; *II* — фаза быстрого горения или период интенсивного нарастания давления; *III* — фаза замедленного горения и *IV* — фаза догорания (рис. 27).

С заданным опережением  $\theta^\circ$  в точке 1 до прихода поршня в ВМТ начинается впрыскивание топлива и продолжается до точки 4. Общий период равен  $\theta_t$ . Однако горения топлива и сопутствующего ему интенсивного увеличения температуры и давления в цилиндре не отмечается до точки 2. Плавное повышение давления в этот период происходит вследствие продолжающегося хода сжатия.

Фаза *I* на диаграмме (от точки 1 до точки 2) является *фазой задержки самовоспламенения*. В течение этой фазы топливо распыляется, нагревается, испаряется и перемешивается. Одновременно протекают предпламенные окислительные процессы, которые завершаются самовоспламенением образовавшейся смеси паров топлива и воздуха в одном или нескольких очагах с наиболее благоприятными для этих процессов условиями. Выделяющаяся при появлении первых очагов пламени теплота ускоряет процессы физической и химической подготовки воспламенения всего топлива, поступившего в камеру сгорания за время фазы задержки самовоспламенения.

Для того чтобы топливо самовоспламенилось, оно должно быть нагрето до определенной температуры, на-

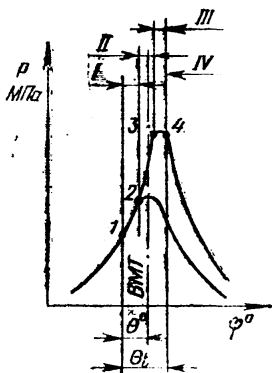


Рис. 27. Развернутая индикаторная диаграмма процесса сгорания топлива в дизеле.

зываемой *температурой самовоспламенения*. Она зависит от химического состава топлива и от внешних условий (давление, состав рабочей смеси, тип камеры сгорания и др.).

Продолжительность фазы *I* во многом зависит от размера капель топлива, образовавшихся при его распылении. Чем меньше размер капли, тем быстрее она нагревается и испаряется. Например, капля дизельного топлива диаметром 10 мкм нагревается в воздухе, имеющем  $t=50^{\circ}\text{C}$ , за 0,0001 с до  $240^{\circ}\text{C}$ , а капля диаметром 20 мкм — только до  $175^{\circ}\text{C}$ \*.

Сразу после окончания фазы *I* начинается фаза *II* — *фаза быстрого горения*. Количество сгорающего топлива в фазе *II* зависит непосредственно от длительности фазы *I*. Очевидно, что чем продолжительнее фаза задержки самовоспламенения, тем большее количество испарившегося топлива накапливается в камере сгорания. В этом случае теплота выделяется и давление нарастает в фазе *II* более интенсивно, что на индикаторной диаграмме отображается возрастанием крутизны линии между точками 2 и 3, т.е. возрастанием значения  $\frac{dP}{d\varphi}$ .

При высокой интенсивности нарастания давления работа двигателя делается более *жесткой*, что сопровождается возникновением ударной волны. Если же фаза задержки самовоспламенения будет непродолжительной, то поступает в камеру сгорания и испаряется топлива меньше. Тогда давление в течение фазы *II* нарастает более плавно и двигатель работает мягче, без стуков.

Фаза *III* — *фаза замедленного горения* начинается сразу же после фазы быстрого сгорания, при которой продолжается еще впрыскивание топлива. Эта фаза длится до конца поступления топлива в камеру сгорания (до точки 4).

После окончания впрыскивания топлива начинается фаза *IV* — *фаза догорания* топлива. Догорание протекает во время хода расширения при понижении давления в цилиндре. Увеличение длительности этой фазы ведет к повышению температуры отработавших газов и дымности выпуска, снижению к.п.д. двигателя, поэтому фазу догорания следует максимально сокращать. Практически эта фаза зависит от внешних факторов, химического состава топлива и т.п.

---

\* По данным Д. Н. Вырубова. — *Прим. авт.*



Следует отметить, что такие факторы, как увеличение угла опережения впрыскивания топлива в дизеле и увеличение угла опережения зажигания в карбюраторном двигателе, одинаково ухудшают работу двигателя, повышая жесткость в первом случае и увеличивая детонацию во втором. Один и тот же эффект вызывает повышение частоты вращения коленчатого вала: в карбюраторном двигателе снижается детонация, в дизеле уменьшается жесткость работы. Объясняется это тем, что физические и химические процессы сгорания топлива протекают аналогично. Главным же фактором является время, отводимое на процесс окисления и сгорания топлива. Так, для карбюраторного двигателя сокращение времени, отводимого на окислительные процессы с образованием перекисей, способствует уменьшению детонационного сгорания. В дизеле сокращение периодов задержки самовоспламенения и быстрого сгорания топлива способствует снижению интенсивности нарастания давления, а значит, приводит к более мягкой работе.

Другие факторы, такие, как степень сжатия, температура деталей, с которыми соприкасается рабочая смесь, температура поступающего воздуха и его плотность, наличие наддува и т. п., в карбюраторных двигателях и дизелях оказывают прямо противоположное воздействие на возникновение стуков при сгорании топлива. Эти явления объясняются следующим. Скорость протекания процессов смесеобразования и окисления во время фазы задержки самовоспламенения зависит от температуры. С повышением температуры эта скорость возрастает, а длительность фазы задержки самовоспламенения уменьшается. Поэтому факторы, способствующие повышению температуры в дизеле как к началу впрыскивания, так и во время его, обеспечивают более мягкую работу. В то же время повышение температуры в карбюраторном двигателе ведет к возникновению детонационного сгорания.

Если же рассматривать такие факторы, как повышение степени сжатия, применение наддува и т. п., то они приводят к повышению давления и температуры. В этих условиях химические реакции ускоряются, что для дизелей приводит к мягкой работе, а для карбюраторных двигателей — к появлению детонации.

Диаметрально противоположное влияние оказывает химический состав топлива. Например, если наличие ароматических углеводородов способствует повышению де-

тонационной стойкости бензинов, то в дизельном топливе благодаря высокой устойчивости к образованию перекисных соединений вызывает увеличение периода задержки самовоспламенения, а вследствие этого жесткую работу. И наоборот, преобладание в дизельном топливе *n*-парафинов, склонных легко образовывать перекиси, будет снижать период задержки самовоспламенения и обеспечивать более мягкую работу дизеля.

При сравнении жесткой работы дизеля, происходящей со стуками при интенсивном нарастании давления и работы карбюраторного двигателя, со стуками, обусловленными детонационным сгоранием топлива и распространением ударных детонационных волн, установлено\*, что в дизеле не возникает детонационной волны, следовательно, применение термина «детонация» не подходит для характеристики жесткой работы дизеля, и эти понятия следует различать.

#### **4.3. Оценка самовоспламеняемости топлива**

Свойство дизельного топлива, характеризующее мягкую или жесткую работу дизеля, оценивают по его самовоспламеняемости. Эту характеристику определяют путем сравнения работы стандартного дизеля на испытуемом и на эталонном топливе. Оценочным показателем при этом служит *цетановое число* топлива.

Цетановое число дизельного топлива представляет собой процентное (по объему) содержание цетана в смеси его с альфаметилнафталином, которая по самовоспламеняемости равноценна испытуемому в стандартном двигателе топливу.

В качестве одного эталона принят цетан, или *n*-гексадекан  $C_{16}H_{34}$  — парафиновый углеводород нормального строения с малым периодом задержки воспламенения. Его цетановое число принято за 100 ед. Вторым эталоном является альфаметилнафталин —  $C_{10}H_7CH_3$ , представляющий собой ароматический углеводород с двумя конденсированными бензольными ядрами. Альфаметилнафталин обладает большим периодом задержки воспламенения и вызывает очень жесткую работу дизеля. Цетановое число его условно принято за 0 ед. Если, на-

---

\* По исследованиям профессора Н. В. Брусянцева. — *Прим. авт.*

пример, самовоспламеняемость испытуемого топлива равноценна самовоспламеняемости смеси, состоящей из 45 % цетана и 55 % альфаметилнафталина, то цетановое число топлива будет равно 45.

Цетановое число можно определить тремя методами: по совпадению вспышек, по запаздыванию самовоспламенения и по критической степени сжатия. В нашей стране принят метод совпадения вспышек. Для этого используется одноцилиндровая установка ИТ9-3М, работающая по принципу самовоспламенения топлива от сжатия. Конструкция установки обеспечивает изменение степени сжатия в пределах от 7 до 23. Сначала пускают двигатель и устанавливают стандартный режим работы, после чего переводят двигатель на испытуемое топливо.

Изменяя степень сжатия, добиваются начала самовоспламенения топлива строго в ВМТ. Затем подбирают такую смесь цетана с альфаметилнафталеном, чтобы она при этих же условиях самовоспламенялась строго в ВМТ. Процентное содержание цетана в этой смеси дает цетановое число испытуемого топлива.

Для нормального пуска и плавной работы дизеля необходимо, чтобы топливо летних сортов имело цетановое число 40...45, а зимних сортов — 45...50 ед.

Цетановое число (ЦЧ) топлива можно определить, если известен его групповой химический состав, по следующей формуле:

$$\text{ЦЧ} = 0,85\text{П} + 0,1\text{Н} - 0,2\text{А}, \quad (34)$$

где П, Н и А — содержание в топливе соответственно парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов по массе, %.

#### Режим работы двигателя ИТ9-3М при определении цетанового числа

| Показатели                                                     | Значения показателей |
|----------------------------------------------------------------|----------------------|
| Частота вращения коленчатого вала, мин <sup>-1</sup> . . . . . | 900±10               |
| Температура, °С:                                               |                      |
| воздуха при всасывании . . . . .                               | 65±1                 |
| воды, охлаждающей форсунку . . . . .                           | 38±3                 |
| воды, охлаждающей цилиндр . . . . .                            | 100±2                |
| масла в картере двигателя : . . . . .                          | 50...65              |
| Давление впрыскивания топлива, МПа                             | 10,6...0,4           |
| Угол опережения впрыскивания, ° до ВМТ . . . . .               | 13                   |
| Количество впрыскиваемого топлива, мл/мин . . . . .            | 13±0,5               |
| Начало самовоспламенения . . . . .                             | В ВМТ                |

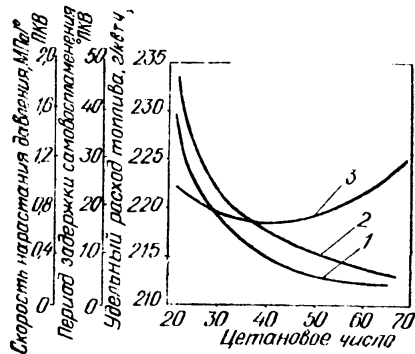


Рис. 28. Влияние цетанового числа на процесс сгорания топлива;

1 — период задержки самовоспламенения; 2 — скорость нарастания давления; 3 — удельный расход топлива в двигателе.

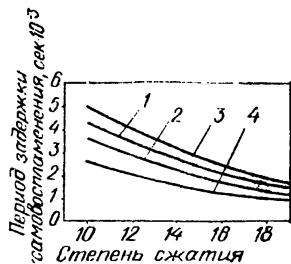


Рис. 29. Влияние степени сжатия на период задержки самовоспламенения:

1 — дизельное топливо ДЛ; 2 — парафино-нафтенная часть топлива ДЛ; 3 — ароматическая часть топлива ДЛ; 4 — синтин.

Для получения дизельного топлива с достаточно высоким цетановым числом лучше использовать нефти алканового и алкано-цикланового основания, в дистиллятах которых содержание ароматических углеводородов относительно невелико.

В соответствии с ГОСТ выпускается дизельное топливо с цетановыми числами порядка 40...45 ед.

Применение дизельного топлива с цетановым числом менее 40 ед. приводит к увеличению периода задержки самовоспламенения и возникновению жесткой работы; выше 50 ед. — нецелесообразно, так как при этом возрастает удельный расход топлива из-за уменьшения полноты его сгорания.

На рисунке 28 приведена зависимость между цетановым числом и показателями процесса сгорания топлива [3].

Для повышения цетанового числа дизельного топлива к нему прибавляют специальные высокоцетановые компоненты, как, например, соответствующие фракции жидкого топлива (синтина), получаемого в результате синтеза из оксида углерода и водорода. Другой способ повышения цетанового числа — введение специальных присадок, ускоряющих предпламенные реакции (переки- си углеводородов, нитросоединения — нитроалканы, изо-

пропилнитрат и др.). Однако широкого распространения эти способы не получили из-за невысокой стабильности такого дизельного топлива при хранении и его взрывоопасности.

На сгорание дизельного топлива значительное влияние оказывают конструктивные и эксплуатационные факторы. Положительно влияет повышение степени сжатия, а следовательно, температуры и давления воздуха в цилиндре двигателя: улучшается процесс сгорания, двигатель работает более мягко (рис. 29). Различные кривые на рисунке характеризуют также влияние углеводородного состава.

Увеличение угла опережения впрыскивания топлива отрицательно сказывается на периоде задержки самовоспламенения, ибо топливо поступает в менее сжатую и нагретую среду и работа двигателя будет более жесткой. Если впрыскивание происходит очень рано, то за счет воспламенения и преждевременного сгорания части топлива может развиваться значительное давление до прихода поршня в ВМТ, что вызовет потерю мощности из-за преодоления давления горючих газов и снижение к. п. д. двигателя.

Конструкция камеры сгорания должна обеспечивать интенсивное вихреобразование при сжатии воздуха, что сокращает время нагрева и испарения впрыснутого топлива, а значит, уменьшает время первой фазы сгорания. В качестве материала для поршней лучше использовать не алюминий, а чугун, так как он обладает меньшей теплопроводностью и поэтому его температура будет выше. Следовательно, при поршнях из чугуна более интенсивно будут нагреваться воздух и топливо, что способствует уменьшению периода самовоспламенения.

#### **4.4. Смесеобразующие свойства**

Под процессом смесеобразования в дизеле понимают весь комплекс сложных физических и химических явлений, протекающих от момента впрыскивания топлива в камеру сгорания до воспламенения последней его порции.

Условия смесеобразования в дизеле и карбюраторном двигателе различны. В карбюраторном двигателе смесеобразование начинается в смесительной камере карбюратора, продолжается во впускном трубопроводе и за-

канчивается при такте сжатия, на что отводится около 0,026 с при частоте вращения коленчатого вала двигателя 2000 мин<sup>-1</sup>. За это время топливо успевает достаточно полно испариться и равномерно перемешаться с воздухом. В дизеле топливо впрыскивается непосредственно в среду сжатого воздуха камеры сгорания за несколько градусов до прихода поршня в ВМТ и время смесеобразования при такой же частоте вращения коленчатого вала составляет всего лишь 0,002...0,003 с, или в 10 раз меньше. Эти обстоятельства обуславливают ряд специфических требований к конструктивному оформлению камеры сгорания и работе топливной аппаратуры. Особенности дизелей позволяют применять для них топливо с меньшим давлением насыщенных паров и содержащее более тяжелые фракции по сравнению с бензинами. Так, при впрыскивании топлива в среду сжатого воздуха, которая нагрета до температуры 600...700 °С, часть топлива самовоспламеняется и процесс горения с выделением теплоты начинается еще до окончания цикловой подачи топлива. В результате этого образование топливовоздушной смеси протекает при более высокой температуре, чем в карбюраторном двигателе, и продолжающей повышаться вследствие частичного совмещения процессов образования и сгорания топливовоздушной смеси.

Образование рабочей смеси в дизеле зависит от ряда факторов, основными из которых являются: температура и давление в камере сгорания; надежность подачи и степень распыливания топлива при впрыскивании; физико-химические свойства топлива.

Температура и давление в камере сгорания определяются степенью сжатия, охлаждением двигателя, частотой вращения коленчатого вала, наличием наддува и т.п. При работе дизеля температура и давление в значительной степени зависят от частоты вращения коленчатого вала: при ее уменьшении температура падает, давление впрыскивания топлива снижается, увеличивается время цикла, что в целом ухудшает качество смесеобразования и сгорания топлива. Это, в свою очередь, приводит к снижению экономичности двигателя и повышенному отложению на деталях липких лакообразных продуктов в результате неполного окисления топлива.

Современные дизели являются высокооборотными, что обуславливает их хорошие тепловые характеристики, смесеобразование и сгорание.

**Надежность подачи топлива** — необходимое предварительное условие правильного смесеобразования и сгорания. Здесь важную роль играет чистота дизельного топлива. Находящиеся в топливе даже в незначительном количестве механические примеси забивают фильтрующие элементы и, самое главное, вызывают форсированный износ плунжерных пар, корпуса и иглы распылителя форсунок, изготовленных с высокой точностью. Износ прецизионных деталей приводит к снижению давления и цикловой массовой подачи топлива, уменьшению давления впрыскивания, подтеканию топлива из-под иглы распылителя форсунки, что практически полностью нарушает работу дизеля.

Содержание механических примесей в дизельном топливе определяют по ГОСТ 6370—59. Для этого берут среднюю пробу в количестве 100 мл и разбавляют двумя частями чистого бензина. Полученный раствор пропускают через беззольный фильтр, предварительно взвешенный и доведенный до постоянной массы. Полученный осадок на фильтре промывают легким бензином. Фильтр с осадком высушивают и доводят до постоянной массы при температуре 102...105 °С. По увеличению массы фильтра подсчитывают процентное содержание механических примесей в топливе.

Присутствие воды в дизельном топливе является причиной снижения надежности топливоподачи из-за коррозии деталей. Пуск дизеля ухудшается, а при эксплуатации в зимнее время нарушается подача топлива и двигатель даже останавливается из-за образования в трубопроводах кристалликов льда. В связи с этим к авто-тракторному топливу, особенно к дизельному, предъявляют требование недопустимости содержания в нем механических примесей и воды. С этой целью дизельное топливо перед употреблением отстаивают, баки тракторов и автомобилей заправляют через специальные фильтры, из баков и фильтров периодически спускают отстой, своевременно и тщательно обслуживают топливные фильтры и т. д.

**Степень распыливания топлива.** Под распыливанием понимают процесс разделения топлива на мельчайшие частицы, чем создают наилучшие условия для смесеобразования и испарения. Распыливание топлива в дизелях бывает компрессорное и бескомпрессорное. Все современные дизели в основном бескомпрессорные; в них

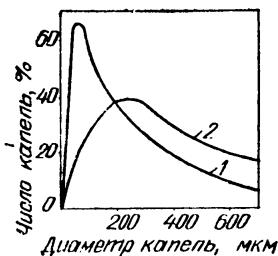


Рис. 30. Характеристика степени распыливания топлива:

1 — при тонком и равномерном распыливанні; 2 — при менее тонком распыливанні.

используют *струйное* или *предкамерное* распыливание, *вихревые* и *воздушные* камеры. При струйном распыливании применяют неразделенные камеры сгорания, во всех остальных случаях — разделенные, состоящие из двух частей, связанных между собой каналами.

При струйном распыливании топливо попадает в среду сжатого воздуха, имеющего вихреобразное движение. Под действием кинетической энергии, сообщенной при впрыскивании, оно достаточно полно

перемешивается с воздухом и испаряется. На качество смесеобразования при этом влияет степень распыливания и длина струи впрыскиваемого топлива. Степень распыливания оценивают диаметром капель топлива и их однородностью (рис. 30).

Размер образующихся капель зависит от давления впрыскивания топлива: с его увеличением возрастает скорость струи и диаметр капель уменьшается. Чем больше длина струи, тем лучше распространяются и перемешиваются с воздухом капли топлива по всему объему. Кроме давления и скорости впрыскивания топлива на тонкость и однородность распыливания влияют противодавление в цилиндре, диаметр сопла форсунки, вязкость, плотность и поверхностное натяжение топлива.

Увеличение противодавления или повышение плотности среды, в которую впрыскивается топливо, значительно улучшает распыливание. Оно повышается также и при меньшем диаметре сопла форсунки за счет увеличения скорости струи топлива.

Некоторые недостатки струйного распыливания приводят к относительно жесткой работе двигателя и повышенным динамическим нагрузкам на его детали. Однако двигатели с таким распыливанием топлива достаточно широко распространены благодаря их высокой экономичности и легкости пуска.

В двигателях с вихревыми камерами процесс смесеобразования протекает лучше за счет более полного сго-



рания топлива, снижения его удельного расхода, уменьшения тепловой напряженности поршня и сравнительно невысокого давления впрыскивания топлива. В вихревой камере топливо самовоспламеняется и частично сгорает; образующиеся продукты выходят в основную камеру, где интенсивно перемешиваются с воздухом и догорают под действием вихреобразно движущегося воздуха.

**Влияние физико-химических свойств топлива на процесс смесеобразования.** Одно из важнейших требований к качеству дизельного топлива — легкая *прокачиваемость* при различных температурах окружающей среды. Это качество определяется вязкостью и температурой застывания топлива. Вязкость дизельного топлива зависит от температуры (табл. 12).

## 12. Зависимость вязкости топлива от температуры

| Дизельное топливо | Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при температуре, °С |       |       |       |
|-------------------|------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
|                   | -20                                                              | 0     | -10   | -20   |
| Летнее            | 6,36                                                             | 12,94 | 20,59 | 50,92 |
| Зимнее            | 4,26                                                             | 8,36  | 12,43 | 20,6  |

При повышении вязкости дизельное топливо хуже проходит через топливные фильтры, что способствует снижению подачи топлива и падению мощности.

Распыливание топлива ухудшается с повышением вязкости за счет образования крупных капель (рис. 31), хотя увеличивается глубина их проникновения в среду сжатого воздуха.

При малой вязкости процесс смесеобразования также ухудшается из-за снижения скорости проникновения капель топлива в камеру сгорания, в результате чего топливовоздушная смесь неоднородна.

Оптимальная вязкость дизельного топлива с точки зрения распыливания и прокачиваемости — 3...8 мм<sup>2</sup>/с при 20°С. Поскольку для приборов системы питания дизельное топливо служит одновременно смазывающей жидкостью, использование топлива с вязкостью меньше указанных значений недопустимо. В противном случае

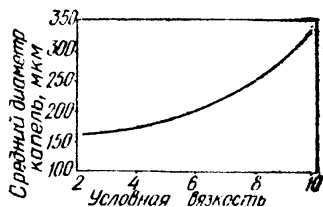


Рис. 31. Влияние вязкости топлива на тонкость распыливания.

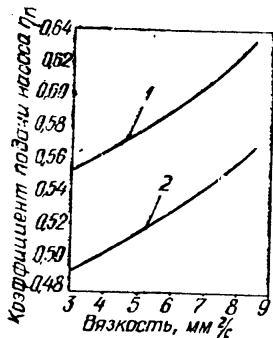


Рис. 32. Изменение коэффициента подачи насоса с изменением вязкости топлива при частоте вращения насоса:

1 — 1000 мин<sup>-1</sup>; 2 — 400 мин<sup>-1</sup>.

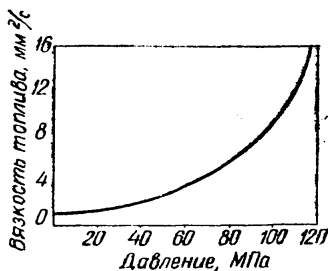


Рис. 33. Зависимость вязкости топлива от давления.

возрастет износ плунжерных пар, а также снизится коэффициент подачи топлива в камеру сгорания из-за увеличения утечек через зазоры прецизионных деталей (рис. 32). При повышении вязкости с 3 до 8 мм<sup>2</sup>/с коэффициент подачи топлива увеличивается на 15...16 %.

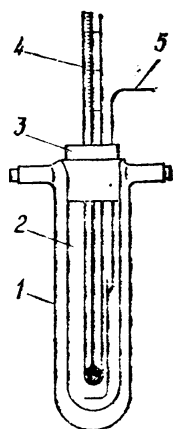
На вязкость оказывает большое влияние давление: с повышением давления вязкость топлива возрастает (рис. 33).

Для применения дизельного топлива важным показателем является температура, при которой входящие в состав топлива парафиновые углеводороды переходят в твердое состояние. Появившиеся кристаллы забивают топливные фильтры, что ведет к нарушению или прекращению подачи топлива. Такое состояние топлива определяется по температуре помутнения, при которой прозрачность нарушается, т. е. теряется фазовая однородность топлива. Температуру помутнения определяют по ГОСТ 5066—56. Разработан также метод\* нахождения температуры кристаллизации (ГОСТ 6264—52). Этот метод основан на распределении по вертикальному градиенту температур твердой и жидкой фаз в цилиндрическом или призматическом столбе испытуемого топлива. Температурой начала кристаллизации считают темпера-

\* Предложен проф. А. С. Ирисовым и В. Н. Лапикура. — Прим. авт.

Рис. 34. Прибор для определения температуры застывания топлива:

1 — стеклянный сосуд; 2 — пробирка с испытуемым топливом; 3 — пробка; 4 — термометр; 5 — мешалка.



туру, при которой в топливе появляются первые кристаллы, видимые невооруженным глазом.

Низкотемпературные свойства топлива характеризует еще и *температура застывания*, при которой топливо теряет подвижность. Эту температуру определяют по ГОСТ 20287—74. Для определения температуры застывания топливо наливают в пробирку 2 (рис. 34) и охлаждают. Температуру застывания фиксируют в тот момент, когда уровень топлива при наклоне пробирки под углом  $45^\circ$  остается постоянным в течение 1 мин. Температуру помутнения определяют аналогично. Температура помутнения обычно на  $5...10^\circ$  выше температуры застывания. Зимнее дизельное топливо имеет температуру застывания  $-35...-45^\circ\text{C}$ , летнее  $-10^\circ\text{C}$ .

При эксплуатации иногда для снижения температуры помутнения и застывания дизельное топливо разбавляют керосином. Однако при этом снижается цетановое число, и двигатель будет работать на таком топливе более жестко.

#### 4.5. Испаряемость топлива

Для получения смеси топлива с воздухом необходимо, чтобы топливо испарялось. Топливоздушная смесь воспламеняется в той части заряда, где скорее будет достигнут нижний предел воспламеняемости смеси. Это значит, что скорость смесеобразования и полнота испарения впрыснутого в цилиндр двигателя топлива зависят от температуры, давления, вихревого движения воздуха в камере сгорания, качества распыливания и *испаряемости* топлива.

Чем лучше распыливается топливо, тем большую поверхность испарения оно имеет. Кроме того, с уменьшением диаметра капель возрастает скорость их нагревания. Следовательно, скорость испарения впрыскиваемого топлива возрастает с улучшением качества распыливания.

При применении топлива, имеющего плохую испаряемость и выкипающего при высоких температурах, скорость испарения может уменьшаться настолько, что топливо не успеет перейти в газообразное состояние, и значит полностью сгореть. При этом увеличивается его расход, повышается износ деталей цилиндропоршневой группы из-за смывания несгоревшим топливом смазочной пленки со стенок гильз цилиндров.

Испаряемость дизельного топлива оценивается фракционным составом. Оптимальные его значения для разных двигателей различны. Так, в дизелях с разделенной или вихревой камерой сгорания равномерная рабочая смесь и полное сгорание могут быть получены при относительно тяжелом составе. Для двигателей с неразделенной камерой и непосредственным впрыскиванием необходимо топливо более легкого состава, что объясняется различием условий смесеобразования и сгорания.

При испытаниях на автомобильном дизеле вместо топлива с  $t_{90\%} = 300^\circ\text{C}$  использовали топливо с  $t_{90\%} = 355^\circ\text{C}$ . Расход последнего увеличился на 4...17 %. Расход еще более тяжелого топлива возрос на 17...31 %\*.

Для улучшения пуска двигателя, независимо от типа, желателен облегченный фракционный состав (рис. 35). Это связано с тем, что при пуске

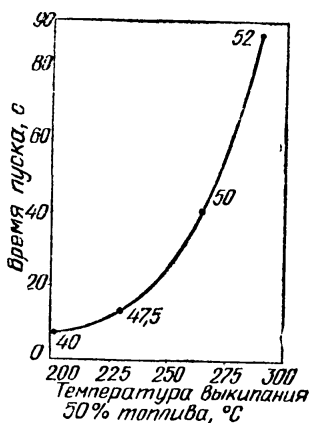


Рис. 35. Влияние температуры выкипания 50 % дизельного топлива на продолжительность пуска (цифры на кривой — цетановое число топлива).

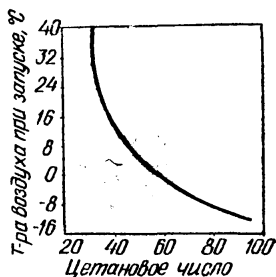


Рис. 36. Влияние цетанового числа топлива на пуск двигателя при разных температурах воздуха (по данным Т. М. Мелькумова).

\* Данные получены Н. Г. Пучковым. — Прим. авт.

создаются неблагоприятные (в сравнении с прогретым двигателем) условия для смесеобразования и сгорания топлива вследствие недостаточно высокой температуры и пониженного давления сжатого в цилиндре дизеля воздуха.

Поэтому топливо для хорошего пуска должно обладать такой испаряемостью, чтобы к моменту самовоспламенения образовалась топливовоздушная смесь с необходимыми пределами воспламеняемости.

На пуск дизеля оказывает влияние также цетановое число (рис. 36). Так, при одинаковом фракционном составе топливо с цетановым числом 53 обеспечивало пуск двигателя за 3 с, топливо с цетановым числом 38 — только за 45 с. Объясняется это тем, что у топлива с большим цетановым числом процессы предварительного окисления и воспламенения протекают быстрее из-за наличия углеводородов, склонных к окислению.

Пусковые свойства дизельного топлива оцениваются температурой выкипания 50 % топлива. Установлено, что цетановое число (если оно не очень низкое) влияет на легкость пуска в меньшей степени, чем фракционный состав. Например, время прокручивания двигателя до пуска при применении топлива с цетановым числом 47,5 и  $t_{50\%} = 225^\circ\text{C}$  оказалось почти в 9 раз меньшим, чем при применении топлива с цетановым числом 50 и с  $t_{50\%} = 285^\circ\text{C}$ . Следовательно, в дизелях использование очень легкого топлива недопустимо из-за его низкого цетанового числа (жесткая работа), а тяжелого — из-за трудности пуска и неполноты сгорания.

Для дизелей выпускают зимнее топливо с  $t_{50\%} = 255\ldots 280^\circ\text{C}$  и  $t_{96\%} = 330\ldots 340^\circ\text{C}$ , летнее с  $t_{50\%} = 280^\circ\text{C}$  и  $t_{96\%} = 360^\circ\text{C}$ . Такой фракционный состав дизельного топлива обеспечивает достаточную полноту сгорания топлива и мягкую работу современных высокооборотных дизелей.

Однако пуск дизеля в холодное время даже при оптимальных свойствах дизельного топлива осуществляется значительно труднее, чем карбюраторного двигателя. Для облегчения пуска применяется целый ряд приспособлений, способствующих повышению температуры воздуха, поступающего в цилиндры.

Фракционный состав дизельного топлива определяют так же, как и карбюраторного. Испаряемость дизельного топлива оценивается по результатам фракционной пе-

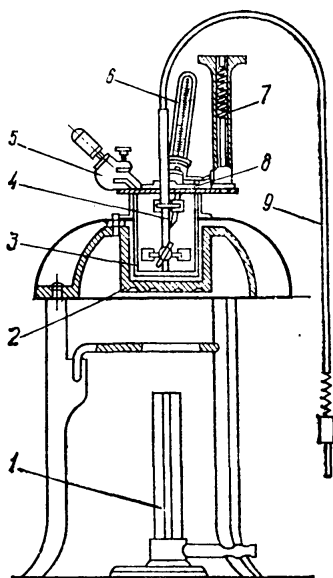


Рис. 37. Прибор для определения температуры вспышки нефтепродуктов (с закрытым тиглем):

1 — горелка; 2 — нагревательный резервуар; 3 — резервуар для испытуемого топлива; 4 — мешалка; 5 — фитиль; 6 — термометр; 7 — рычажное приспособление, открывающее окно в крышке; 8 — крышка; 9 — трос для открытия окна.

регонки: чем ниже температура кипения фракции, тем выше упругость насыщенных паров.

В соответствии со стандартами на дизельное топливо, кроме фракционного состава, определяют также *температуру вспышки*.

Под температурой вспышки понимают ту минимальную температуру, до которой необходимо нагреть топливо, чтобы пары, обра-

зующиеся над его поверхностью, вспыхивали при поднесении открытого пламени. Минимальная температура при нагревании, при которой в присутствии открытого пламени топливо не только вспыхивает, но и горит не менее 5 с, называется *температурой воспламенения*.

По температуре вспышки оценивают огнеопасность нефтепродуктов, а также количество фракций с высоким давлением паров. Температуру вспышки нефтепродуктов с невысоким значением вспышки (дизельное топливо) определяют в приборе закрытого типа (рис. 37). Топливо нагревают, периодически перемешивая. Примерно за  $10^\circ$  до ожидаемой температуры вспышки к поверхности топлива наклоняют зажженный фитиль. Опыт повторяют через каждые  $2^\circ$  до появления вспышки — синего пламени над поверхностью топлива. Температура вспышки для зимнего дизельного топлива составляет  $30...35^\circ\text{C}$ , для летнего —  $50^\circ\text{C}$ .

По температуре вспышки можно судить и об однородности состава топлива. Именно попадание в него других нефтепродуктов изменит первоначальное значение температуры вспышки.

Необходимо, чтобы дизельное топливо при сгорании не образовывало нагароотложений на деталях камеры сгорания, клапанах газораспределительного механизма, поршневых кольцах, игле и корпусе форсунки и т. д., ибо это приводит к значительным нарушениям в работе. Так, нагар, образующийся на клапанах, приводит к их зависанию, в камере сгорания — к нарушению теплоотдачи, на форсунке ухудшает качество впрыскивания. Крайне нежелательно образование отложений на поршневых кольцах, что приводит к их закоксуыванию и, следовательно, нарушает компрессию, увеличивает прорыв газов в картер двигателя, повышает долю угара моторного масла и т. п.

Процесс нагарообразования в двигателе зависит и от качества применяемого моторного масла, однако будут рассмотрены свойства только топлива.

На процессе нагарообразования в дизеле сказываются следующие качества топлива: неполнота сгорания из-за тяжелого фракционного состава и повышенной вязкости; наличие в топливе высокомолекулярных смолисто-асфальтовых соединений, непредельных углеводородов, сернистых соединений и механических примесей; повышенная зольность. Поэтому, чтобы уменьшить нагарообразование в двигателе, необходимо либо полностью очистить топливо от нежелательных соединений, либо значительно снизить их содержание.

Для оценки склонности топлива к нагарообразованию используют *показатель коксуемости*. Его удобно применять для сравнительной оценки различных партий одного и того же топлива при приемочных испытаниях. Коксуемость топлива определяется по ГОСТ 19932—80 в специальном приборе (рис. 38). В фарфоровый тигель 1 берут навеску испытуемого топлива и ставят его в железный тигель 2, служащий воздушной баней, после чего их помещают в тигель 3 с песком, выполняющий функцию песочной бани. Затем тигли ставят в железный асбестированный муфель 5 и закрывают колпаком 4. При нагревании тиглей топливо коксуется. Пары и газы, выходящие из колпака, поджигают. Окончание коксования определяют по прекращению выделения газов, т. е. по прекращению горения. Затем фарфоровый тигель ох-

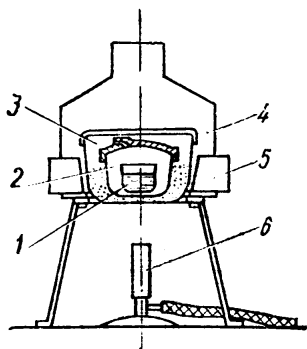


Рис. 38. Прибор для определения коксуемости нефтепродуктов:

1 — фарфоровый тигель; 2 — железный тигель; 3 — тигель с песком; 4 — колпак; 5 — муфель; 6 — горелка.

лаждают в эксикаторе и взвешивают. Коксуемость, или, как иногда называют, *коксовое число* топлива, выражают в процентах от взятой навески.

По стандарту коксуемость для дизельного топлива допускается не более 0,05 %. Но поскольку это значение мало, определяют коксуемость остатка, получаемого после отгона из колбы при фракционной разгонке 90 % топлива. В этом случае коксуемость 10 %-ного остатка допускается не более 0,3 %.

Помимо нагара, на деталях образуются также лаковые отложения — продукты высокотемпературного окисления не-

предельных углеводородов и других соединений.

Для оценки склонности топлива к лакообразованию используют специальную методику и прибор\*. 1 мл испытуемого топлива помещают в алюминиевую чашечку и выпаривают в специальном термостате-лакообразователе при температуре 250 °С. По окончании испарения в чашечке остается лаковая пленка. После охлаждения образовавшийся в ней лак взвешивают. Расчет ведут на 10 см<sup>3</sup> топлива. Чем легче топливо по фракционному составу, тем меньше образуется лака.

Косвенно показатель коксуемости топлива можно оценивать по содержанию в нем смол. Для летнего дизельного топлива содержание смол в 100 см<sup>3</sup> не должно превышать 40 мг, для зимнего — 30 мг.

К лако- и нагарообразованию склонны непредельные углеводороды, с увеличением содержания которых в топливе эти процессы в двигателе интенсифицируются. Содержание непредельных (малоустойчивых) углеводородов можно оценить по *одному числу*. Это число равно количеству иода, выраженному в граммах, которое вступает в реакцию со 100 г топлива. В дизельном топ-

\* Разработаны проф. К. К. Папок. — *Прим. авт.*



ливе иодное число должно быть не более 6 г/100 г топлива.

Нежелательной частью дизельного топлива является зола, представляющая собой минеральный остаток после сжигания топлива в атмосфере воздуха при температуре 800...850 °С. Зольность определяют по ГОСТ 1461—75. Для этого берут фарфоровый тигель, который взвешивается до и после озоления топлива. Зольность выражают в процентах к навеске топлива.

Для дизельного топлива зольность не должна превышать 0,01 %. С увеличением зольности значительно возрастает износ деталей топливной аппаратуры и цилиндропоршневой группы двигателя.

Содержащиеся в топливе сернистые соединения влияют главным образом на качество нагара. Сера, концентрируясь в нагарах и отложениях, делает их более твердыми и трудноудаляемыми. Так, при содержании в топливе 0,08 % серы в нагарах ее содержалось 1 % и плотность отложений составляла 0,03 г/см<sup>3</sup>. При повышении содержания серы в топливе до 1,5 % в нагарах ее содержание возросло до 9 %, а плотность отложений увеличилась до 0,5 г/см<sup>3</sup>.\*

Повышенный износ деталей, по-видимому, имеет не только коррозионный характер, но обуславливается также воздействием нагаров высокой плотности и абразивности.

#### 4.7. Коррозионные свойства топлива

Как уже отмечалось при рассмотрении коррозионных свойств карбюраторного топлива, основным фактором, обуславливающим коррозию, является содержание в топливе водорастворимых кислот и щелочей, органических кислот, воды и сернистых соединений. Все сказанное относится также и к дизельному топливу. Наблюдаемые на практике различия относятся главным образом к интенсивности коррозионного процесса и зависят от напряженности или форсированности двигателя, а также от условий эксплуатации, касающихся в большей степени теплового режима двигателя.

По требованиям ГОСТ в дизельном топливе содержание водорастворимых кислот, щелочей и воды не допускается. Органические кислоты оказывают слабое кор-

---

\* По данным Н. Г. Пучкова, — *Прим. авт.*

розионное действие на металл емкостей для хранения или перекачивания топлива и на детали цилиндропоршневой группы.

В Научно-исследовательском автомобильном институте (НАМИ) и Всесоюзном научно-исследовательском институте нефтеперерабатывающей промышленности (ВНИИ НП) были исследованы два образца дизельного топлива — одно с кислотностью 4 мг КОН/100 см<sup>3</sup>, другое — 50 мг КОН/100 см<sup>3</sup> на автомобильном двухтактном дизеле в течение 500 ч. Установлено, что при использовании топлива с повышенной кислотностью производительность форсунок снизилась в 7 раз, износ плунжерных пар и первого компрессионного кольца повысился более чем в 2 раза. Поэтому техническими условиями кислотность дизельного топлива допускается не более 5 мг КОН/100 см<sup>3</sup>.

Особенно сильное влияние на повышение коррозионных износов оказывают содержащиеся в топливе сернистые соединения. При этом коррозия в высокооборотных форсированных дизелях проходит интенсивнее, чем в дизелях со средней и малой частотой вращения коленчатого вала. В зоне высоких температур, где конденсация влаги ограничена или отсутствует, преобладает газовая коррозия от воздействия сернистых SO<sub>2</sub> или серных SO<sub>3</sub> ангидридов. В области пониженных температур, где возможна конденсация влаги и образование сернистой и серной кислот, преобладает кислотная коррозия. Но в том и другом случае при повышении содержания серы коррозионный износ увеличивается, что наглядно иллюстрируется кривыми, приведенными на рисунке 39 [4]. Отрицательное действие сернистых соединений в еще большей степени проявляется в условиях пониженных температур (рис. 40). На представленных кривых видно, что при работе двигателя с температурой охлаждающей воды 35 °С износ оказался примерно в 4 раза выше [4]. Для уменьшения коррозионного износа необходимо также обеспечивать установленный температурный режим работы двигателя в соответствии с заводской инструкцией по эксплуатации.

Применение сернистого топлива для дизелей оказывает большое влияние на ускорение процесса старения моторного масла, возрастание количества отложений на маслофильтрующих элементах и увеличение нагароотложений на деталях (табл. 13).

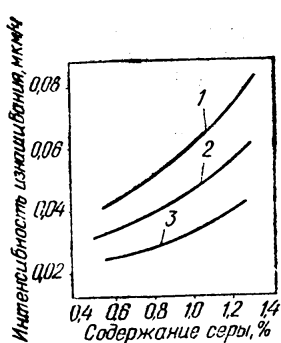


Рис. 39. Зависимость износа гильзы цилиндра двигателя СМД-60 (масло М-10Г<sub>2</sub>) от содержания серы в топливе и температуры охлаждающей жидкости:

1 — 30 °C; 2 — 60 °C; 3 — 90 °C.

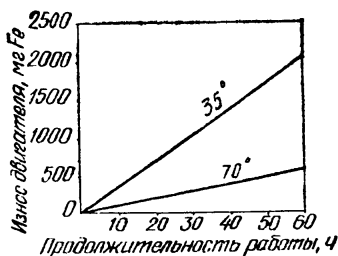


Рис. 40. Влияние температуры охлаждающей воды на износ двигателя при работе на сернистом топливе.

Для уменьшения коррозионного воздействия сернистых соединений топлива на детали двигателя используют антикоррозионные покрытия на верхних компрессионных кольцах и верхней части гильз цилиндров, что значительно снижает их износ.

### 13. Влияние содержания серы в топливе на образование отложений

| Топливо                       | Коксовое<br>число отра-<br>ботанного<br>масла, % | Отложения, г      |                   |           |
|-------------------------------|--------------------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------|
|                               |                                                  | на фильтрах       |                   | на поршне |
|                               |                                                  | тонкой<br>очистки | грубой<br>очистки |           |
| Стандартное бессерни-<br>стое | 0,8                                              | 700               | 58                | , 5,4     |
| С содержанием серы, %         |                                                  |                   |                   |           |
| 0,58                          | 1,4                                              | 870               | 54                | 12,4      |
| 0,89                          | 1,9                                              | 990               | 110               | 181       |

Главным направлением улучшения качества дизельного топлива является постоянное снижение содержания в нем сернистых соединений, что возможно в результате ввода новых производственных установок по гидроочистке. По ГОСТ содержание серы в топливе ограничено до 0,2...0,5%, однако эти значения постоянно снижаются.

#### 4.8. Марки дизельного топлива

С 1 января 1983 г. введен ГОСТ 305—82 «Топливо дизельное. Технические условия», который предусматривает выпуск дизельного топлива трех марок взамен восьми, выпускаемых ранее. Этот стандарт распространяется на топливо для высокооборотных и газотурбинных дизелей. Основное назначение ГОСТ 305—82 — оптимизация показателей качества дизельного топлива для его наиболее рационального использования, расширение ресурсов производства, сокращение ассортимента и унификация.

В зависимости от условий применения утверждены следующие марки дизельного топлива: Л — летнее; З — зимнее и А — арктическое. Топливо Л предназначено для применения при температуре окружающего воздуха 0°C и выше; З — при минус 20°C и выше (для холодной климатической зоны); А — при минус 50°C и выше. По содержанию серы дизельное топливо делят на два вида: I — не более 0,2% (масс.); II — не более 0,5% (масс.) для марок Л и З и не более 0,4% (масс.) для марки А.

В этот ГОСТ введена новая форма условного обозначения топлива. В обозначение летнего топлива входят цифры, которые соответствуют содержанию серы (% масс.) и температуре вспышки (°C). Например, Л-0,2-40 значит, что топливо летнее с содержанием серы 0,2% (масс.) и температурой вспышки 40°C. В обозначении зимнего топлива отражено содержание серы (% масс.) и температура застывания (°C). Например, З-0,2-минус 35 означает, что топливо зимнее с содержанием серы 0,2% (масс.) и температурой застывания минус 35°C. К марке арктического топлива добавляется только содержание серы (% масс.), например А-0,4.

Основные физико-химические показатели выпускаемого топлива приведены в таблице 14.

С целью полного обеспечения народного хозяйства дизельным топливом в наиболее напряженный период сельскохозяйственных работ (с 1 апреля по 1 сентября, а для южных районов с 1 марта по 1 октября при минимальной температуре на месте потребления топлива не ниже 5°C) допускается вырабатывать и поставлять топливо с температурой застывания не выше 0°C.

# 14. Основные физико-химические показатели дизельного топлива для высокооборотных двигателей

| Показатели                                                                               | Значения показателей для марки топлива |             |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|-------------|-----------|
|                                                                                          | Л                                      | З           | А         |
| Цетановое число, не менее                                                                | 45                                     | 45          | 40        |
| Фракционный состав                                                                       |                                        |             |           |
| температура выкипания, °С                                                                |                                        |             |           |
| 50 %                                                                                     | 280                                    | 280         | 255       |
| 96 % (конец перегонки)                                                                   | 360                                    | 340         | 330       |
| Плотность при 20 °С, кг/м³, не более                                                     | 860                                    | 840         | 830       |
| Вязкость при 20 °С, мм²/с                                                                | 3,0...6,0                              | 1,8...5,0   | 1,5...4,0 |
| Температура застывания, не выше, °С, при поставке топлива в климатическую зону умеренную | —10                                    | —35         | —         |
| холодную                                                                                 | —                                      | —45         | —55       |
| Температура помутнения, не выше, °С, при поставке топлива в климатическую зону умеренную | —5                                     | —25         | —         |
| холодную                                                                                 | —                                      | —35         | —         |
| Температура вспышки в закрытом тигле, не ниже, °С для дизелей общего назначения          | 50                                     | 35          | 30        |
| Содержание серы, % (масс.), не более, в топливе вида                                     |                                        |             |           |
| I                                                                                        | 0,2                                    | 0,2         | 0,2       |
| II                                                                                       | 0,5                                    | 0,5         | 0,4       |
| Содержание меркаптановой серы, % (масс.), не более                                       | 0,01                                   | 0,01        | 0,01      |
| сероводорода                                                                             |                                        | Отсутствие  |           |
| водорастворимых кислот и щелочей                                                         |                                        | »           |           |
| фактических смол, мг/100 см³, не более                                                   | 40                                     | 30          | 30        |
| механических примесей воды                                                               |                                        | Отсутствие  |           |
|                                                                                          |                                        | »           |           |
| Испытание на медной пластинке                                                            |                                        | Выдерживает |           |
| Кислотность, мг КОН/100 см³, не более                                                    | 5                                      | 5           | 5         |
| Иодное число, г I <sub>2</sub> /100 г, не более                                          | 6                                      | 6           | 6         |
| Зольность, %, не более                                                                   | 0,01                                   | 0,01        | 0,01      |

| Показатели                                 | Значения показателей для марки топлива |     |     |
|--------------------------------------------|----------------------------------------|-----|-----|
|                                            | Л                                      | З   | А   |
| Коксуемость 10 %-ного остатка, %, не более | 0,3                                    | 0,3 | 0,3 |
| Коэффициент фильтруемости, не более        | 3                                      | 3   | 3   |

Крайне нежелательно по экономическим соображениям использовать дизельное топливо зимних марок летом и при положительной температуре окружающего воздуха.

#### 4.9. Марки моторного топлива

В соответствии с ГОСТ 1667—68 для средне- и малооборотных дизелей вырабатывается моторное топливо марок ДТ и ДМ высшей категории и ДТ. Топливо этих марок представляет собой смесь дистиллятов с остаточными продуктами (мазутами) прямой перегонки или крекинга. Двигатели, в которых используется такое топливо, эксплуатируют в основном на стационарных и полустационарных установках. Краткая характеристика моторного топлива приведена в таблице 15.

#### 15. Основные показатели моторного топлива для средне- и малооборотных дизелей

| Показатель                                                              | Значения для марок моторного топлива |                            |                              |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------|------------------------------|
|                                                                         | ДТ высшей категории                  | ДТ                         | ДМ высшей категории          |
| Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup> , не более                       | 0,930                                | 0,930                      | 0,970                        |
| Фракционный состав:<br>до 250 °С перегоняется, %, не более              | 15                                   | 15                         | 10                           |
| Вязкость при 50 °С:<br>кинематическая, м <sup>2</sup> /с(сСт), не более | 20 · 10 <sup>-6</sup> (20)           | 36 · 10 <sup>-6</sup> (36) | 130 · 10 <sup>-6</sup> (130) |
| соответствующая ей условная, град., не более                            | 2,95                                 | 5,0                        | 17,4                         |

| Показатель                                        | Значения для марок моторного топлива |            |                     |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------|------------|---------------------|
|                                                   | ДТ высшей категории                  | ДТ         | ДМ высшей категории |
| Коксуемость, %, не более                          | 3,0                                  | 3,0        | 9,0                 |
| Зольность, %, не более                            | 0,02                                 | 0,04       | 0,06                |
| Массовая доля серы, %, не более, в топливе        |                                      |            |                     |
| малосернистом                                     | 0,5                                  | 0,5        | —                   |
| сернистом                                         | 1,5                                  | 1,5        | 2,0                 |
| Содержание сероводорода                           |                                      | Отсутствие |                     |
| Содержание водорастворимых кислот и щелочей       |                                      | »          |                     |
| Массовая доля механических примесей, %, не более  | 0,05                                 | 0,05       | 0,1                 |
| Массовая доля воды, %, не более                   | 0,1                                  | 0,5        | 0,5                 |
| Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже | 70                                   | 65         | 85                  |
| Температура застывания, °С, не выше               | —5                                   | —5         | 10                  |
| Массовая доля ванадия, %, не более                | 0,01                                 | 0,015      | 0,01                |

Моторное топливо ДТ применяют в средне- и малооборотных дизелях, не оборудованных специальной системой подогрева и отстоя топлива. Моторное топливо ДМ (мазут) рекомендуется для судовых малооборотных дизелей.

Правильная эксплуатация дизелей обеспечивается в тех случаях, когда сорта и марки применяемого топлива соответствуют рекомендациям заводов-изготовителей двигателей, а качество — требованиям ГОСТ.

Непрерывный рост оснащенности различных отраслей народного хозяйства, в том числе и сельскохозяйственного производства, машинами с двигателями внутреннего сгорания, повышение их технико-экономических показателей вызывают реальную необходимость не только значительного увеличения производства жидкого топлива, но и заметного улучшения его качества, повышения эффективности использования, а также разработки новых перспективных сортов. Технический прогресс требует нарастающего увеличения добычи нефти. Однако запасы ее неограничены, поэтому рациональное и экономное использование нефтепродуктов представляет одну из главнейших народнохозяйственных задач. В складывающихся условиях как никогда ранее возрастает необходимость проведения научных работ по изысканию новых сырьевых источников для производства жидкого топлива и по приведению в действие всех неиспользованных резервов по экономному его расходованию.

В этом направлении эффективным является проведение работ по сокращению действующего ассортимента выпускаемых видов топлива, их унификации, а также научное обоснование требований к физико-химическим показателям топлива.

Основным направлением по сокращению ассортимента видов топлива является максимально возможная и всесторонняя их унификация, проводимая как в масштабе всего народного хозяйства, так и по отдельным видам техники. В одном случае из общего ассортимента исключаются устаревшие и малоэффективные виды, а также виды, не обеспеченные достаточной сырьевой базой. В другом случае сокращают ассортимент видов топлива путем использования минимально возможного числа марок для аналогичных двигателей, применяемых на различных типах машин (корабли, самолеты, тракторы, автомобили, комбайны, самоходные машины, стационарные установки и т. д.).

Унификация топлива способствует упрощению эксплуатации машин, транспортировки и заправки топлива,



более строгому применению для двигателей топлива рекомендуемой марки и многому другому.

Товарные бензины различаются в основном значениями фракционного состава и детонационной стойкостью. Первое обусловлено большим разнообразием климатических условий страны, в которых эксплуатируются машины, второе — широким диапазоном степени сжатия для отечественных карбюраторных двигателей (от 6,5 для ЗИЛ-130 до 9,5 для двигателей ЗИЛ-114). Детонационную стойкость бензинов повышают за счет расширения производства высокооктановых компонентов и дальнейшего развития технологических процессов переработки фракций бензинов (каталитический риформинг и крекинг, изомеризация и алкилирование). Однако при этом резко увеличивается расход сырой нефти. Другим путем увеличения детонационной стойкости бензинов является добавление антидетонаторов. Здесь ограничивающим фактором служат международные требования по защите окружающей среды от отработавших газов. Уменьшение количества добавляемых антидетонаторов увеличивает расходы на производство бензина на 20...30 % в зависимости от требуемого октанового числа. Это обстоятельство выдвигает принципиальную необходимость всестороннего обоснования вопроса степени сжатия карбюраторных двигателей. Оптимальное решение этой задачи будет способствовать сокращению и унификации марок выпускаемых бензинов.

Важным моментом является также повышение достоверности оценки детонационной стойкости бензинов с учетом условий реальной эксплуатации автомобилей. Опыт показывает, что бензины одной марки и с одинаковым значением детонационной стойкости (ОЧИ) могут различаться по значению дорожного октанового числа (ОЧД) на 5...6 ед. и более. В условиях эксплуатации автомобилей, особенно легковых, полное использование мощности двигателей составляет незначительную часть времени, а остальное время двигатель работает в режиме неполной нагрузки. Видимо, для двигателя можно рекомендовать бензин с меньшим октановым числом, а вопросы борьбы с детонационным сгоранием при режимах полной нагрузки следует решать конструктивным путем. Например, независимо от компонентного состава бензин АИ-93 по отношению к требованиям двигателя ВАЗ-2103 «Жигули» имеет запас антидетонационных

свойств во всем диапазоне изменения скорости движения автомобиля\*. Следовательно, минимально допустимое значение октанового числа (ОЧИ) можно снизить не менее чем на 2...3 ед., а неэтилированных бензинов — на 5...6 ед.

Последние годы характеризуются значительным расширением номенклатуры машин с применением дизелей.

Весьма важным показателем дизельного топлива является цетановое число. Как показывают исследования, завышение цетанового числа приводит к неоправданному перерасходу топлива и увеличению загрязненности окружающей среды из-за неполного сгорания топлива. Снижение цетанового числа дизельного топлива позволяет уменьшить его расход на 3...6% при удовлетворительном рабочем процессе двигателя на максимальных нагрузках.

Проводятся также работы по сокращению числа входящих в ГОСТ физико-химических показателей дизельного топлива. Например, для определения степени чистоты топлива существует три показателя: содержание воды, содержание механических примесей и коэффициент фильтруемости. Исследования показывают, что причиной преждевременного забивания фильтрующих элементов дизелей является плохая фильтруемость топлива при положительных температурах окружающей среды. В свою очередь, она зависит одновременно от содержания воды, механических примесей и нафтенowych кислот. В связи с этим удобнее вместо трех показателей определять один комплексный — коэффициент фильтруемости\*\*.

Сокращение числа показателей и введение взамен их комплексных позволит в условиях эксплуатации упростить оценку качества топлива.

## **Глава 6. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗООБРАЗНОГО ТОПЛИВА**

### **6.1. Виды газообразного топлива**

Газообразное топливо с каждым годом находит все более широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. В сельскохозяйственном производстве газообразное топливо широко используется

---

\* Установлено Ю. Н. Ниловым и Б. А. Энглиным, — *Прим. авт.*

\*\* Предложено Т. Н. Митусовой, — *Прим. авт.*

для технологических (при отоплении теплиц, парников, сушилок, животноводческих и птицеводческих комплексов) и бытовых целей. В последнее время его применяют и для двигателей внутреннего сгорания.

По сравнению с другими видами газообразное топливо обладает следующими преимуществами:

сгорает в теоретическом количестве воздуха, что обеспечивает высокие тепловой к. п. д. и температуру горения;

при сгорании не образует нежелательных продуктов сухой перегонки и сернистых соединений, копоти и дыма;

сравнительно легко подводится по газопроводам к удаленным объектам потребления и может храниться централизованно;

легко зажигается при любой температуре окружающего воздуха;

требует сравнительно небольших затрат при добыче, а значит, является по сравнению с другими более дешевым видом топлива;

может быть использовано в сжатом или сжиженном виде для двигателей внутреннего сгорания;

обладает высокими противодетонационными свойствами;

при сгорании не образует конденсата, что обеспечивает значительное уменьшение износа деталей двигателя и т. п.

Вместе с тем газообразное топливо имеет также определенные отрицательные свойства, к которым относятся: отравляющее действие, образование взрывчатых смесей при смешении с воздухом, легкое протекание через неплотности соединений и др. Поэтому при работе с газообразным топливом требуется тщательное соблюдение соответствующих правил техники безопасности.

Газ является весьма ценным химическим сырьем для получения многих видов продуктов, что в целом определяет высокие темпы его добычи и потребления. К концу одиннадцатой пятилетки намечено довести добычу газа до 600...640 млрд. м<sup>3</sup>.

Применение газообразных видов топлива обусловливается их составом и свойствами углеводородной части. Наиболее широко применяются природный или попутный газ нефтяных или газовых месторождений, а также заводские газы нефтеперерабатывающих и других заво-

дов. Основными составляющими компонентами этих газов являются углеводороды с числом углеродных атомов в молекуле от одного до четырех (метан, этан, пропан, бутан и их производные). Природные газы из газовых месторождений практически полностью состоят из метана (82...98%), с небольшой примесью этана (до 6%), пропана (до 1,5%) и бутана (до 1%). В попутных нефтяных газах содержание метана колеблется в более широких пределах (40...85%), но в них, кроме того, содержится этан и пропан (до 20 % каждый). Заводские газы содержат как парафиновые, так и олефиновые углеводороды, которые чаще всего используются как сырье для синтеза пластических масс и других веществ.

В горючих газах, кроме углеводородов, могут содержаться и другие компоненты, такие, как водород, оксиды углерода, азот, кислород, сероводород, пары воды и др. Входящие в состав газа неуглеводородные компоненты — водород, оксид углерода (II) и др. — имеют невысокую теплоту сгорания, а некоторые из них (диоксид углерода, азот), не участвуя в сгорании вообще, снижают теплотворную способность топлива. Поэтому в зависимости от назначения газ специально очищают от нежелательных соединений.

Газообразное топливо по теплоте сгорания условно делят на три группы:

*высококалорийное*, с теплотой сгорания более 20 000 кДж/м<sup>3</sup> (природные газы из газовых скважин и нефтяные, получаемые из скважин попутно с нефтью и при переработке ее);

*среднекалорийное*, с теплотой сгорания 10 000... 20 000 кДж/м<sup>3</sup> (коксовый, светильный газы и др.);

*низкокалорийное*, с теплотой сгорания до 10 000 кДж/м<sup>3</sup> (доменный, генераторный газы и др.).

В зависимости от физических свойств газы могут быть разделены на *сжатые* и *сжиженные*. Некоторые газы, обладающие низкой критической температурой, не переходят в жидкое состояние при обычной температуре даже под действием высокого давления. Так, метан до температуры —82 °С находится в газообразном состоянии. При температуре ниже —82 °С метан под воздействием небольшого избыточного давления превращается в жидкость, а при охлаждении до —161 °С метан сжижается уже в условиях атмосферного давления. Газы, которые имеют критическую температуру ниже обычных тем-

ператур их применения, используют в основном в сжатом виде (при давлении до 20 МПа), поэтому их называют сжатыми газами. Сжиженные — это газы, критическая температура которых выше обычных температур их применения. Такие газы используют в сжиженном виде при повышенном давлении (до 1,5...2 МПа).

## 6.2. Применение газобразного топлива для двигателей внутреннего сгорания

Непрерывно увеличивающийся парк автомобилей требует все большего количества топлива. Решить важнейшие народнохозяйственные проблемы ста-

### 16. Сжатые газы для автомобилей

| Показатели                                                               | Значение показателей для газа |                   |              |
|--------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|-------------------|--------------|
|                                                                          | природного                    | коксового         |              |
|                                                                          |                               | метанизированного | обогащенного |
| Теплота сгорания, кДж/м <sup>3</sup> , не менее                          | 29 000                        | 27 000            | 22 000       |
| Содержание горючих компонентов, %                                        |                               |                   |              |
| метана                                                                   | 80...97                       | Не менее 65       | 50           |
| водорода                                                                 | —                             | —                 | Не более 12  |
| примесей, не более                                                       |                               |                   |              |
| сероводорода, г/м <sup>3</sup>                                           | 0,02                          | 0,02              | 0,02         |
| цианистых соединений, г/м <sup>3</sup> (в пересчете на HCN)              | 0,05                          | 0,05              | 0,05         |
| кислорода, % по объему                                                   | 1,0                           | 1,0               | 1,0          |
| смолы и пыли, г/м <sup>3</sup>                                           | 0,001                         | 0,001             | 0,001        |
| паров воды в газе, находящемся под давлением в баллоне, г/м <sup>3</sup> |                               |                   |              |
| летом                                                                    | 7,0                           | 7,0               | 7,0          |
| зимой                                                                    | 0,5                           | 0,5               | 0,5          |
| Октановое число, ед.                                                     | 94...105                      | 80                | 80           |
| Бензиновый эквивалент *                                                  | 0,71...0,83                   | 0,62...0,70       | 0,89...0,41  |

\* Бензиновым эквивалентом называют количество бензина (кг), равноценное по теплоте сгорания 1 м<sup>3</sup> газа.

бильного обеспечения автомобильных двигателей эффективными энергоносителями и сокращения потребления жидкого топлива нефтяного происхождения возможно за счет использования газообразного топлива — сжиженного нефтяного и природного газов.

Для автомобилей используют только высококалорийные или среднекалорийные газы. При работе на низкокалорийном газе двигатель не развивает необходимой мощности, а также сокращается дальность пробега автомобиля, что экономически невыгодно.

**Применение сжатых газов.** Выпускают следующие виды сжатых газов: природный, коксовый метанизированный и коксовый обогащенный (табл. 16).

Основным горючим компонентом этих газов является метан. Так же как и для жидкого топлива, наличие в газообразном топливе сероводорода нежелательно из-за его коррозионного воздействия на газовую аппаратуру и детали двигателя. Октановое число газов позволяет форсировать автомобильные двигатели по степени сжатия (до  $\epsilon = 10...11$ ).

Высокое содержание водорода обеспечивает более полное сгорание газообразного топлива в цилиндрах двигателя. При этом в процессе смесеобразования топливо не испаряется во впускном трубопроводе, вследствие чего оно равномернее распределяется по цилиндрам. Максимальная неравномерность распределения жидкого топлива в рабочей смеси достигает 35 % и более; при применении газообразного топлива она снижается до 20 %. Одновременно благодаря более широким в сравнении с бензинами пределам воспламенения двигатель при основных эксплуатационных режимах может работать на обедненных горючих смесях ( $\alpha = 1,2...1,3$ ). В результате этого существенно снижается токсичность отработавших газов: по содержанию оксидов углерода в 2...3 раза, оксидов азота — в 1,2...2 и углеводородов в 1,1...1,4 раза.

В газе для автомобилей крайне нежелательно присутствие циана CN. Соединяясь с водой, он образует синильную кислоту, под действием которой в стенках баллонов образуются мельчайшие трещины. Наличие в газе смолистых веществ и механических примесей приводит к образованию отложений и загрязнений на приборах газовой аппаратуры и на деталях двигателей.

Наиболее часто на автомобилях устанавливают цилиндрические баллоны, рассчитанные на рабочее давле-

ние 20 МПа. В одном баллоне (емкостью по воде 50 л) находится  $10 \text{ м}^3$  газа при температуре  $20^\circ\text{C}$  и давлении 101,08 кПа. Масса заполненного баллона составляет около 65 кг, т. е. на  $1 \text{ м}^3$  газа приходится приблизительно 6,5 кг. Установка на автомобиль газовых баллонов вызывает снижение полезной грузоподъемности на 12...20 %, дальность пробега примерно на 200 км. Мощность также несколько снижается (рис. 41). Мощность двигателей снижается из-за меньшей теплоты сгорания газозоудушной смеси по сравнению с бензозоудушной и меньшего коэффициента наполнения цилиндров. Эксплуатационные качества автомобилей, работающих на бензине и газе, выравнивают за счет повышения на 23...25 % степени сжатия в двигателях, работающих на газе.

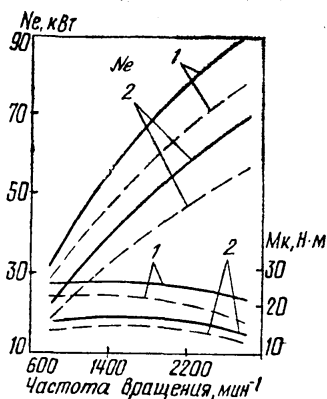


Рис. 41. Изменение мощности  $N_e$  двигателей:

— — при работе на бензине;  
 ---- при работе на сжатом газе; 1 — двигатель ЗИЛ-120; 2 — двигатель ГАЗ-51.

**Применение сжиженных газов.** Для газобаллонных автомобилей используют пропан-бутановые фракции нефтяных и ненефтяных газов. Теплота сгорания этих фракций составляет около  $46\,055 \text{ кДж/м}^3$ , октановое число находится в пределах 85...100 ед.

При работе двигателей на газообразном топливе улучшаются условия работы моторного масла, которое значительно меньше загрязняется различными примесями. Так, концентрация загрязняющих примесей в масле двигателя автомобиля ЗИЛ-158Ж, работавшего на газообразном топливе, после 5000 км пробега составляла 0,07 %, а после 10 000 км — 0,11 %; в моторном масле двигателя автомобиля ЗИЛ-158, работавшем на бензине, концентрация загрязнений после 5000 км составляла 0,4 %\*.

При переводе двухтактного дизеля ЗАЗ-204 с жидкого на газообразное топливо загрязнение масла и количе-

\* По данным НАМИ. — Прим. авт.

ство отложений на деталях цилиндропоршневой группы уменьшились в 15...17 раз, несмотря на то, что двигатель работал в более напряженном температурном и нагрузочном режиме. Масло при этом меняли в 2 раза реже.

По ГОСТ 20448—80 выпускают сжиженные газы трех марок: СПБТЗ — зимняя техническая пропано-бутановая смесь для коммунально-бытового потребления;

## 17. Сжиженные газы

| Показатели                                                                              | Значение показателей для газов марки |                |             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|----------------|-------------|
|                                                                                         | СПБТЗ                                | СПБТЛ          | БТ          |
| Массовая доля компонентов, %:                                                           |                                      |                |             |
| сумма                                                                                   |                                      |                |             |
| метана, этана и этилена, не более                                                       | 4                                    | 6              | 6           |
| пропана и пропилена, не менее                                                           | 75                                   | Не нормируется |             |
| бутанов и бутиленов, не менее                                                           | Не нормируется                       | —              | 60          |
| не более                                                                                |                                      | 60             | —           |
| Жидкий остаток (в том числе углеводороды $C_5$ и выше) при 20 °С, % по объему, не более | 1                                    | 2              | 2           |
| Избыточное давление насыщенных паров, МПа ( $\text{кгс/см}^2$ ):                        |                                      |                |             |
| при 45 °С, не более                                                                     | 1,6<br>(16)                          | 1,6<br>(16)    | 1,6<br>(16) |
| при 20 °С, не менее                                                                     | 0,16<br>(1,6)                        | —              | —           |
| Массовая доля сероводорода и меркаптановой серы, %, не более                            | 0,015                                | 0,015          | 0,015       |
| в том числе сероводорода                                                                | 0,003                                | 0,003          | 0,003       |
| Содержание свободной воды и щелочи                                                      | Отсутствие                           |                |             |

СПБТЛ — летняя техническая пропано-бутановая смесь для коммунально-бытового потребления и других целей; БТ — технический бутан для коммунально-бытового потребления и других целей (табл. 17).

Баллоны заполняют сжиженным газом не более чем на 90 % объема. Масса баллонов, которые рассчитываются на давление 1,6 МПа, отнесенных к 1 л газа при 20 °С, составляет 0,64...0,7 кг.



При работе двигателей на сжиженном газе мощность снижается значительно меньше, чем при работе на сжатом газе (рис. 42).

Потерю мощности двигателя при работе на сжиженном газе можно компенсировать за счет повышения степени сжатия.

В результате перевода карбюраторного двигателя на сжиженный газ при оптимальной степени сжатия удельный расход топлива уменьшается на 5...6 %. Кроме того, в зависимости от режима работы шум снижается на 7...8 дБ.

Газобаллонные автомобили наиболее широко распространены в районах добычи газа при наличии газосжижающих и газоотпускных станций.

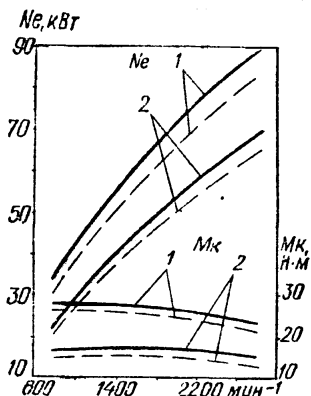


Рис. 42. Изменение мощности  $N_e$  и крутящего момента  $M_k$  двигателей:

— при работе на бензине; - - - при работе на сжатом газе; 1 — двигатель ЗИЛ-120; 2 — двигатель ГАЗ-51.

### 6.3. Сущность процесса газификации и применение генераторного газа

В процессе газификации горючая часть твердого топлива превращается в газ в результате термохимического взаимодействия кислорода с углеродом. Получаемый газ называется *генераторным*, а устройства, в которых проводится газификация, — *газогенераторами*. Для процесса газификации очень важны такие свойства твердого топлива, как битуминозность, зольность, реакционная способность, влажность, механическая прочность, корродирующее действие, объемная масса, спекаемость и др.

Под битуминозностью понимается степень выхода из топлива летучих веществ при его газификации. Этим качеством в наибольшей степени обладают древесина, торф, бурый уголь. Древесный уголь, кокс, антрацит содержат мало летучих веществ и как малобитуминозное топливо полностью отвечают требованиям газификации.

Реакционная способность топлива характеризует бы-

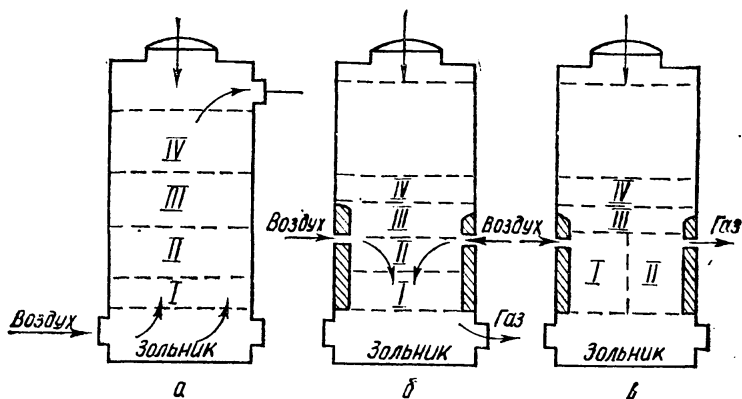


Рис. 43. Газогенераторы с различными процессами газификации топлива:

*а* — с прямым; *б* — с обращенным; *в* — с горизонтальным; *I* — зона горения; *II* — зона восстановления; *III* — зона сухой перегонки; *IV* — зона подсушки.

строту разжигания генераторов и стабильность процесса газификации на переменных режимах работы. Зола и влага являются балластом, снижающим качество топлива. Оно также не должно содержать соединений, способствующих коррозии, поэтому наличие серы в топливе нежелательно.

На рисунке 43 представлены схемы газогенераторов с прямым, обращенным и горизонтальным процессами. Условно всю внутреннюю полость газогенератора можно разделить на следующие зоны: *I* — горения; *II* — газификации (восстановления); *III* — сухой перегонки и *IV* — подсушки топлива.

В зоне горения *I* происходят экзотермические реакции с выделением углекислого газа  $\text{CO}_2$  и воды. Кроме того, частично протекают реакции образования  $\text{CO}$  с последующим окислением его в  $\text{CO}_2$ . Под действием выделяемой теплоты температура в зоне горения поднимается до  $1200\ldots 1500^\circ\text{C}$ , в результате чего разогревается верхний слой топлива, относящийся к зоне *II*.

В зоне газификации *II* протекают эндотермические реакции с образованием горючих компонентов газа — диоксида углерода ( $\text{CO}$ ) и частично метана.

Вследствие эндотермических реакций температура во второй зоне снижается до  $900\ldots 1100^\circ\text{C}$ . Если температу-

ра упадет ниже  $900^{\circ}\text{C}$ , процесс газификации топлива нарушается.

В зоне *сухой перегонки III* горячие газообразные компоненты воздействуют на твердое топливо. Поскольку кислорода в зоне реакции нет, протекает процесс сухой перегонки с выделением из топлива паров воды, газов и смолистых веществ, которые подмешиваются к газу. Температура в этой зоне снижается до  $300\ldots 900^{\circ}\text{C}$ .

В зоне *подсушки IV*, где температура газов составляет  $105\ldots 300^{\circ}\text{C}$ , из топлива выделяются только пары воды, которые также смешиваются с генераторным газом.

В результате газификации твердого топлива получается сырой генераторный газ, содержащий  $\text{CO}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  и смолистые вещества. Перед подачей в цилиндр двигателя такой газ обязательно очищают.

К недостаткам газогенератора с прямым процессом относятся: загрязнение получаемых горючих компонентов газов в зоне II продуктами зон *III* и *IV* (смолистыми веществами, парами воды, механическими примесями твердого топлива); прекращение поступления генераторного газа при загрузке газогенератора твердым топливом и т. д.

Эти недостатки устраняются в газогенераторах с обращенным и горизонтальным процессами. В них генераторный газ отводится снизу генератора сразу же после зоны II, а продукты зон *III* и *IV*, проходя зоны горения и восстановления, дополнительно газифицируются, поэтому качество получаемого газа будет выше.

Если к газогенератору для процесса горения подводят только воздух, получается *воздушный* газ. При подводе поочередно воздуха и паров воды, или паровоздушной смеси, получается *смешанный* газ. При пропускании через раскаленный уголь водяного пара получается *водяной* газ. Эти газы различаются процентным содержанием горючих компонентов  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ .

Генераторный газ, полученный из различных видов твердого топлива, может быть использован для работы автомобилей и тракторов в районах, удаленных от мест переработки нефти. В качестве твердого топлива можно использовать дрова, торф, древесный, бурый или каменный уголь, полукоксы и кокс, брикеты из различных сельскохозяйственных отходов (опилок, лузги и т. п.).

В зависимости от вида применяемого для газогенераторов твердого топлива получается несколько различ-

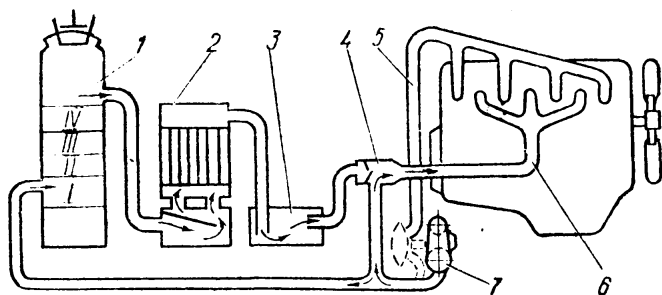


Рис. 44. Газогенераторная установка с наддувом:

1 — газогенератор с прямым процессом; 2 — газоочиститель; 3 — фильтр; 4 — смеситель; 5 — выпускной трубопровод; 6 — впускной трубопровод; 7 — турбокомпрессор.

ный по составу и теплоте сгорания генераторный газ (табл. 18).

Принципиальная схема газогенераторной установки приведена на рисунке 44. Следует отметить, что приме-

#### 18. Состав генераторного газа

| Топливо            | Состав газа, % по объему |                |                 |                 |                |                | Теплота сгорания, кДж/м³ |
|--------------------|--------------------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|--------------------------|
|                    | CO                       | H <sub>2</sub> | CH <sub>4</sub> | CO <sub>2</sub> | O <sub>2</sub> | N <sub>2</sub> |                          |
| Дрова              | 28,5                     | 14,0           | 3,5             | 8,0             | 0,5            | 45,5           | 5861                     |
| Древесный уголь    | 30,5                     | 12,0           | 2,3             | 5,0             | 0,2            | 50,0           | 5778                     |
| Формовочный торф   | 28,0                     | 15,0           | 3,0             | 8,0             | 0,4            | 45,6           | 6280                     |
| Донецкий антрацит  | 27,5                     | 13,5           | 0,5             | 5,5             | 0,2            | 52,8           | 5024                     |
| Подмосковный уголь | 25,0                     | 14,0           | 2,2             | 6,5             | 0,2            | 52,1           | 4731                     |

нение генераторного газа (низкокалорийного), даже при повышении степени сжатия, снижает мощность двигателя на 15...30 % по сравнению с его работой на бензине.

## Глава 7. СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТВЕРДОГО ТОПЛИВА

### 7.1. Свойства естественного твердого топлива

К естественному твердому топливу относятся ископаемые угли, сланцы, торф и дрова.

Твердые виды горючих ископаемых имеют огромную ценность не только как топливо, но и как сырье для мно-

гих отраслей народного хозяйства. В частности, из них получают металлургический кокс, смолы полукоксования и коксования, древесный уголь, газ и т. д.

Ископаемые угли представляют собой основной вид твердого топлива. Несмотря на снижение общей доли в структуре топливного баланса, ископаемые угли играют важную роль в развитии различных отраслей и их добыча ежегодно увеличивается. На конец одиннадцатой пятилетки намечается добыть 770...800 млн. т.

По происхождению угли делятся на *гумусовые*, которые образовались в результате разложения растительного материала, и *сапропелитовые*, образовавшиеся из растительных и животных организмов, богатых жирами и восками. Однако наиболее широко распространены угли смешанного происхождения. Ископаемые угли в зависимости от процесса своего образования разделяются на *бурые, каменные и антрациты*.

Происхождение бурого угля относится к первой стадии углефикации. Бурые угли имеют бурый цвет и характеризуются широкими пределами зольности (10...25 %) и влажности (15...50 %), в результате чего диапазон значений их теплоты сгорания очень велик (8400...18 800 кДж/кг). Они легко загораются и горят длинным коптящим пламенем. При термической переработке из них получается ценный продукт — смола, которая идет на перегонку для получения жидкого моторного топлива. Ввиду высокой склонности бурых углей к окислению и самовозгоранию их рекомендуется укладывать в штабеля высотой не более 2,5 м и хранить не более месяца.

Бурый уголь используют в основном как топливо. Классифицируют его по размеру кусков: бурый крупный (БР), бурый орех (БО), бурый мелкий (БМ), бурый семечко со штыбом (БСШ) и бурый рядовой (БР).

Каменный уголь образуется на второй стадии углефикации. Он отличается от бурого черным цветом и более высоким содержанием углерода в органической массе. Каменные угли содержат мало золы (6...10 %) и влаги (5...11 %), что обеспечивает им более высокую теплоту сгорания (29 400 кДж/кг). Их используют в основном для получения металлургического кокса.

Каменные угли делятся на шесть марок по физико-химическим характеристикам: выходу летучих веществ и свойствам кокса. Угли, идущие на термическую переработку для получения смолы и газа, имеют марку Д —

длиннопламенные и Г — газовые. Они содержат более 35 % летучих веществ. Угли, поступающие на переработку с целью получения высококачественного металлургического кокса, обозначают К — коксующиеся и Ж — жирные. Угли, которые расходуют как топливо, обозначают ОС — отошенные спекающиеся и Т — тощие. Содержание летучих веществ в них менее 15 %.

Антрацит представляет собой разновидность каменного угля с наибольшим содержанием углерода (до 96,5 %). Обладает черным цветом с сероватым оттенком. В антраците содержится мало воды (3...5 %) и золы (10 %). Теплота сгорания антрацита самая высокая среди каменных углей и составляет 27 200...30 600 кДж/кг. Ввиду незначительного выхода смолы и получения кокса низкого качества антрацит используют в основном как топливо.

Антрацит подразделяют на следующие классы по размеру кусков: АП — плитный; АК — крупный; АО — орех; АМ — мелкий; АС — семечко; АШ — штыб и АРШ — антрацит, содержащий куски всех размеров, кроме антрацита плитного.

Сланцы по составу своей органической массы приближаются к сапропелитовым углям и отличаются от них высоким содержанием золы (40...70 %). В горючей массе сланцев в отличие от других видов твердого топлива находится большое количество водорода (8...10 %), приблизительно такое же, как в нефти. Поэтому сланцы легко воспламеняются и выход из них летучих веществ в расчете на горючую массу достигает 80 %. Содержание влаги колеблется в пределах 10...20 %, серы 1,5...6 %. Теплота сгорания сланцев невысока (6 300...11 700 кДж/кг).

Вследствие высокой зольности и малой теплоты сгорания горючие сланцы относятся к разряду местного топлива. Их рекомендуется сжигать на тепловых электростанциях, которые обычно строят вблизи сланцевых месторождений. Перспективной является комплексная энерготехнологическая переработка сланцев, в результате которой получается много ценных продуктов\*.

Торф представляет собой продукт постепенного разложения растительных остатков в условиях избытка

---

\* Исследования проведены З. Ф. Чухановым, Л. Н. Хитриным и Н. И. Сыромятниковым и др. — *Прим. авт.*

влаги и малого доступа воздуха. Качество торфа характеризуется степенью разложения, элементным составом, теплотой сгорания, зольностью и влажностью. По характеру происхождения торф может быть *луговым* или *низинным*, когда он образовался из растительности, богатой минеральными солями (осока, камыш, тростник). Зольность такого торфа составляет от 6...8 до 16...24 %. *Моховой*, или *верховой*, торф образовался из растительности, бедной минеральными солями. Зольность его находится в пределах 3...5 %.

Органическая масса торфа характеризуется следующим элементным составом: углерода — 54...60 %, водорода — 5...6,5, кислорода — 30...40, азота — 0,5...3 и серы — 0,12...1,5 %. Теплота сгорания горючей массы торфа составляет около 12 600 кДж/кг. Торф в сыром состоянии является обратимым коллоидом, т. е., высыхая, теряет воду, а намокая, вновь ее поглощает. Если высушить торф до влажности 34...35 %, он переходит в необратимый коллоид. Торф с такой влажностью может храниться при любой погоде, не изменяя форму и не поглощая воду. Наиболее широко торф применяют в качестве топлива для тепловых электрических станций, а также в сельскохозяйственном производстве как удобрение. В связи с высокой влажностью, малой механической прочностью торфяных кирпичей, а также невысокой теплотой сгорания торф относят к местным видам топлива.

**Дрова** состоят из органической части, содержащей целлюлозы более 60 %, лигнина около 30 %, и минеральной части около 1 %. Элементный состав органической массы дров: углерод — 50 %, водород — 6, кислород — 43 и азот — 0,7...1 %. Теплота сгорания в пересчете на рабочую массу составляет 8 400...14 700 кДж/кг.

Влажность дров колеблется в широких пределах и зависит от породы дерева, его возраста и времени года, в которое рубили лес. По степени влажности дрова разделяются на сухие с влажностью менее 25 %, полусухие с влажностью 25...35 % и сырые с влажностью более 35 %. К сухим относят дрова, заготовленные осенью или зимой и пролежавшие в поленницах на сухом месте не менее года; к полусухим — не менее шести месяцев с момента рубки; к сырым — менее шести месяцев.

Для определения теплоты сгорания дров (кДж/кг) с различной влажностью используют формулу \*

---

\* Предложена проф. К. В. Кирша, — Прим. авт.

$$Q_n^p = 18422 - 50W_p.$$

(35)

Теплота сгорания дров из различных пород древесины практически одинакова, однако масса 1 м<sup>3</sup> твердых пород примерно в 1,6...1,8 раза больше, чем мягких. В связи с тем, что дрова потребителю отпускаются не по массе, а по объему, предпочтение отдают твердым породам.

В зависимости от твердости древесины все дрова по теплоте сгорания делят на четыре группы: I — дуб, граб, ясень, бук, клен; их тепловой эквивалент (ТЭ) равен 1,2; II — береза, лиственница (ТЭ=1); III — ольха, сосна, кедр, пихта (ТЭ=0,8); IV — ива, осина, тополь, липа (ТЭ=0,7).

Отходы сельскохозяйственного производства (солома, лузга, стебли подсолнечника, костра и др.) по тепловым качествам и химическому составу практически близки к древесине и могут использоваться как топливо для различных бытовых и производственных нужд, особенно в безлесных районах. Такие отходы содержат углерода около 50 %, водорода — 6, кислорода — 42...46, азота и серы — около 1 %. Из отходов приготавливают брикеты, которые более удобны для сжигания и транспортировки.

## 7.2. Свойства искусственного твердого топлива

Для улучшения энергетических свойств топлива, а также более рационального использования топливных ресурсов в целом большое практическое значение приобретают процессы переработки естественных видов твердого топлива.

Методы переработки твердого топлива могут быть *физико-механические* (сортировка, обогащение, сушка, брикетирование и др.), при которых, не изменяя химического состава, топливу придают удобную для использования форму, и *физико-химические* (сухая перегонка, полукоксование, коксование и др.), при которых значительно изменяется химический состав и получают дополнительные нужные продукты.

**Брикеты.** Сущность процесса брикетирования заключается в превращении слабоструктурных и неустойчивых для хранения видов твердого топлива (угольная мелочь, торфяная крошка, опилки, лузга и др.) в проч-



ные куски — брикеты. Брикеты получают, применяя связующее вещество (как правило, для отходов сельскохозяйственного производства) в специальных прессах при давлении до 100...150 МПа. Такое брикетирование называется *холодным*.

При горячем брикетировании (пыль и крошки ископаемых углей, торфа) связующим веществом является смолистый отгон, выделяющийся при нагревании этого топлива без доступа воздуха. Топливо обрабатывают в специальных прессах при давлении 25...30 МПа, в результате чего получают брикеты заданной формы с определенной прочностью. Температуру процесса подбирают в зависимости от вида твердого топлива (260...320 °С).

**Древесный уголь.** Его получают путем сухой перегонки древесины при температуре 400...450 °С без доступа воздуха. При разложении исходных органических веществ выделяются газы, уксусная кислота, скипидар, смолистые вещества, метиловый спирт. В остатке находится древесный уголь. Выход его в зависимости от породы дерева и температуры составляет 60...90 % по объему. Из 1 м<sup>3</sup> складочных дров получается 110...140 кг угля.

Древесный уголь состоит из углерода — 75 %, водорода — 4, кислорода и азота вместе — 20 %; зольность — около 1 %. Объемная масса березового угля составляет 0,4 г/см<sup>3</sup>, теплота сгорания 27 000 кДж/кг.

Древесный уголь применяется в кузнечном деле, при выплавке цветных металлов, как топливо для газогенераторных установок и как сырье для получения активированного угля.

**Каменноугольный кокс и полукокс.** Кокс получается в процессе коксования, который протекает при термическом разложении топлива без доступа воздуха при температуре 900...1000 °С. При этом, кроме кокса, выделяется целый ряд других ценных продуктов: надсмольная вода, коксовый газ, аммиак, каменноугольная смола. Из 1 т угля получают 75...85 % кокса, 2,5...3,5 % каменноугольной смолы, 0,8...1,5 % сырого бензола, 0,25...0,40 % аммиака и 280...350 м<sup>3</sup> коксового газа. Выход металлургического кокса от общего его количества составляет 92...95 %. Остаток кокса в виде мелочи используется как газогенераторное топливо. Теплота сгорания кокса — около 29 300 кДж/кг.

Полукокс получается в процессе *полукоксования*, который представляет собой сухую перегонку твердого топлива (ископаемого угля, сланцев, торфа) при температуре 500...550 °С без доступа воздуха. В результате полукоксования получается: смола полукоксования, используемая для получения искусственного жидкого топлива; полукокс — облагороженное искусственное топливо; газообразные продукты.

Зольность полукокса всегда выше зольности исходного топлива. Выход полукокса из бурого угля составляет 12...20 %, из торфа — 3,5...6, из каменного угля — 4...10 %.

Полукокс применяют в качестве энергетического и технологического топлива.

**Пылевидное топливо.** Процесс приготовления пылевидного топлива состоит из подготовки твердого топлива (бурый уголь, торф, горючие сланцы) путем предварительного его измельчения и отделения от него нежелательных включений, сушки и последующего размола на специальных мельницах до заданного состояния.

Пылевидное топливо хорошо перемешивается с воздухом, интенсивно горит и полностью сгорает, что обеспечивает полное использование высоковлажного и многозольного топлива.

## **Раздел II. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ**

### **Глава 8. СВЕДЕНИЯ О ТРЕНИИ, ИЗНОСЕ И ВИДАХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

#### **8.1. Роль смазочных материалов в использовании машин**

Перевооружение сельского хозяйства энергонасыщенной и высокопроизводительной техникой неразрывно связано с разработкой и применением новых смазочных материалов, обеспечивающих надежную и долговечную работу машин. Одновременно применение масел новых сортов требует изыскания оптимальных режимов их использования. Эти задачи можно решить только при овладении знаниями по химии и технологии смазочных материалов, при учете реальных условий работы машин и при научно обоснованном выборе режимов использования смазочных материалов.

Большой вклад в развитие отечественной науки внесли советские ученые Н. И. Черножуков, С. Э. Крейн, К. К. Папок, К. С. Рамайя, Г. В. Виноградов, Б. В. Лосиков, Е. Г. Семенидо и многие другие. Под их руководством были созданы смазочные масла новых сортов и присадки к ним, разработаны новые методы и приборы для оценки эксплуатационных свойств масел, изучено влияние химического состава масел на их качество, исследованы процессы окисления минеральных масел и влияние продуктов окисления на работу двигателей внутреннего сгорания.

Развитие производства новых смазочных масел неразрывно связано с трудами по теории и конструированию двигателей и машин советских ученых академиков В. Н. Болтинского и Е. А. Чудакова, профессоров Д. Н. Вырубова, А. С. Орлина, М. М. Вихерта, И. М. Ленина и др.

В связи с многообразием моделей двигателей и различными условиями эксплуатации вопросы разработки, подбора и использования смазочных материалов для

обеспечения высокой эксплуатационной надежности и долговечности являются весьма важными и одновременно сложными. К качеству масла предъявляются разнообразные требования, отражающие интересы многих отраслей промышленности и народного хозяйства. Поэтому изучение закономерностей поведения моторных и прочих масел во взаимосвязи с характером работы и техническим состоянием двигателей в процессе эксплуатации тракторов, автомобилей и других машин очень важно для создания высококачественных масел.

Профессором К. К. Папок была высказана и обоснована мысль о реальной необходимости создания и развития новой науки — *химмотологии*, которая должна объединить целый ряд смежных наук, относящихся прежде всего к изучению физико-химических и эксплуатационных свойств смазочных материалов во взаимосвязи с процессами, протекающими при работе двигателей, механизмов и машин. Система таких знаний поможет успешно решить насущные вопросы повышения эффективности использования техники.

## 8.2. Понятие о трении и его видах

При работе различных узлов и механизмов происходит взаимное перемещение соприкасающихся поверхностей деталей, при котором возникает трение. В результате трения детали изнашиваются. Поскольку сила трения направлена по касательной к поверхности трущихся деталей в сторону, противоположную движению, то она является вредной. От силы трения, на преодоление которой затрачивается энергия, будет зависеть коэффициент полезного действия механизма, а от характера трения — износ поверхностей и срок службы механизма.

Трение может быть полезным в том случае, когда оно применяется для передачи усилий (фрикционные передачи, тормозные системы и др.).

В зависимости от характера относительного перемещения деталей различают *трение скольжения* (трение первого рода) и *трение качения* (трение второго рода). Существует также *статическое трение* — сила, препятствующая началу движения, и *динамическое трение* — сила, возникающая при движении поверхностей.

**Трение скольжения** по наличию и распределению на трущихся поверхностях смазочного материала может быть: *сухим*, если между трущимися поверхностями отсутствует смазочное вещество; *жидкостным*, когда поверхности полностью разделены слоем смазочного вещества и трение происходит между его частицами; *граничным*, когда поверхности разделены мономолекулярным слоем адсорбированных ими смазочных веществ; *смешанным*, которое бывает *полусухим* — переходным между сухим и граничным трением и *полужидкостным* — переходным между жидкостным и сухим или жидкостным и граничным трениями.

Сухое трение крайне нежелательно, ибо при нем резко повышается износ трущихся поверхностей, возрастает энергия, затрачиваемая на преодоление трения, развиваются высокие температуры, под действием которых на поверхностях появляются задиры, выплавляются подшипники и т. д.

Сила сухого трения может быть определена на основании закона Амонтона — Кулона

$$F = \mu P, \quad (36)$$

где  $\mu$  — коэффициент трения, зависящий от материала и качества обработки поверхностей, равный 0,1...0,9;  $P$  — нагрузка, действующая перпендикулярно к поверхности трения.

При жидкостном трении по сравнению с сухим меньше изнашиваются и нагреваются детали, сокращаются потери энергии на трение и повышается надежность и долговечность работы деталей.

Жидкостное трение обусловливается прежде всего вязкостью смазочного вещества, находящегося между трущимися поверхностями.

Профессор Н. П. Петров установил, что поведение смазочного вещества в слое при взаимно перемещающихся рабочих поверхностях в условиях жидкостного трения подчиняется законам гидродинамики. Разработанная им в 1882 г. и затем развитая трудами советских ученых Н. Е. Жуковского, С. А. Чаплыгина и других гидродинамическая теория смазывания явилась огромным событием в развитии техники. Благодаря этой теории можно определять условия, обеспечивающие жидкостное трение, значение силы трения, количество отводимой смазочным маслом теплоты и т. д.

Жидкостное трение, согласно гидродинамической теории, возможно за счет несущей способности масляно-

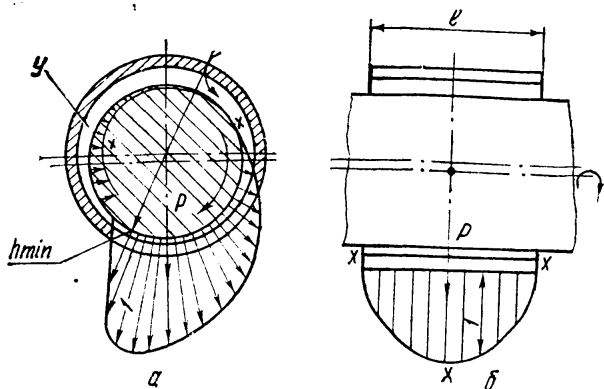


Рис. 45. Распределение давлений внутри масляного слоя подшипника:

$a$  — в поперечном сечении;  $b$  — в продольном сечении;  $P$  — нагрузка;  $X-X$  — эпюра давлений внутри масляного слоя;  $y$  — область разрежения.

го слоя, возникающей в результате гидродинамического давления в масляном клиновом зазоре (рис. 45,  $a$ ). При вращении вала масло, находящееся в подшипнике, увлекается им, и в суживающемся зазоре возникает давление, под действием которого вал как бы всплывает. С увеличением частоты вращения вала клиновое действие масляного слоя повышается и вал стремится принять центровое положение в подшипнике. Минимальный слой масла  $h_{min}$  при этом возрастает, и трущиеся поверхности полностью разделяются смазочным слоем.

Давление внутри масляного слоя зависит от сопротивления масла вытеканию, что связано с длиной его пути по подшипнику  $l$  (рис. 45,  $b$ ). С увеличением пути давление масла возрастает. В подшипниках машин давление внутри масляного слоя в 2,5...3 раза больше среднего удельного давления на подшипник. Чем выше в масляном слое давление, тем большую нагрузку может выдерживать масляный слой без соприкосновения трущихся поверхностей. При одинаковых толщине масляного слоя и относительной скорости движения трущихся поверхностей большие давления внутри масляного слоя будут развиваться у масел с большей вязкостью.

Необходимый смазочный слой, разделяющий трущиеся поверхности, образуется в том случае, когда разви-

ваемое в масляном слое давление будет выше удельного давления на подшипник. Следовательно, при малых скоростях вращения вала и невысоких значениях вязкости смазочного масла условия для появления жидкостного трения не создаются.

Для расчета минимальной толщины смазочного слоя в подшипнике или вязкости смазочного масла профессором Н. П. Петровым предложена формула:

$$F_{\text{ж}} = \frac{\eta v S}{h}, \quad (37)$$

где  $F_{\text{ж}}$  — сила жидкостного трения, Н;  $\eta$  — динамическая вязкость масла, Н·с/м<sup>2</sup>;  $S$  — площадь поверхностей трения, м<sup>2</sup>;  $v$  — относительная скорость перемещения трущихся поверхностей, м/с;  $h$  — толщина масляного слоя, м.

Коэффициент жидкостного трения  $\mu'$  может быть определен по формуле

$$\mu' = \frac{\eta v}{h P_m}, \quad (38)$$

где  $P_m = P/S$  — удельное давление на подшипник, Н/м<sup>2</sup>.

При некоторых видоизменениях формулы (38) можно определять вязкость смазочного масла, необходимую для обеспечения жидкостного трения, задавшись значением минимальной толщины слоя. Или, наоборот, проверить толщину масляного слоя при использовании масла с заданной вязкостью. Минимальная толщина смазочного слоя при жидкостном трении для автотракторных двигателей составляет примерно 4...6 мкм.

По гидродинамической теории, при работе подшипника в условиях жидкостного трения коэффициент жидкостного трения линейно зависит от величины  $\eta n/P_m$  (рис. 46, линия 1). Безразмерная величина  $\eta n/P_m$  представляет собой характеристику режима жидкостного трения, в которую входят все основные факторы, определяющие условия работы подшипника. В действительных условиях из-за уменьшения минимальной толщины смазочного слоя (что происходит при падении частоты вращения коленчатого вала, снижении вязкости масла, при перегрузках, во время пуска и т. п.) коэффициент жидкостного трения имеет отклонения (рис. 46, кривая 2). Точка С на кривой разделяет ее на две части. Правая часть соответствует режиму жидкостного трения работы подшипника, левая характеризует неустойчивый режим (переход от

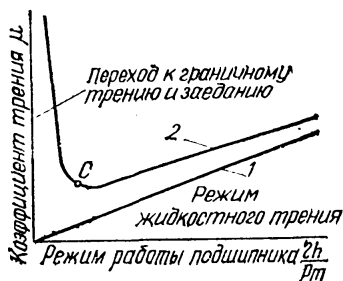


Рис. 46. Зависимость коэффициента жидкостного трения от режима работы подшипника:

1 — экспериментальная кривая;  
2 — линия Н. И. Петрова.

менно работать в неблагоприятных условиях (резкое возрастание нагрузки, значительное снижение частоты вращения коленчатого вала, перегрев двигателя, чрезмерное понижение вязкости масла и др.), при которых гидродинамический слой масла нарушается и жидкостное трение переходит в граничное. При граничном трении взаимодействуют тончайшие слои ориентированных полярных молекул смазочного масла, которые удерживаются на трущихся поверхностях. В этом случае несущая способность масла зависит от действия не гидродинамических, а адсорбционных сил входящих в него молекул. Здесь проявляется новое, отличное от вязкости, свойство смазочного масла — *маслянистость*, которую иногда называют его *смазывающей способностью*.

Под маслянистостью понимают свойство смазочного масла, обусловленное наличием в нем полярно-активных

жидкостного трения к граничному и даже сухому, при котором может возникнуть заедание трущихся поверхностей).

В таблице 19 приведены значения коэффициентов трения при различных видах трения.

Для обеспечения надежной и долговечной работы автотракторных двигателей необходимо создавать условия для жидкостного трения. Однако в ряде случаев двигатель может кратковре-

## 19. Зависимость коэффициента трения от вида трения

| Вид трения                 | Значение коэффициента трения |
|----------------------------|------------------------------|
| При скольжении:            |                              |
| сухое                      | 0,15...0,90                  |
| граничное                  | 0,08...0,15                  |
| жидкостное                 | 0,007...0,03                 |
| При качении в подшипниках: |                              |
| шариковых                  | 0,001...0,003                |
| роликовых                  | 0,002...0,007                |



соединений, достаточно прочно образовывать и удерживать слои ориентированных молекул на трущихся поверхностях. Адсорбированный слой смазочного масла неидентичен слою смазочного масла при жидкостном трении и к нему нельзя применять законы гидродинамики. Маслянистость масла не одинакова для различных металлов и состояний трущихся поверхностей, так как молекулы адсорбируются по-разному. Это обстоятельство обосновывает необходимость подбора для условий граничного трения соответствующих трущихся пар по металлу, обработке и т. д.

Толщина слоя адсорбированных молекул смазочного масла на трущейся поверхности весьма незначительна и находится в пределах  $0,1 \dots 1$  мкм. Граничная пленка способна выдерживать весьма значительные нагрузки, снижать сопротивление сдвигу и предохранять трущиеся поверхности от сухого трения. Значение коэффициента граничного трения находится в пределах  $0,01 \dots 0,1$ .

Маслянистость повышают введением в смазочное масло специальных веществ, молекулы которых содержат группы атомов с явно выраженной полярностью. Для минеральных масел такими веществами являются смолы, сернистые соединения, некоторые органические кислоты и др.

Полусухое или полужидкостное трение следует считать переходным и кратковременным, ибо оно возникает при пуске и остановке двигателя, при перегреве, использовании смазочного масла несоответствующей вязкости. Чтобы уменьшить трение и сопутствующий ему износ, необходимо применять такие смазочные масла, молекулы которых прочно адсорбируются на трущихся поверхностях.

**Трение качения** — это сила сопротивления, которая возникает при перекатывании одного твердого тела, имеющего криволинейную поверхность, по поверхности другого твердого тела.

Сила трения качения меньше силы трения скольжения, поэтому там, где возможно, применяют подшипники качения. Это выгодно еще и тем, что при выходе из строя подшипник качения всегда можно легко заменить, не разбирая машину.

### 8.3. Виды изнашивания поверхностей деталей

Как бы ни были совершенны машина и смазочное масло, износ деталей во время эксплуатации неизбежен. Происходит это под действием целого ряда многообразных факторов.

Изнашивание (износ) — это процесс, взаимосвязанный с трением, который происходит в результате явлений, возникающих при перемещении сопряженных трущихся поверхностей. На практике можно лишь снизить износ деталей, обеспечивая оптимальные условия и режимы их работы. Здесь большую роль играет качество смазочного масла.

Изучению природы и характера трения и изнашивания посвящены труды многих советских ученых, в том числе профессоров Б. В. Дерягина, А. К. Дьячкова, А. К. Зайцева, В. И. Казарцева, Б. И. Костецкого, И. В. Крагельского, М. М. Хрушова и др. Ими предложены различные классификации.

По классификации Б. И. Костецкого различают износ схватыванием, окислительный, тепловой, абразивный и осповидный. Однако наиболее часто в практике пользуются классификацией, предложенной М. М. Хрушковым, согласно которой различают следующие виды изнашивания: механическое или абразивное, молекулярно-механическое и коррозионно-механическое.

**Механическое** изнашивание возникает тогда, когда рабочая поверхность сопрягается с достаточно твердыми телами, которые могут ее царапать или резать. Например, изнашивание лемехов плуга и лап культиваторов, ибо оно происходит от воздействия почвы, в которой содержатся твердые кварцевые частицы.

**Молекулярно-механическое** изнашивание характеризуется вырыванием частиц рабочих поверхностей в результате их налипания и наволакивания, а также переносом металла с поверхности одного сопряженного тела на поверхность и в приповерхностный слой другого.

**Коррозионно-механическое** изнашивание происходит при воздействии на трущиеся поверхности агрессивной среды (кислот и щелочей), которая вызывает химическую коррозию рабочих поверхностей трущихся деталей. При этом продукты химического взаимодействия (окси-

ды) отделяются при трении или же смываются смазочным маслом.

При эксплуатации тракторов, автомобилей, комбайнов и других самоходных машин изнашивание деталей носит более сложный, комплексный характер. Например, изнашивание гильз цилиндров двигателей и поршневых колец происходит под действием абразива (дорожная или почвенная пыль), продуктов сгорания топлива, образующих агрессивную среду (серная кислота и др.), а также высокой температуры, давления и кислорода воздуха. Для этой группы деталей сочетаются закономерности всех трех видов изнашивания.

Процесс изнашивания деталей усугубляется и такими явлениями: наличием на трущейся поверхности перегретых зон при холодной основной массе металла детали; молекулярными, химическими и структурными процессами; попаданием в смазочное вещество влаги, пыли, продуктов изнашивания, органических кислот и др. Эти явления усиливаются под действием повышенных температур и контактных давлений в трущихся парах.

При конструировании и эксплуатации машин следует стремиться создать такие условия, которые бы предотвращали повышенное изнашивание рабочих поверхностей, приводящее к преждевременному отказу машины.

#### **8.4. Виды смазочных материалов**

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, горчичное и сурепное масла. Животные масла вырабатывают из жи-

вотных 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 и т. д.). 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 (карбюраторных, дизелей, авиационных и др.);

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

*индустриальные*, предназначенные главным образом для станков;

*гидравлические* для гидравлических систем различных машин;

*компрессорные, приборные, цилиндровые, электроизоляционные, вакуумные* и др.

**По температуре применения** среди рассмотренных масел различают:

*низкотемпературные* для температуры не выше  $60^{\circ}\text{C}$  (приборные, промышленные и др.);

*среднетемпературные*, применяемые при температурах  $150\ldots 200^{\circ}\text{C}$  (турбинные, компрессорные, цилиндрические и др.);

*высокотемпературные*, используемые в узлах, которые подвергаются воздействию температур до  $300^{\circ}\text{C}$  и более. Это главным образом моторные масла.

### **8.5. Назначение смазочных материалов и предъявляемые к ним требования**

При работе сборочных единиц, механизмов, двигателей, машин смазочные масла должны выполнять следующие основные функции:

предотвращать или уменьшать изнашивание трущихся поверхностей деталей, а также предохранять их от заедания на всех режимах работы. Для этого смазочное масло должно обладать такой вязкостью и маслянистостью, чтобы обеспечивать при нормальных условиях работы жидкостное трение, а на переходных режимах — граничное, и износы минимально возможные;

уменьшать трение между сопряженными поверхностями, чтобы способствовать сокращению непроизводительных потерь энергии, а следовательно, повышению к. п. д. В этом отношении вязкость смазочного масла должна быть небольшой, но вполне достаточной для жидкостного трения. Одновременно с этим масло должно обладать пологой кривой вязкости, т. е. вязкость должна мало зависеть от температуры. Это обстоятельство особенно важно при пуске двигателя и при минусовой температуре окружающего воздуха;

отводить тепло от трущихся сопряженных и нагреваемых деталей, не допуская их перегрева, из-за которого ухудшаются условия работы деталей и смазочного масла;

защитить рабочие поверхности деталей от коррозии, возникающей в результате воздействия воды, кислорода, кислот и т. д.;

препятствовать прорыву рабочей смеси и продуктов сгорания в картер двигателя, т. е. улучшать компрессию цилиндропоршневой группы;

смыть с трущихся поверхностей деталей продукты износа и другие загрязнения; удерживать их во взвешенном состоянии для того, чтобы затем их можно было отфильтровать;

защищать поверхности деталей от образования на них смолисто-лаковых отложений и нагаров, ухудшающих теплоотдачу деталей и т. д.

В процессе работы смазочное масло подвергается воздействию различных факторов, таких, как высокая температура; интенсивные контакты с кислородом воздуха, а в двигателях внутреннего сгорания — с продуктами сгорания; каталитическое воздействие металлов и сплавов; весьма высокие удельные нагрузки в подшипниках и других узлах трения; изменение скоростного режима движения масла; изменение режима работы механизма.

Эти факторы, воздействующие на смазочное масло, приводят к возникновению в нем весьма сложных физико-химических процессов, поэтому с течением времени первоначальные качества масла меняются.

В соответствии с функциональным назначением, условиями и режимами работы смазочного масла к нему предъявляют определенные требования, по которым устанавливают пригодность масла для конкретного механизма, двигателя и т. д. В целом смазочные масла должны обладать соответствующими вязкостью и индексом вязкости; высокой термоокислительной устойчивостью и хорошими противокоррозионными свойствами; высокими противоизносными качествами и хорошей прокачиваемостью при различных температурах окружающей среды. Масла должны обеспечивать максимально возможный срок работы до замены, не образовывать на поверхностях деталей различных отложений и т. д.

Для того чтобы масла обладали необходимыми качествами, для них подбирают соответствующее сырье, технологию получения и способ очистки. Широко используется добавление к смазочным маслам для улучшения их свойств в зависимости от назначения высокоэффективных многофункциональных присадок и их композиций.

Знание закономерностей изменения качества смазочного масла в соответствии с условиями и режимами их работы обеспечит более обоснованный выбор масла и присадок, а также оптимального срока его работы до замены.

### **9.1. Назначение присадок к маслам**

Для современных высокофорсированных дизелей и карбюраторных двигателей требуются моторные масла высокого качества. Наиболее эффективный и дешевый метод улучшения эксплуатационных свойств смазочных масел — легирование их специальными *присадками*. Присадки — это сложные химические соединения, которые вводятся в смазочные масла в концентрации от долей до 20...30 % и более с целью улучшения их качества и придания новых свойств.

В зависимости от функционального действия присадки делятся на антиокислительные, противокоррозионные, моющие, диспергирующие, противоизносные, вязкостные, депрессорные, противопенные и др. Присадку в масло могут вводить для улучшения или придания одного определенного свойства, например депрессорную для снижения температуры застывания. Однако чаще всего используют многофункциональные присадки, улучшающие одновременно несколько свойств смазочного масла.

Помимо основного назначения присадок — улучшения функционального качества масла, они должны удовлетворять целому ряду других требований: хорошо растворяться в маслах; не выпадать в осадок от изменения температуры и при хранении; быть термически и химически стабильными; не изменять своего функционального назначения при применении его в двигателе; не нарушать других качеств масла и т. д.

Большой вклад в разработку присадок к смазочным маслам и выяснение механизма их действия внесли труды советских ученых С. Э. Крейна, А. М. Кулиева, К. К. Папок, К. С. Рамайя, К. И. Иванова, П. И. Санина, В. И. Исагульянца, И. Ф. Благовидова, Ю. С. Заславского, А. Б. Виппера и многих других.

### **9.2. Виды и механизм действия присадок однофункционального назначения**

**Антиокислительные присадки.** Одним из условий длительной работы смазочного масла в двигателе внутреннего сгорания является его стабильность против

окисления при высоких температурах. На процесс окисления каталитически влияют материал деталей (железо, медь), продукты первичного окисления, а также химический состав самого масла. Наибольшее распространение в качестве антиокислительных получили *алкилфенольные* присадки, в числе которых наиболее эффективными являются ионол, соединения типа аминов и соединения, содержащие серу, азот и фосфор, азот и фенольный гидроксил.

Механизм действия антиокислительных присадок можно объяснить, исходя из представления об автоокислении углеводородов как цепном процессе. При этом предполагается, что зарождение и развитие цепей реакций идет через радикалы. Следовательно, превращение радикалов в устойчивые молекулы или затруднение образования и накопления их в продуктах реакции будет тормозить процесс автоокисления. Присадки могут действовать по нескольким направлениям: задерживать начало процесса окисления и таким образом увеличивать индукционный период работы масла; разрушать образующиеся при окислении гидроперекиси и тем самым подавлять реакции разветвления цепей. Кроме того, антиокислители могут взаимодействовать с продуктами окисления углеводородов и образовывать новые вещества, обладающие антиокислительными свойствами и тормозящие процесс окисления.

**Противокоррозионные присадки.** Применение в качестве антифрикционных материалов сплавов из цветных металлов вызвало необходимость повышения противокоррозионных свойств моторных масел. Масла без присадок не могут обеспечивать надежную и длительную работу вкладышей подшипников, для изготовления которых применяют медно-свинцовые сплавы. Коррозия антифрикционных сплавов является следствием воздействия на них кислот и продуктов окисления масла в процессе эксплуатации. Процесс коррозии состоит из двух фаз: в первой фазе окисляющий агент, взаимодействуя с металлом, образует соответствующий оксид; во второй — оксид реагирует с органической кислотой и растворяется в ней.

В качестве противокоррозионных присадок предложены различные соединения: трибутилфосфит, трифенилфосфит, осерненное масло, а также алкилфеноляты щелочных и щелочно-земельных металлов.



Механизм действия этих присадок сводится к образованию на металле защитных пленок, которые препятствуют непосредственному воздействию коррозионно-активных веществ на металл. Это сложный процесс, причем характер, скорость и глубина его зависят от химического состава присадки, сплава и условий их взаимодействия.

Защитная пленка на поверхности металла образуется в две стадии\*. Сначала в результате взаимодействия антикоррозионной присадки с металлом на его поверхности создается защитный слой, затем на нем под действием адсорбционных сил наращиваются новые слои. Для каждого сочетания металла с присадкой существует определенный температурный интервал, при котором отмечается наибольшая эффективность их взаимодействия. Таким интервалом для большинства серо- и фосфоросодержащих присадок является температура 80...120 °С. При более низких температурах защитная пленка восстанавливается медленно. При температурах более 120 °С защитная пленка разрушается. Однако экспериментально доказано, что механически разрушенная пленка на поверхности детали восстанавливается под действием антикоррозионной присадки.

Другим направлением действия присадки (алкилфенолятов щелочных и щелочно-земельных металлов) может быть нейтрализация коррозионно-агрессивных продуктов, образующихся при сгорании сернистого топлива и окислении масла.

Коррозионный процесс Н. И. Черножуков объясняет воздействием органических кислот на гидрат окиси металла, который образуется в результате воздействия кислорода воздуха и воды.

К. С. Рамайя, изучая кинетику реакции коррозии свинца в маслах с искусственно создаваемой кислотностью, установил, что потеря веса свинцовой пластинки пропорциональна концентрации кислоты в масле.

По Б. В. Лосикову, масла с кислотностью до 1,5 мг КОН при отсутствии воды оказывают незначительное действие на сталь и чугун, но кислотность порядка 0,5... 0,6 мг КОН уже достаточна для вымывания свинца из подшипниковых сплавов. Присутствие воды в масле резко усиливает коррозию свинцовистых сплавов.

---

\* По исследованиям Б. В. Лосикова, Ю. С. Заславского и С. Э. Крейна. — *Прим. авт.*

**Моющие и диспергирующие присадки (детергенты или диспергенты).** В процессе работы двигателя на деталях цилиндропоршневой группы образуются лаки и нагары, которые значительно ухудшают отвод тепла от деталей. Накопление отложений может привести также к потере подвижности поршневых колец и вызывать их закоксовывание, снижающее компрессию и повышающее угар моторного масла.

Для удаления лаков и нагаров с поверхности деталей, перевода их во взвешенное состояние в масла добавляют моющие и диспергирующие присадки. В качестве моющих присадок широкое применение получили соли различных сульфо- и карбоновых кислот, а также алкилфеноляты, беззольные и малозольные полимерные присадки, присадки на основе производных сукцинимидов, многозольные и высокощелочные сульфонаты и алкилфеноляты и др.

Первой в нашей стране присадкой к смазочным маслам была сульфонатная присадка АзНИИ-4\*, состоящая из двух компонентов — моющего (кальциевые соли сульфокислот солярового масла) и противокоррозионного (осерненное моторное масло). Эту присадку добавляли к дизельным маслам в количестве 3...5 %. В результате дальнейших разработок появилась присадка АзНИИ-5, представляющая собой раствор бариевых или кальциевых солей сульфокислот сульфированного петролятума в минеральном масле. Эта присадка улучшает моющие, противонагарные и противокоррозионные свойства.

Присадки СБ-3 и СК-3 относятся к малозольным и низкощелочным сульфонатам: СБ-3 является бариевой солью сульфокислот сульфированного дизельного масла Д-11, СК-3 — соответствующей кальциевой солью. Эти присадки не только моюще-диспергирующие, но и противоизносные.

К высокощелочным присадкам, обеспечивающим получение высококачественных масел групп В и Г, относится присадка МАСК (многозольный алкилсалицилат натрия). Ее получают обработкой жирных кислот оксидом магния или взаимодействием алкилсалицилатов, растворенных в масле, с гидроокисью кальция.

Во ВНИИНП разработаны многозольная сульфонатная присадка ПМС'Я и высокощелочная присадка

---

\* Разработана А. М. Кулиевым и др. — *Прим. авт.*

ВНИИНП-121, обладающие высокоэффективными моюще-диспергирующими свойствами.

На рисунке 47 показано влияние концентрации присадки ВНИИНП-360 на нагарообразование при использовании топлива с различным содержанием серы\*.

Широко применяются беззольные полимерные присадки, обладающие эффективным моющим и диспергирующим действием. Основным назначением этих присадок является предотвращение отложений смолисто-асфальтовых веществ, карбенов и карбоидов на деталях двигателей.

Действие моюще-диспергирующих присадок основано на их способности разрыхлять, смывать отложения с поверхностей деталей, переводить не растворимые в масле вещества в суспензию и удерживать частицы в этом состоянии без укрупнения и седиментации. Возможно также, что моющие и диспергирующие присадки влияют на процессы окисления масел, направляя их в сторону образования соединений, растворимых в масле.

Существует несколько теорий, объясняющих моющее действие присадок. По К. К. Папок, присадка адсорбируется на металлических поверхностях, и образующиеся защитные пленки препятствуют созданию отложений на деталях. Это происходит потому, что вводимые присадки обладают большей поверхностной активностью, чем лаки и нагары.

Ю. С. Заславский и Г. И. Шор считают, что при сорбции присадок на углеродистых частицах (асфальтены, карбены, карбоиды), находящихся в масле и на металлических деталях, возникает электростатический эффект, т. е. взаимное отталкивание одноименно заряжен-

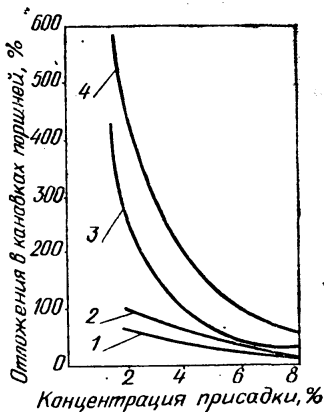


Рис. 47. Влияние концентрации присадки ВНИИНП-360 на нагарообразование в канавках поршней дизеля при содержании серы в топливе:

1 — 0,2 %; 2 — 0,6 %; 3 — 1 %; 4 — 1,5 %.

\* Данные Н. Г. Пучкова и В. Д. Резникова. — Прим. авт.

ных частиц и поверхностей, что и обуславливает моющее действие присадки.

С. Э. Крейн, Ю. Н. Шехтер и В. П. Калашников предполагают, что сульфонатные присадки способны к солюбилизации, т. е. к включению в свои мицеллы (комплексные молекулы) продуктов окисления углеводородов масла сразу же после их образования.

В целом применение моющих и диспергирующих присадок значительно снижает образование отложений на деталях в двигателе, обеспечивая их надежную и длительную работу.

**Противоизносные и противозадирные присадки.** Для создания прочной масляной пленки на рабочих поверхностях смазочное масло должно обладать высокими смазывающей способностью и поверхностной активностью. По характеру действия присадки, улучшающие эти свойства масла, делятся на антифрикционные, противоизносные и противозадирные.

В качестве антифрикционных присадок используют вещества, обладающие высокой поверхностной активностью: природные жиры, жирные кислоты, их эфиры и смолы.

Противоизносные присадки содержат такие поверхностно-активные вещества, которые при повышении температуры способны образовывать пленки, препятствующие схватыванию трущихся поверхностей. К ним относятся соединения, содержащие неактивную серу, а также эфиры фосфорных кислот.

При использовании противозадирных присадок продукты их разложения химически взаимодействуют с металлом при высоких температурах трения. В этом случае образуются соединения, которые обладают меньшим сопротивлением срезу и более низкой температурой плавления, чем чистые металлы, что и предотвращает заедание трущихся поверхностей. В противозадирные присадки входят сера, фосфор и хлор, в некоторые из них — свинец, сурьма и молибден в сочетании с серой или фосфором.

Перспективным направлением является создание высокоэффективных беззольных антифрикционных присадок на базе продуктов, содержащих серу, фосфор и азот.

Для моторных масел в качестве антифрикционных присадок начали применять растворимые модификаторы

трения. Они представляют собой коллоидные дисперсии не растворимых в масле соединений (дисульфида молибдена, графита) или малорастворимые соединения (органические производные молибдена). Преимущество последних заключается в том, что они не выпадают в осадок и не забивают фильтрующих элементов.

Противоизносные и противозадирные присадки обеспечивают эффективную защиту трущихся поверхностей от изнашивания за счет образования на поверхностях прочных граничных пленок в результате химической реакции присадок с металлом.

На рисунке 48 показано влияние концентрации присадки ВНИИНП-360 в моторном масле на износные свойства двигателя для топлива с различным содержанием серы\*.

**Вязкостные присадки.** Чтобы смазочные масла обладали необходимыми вязкостно-температурными свойствами, высоким индексом вязкости и хорошо прокачивались при отрицательных температурах, их загущают высокомолекулярными соединениями. К таким присадкам относятся полиизобутилены, поливинилалкиловые эфиры, полиметакрилаты и др. Полиизобутилены применяют с молекулярной массой 15 000...25 000, так как они лучше растворяются в маслах и более стабильны к воздействию высоких температур и механических сил. При полимеризации изобутилена в присутствии хлористого алюминия при  $-76^{\circ}\text{C}$  получают вязкостную присадку *суперол*. Присадку *винипол* получают полимеризацией винил-*n*-бутилового эфира в присутствии перекиси бензоила. Эти присадки не только повышают вязкость и индекс вязкости масел, но и одновременно улучшают смазывающую способность.

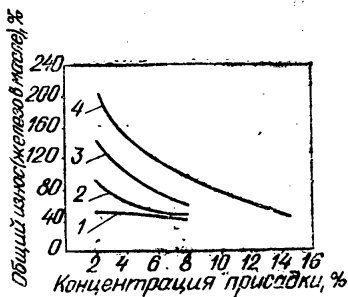


Рис. 48. Влияние присадки ВНИИНП-360 на износ двигателя при применении топлива с различным содержанием серы:

1 — 0,2 %; 2 — 0,6 %; 3 — 1 %;  
4 — 1,5 %.

\* Данные Н. Г. Пучкова и В. Д. Резникова. — Прим. авт.

В качестве вязкостных присадок, широко используются *полиметакрилаты* — полимеры эфиров метакриловой кислоты и одноатомных спиртов. Масла, загущенные этими присадками, обладают хорошими вязкостными свойствами при различных температурах и обеспечивают легкий пуск двигателя при низких температурах. Вследствие этого такие масла используют как всесезонные.

Одним из недостатков загущенных масел является их деполимеризация при 100 °С, однако добавление к ним *антифрикционных* присадок тормозит этот процесс.

Возможна также и механическая деструкция загущенных масел, применяемых в гидравлических системах, трансмиссиях и других агрегатах при низких температурах, под действием деталей шестеренных передач с высокими удельными нагрузками.

Полимерная присадка СКЭПС\* (этиленпропиленовый полимер) обладает молекулярной массой 6 000. При добавлении 0,9...1,5 % этой присадки для загущения масла М-4 было получено моторное масло М-4<sub>3/8</sub> с индексом вязкости 128 и температурой застывания —42 °С.

В качестве загущающих присадок применяют также *вольтолы*, которые получают воздействием электрических разрядов высоких частоты и напряжения на животные, растительные и минеральные масла. В сравнении с полиизобутиленами вольтолы обладают меньшей загущающей способностью.

Применение загущенных масел способствует значительному снижению потерь энергии на трение, что обеспечивает экономию топлива.

**Депрессорные присадки.** Применение обычных смазочных масел при низких температурах окружающей среды невозможно из-за потери ими текучести. Поэтому к маслам, имеющим высокую температуру застывания, добавляют депрессорные присадки. Такой присадкой является депрессор АзНИИ, представляющий собой диалкилнафталин. Перспективно использование присадок парафлуо, сантопур, полиметакрилат Д и др.

Действие депрессоров заключается в подавлении процесса образования в масле сплошных кристаллических сеток при понижении температуры, что и позволяет смазочному маслу сохранять свою подвижность. Это происходит благодаря адсорбции депрессора на кристаллах

---

\* Разработана Р. Ш. Кулиевым и др. — *Прим. авт.*

парафина, что препятствует их росту и вытесняет с поверхности масляный слой. Такое десольватирующее действие характерно для депрессора парафлуо.

**Противопенные присадки.** Присадки этого типа добавляются к маслам, применяемым в тех узлах, где масло вспенивается, что резко ухудшает качество смазывания трущихся поверхностей. Пена создается вследствие усиленного перемешивания масла с растворенным в нем воздухом. Степень пенообразования зависит от температуры, вязкости и плотности масла.

Для предотвращения вспенивания масла применяют кальциевые мыла ланолина, алкилсульфаты, олеат калия, полисилоксаны и др. Действие противопенных присадок заключается в снижении прочности поверхностных пленок, которые разделяют газовые пузырьки и жидкую фазу.

В качестве противопенных присадок получили применение полиметилсилоксан (ПМС-200А), полидиметилсилоксан, полиэтилсилоксан и др. Эти присадки вводят совместно с моющими, ибо последние способствуют вспениванию масла.

### **9.3. Многофункциональные присадки**

Для придания смазочному маслу не одного, а многих эксплуатационных свойств в него вводят одновременно несколько органических соединений, обладающих различными функциональными качествами, комплекс которых называется многофункциональной присадкой. Необходимость применения таких присадок основывается на том, что смазочное моторное масло для обеспечения надежной и долговечной работы должно обладать целым набором эксплуатационных свойств: антиокислительными, противонагарными, противокоррозионными, противоизносными и др.

К многофункциональным присадкам относятся алкилфенольные, фенолсульфидные и полимерные соединения, содержащие фосфор и серу.

Алкилфенольными являются присадки БФК и КФК, а также ВНИИНП-370 и ВНИИНП-371. Эти присадки содержат бариевые или кальциевые соли продуктов конденсации алкилфенолов с формальдегидом. Они характеризуются высокими противокоррозионными, моющими, противонагарными и антиокислительными свойствами.

| Присадка       | Зольность, % | Содержание, % |           |           | Щелочность, мг КОН/г | Композиция |                        | Моющие свойства по ПЗВ, баллы | Коррозия металла, г/м <sup>2</sup> |
|----------------|--------------|---------------|-----------|-----------|----------------------|------------|------------------------|-------------------------------|------------------------------------|
|                |              | металла       | серы      | фосфора   |                      | масло      | содержание при-садки % |                               |                                    |
| АзНИИ-7        | 11,0         | 5,5...6,0     | 3,0...4,0 | —         | 28...35              | Д-11       | 5                      | 2,0...2,5                     | ≤5                                 |
| АзНИИ-8        | ≥7,5         | —             | —         | —         | —                    | Д-11       | 5                      | ≤1,0                          | —                                  |
| АзНИИ-ЦИАТИМ-1 | 4,4...6,0    | ≥2,0          | 3,0...4,5 | —         | 51                   | МТ-16      | 3                      | ≤3                            | ≤6                                 |
| БФК            | ≥9,0         | 4,2...5,3     | —         | —         | 51                   | Д-11       | 5                      | 0,5...1,0                     | ≤5                                 |
| ВНИИ НП-370    | ≥7,0         | ≥2            | —         | —         | 35                   | —          | —                      | —                             | ≤5                                 |
| сульфатная     |              |               |           |           |                      |            |                        |                               |                                    |
| ВНИИ НП-371    | 14,5...16,5  | 8,7...9,5     | —         | —         | 28...30              | —          | —                      | —                             | —                                  |
| ИХП-361        | 7,5          | —             | 0,6       | 2,4...2,7 | —                    | ДС-11      | 5                      | 0,5...1,0                     | Нет                                |
| ИХП-388        | 10,0...12,0  | —             | 3,5...4,0 | 2,5...3,0 | —                    | ДС-11      | 5                      | 0...0,5                       | Нет                                |
| КФК            | 3,2          | —             | —         | —         | 50...70              | Д-11       | 5                      | 0,5...1,0                     | ≤5                                 |
| ЦИАТИМ-339     | ≥8,5         | ≥4,7          | 4,0...5,5 | —         | —                    | МТ-16      | 3                      | 1,5                           | ≤15                                |



К фенольсульфидным относятся присадки АзНИИ-ЦИАТИМ-1 и ЦИАТИМ-339, которые обладают противокоррозионными и моющими свойствами, а также снижают температуру застывания.

Присадки АзНИИ-7 и АзНИИ-8 (смесь присадок АзНИИ-7 и СБ-3 в пропорции 1 : 1) обладают хорошими противокоррозионными и моющими свойствами, улучшают смазывающие свойства и снижают температуру застывания.

Полимерные присадки, содержащие фосфор и серу, обладают высокими моющими и диспергирующими свойствами, а также в ряде случаев улучшают вязкостно-температурные свойства, снижают температуру застывания, повышают антиокислительные качества и снижают коррозионную активность. Полимерные соединения становятся присадками многофункционального действия за счет введения в их макромолекулы различных функциональных групп, содержащих фосфор, серу, азот и др. В результате полимеризации и сополимеризации мономеров, которые содержат функциональные группы, получают беззольные присадки, обладающие эффективными моюще-диспергирующими свойствами, даже при наличии в масле воды. Мономерами служат азотсодержащие вещества и соединения с эфирными группами.

В таблице 20 приведены характеристики основных многофункциональных присадок.

#### **9.4. Композиции присадок к моторным маслам**

Постоянно возрастающие требования к качеству моторных масел привели к необходимости создания композиций многофункциональных присадок, которые при введении в масло повышают многие его эксплуатационные качества. При составлении композиций присадки не просто смешиваются, а химически взаимодействуют, в результате чего усиливают старые или проявляются новые качества. Такой процесс называется *синергизмом*.

Все моторные масла классифицируются по системе, в основу которой положены условия эксплуатации двигателей, их тепловая и механическая напряженность. Каждая группа масел предназначена для двигателей определенных марок, характеризующихся приблизительно

одинаковыми требованиями к качеству применяемого масла. В соответствии с группой масла подобраны композиции присадок. Композиции подбирают лабораторным путем, затем масла с этими присадками проходят испытания в стендовых и эксплуатационных условиях, после чего оценивают их пригодность и эффективность для внедрения в производство.

В таблице 21 приведены некоторые композиции присадок для отдельных групп моторных масел (подробнее о классификации моторных масел будет сказано ниже).

21. Композиции присадок для моторных масел

| Состав композиции                                                                      | Показатели композиции |                                                    |                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------|------------------------------|
|                                                                                        | зольность,<br>%       | коррозия<br>свинца по<br>НАМИ,<br>г/м <sup>2</sup> | щелоч-<br>ность, мг<br>КОН/г |
| <i>Для масел группы Б</i>                                                              |                       |                                                    |                              |
| ДС-11 с 2 % ВНИИНП-360,<br>2 % ПМС'Я; 2 % ВНИИНП-354 и<br>0,003 % ПМС-200А             | 0,70                  | Нет                                                | 2,3                          |
| ДС-11 с 2 % ЦИАТИМ-339; 2 %<br>ПМС'Я; 2 % ВНИИНП-354 и<br>0,003 % ПМС-200А             | 0,60                  | Нет                                                | 1,5                          |
| АС-9,5 с 2,6 % БФК; 1,4 % СБ-3;<br>1,2 % ИНХП-21; 1,7 % ИХП-476 и<br>0,003 ПМС-200А    | 0,65                  | 31                                                 | 2,3                          |
| <i>Для масел группы В</i>                                                              |                       |                                                    |                              |
| ДС-11 с 4 % ВНИИНП-360;<br>2 % ПМС'Я; 1,5 % ВНИИНП-354<br>и 0,003 % ПМС-200А           | 0,90                  | Нет                                                | 3,5                          |
| ДС-11 с 3,4 ЦИАТИМ-339;<br>2 % ПМС'Я; 2 % ВНИИНП-354 и<br>0,003 % ПМС-200А             | 0,90                  | Нет                                                | 3,4                          |
| ДС-11 с 4 % АСК (бариевая);<br>1,5 % ПМС (бариевая); 0,6 %<br>ДФ-11 и 0,003 % ПМС-200А | 0,82                  | Нет                                                | 3,2                          |
| <i>Для масел группы Г</i>                                                              |                       |                                                    |                              |
| ДС-11 с 6.% ВНИИНП-360;<br>4 % ПМС'Я; 0,8 % ВНИИНП-354<br>и 0,003 % ПМС-200А           | 1,50                  | 7,0                                                | 5,8                          |
| ДС-11 с 3 % ЦИАТИМ-339;<br>4 % ПМС'Я; 2 % ВНИИНП-354 и<br>0,003 % ПМС-200А             | 1,10                  | Нет                                                | 5,0                          |
| ДС-14 с 8 % АСК (бариевая);<br>3 % ПМС (бариевая); 1,2 % ДФ-11<br>и 0,003 % ПМС-200А   | 1,60                  | Нет                                                | 5,9                          |

**10.1. Роль метода и показателей  
в оценке смазочных масел**

Показатели, характеризующие свойства смазочных масел, имеют большое значение для контроля их качества при производстве и исследовании. Они важны также для оценки пригодности масел к использованию непосредственно в двигателе. От того, насколько удачен и точен метод определения качества смазочного масла, во многом будет зависеть надежность, долговечность и экономичность работы двигателя.

При оценке качества смазочных масел используются многочисленные физико-химические показатели. Однако в результате добавления к смазочным маслам присадок значения одних показателей изменились, а другие практически утратили свой смысл. Выяснено, что добавление присадок к маслу ухудшает ряд физико-химических показателей, однако эксплуатационные свойства этих масел оказываются очень высокими\*. Из этого следует, что некоторые физико-химические показатели современного масла отражают не его эксплуатационные качества, а сырье, из которого оно изготавливается, и технологию производства. Для более объективной и правильной оценки качества масел с присадками следует применять другие показатели, которые характеризуют эксплуатационные (моторные) качества масла: противокоррозионные, антиокислительные, противоизносные, противонагарные и др. Для решения этого вопроса созданы специальные лабораторные приборы, имитирующие работу масла в реальных условиях, действующие модельные установки, одноцилиндровые и полноразмерные двигатели.

При определении группы, к которой следует отнести масло, его качество или квалификационную характеристику оценивают многими методами на различных стадиях разработки и проверки.

В установившейся практике процесс оценки качества смазочных масел в основном состоит из четырех этапов: лабораторных исследований; испытаний на модельных установках и малоразмерных одноцилиндровых двигателях.

---

\* По исследованиям С. Э. Крейна и М. С. Боровой. — *Прим. авт.*

лях; стендовых испытаний на полноразмерных двигателях; эксплуатационных испытаний на машинах.

Лабораторные исследования дают возможность определить общую характеристику масла, т. е. физико-химические показатели, оценивающие выбор исходного нефтяного сырья, применение соответствующего способа очистки, содержание присадки, наличие посторонних примесей и др.

Испытания на модельных установках и малоразмерных одноцилиндровых двигателях, которые имитируют работу реального двигателя, позволяют дать оценку отдельным функциональным свойствам масла (нагарные, противокоррозионные, осадкообразующие, моюще-диспергирующие и др.).

Наиболее распространены методы оценки автотракторных масел на одноцилиндровых установках УИМ-6-НАТИ (одноцилиндровый отсек тракторного дизеля Д-75), НАМИ-1м (одноцилиндровый отсек карбюраторного двигателя ЗИЛ-130), ИКМ (одноцилиндровый бензиновый двигатель УД-1 воздушного охлаждения, преобразованный для испытания масел; серийные детали цилиндропоршневой группы в нем от двигателя «Москвич-402»), ИМ-1 (одноцилиндровый дизель) и др.

При анализе результатов, получаемых при лабораторных исследованиях и на модельных установках, определяют взаимосвязь физико-химических и функциональных показателей, характеризующих в целом эксплуатационные свойства масла. Однако результаты этих исследований не позволяют сделать окончательных выводов о поведении масла в двигателе, так как в лабораторных установках не учитываются и не воспроизводятся многие факторы, существующие в реальных условиях.

Стендовые моторные испытания на полноразмерных двигателях дают возможность получить обширный информационный материал о поведении масла и влиянии его на технико-экономические показатели двигателя при работе на различных режимах.

Заключительным этапом являются эксплуатационные испытания масла, которые проводятся на конкретных машинах (тракторах, автомобилях) в действительных условиях по специально составленным программам.

Методы, предназначенные для непосредственной оценки эксплуатационных свойств масел на модельных установках, одноцилиндровых и полноразмерных двига-

## 22. Комплекс методов оценки моторных масел

| Группа масла<br>(ориентиру-<br>ющая)             | Оценяемый показатель                                            | Метод                              |                                        | Оценочный параметр                                               | Дли-<br>тель-<br>ность<br>испыта-<br>ния, ч |
|--------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------|
|                                                  |                                                                 | установка                          | стандарт                               |                                                                  |                                             |
| Б <sub>1</sub> , В <sub>1</sub> , Г <sub>1</sub> | Моющие свойства                                                 | НАМИ-1                             | ГОСТ 20984—75                          | Загрязненность порш-<br>ня высокотемператур-<br>ными отложениями | 120                                         |
|                                                  | Склонность к образова-<br>нию низкотемператур-<br>ных отложений | НАМИ-1                             | ГОСТ 20984—75                          | Количество отложений<br>в роторе центрифуги                      | 120                                         |
|                                                  | Антиокислительные свой-<br>ства                                 | ИКМ                                | ГОСТ 20457—75                          | Изменение вязкости мас-<br>ла                                    | 40                                          |
|                                                  | Моющие свойства                                                 | УИМ-6-НАТИ<br>или дизель<br>СМД-14 | ГОСТ 21490—76<br>Типовая методи-<br>ка | Загрязненность поршня<br>высокотемпературны-<br>ми отложениями   | 120                                         |
|                                                  | Антиокислительные свой-<br>ства                                 | ИКМ                                | ГОСТ 20457—75                          | Изменение вязкости мас-<br>ла                                    | 40                                          |
| Б <sub>2</sub> , В <sub>2</sub>                  | Антикоррозионные свой-<br>ства                                  | Дизель<br>ЯАЗ-204                  | ГОСТ 20302—74                          | Потеря массы комплекта<br>шатунных вкладышей                     | 125                                         |
|                                                  | Склонность к образова-<br>нию низкотемператур-<br>ных отложений | НАМИ-1                             | ГОСТ 20984—75                          | Количество отложений в<br>роторе центрифуги                      | 120                                         |
|                                                  | Моющие свойства                                                 | УИМ-6-НАТИ                         | ГОСТ 21490—76                          | Загрязненность поршня                                            | 120                                         |
| Д <sub>2</sub> , Г                               | Моющие свойства                                                 | ИМ-1 или дизель,<br>ЯМЗ-238НБ      | ГОСТ 20303—74<br>Типовая методика      | высокотемпературны-<br>ми отложениями                            | 120                                         |
|                                                  | Антикоррозионные свой-<br>ства                                  | ЯАЗ-204                            | ГОСТ 20302—74                          | Потеря массы комплекта<br>шатунных вкладышей                     | 960                                         |
|                                                  | Склонность к образова-<br>нию низкотемператур-<br>ных отложений | НАМИ-1                             | ГОСТ 20984—75                          | Количество отложений<br>в роторе центрифуги                      | 125                                         |

телях, реальных машинах и агрегатах, называются *квалификационными*.

В таблице 22 приведен комплекс методов оценки свойств моторных масел.

## 10.2. Вязкостные свойства масел

Вязкость — один из важнейших показателей, характеризующих пригодность масла для применения в двигателе. Определенная вязкость необходима для образования оптимального смазочного слоя между трущимися поверхностями с целью предотвращения их непосредственного контакта. Наиболее полно этим требованиям будут удовлетворять масла с большей вязкостью. Но увеличение вязкости масла ведет к повышению непроизводительных потерь мощности двигателя на трение, снижению к. п. д. Поэтому вязкость масла должна быть минимальной, но достаточной для создания жидкостного трения.

Кроме того, вязкость определяет низкотемпературные свойства масла, т. е. способность обеспечивать легкий пуск двигателя при низких температурах окружающей среды и надежную подачу масла из картера к коренным и шатунным подшипникам в период пуска и прогрева двигателя.

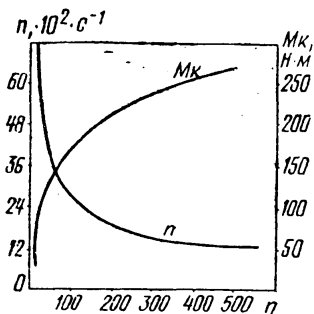


Рис. 49. Зависимость момента сопротивления вращения  $M$  и частоты вращения  $n$  коленчатого вала двигателя ГАЗ-51 от динамической вязкости моторного масла  $\eta$ :

На рисунке 49 показана зависимость изменения момента сопротивления вращения и частоты вращения коленчатого вала двигателя ГАЗ-51 от динамической вязкости моторного масла.\* Большое значение для обеспечения нормальной работы двигателя имеет характер изменения вязкости масла с изменением температуры. Желательно, чтобы при высоких температурах эксплуатации двигателей масло имело высокую вязкость для создания жидкостного трения, а при температурах пуска —

\* По данным С. Ф. Рубинштейна. — Прим. авт.

низкую для уменьшения крутящего момента при прокручивании коленчатого вала и обеспечения хорошей прокачиваемости масла в системе смазывания.

Степень изменения вязкости масла в зависимости от температуры является его важнейшей эксплуатационной характеристикой.

Вязкостно-температурные свойства масел оценивают *индексом вязкости*. Чем выше индекс вязкости масла, тем положе кривая изменения его вязкости в зависимости от температуры, а значит, выше его качество. При высоких температурах такое масло надежно смазывает трущиеся детали, а при низких обеспечивает легкий пуск двигателя и хорошо прокачивается.

Индекс вязкости (ИВ) представляет собой относительную величину, которая показывает степень изменения вязкости масла в зависимости от температуры по сравнению с эталонными маслами.

В качестве эталонов выбраны две серии масел различной вязкости. Масла первой серии незначительно изменяют свою вязкость при изменении температуры, т. е. обладают пологой вязкостно-температурной кривой. Индекс вязкости этих масел принят за 100 ед. Вторая серия характеризуется весьма крутой вязкостно-температурной кривой. Их индекс принят за 0 ед.

Чтобы определить индекс вязкости, следует знать вязкость испытуемого масла при температурах 98,9 и 37,8 °С. Затем из первой и второй серий подбирают масла, которые обладают той же вязкостью, что и испытуемое. Если вязкостно-температурные свойства испытуемого масла совпадают со свойствами масла из первой серии, индекс вязкости испытуемого масла будет равен 100, если со свойствами масла второй серии — 0.

Для случая промежуточного положения вязкостно-температурных свойств индекс вязкости испытуемого масла определяют по формуле

$$\text{ИВ} = \frac{Z - v}{Z - N} 100, \quad (39)$$

где  $Z$ ,  $v$  и  $N$  — вязкости соответственно низкосортного эталонного, испытуемого, высокосортного эталонного масел при 37,8 °С, с Сейболта.

В основу вычислений ИВ положены условные единицы вязкости (универсальные секунды Сейболта). Так как их определение затруднительно, проще пользоваться но-

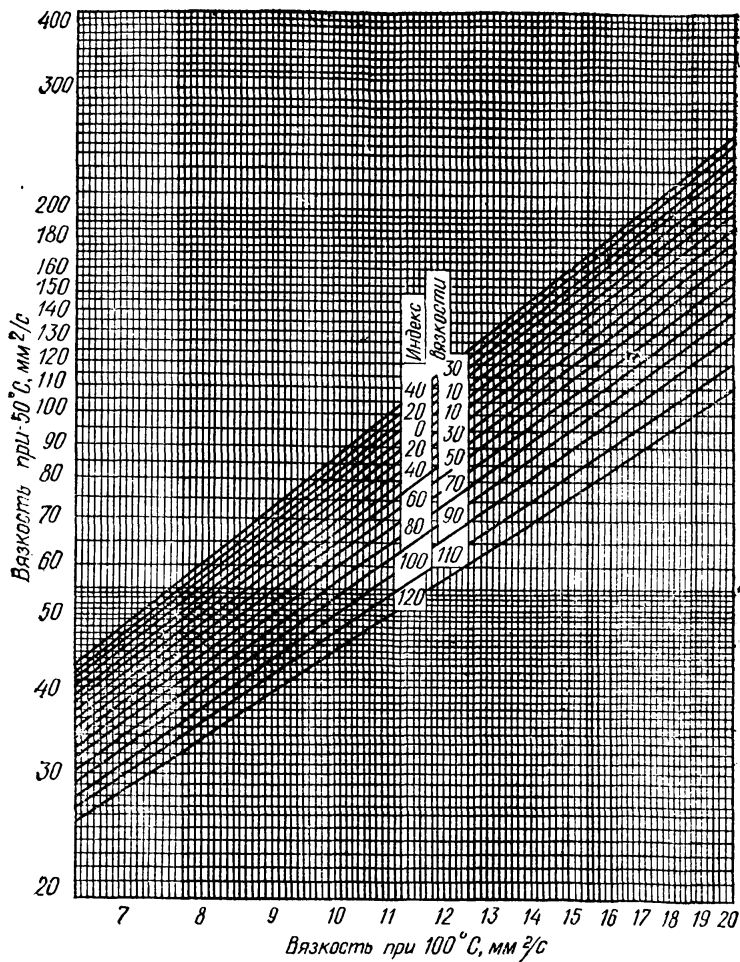


Рис. 50. Номограмма для определения индекса вязкости масла.



## 23. Зависимость вязкости масла от давления

| Давление, МПа | Рост вязкости, % | Давление, МПа | Рост вязкости |
|---------------|------------------|---------------|---------------|
| 7             | 20...25          | 100           | В 5 раз       |
| 15            | 35...40          | 200           | В 20 раз      |
| 20            | 50...60          | 300           | В 60 раз      |
| 50            | 300              | 350           | В 120 раз     |

мограммой (рис. 50). Для этого необходимо знать кинематическую вязкость испытуемого масла при 50 и 100 °С. По точке пересечения значений этих вязкостей с одной из линий индекса вязкости определяют ИВ для испытуемого масла.

На вязкость влияет давление: вязкость всех смазочных масел с повышением давления увеличивается (табл. 23). Для каждого масла эта зависимость имеет свои закономерности, определяющиеся в основном углеводородным составом. Увеличение вязкости объясняется сближением молекул масла и возрастанием в связи с этим внутреннего взаимодействия между ними.

### 10.3. Термоокислительная стабильность масел

Склонность смазочных масел к образованию на деталях лаков и нагаров — важнейший показатель эксплуатационных свойств масла, ибо образование отложений является серьезным препятствием для нормальной эксплуатации. Этот показатель определяют по термоокислительной стабильности масла, его моторной испаряемости и моющим свойствам.

Отложения, образующиеся на высоконагретых деталях двигателя, подразделяются на *нагары*, *лаки* и *осадки*.

Нагарами называются углистые отложения, которые образуются на стенках камеры сгорания, днищах поршней, клапанах, форсунках и свечах, т. е. деталях, подвергающихся воздействию высоких температур.

Лаки, или лаковые отложения, представляют собой тонкие и прочные пленки, образующиеся на поршневых кольцах, канавках и юбках поршней, шатунах и других деталях.

Осадки, или шламы,—это мазеобразные сгустки, отлагающиеся на поверхностях деталей в картере двигателя, на маслофильтрах, маслопроводах и др.

Образование отложений отрицательно влияет на работу двигателя: лаки и нагары ухудшают тепловой режим, шламы забивают фильтры, маслопроводы и тем самым нарушают подачу масла к деталям.

Нагарообразование в двигателе зависит также от качества топлива и характера его сгорания, наличия в масле и топливе механических примесей, продуктов износа, пыли, попадающей с воздухом, и т. д. Процесс нагарообразования заключается в том, что образующиеся в результате окисления и окислительной полимеризации смолисто-асфальтовые вещества, являясь связующей средой, удерживают на поверхностях деталей продукты неполного сгорания топлива, механические и другие примеси. Затем под воздействием высокой температуры процесса сгорания рабочей смеси эти продукты закоксовываются и частично сгорают. Толщина образующегося слоя нагара со временем работы двигателя увеличивается, что приводит к повышению температуры из-за ухудшения теплоотвода. В этих условиях часть нагара начинает выгорать. При достижении определенной толщины слоя нагара устанавливается фаза равновесного состояния, при которой скорости образования и сгорания нагара равны. Толщина слоя нагара на деталях при этом может быть различной и зависеть от режима работы двигателя. При режиме его полной нагрузки, когда достигается высокая температура деталей, слой нагара будет меньше, чем при малонагруженном режиме с низкой температурой деталей.

Таким образом, если во время фазы образования нагара до его равновесного состояния играют роль различные факторы (полнота сгорания топлива, качество масла и топлива, их загрязненность и т. д.), то при фазе равновесного состояния основным фактором является режим работы двигателя, обуславливающий его тепловое состояние. От качества масла зависит лишь структура нагара\*.

На лакообразование в зоне поршневых колец и поршне в карбюраторных двигателях влияет качество топлива и смазочного масла, в дизелях — преимущественно

---

\* По исследованиям К. К. Папок. — *Прим. авт.*

качество моторного масла. При этом лаковые пленки образуются тем интенсивнее, чем более склонно масло к окислению и окислительной полимеризации. Прочность лаковых пленок зависит от образования оксикислот и смолисто-асфальтовых веществ.

Образование лаковых пленок на поверхностях деталей складывается из следующих этапов: окисления тонкого слоя масла на поверхности высоконагретой детали; коагуляции на поверхности детали из масла твердых продуктов окисления и сгорания топлива; конденсации продуктов окисления топлива и масла из продуктов сгорания, проникающих из камеры сгорания.\*

При образовании в масле шлама большую роль играют металлические соли органических кислот, получающиеся в результате взаимодействия последних с антифрикционными сплавами. Помимо этих солей, легко выпадающих в осадок, в шламе содержатся оксикислоты, смолисто-асфальтовые вещества, карбены и карбоиды, которые образуются в масле или попадают в него с деталей цилиндропоршневой группы. Образование шлама увеличивается при наличии в картере двигателя паров воды, а также при пониженных температурах охлаждающей воды и окружающего воздуха.\*\*

Для уменьшения отрицательного воздействия нагара, лака и шлама к маслам добавляют моюще-диспергирующие и антиокислительные присадки. Эксплуатационные свойства таких масел оценивают по загрязненности деталей цилиндропоршневой группы.

При исследовании процесса нагарообразования на деталях двигателя установлено, что причиной этого являются окисление и термическое разложение углеводородов топлива и масла в зонах высоких температур двигателя. Одни исследователи считают, что масло играет решающую роль в образовании нагара, другие рассматривают масло только как связующий материал для сажи, получающейся во время сгорания топлива, пыли и других иностранных веществ.

Исследования с помощью электронного микроскопа показали, что в процессе окисления образуются высокомолекулярные нерастворимые продукты, т. е. возникает твердая фаза, размер частиц в которой сначала не пре-

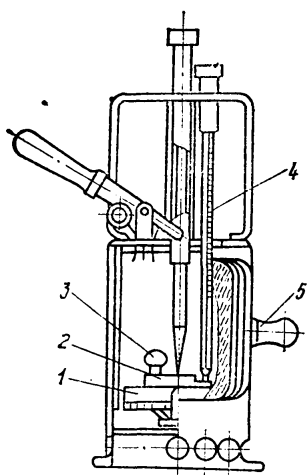
---

\* По исследованиям Б. В. Лосикова. — *Прим. авт.*

\*\* По исследованиям Н. И. Черножукова. — *Прим. авт.*

Рис. 51. Лакообразователь для определения термоокислительной стабильности масла:

1 — нагреватель; 2 — стальной диск; 3 — дужки кольца; 4 — термометр; 5 — ручка.



вышает одного микрона. В дальнейшем под влиянием различных факторов (температуры, кислорода) эти частицы уплотняются в более крупные мицеллы, которые могут выпасть из системы и образовывать различные отложения\*.

Разработана также теория, согласно которой в камере сгорания существует «пограничная зона низкой температуры»;

от ее размера зависит количество нагара, откладывающегося на поверхности детали\*\*.

Многими исследователями отмечено большое влияние содержания серы в топливе как на процесс окисления масла, так и на характер образующегося нагара. Увеличение содержания серы в топливе влияет не только на количество образования, но изменяет свойства нагароотложений, делая их более плотными и трудноудаляемыми. Нагар в камере сгорания адсорбирует серу, что делает его твердым, а это способствует повышению износа.

**Термоокислительная стабильность масел**, как показатель его антиокислительных свойств, характеризуется временем, в течение которого тонкий слой масла превращается в лаковую пленку. Чем больше значение этого показателя, тем меньше склонность масла к лакообразованию и меньше пригорание поршневых колец.

Термоокислительную стабильность масла определяют по методу с кольцами и на испарителях.

В первом случае используют прибор-лакообразователь, состоящий из стального диска 2 (рис. 51), на который помещаются четыре металлических кольца с дужками 3. Стальной диск нагревается электронагревателем 1.

\* Проведены А. Б. Виппером и Б. И. Леонтьевым. — *Прим. авт.*

\*\* По исследованиям К. К. Папок. — *Прим. авт.*

Температура контролируется с помощью термометра 4. Ручкой 5 открывают лакообразователь при перестановке стального диска.

В приборе устанавливают температуру 250 °С, затем в каждое кольцо заливают пипеткой по 0,05 г испытуемого масла и фиксируют время. Кольца выдерживают до момента превращения масла в темную лаковую пленку. Время определяют секундомером. После этого диск с кольцами вынимают и охлаждают при комнатной температуре в течение 1 ч. Затем с помощью рычажного динамометра отрывают кольцо от диска, измеряя затрачиваемое усилие. Среднее значение этого усилия вычисляют по четырем определениям.

Время (мин), в течение которого масло при 250 °С превращается в эластичную лаковую пленку, удерживающую металлическое кольцо при его отрыве с силой в 10 Н, принимают за количественное выражение термоокислительной стабильности испытуемого масла.

Во втором случае также устанавливают время (мин), в течение которого испытуемое масло при заданной температуре превращается в лаковый остаток, состоящий из 50 % рабочей фракции и 50 % лака.

По этому методу берут четыре испарительных стальных тарелочки ( $\varnothing 22 \times 1 \times 1$  мм) и помещают в каждую по 0,035...0,04 г испытуемого масла. Тарелочки ставят в прибор-лакообразователь при заданной температуре и фиксируют время. Когда масло в тарелочках окислилось (что видно по цвету масляной пленки), снимают с диска одну тарелочку, а остальные поочередно с интервалом 5...10 мин. Тарелочки после охлаждения взвешивают, петролейным эфиром экстрагируют из остатка масла рабочую фракцию. Затем тарелочки вновь взвешивают. Таким образом определяют количественное содержание рабочей фракции и лака.

Содержание рабочей фракции  $РФ_t^i$  и лака  $Л_t^i$  в масле при температуре  $T$  и установленном времени выдержки испарителя  $t$ , %, подсчитывают по формулам

$$РФ_t^i = \frac{A - B}{M} 100; \quad (40)$$

$$Л_t^i = \frac{B - B_0}{M} 100,$$

где  $A$  — масса тарелочки с остатком после нагревания, г;  $B$  — масса тарелочки с лаком после экстрагирования рабочей фракции, г;  $M$  — масса испытуемого масла, г;  $B_0$  — масса пустой тарелочки, г.

На основании полученных данных строят графическую зависимость  $РФ'_т$  и  $Л'_т$  от времени выдержки испарительных тарелочек в лакообразователе (рис. 52). Для этого по оси ординат в одинаковом масштабе откладывают величины  $РФ'_т$  и  $Л'_т$  (%), по оси абсцисс — время (мин) выдержки испарительных тарелочек в лакообразователе. Точка пересечения кривых будет соответствовать образованию лакового остатка, состоящего из 50 % рабочей фракции и 50 % лака, а ее проекция на ось абсцисс даст показатель термоокислительной стабильности испытуемого масла (мин).

Моющие свойства масел с присадками определяют по интенсивности лакообразования на поверхности поршня в лабораторной установке ПЗВ согласно ГОСТ 5726—53. Сущность испытания масла заключается в следующем. В картер установки (рис. 53) заливают 250 мл испытуемого масла 1. Температура в головке цилиндров  $300^{\circ}\text{C}$ , в середине цилиндров 225, в картере  $125^{\circ}\text{C}$ . Поступающий в цилиндр установки воздух нагревается до  $(220 \pm 20)^{\circ}\text{C}$ . Частота вращения коленчатого вала составляет  $(2500 \pm 50)$  мин<sup>-1</sup>. Привод вала от электродвигателя 2. Продолжительность испытания 2 ч.

После испытания установку разбирают. Загрязненность поршня 4 лаковыми отложениями сравнивают с эталонами и по шестибальной системе оценивают моющие свойства испытуемого масла в баллах. Моющие

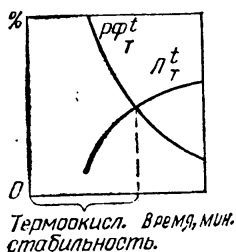


Рис. 52. Определение термоокислительной стабильности масел по пересечению кривых.

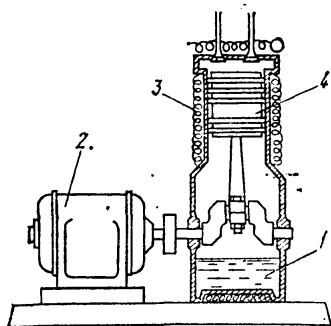


Рис. 53. Установка ПЗВ:

1 — испытуемое масло; 2 — электродвигатель; 3 — электронагревательные элементы; 4 — поршень.

свойства масла при совершенно чистом поршне (без лаковых отложений) оценивают в 0 баллов, при боковой поверхности поршня, целиком покрытой лаком черного цвета, — в 6 баллов.

Установку ПЗВ используют также для нахождения окисляемости масел и оценки деструкции вязкостных присадок.

Антиокислительные свойства масел определяют также в процессе испытаний на установке ИКМ (одноцилиндровый бензиновый двигатель с воздушным охлаждением).

Моющие свойства моторных масел групп Б, Б<sub>2</sub>, В, В<sub>2</sub>, Г, Г<sub>2</sub> при классификационных испытаниях определяют на установке УИМ-6-НАТИ по ГОСТ 21490—76.

Двигатель установки является прототипом одноцилиндрового отсека тракторного дизеля Д-75 с универсальным картером. Основные сборочные единицы и детали дизеля — поршневая группа, гильза цилиндра, шатун в сборе, клапанный механизм и др. — серийные.

Масла групп Б, Б<sub>2</sub>, В и В<sub>2</sub> испытывают в течение 120 ч при установленном режиме работы двигателя. Для масел групп Г и Г<sub>2</sub> включают наддув, ужесточающий работу двигателя.

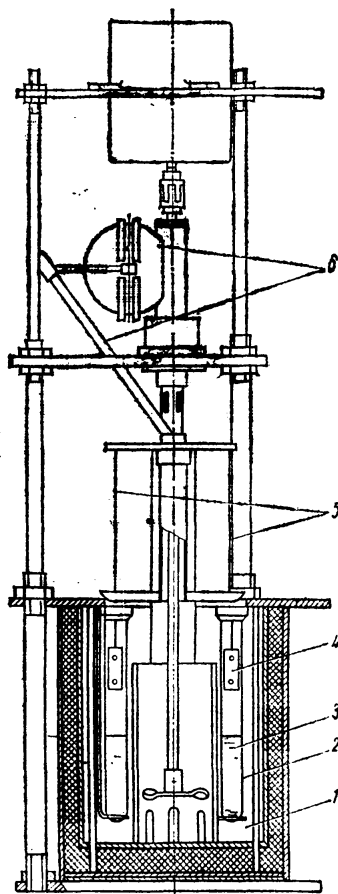
Соответствие масел группам, предлагаемым ГОСТ 17479—72, устанавливают по результатам сравнения испытуемого и контрольного масел. Масло относится к группе, предусмотренной классификацией, если его моющие свойства, определяемые по суммарной загрязненности поршня нагаро- и лакоотложениями и подвижности поршневых колец в баллах, не превышают моющих свойств в баллах контрольного масла более чем на 20 % при одинаковых циклах испытаний.

#### **10.4. Противокоррозионные свойства масел**

Коррозия деталей отрицательно сказывается на работе двигателя; она приводит к снижению его надежности и долговечности, иногда к аварийному состоянию. При коррозии последовательно протекают следующие процессы: появление на рабочей поверхности шероховатых точек и пятен; концентрация коррозионных точек в области появившихся пятен; образование в местах концентрации коррозионных точек небольших ра-

Рис. 54. Прибор Пинкевича для определения коррозионности масел:

1 — масляная ванна; 2 — пробирка; 3 — испытуемое масло; 4 — пластинка; 5 — проволока; 6 — кривошипный механизм.



ковин, уходящих в глубь материала; появление трещин, соединяющих образовавшиеся раковины; выкрашивание материала по образовавшимся трещинам между раковинами.

Показатель кислотности масла прямым образом не может характеризовать его коррозионные свойства, поэтому для оценки этих свойств определяют действительную коррозионность на специальных приборах, имитирующих условия работы масла в двигателе и процесс коррозии.

**Определение коррозионности по методу Пинкевича.** Суть метода заключается в определении потери массы металлической пластинки (из свинца или свинцовистой бронзы) при периодическом воздействии на нее

нагретого масла и кислорода воздуха.

Стандартные металлические пластинки 4 (рис. 54) размером  $60 \times 20 \times 2,5$  мм взвешивают на аналитических весах с точностью 0,0002 г. Для каждого испытуемого масла необходимо две пластинки. В стеклянные пробирки 2 заливают по  $80 \pm 1,2$  г испытуемого масла, устанавливают в них пластинки и опускают в ванну 1, нагретую до  $140 \pm 2^\circ\text{C}$ . Одновременно устанавливают восемь пробирок для четырех образцов испытуемого масла. Все пластинки с помощью стальных проволок 5 связаны с кривошипным механизмом 6 прибора, который позволяет



периодически поднимать и опускать пластинки. В течение 1 мин они 15 раз погружаются в масло. Испытания ведут в течение 50 ч.

После испытания пластинки вынимают из пробирок, тщательно промывают, высушивают и взвешивают.

Коррозионность  $K$ , г/м<sup>2</sup>, испытуемого образца подсчитывают по формуле

$$K = \frac{q - q_1}{F}, \quad (41)$$

где  $q$  — масса взятой новой пластинки для испытания, г;  $q_1$  — масса пластинки после 50 ч испытания, г;  $F$  — площадь поверхности пластинки, м<sup>2</sup>.

Чем больше потеря массы пластинки, тем выше коррозионность масла.

**Определение коррозионности масла по методу НАМИ.** Здесь различают *потенциальную* и *действительную* коррозионность.

Определение потенциальной коррозионности масла заключается в нахождении потери массы свинцовой пластинки, на которую в течение 10 ч периодически воздействуют масло и воздух (ГОСТ 13517—68).

Перед опытом свинцовую пластинку взвешивают на аналитических весах с точностью до 0,0002 г. Затем ее устанавливают на стеклянном штыре (рис. 55) и помещают в стеклянную колбу 5 с испытуемым маслом в количестве 36,5 г. Колбы закрепляют в кассете 2 и вместе с ней опускают в масляную баню 1, имеющую температуру  $140 \pm 1^\circ\text{C}$ . Кассета вместе с колбами вращается в бане с частотой 30 мин<sup>-1</sup>, и свинцовая пластинка периодически омывается маслом и воздухом.

Коррозионность образца масла, г/м<sup>2</sup>, вычисляют по формуле (41).

Действительную коррозионность масла определяют аналогично. Разница заключается лишь в том, что исследование проводят не в открытых, а в плотно закрытых колбах без доступа воздуха извне. Опыт длится 30 мин, что исключает возможность интенсивного окисления образца масла во время испытаний.

В усовершенствованном варианте метода НАМИ температура масла при испытании повышена до  $160^\circ\text{C}$ . При этом определяют время до получения стабильной скорости коррозии. В качестве оценочных показателей

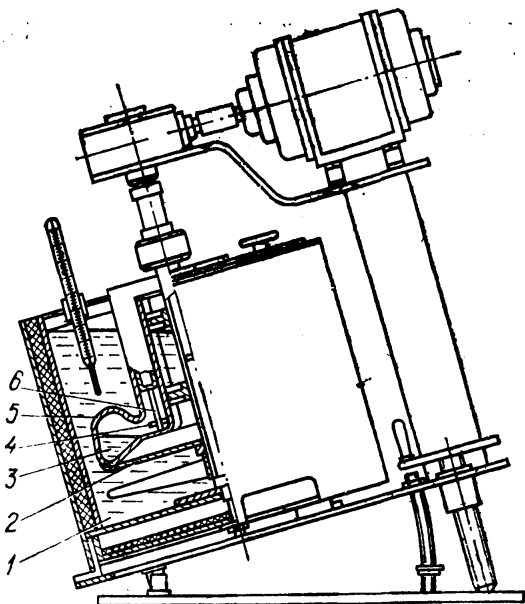


Рис. 55. Прибор НАМИ для определения потенциальной и действительной коррозионности масел:

1 — масляная баня; 2 — кассета; 3 — масло; 4 — пластинка; 5 — стеклянная колба; 6 — штырь.

принят индукционный период коррозии (ИПК — время, ч, до момента, когда потеря массы свинцовой пластинки достигает  $5 \text{ г/м}^2$ ) и скорость коррозии после ИПК [ $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{г})$ ].

Кроме того, антикоррозионные свойства масел оценивают на полноразмерном дизеле ЯАЗ-204. Масло считается выдержавшим испытание, если через 125 ч потеря массы шатунных вкладышей не превышает 0,2 г, а на их поверхности отсутствуют видимая коррозия и механические повреждения.

### 10.5. Противоизносные свойства масел

Противоизносные свойства масла характеризуют его способность предотвращать или уменьшать износы сопряженных трущихся деталей. Основными показателями масла, обуславливающими эти свойства, яв-

ляются вязкость и смазывающая способность, т. е. маслянистость. Масла с одинаковой вязкостью и разным химическим составом обладают различными противоизносными свойствами. Важную роль в повышении смазывающей способности играют полярно-активные вещества, обладающие высокими адсорбирующими свойствами. В условиях граничного трения прочность масляной пленки зависит не от вязкости применяемого масла, а от наличия в нем полярно-активных молекул.

Для оценки противоизносных и противозадирных свойств масел применяют различные машины трения. В машинах СМЦ-2; ХЩ-4; СМТ-1; УМТ-1 основной узел трения состоит из стальных кольца и блока, которыми создается давление, соответствующее каждому образцу масла. После определенного времени испытаний оценивают потерю массы этих деталей.

Чаще используют четырехшариковую машину трения МАСТ-1 (рис. 56). При испытании образца масла в этом приборе оценочными показателями служат: коэффициент трения; износ трущихся стальных шариков и нагрузка (сила), при которой шарики заклиниваются, т. е. разрушается масляная пленка.

На шарик 1, закрепленный в шпинделе, который вращается со скоростью  $1500 \text{ мин}^{-1}$ , в течение 1 мин действует вертикальная ступенчато возрастающая нагрузка. Износ оценивают по среднему диаметру появившегося на нижних шариках 2 пятна. Диаметр определяют с помощью специального оптического микроскопа. Чем выше его значение для данного образца, тем ниже противоизносные свойства масла.

На противоизносные свойства смазочного масла большое влияние оказывает наличие в нем механических примесей, особенно абразивных. Поэтому при эксплуатации двигателей следует исключать возможность попадания в смазочное масло дорожной пыли в результате подсоса воздуха из-за негерметичного крепления воздухоочистителя, случайного попадания абразивов (кварца) в сма-

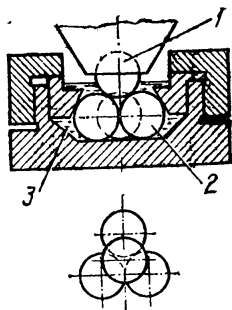


Рис. 56. Четырехшариковая машина трения:

1 — верхний шарик; 2 — нижний шарик; 3 — масло.

зочное масло при его хранении, заправке и техническом обслуживании техники.

В соответствии с требованиями ТУ и ГОСТ на смазочные масла механические примеси в них должны полностью отсутствовать.

Нормируемый в ГОСТ показатель зольности характеризует чистоту масла при отсутствии в нем присадки; с присадкой — содержание солей металлов во введенной в масло присадке.

Рассмотренные выше основные физико-химические и эксплуатационные показатели качества смазочного масла позволяют достаточно полно судить о свойствах масла и возможности рекомендации для того или иного типа двигателя. Кроме того, по изменению целого ряда показателей масла в двигателе в действительных условиях эксплуатации можно следить за его поведением, определять глубину старения, оценивать работу маслофильтрующих элементов, устанавливать рациональные сроки замены масла и т. д.

## 10.6. Спектральный анализ масел

Метод спектрального анализа основан на свойстве каждого химического элемента давать индивидуальную линию поглощения, занимающую определенное положение в спектре.

При спектральном анализе смазочных масел можно определить: компоненты присадок, входящих в масло (кальций, барий, фосфор, цинк, магний и др.); накопление в масле продуктов износа трущихся деталей (железо, свинец, медь, алюминий и др.); наличие в масле продуктов внешнего загрязнения (кремний, калий и др.).

Количественное содержание элементов определяют путем сравнения интенсивности почернения линий спектров определяемых элементов в образце испытуемого масла и в эталонных образцах.

Спектральному анализу может подвергаться непосредственно образец масла или остаток его после озоления. Для спектрального анализа масел необходимо следующее оборудование: спектрограф МФС-3 или МФС-5, генератор дуги переменного тока, трансформатор, микрофотометр, угольные электроды и приспособление для их заточки, фотопластинки и т. д.

Определение в образце масла за одно исследование

нескольких элементов, высокая точность и быстрота способствовали широкому распространению спектрального метода в исследовании нефтепродуктов, а также при контрольно-диагностической оценке условий эксплуатации тракторов и их технического состояния. Например, по интенсивности накопления в моторном масле продуктов износа деталей судят о правильности эксплуатации двигателя и его техническом состоянии; по наличию внешних продуктов загрязнения (кремния) — о чистоте поступающего в двигатель воздуха и, следовательно, о герметичности впускной воздушной системы; по содержанию элементов введенной присадки (кальция, бария, цинка и др.) — о наличии в работающем моторном масле активной части присадки и т. д.

## **Глава 11. ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА ИЗМЕНЕНИЕ МАСЛА В ДВИГАТЕЛЕ. КЛАССИФИКАЦИЯ И МАРКИ МАСЕЛ**

### **11.1. Условия работы моторного масла и факторы, влияющие на его изменение**

Необходимыми условиями надежной и долговечной работы двигателя внутреннего сгорания являются непрерывное высококачественное смазывание его трущихся деталей, отвод от них тепла и защита от коррозии. Эти функции выполняет моторное масло, циркулирующее в системе смазывания. Чем выше качество смазочного масла, тем полноценнее оно будет работать в двигателе. При совершенствовании конструкций двигателей, с одной стороны, повышаются требования к качеству смазочного масла, а с другой — более эффективно протекают процессы очистки воздуха, топлива и смазочного масла, что улучшает условия его работы.

На рисунке 57 представлена схема широко распространенной комбинированной смазочной системы современного дизеля. Смазочное масло, прежде чем попасть на трущиеся детали (коленчатый вал с вкладышами, цилиндропоршневая группа, газораспределительный механизм и др.), проходит через маслоприемник 2, охлаждается в радиаторе 12, очищается в фильтре грубой очистки 11, а затем подвергается тонкой очистке в центробежном очистителе 10, что обеспечивает поддержание первоначальных свойств масла.

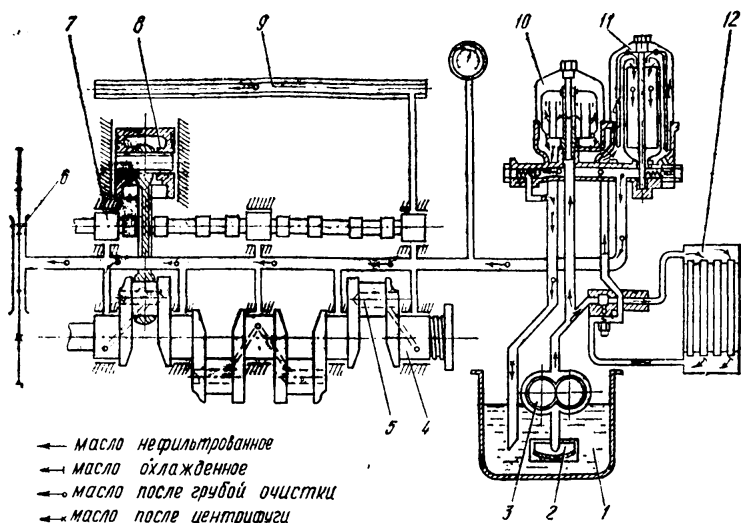


Рис. 57. Комбинированная смазочная система дизеля:

1 — масло; 2 — маслоприемник; 3 — насос; 4 — коренные подшипники коленчатого вала; 5 — шатунные подшипники коленчатого вала; 6 — шестерни; 7 — опорные шейки распределительного вала; 8 — поршни; 9 — маслопровод; 10 — центробежный очиститель; 11 — фильтр грубой очистки; 12 — радиатор; ← — нефilterованное масло; ←| — охлажденное масло; ←Θ — масло после грубой очистки; ←X — масло после центрифуги.

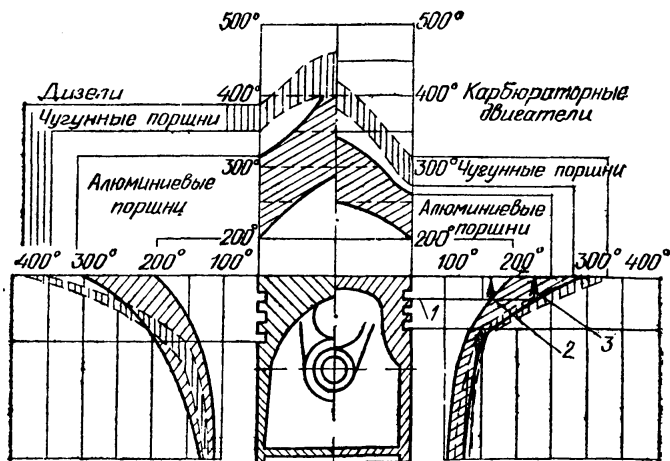


Рис. 58. Диаграмма распределения наибольших рабочих температур в поршнях дизелей и карбюраторных двигателей:

1—2—3 — последовательность поиска.

В картере дизеля масло может иметь температуру окружающего воздуха, включая и минусовую, и может нагреваться до  $80...120^{\circ}\text{C}$ ; в нижней части поршней температура составляет  $130...200^{\circ}\text{C}$ ; на внутренней поверхности поршней —  $340...370^{\circ}\text{C}$ ; у верхней головки и у днища поршня — свыше  $400^{\circ}\text{C}$ ; в камере сгорания в момент воспламенения рабочей смеси —  $1700...2200^{\circ}\text{C}$  и выше.

На рисунке 58 представлена диаграмма распределения предельной рабочей температуры в поршнях дизелей и карбюраторных двигателей, изготовленных из чугуна и алюминия [2]. По этой диаграмме можно определить температуру поршня практически в любой его точке. Например, следует определить значение температуры для алюминиевого поршня карбюраторного двигателя в канавке первого компрессионного кольца. Для этого проводят горизонтальную линию 1 вправо на уровне компрессионной канавки кольца. В точке пересечения ее с температурной зоной проводят вертикальную линию 2 до шкалы. Точка пересечения со шкалой дает минимальное значение температуры ( $\approx 120^{\circ}\text{C}$ ), а точка пересечения линии 3 со шкалой — максимальное ( $\approx 250^{\circ}\text{C}$ ). Аналогично определяют температуру для чугунных поршней, только в этом случае горизонтальную линию продолжают до пересечения с температурной зоной поршней этого типа.

При определении температуры из искомой точки днища поршня восстанавливают перпендикуляр до пересечения с температурной зоной поршня. Из точки пересечения проводят вправо горизонтальную линию и определяют на шкале температуру (сначала ее минимальное значение, а продолжая линию до пересечения с окончанием температурной зоны, — максимальное).

В зоне поршневых колец смазочное масло должно сохранять устойчивость при воздействии высоких температур и одновременном окислении его кислородом воздуха и продуктами сгорания топлива, не образуя при этом смолисто-асфальтовые вещества и аминокислоты, которые способствуют закоксуыванию поршневых колец. Масло, проникающее в зону камеры сгорания, где оно сгорает, должно оставлять на деталях возможно меньшее количество нагара. В зоне внутренней части и на юбке поршня смазочное масло не должно образовывать лаковых отложений. В картере двигателя масло не должно давать осадков (шламов), забивающих масло-

приемные сетки насосов, фильтрующие устройства и маслопроводы.

В зоне поршневых колец масло находится на поверхности деталей в очень тонком слое одновременно под действием высокого давления со стороны поршневых колец и заряда рабочей смеси или продуктов сгорания топлива. Поскольку в дизелях часть деталей смазывается разбрызгиванием (распределительные шестерни, газораспределительный механизм, гильзы и др.), то масло в картере при работе находится в туманообразном состоянии, что создает дополнительные условия для интенсивного перемешивания его с кислородом воздуха, чем способствует повышенному окислению.

Смазочное масло подвергается одновременному воздействию высоких температур и удельных давлений со стороны шестерен масляного насоса 3 (см. рис. 57), шатунных 5 и коренных 4 подшипников коленчатого вала, опорных шеек 7 распределительного вала; интенсивно перемешивается с кислородом воздуха и продуктами сгорания в картере, соприкасаясь с различными металлами и сплавами, которые действуют каталитически; движется с различными скоростями по магистрали в зависимости от нагрузочного режима работы двигателя и т. д. Помимо этого, при эксплуатации тракторов, автомобилей, комбайнов и других самоходных машин значительно меняется температура окружающего воздуха, его влажность и запыленность, что в значительной степени отражается на изменении теплового состояния двигателя и условиях работы масла. В этих условиях масло должно полноценно выполнять свои функциональные назначения и при этом максимально сохранять первоначальные качества, не окисляясь и не изменяя свои эксплуатационные свойства. Это обеспечивается соответствующим подбором углеводородного состава масла, технологии очистки и вводимых присадок.

Сохранению первоначальных качеств масла в значительной степени способствует конструкция смазочной системы двигателя, предусматривающая охлаждение масла и удаление из него посторонних продуктов. Немаловажными факторами являются вместимость смазочной системы, подача насоса и др.

Для того чтобы эффективно использовать смазочные масла, необходимо выяснить влияние отдельных факторов на изменение качества масла.



## 11.2. Факторы окисления моторного масла

**Влияние кислорода.** Окисление углеводородов моторного масла идет по следующим двум направлениям \*:

|                                                                                                                  |      |     |                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Углеводороды алканового и цикланового рядов и алкилированные ароматические с длинными цепями                     | —пер | си→ | →кислоты→окси-кислоты→эс-толиды→асфальтогеновые кислоты→карбоиды<br>→кетон-кислоты→продукты конденсации<br>→кетоны→продукты конденсации (асфальтены, карбены)<br>→альдегиды→кислоты<br>→спирты→кислоты→сложные эфиры<br>→спирты→окси-кислоты→эфиро-кислоты<br>→спирты→кислоты |
| Ароматические углеводороды с короткими цепями и ароматические ядра после окислительного отщепления боковых цепей |      | →   | →перекиси→фенолы→смолы<br>→асфальтены→карбены                                                                                                                                                                                                                                 |

Первичные продукты окисления — перекиси являются весьма нестойкими кислородными соединениями, которые под действием температуры и кислорода воздуха превращаются в кислоты и окси-кислоты. Промежуточными продуктами могут быть также альдегиды, кетоны и спирты. В результате дальнейших окислительных процессов они конденсируются и полимеризуются с образованием смол, асфальтенов, карбенов, которые вызывают лако- и нагарообразование. Наиболее вредные продукты окисления — окси-кислоты и асфальтены, высокая липкость которых способствует закоксуыванию и пригоранию поршневых колец.

Установлено, что окислительные процессы в масле не происходят при отсутствии кислорода. В частности, при нагревании масел до 150 °С в вакууме в них длительное время не образуются осадки, а также кислые и нейтральные продукты окисления. Скорость окисления высокоочищенных масел примерно пропорциональна концентрации кислорода. Для масел нормальной очистки закономерности между окислением и концентрацией кислорода не наблюдается.

\* Согласно исследованиям Н. И. Черножукова и Г. Э. Крейна. — Прим. авт.

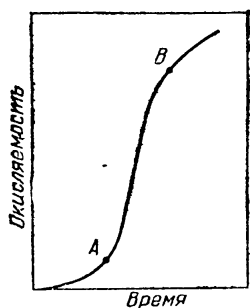


Рис. 59. Кинетическая кривая окисления масла.

**Влияние температуры.** Повышение температуры значительно ускоряет процесс окисления. Установлено, что при повышении температуры с 50 до 150 °С и прочих равных условиях скорость окисления возрастает в 1700 раз. Если при температуре 125 °С для поглощения 5 мг кислорода маслом (навеска 1 г) требуется 12 000 мин, то при 150 °С — 170 мин, а при 300 °С всего лишь 0,4 мин [4]. Продукты окисления в жидкой фазе масла, получающиеся при различных температурах, существенным образом между собой не различаются. Процесс окисления масла в газовой фазе, а также при тонком диспергировании частиц масла существенно отличается от окисления в обычных условиях.

**Зависимость от времени.** Течение реакции окисления со временем достаточно хорошо изучено в лабораторных условиях для различных фракций масла и при разной степени их очистки. Наблюдения показали, что начальная стадия окисления масел характеризуется так называемым *индукционным периодом*, в течение которого видимых изменений не наблюдается. Продолжительность индукционного периода неодинакова для различных масел, а для некоторых из них весьма мала, т. е. реакция окисления таких масел начинается непосредственно при соприкосновении с кислородом. После окончания индукционного периода (точка А, рис. 59) масло интенсивно окисляется (отрезок АВ), а затем этот процесс стремится при заданных условиях к стабилизации. Окисление масла может продолжаться непрерывно, причем получающиеся продукты вслед за количественным их ростом претерпевают и качественные изменения, подвергаясь расщеплению, конденсации, полимеризации и пр. При этом окисление отдельно выделенных из масла углеводородов происходит более интенсивно в сравнении с окислением самого масла\*. Это явление объясняется тем, что смолистые соединения и органические сульфиды, содержащиеся в масле, служат ингибиторами окисления.

\* По данным А. В. Дружининой и Т. Г. Цигуро. — *Прим. авт.*

**Поверхность окисляемого масла.** Этот фактор оказывает большое влияние на скорость диффузии кислорода в масло и степень его окисления. Поэтому при распылении и разбрызгивании, что имеет место в современных двигателях с комбинированной смазочной системой при многократной циркуляции масла, процесс окисления его значительно ускоряется.

Существует несоответствие между окисляемостью смазочного масла в лабораторных условиях и непосредственно в двигателе внутреннего сгорания. Высказано предположение\*, что масло окисляется главным образом в тонком слое на поверхности гильз и поршней, и здесь действует еще один фактор, стимулирующий окисление масла в узлах трения. Этим фактором является *контактный эффект*, т. е. мгновенное локальное повышение температуры и давления в точках контакта микронеровностей в процессе трения и износа.

**Химический состав масла.** Масло представляет собой сложную смесь углеводородов различного строения, состав которой зависит от исходного сырья. Масло содержит парафиновые (0,1...6,5 %), нафтеновые (40...82 %), ароматические (15...40 %), нафтенно-ароматические углеводороды, а также кислород, серу и азотсодержащие соединения. Эти углеводороды по-разному реагируют с кислородом, образуя различные продукты окисления\*\*. При этом наименее устойчивыми против действия кислорода при высоких температурах являются парафиновые и нафтеновые углеводороды с большим количеством циклов. Углеводороды ароматического ряда в зависимости от их строения ведут себя при окислении различно: чем больше циклов содержит ароматический углеводород, тем больше он склонен к окислению, причем в большей степени окислению подвержены углеводороды с короткими алифатическими цепями. Ароматические углеводороды, находясь в смеси с нафтенами в достаточной концентрации, защищают их от окисления.

**Степень и характер очистки масел.** Эти показатели играют весьма существенную роль в процессе окисления масел. Не всегда наличие смолистых веществ ухудшает стабильность масел (табл. 24). В некоторых условиях

---

\* По данным Е. Г. Семенидо и С. В. Венцеля. — *Прим. авт.*

\*\* По исследованиям Н. И. Черножукова и С. Э. Крейна. — *Прим. авт.*

## 24. Влияние содержания смол на окисление масла

| Содержание смол, % | Содержание в окисленном масле |           |
|--------------------|-------------------------------|-----------|
|                    | кислоты, мг КОН               | осадка, % |
| 1,610              | 0,13                          | 0,03      |
| 0,278              | 0,54                          | 0,08      |
| 0,098              | 11,16                         | 2,28      |

излишняя очистка делает масло легкоокисляемым. Так, при серно-кислотной очистке дистиллята сначала получается продукт с низкой окисляемостью, а при дальнейшем углублении процесса окисляемость масла резко повышается.

**Влияние металлов и сплавов.** Процесс окисления масла ускоряется за счет каталитического действия металлов и сплавов, из которых изготовлены детали.

Степень ускорения окисления для разных металлов и сплавов различна. Например, свинцовистая бронза интенсивнее воздействует на процесс окисления масла, чем оловянистый баббит\*.

**Влияние посторонних примесей.** Наличие примесей (воды, продуктов износа деталей, пыли воздуха) отрицательно сказывается на процессе окисления масла. Значительно уменьшить влияние продуктов износа и пыли (кварца) на окисление масла можно за счет высокого качества фильтрации (очистки) его в двигателе. При совершенствовании очистки срок работы масла увеличивается приблизительно в 2 раза и более.

### 11.3. Изменение качества масла в зависимости от кратности циркуляции

Насос смазочной системы бесперебойно подает масло под давлением в масляную магистраль. При хорошем техническом состоянии двигателя на смазывание деталей идет примерно 20...25 % масла, подаваемого насосом, а остальное через перепускной клапан возвращается обратно в картер двигателя. И только при наработке двигателя, составляющей примерно гарантийный период, в результате увеличивающихся зазоров в сопряжениях масло прокачивается через смазочную систему в том объеме, какой подает масляный насос.

\* По данным К. С. Рамаия и В. Л. Вальдмана, — *Прим. авт.*

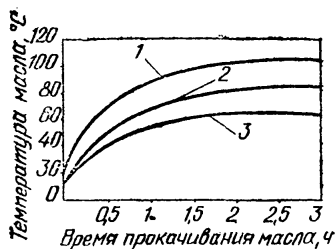


Рис. 60. Зависимость температуры масла от времени прокачивания при подаче масляного насоса

1 — 40 л/мин; 2 — 20 л/мин; 3 — 8,2 л/мин.



Рис. 61. Зависимость щелочности масла от времени работы при его подаче:

1 — 28,7 л/мин; 2 — 40 л/мин.

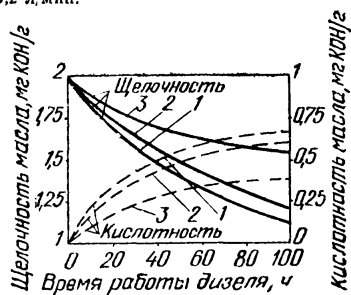


Рис. 62. Зависимость щелочности и кислотности масла в дизеле Д-50 от времени его работы при подаче насоса:

1 — 40 л/мин; 2 — 28,7 л/мин; 3 — 8,2 л/мин.

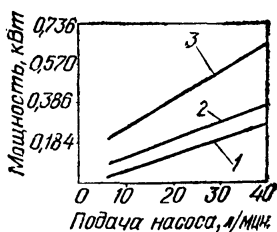


Рис. 64. Влияние подачи насоса на мощность, затрачиваемую на привод насоса:

1 — давление в магистральной 0,1 МПа; 2 — 0,2 МПа; 3 — 0,4 МПа.

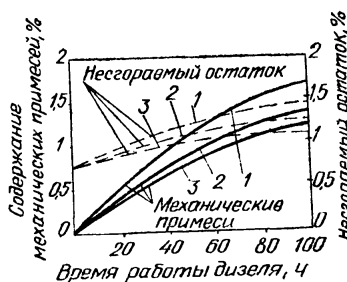


Рис. 63. Зависимость содержания механических примесей и негорючего остатка в моторном масле дизеля Д-50 от времени его работы при подаче насоса:

1 — 40 л/мин; 2 — 28,7 л/мин; 3 — 8,2 л/мин.



Рис. 65. Зависимость показателей моторного масла в дизеле Д-50 от времени его работы при объеме смазочной системы:

1 — 16 л; 2 — 12 л; 3 — 8 л.

Завышенная подача масляного насоса в начальный период эксплуатации двигателя вызывает дополнительное окисление моторного масла, связанное с его интенсивной аэрацией и воздействием больших удельных нагрузок от зубьев шестерен насоса.

На рисунке 60 показано изменение температуры масла в зависимости от времени прокачивания на лабораторной установке. Объем масла М-10Б<sub>2</sub> с присадкой ВНИИНП-360 (6 %) в установке составлял 12 л, противодавление в магистрали — 0,7 МПа при частоте вращения вала насоса 2788 мин<sup>-1</sup>.

На рисунке 61 представлен график изменения щелочности моторного масла на безмоторной установке в зависимости от времени работы масляного насоса, уменьшение которой при разной подаче свидетельствует о влиянии этого фактора на срабатываемость присадки.

Помимо лабораторных исследований, то же масло было испытано на полноразмерном дизеле Д-50 при его работе на стенде с мощностью, равной 80 % от номинальной.

На рисунках 62 и 63 приведено изменение щелочности, кислотности масла, накопление механических примесей и несгораемого остатка в зависимости от времени работы дизеля в течение 100 ч.

На рисунке 64 дан график зависимости мощности, затрачиваемой на привод масляного насоса, от его подачи при температуре масла 80 °С.

Приведенные данные свидетельствуют об отрицательном действии шестеренного масляного насоса на качество моторного масла и экономичность дизеля, что целесообразно учитывать при проектировании и эксплуатации двигателей.

В описанных опытах подачу масляного насоса изменяли за счет различной длины зацепления зубьев шестерен насоса, а также за счет использования масляного насоса с автоматическим регулированием подачи по заданному давлению масла в магистрали дизеля.

#### **11.4. Влияние объема масла в смазочной системе на изменение его качества**

Изменение качества масла при работе двигателя существенно зависит от того, в каком объеме оно залито в картер смазочной системы.

На рисунке 65 показано изменение щелочности и кислотности моторного масла после 100 ч работы двигателя. На графике видно, что уменьшение объема масла в картере смазочной системы приводит к значительной интенсивности его изменения. Это может быть объяснено увеличением кратности циркуляции масла и большими тепловыми и удельными нагрузками, приходящимися на единицу объема масла.

Дополнительные данные, полученные при этом испытании, следующие:

|                                                       |     |      |      |
|-------------------------------------------------------|-----|------|------|
| Вместимость картера, л . . .                          | 8   | 12   | 16   |
| Содержание механических примесей, % . . . . .         | 1,9 | —    | 1,29 |
| Лако- и нагарообразование на поршнях, баллы . . . . . | 16  | 14,2 | 12,8 |

Аналогичные результаты были получены при исследовании дизелей Д-37Е на Владимирском тракторном заводе, где изучался вопрос о выборе оптимальной вместимости смазочной системы для двигателей с воздушным охлаждением.

Следовательно, вместимость смазочной системы нужно выбирать с учетом условий работы моторного масла, а при эксплуатации машин необходимо поддерживать оптимальный уровень масла в картере двигателя, чтобы не допустить повышенного окисления масла.

### **11.5. Влияние загрузки двигателя на качество масла**

Степень загрузки двигателей тракторов, эксплуатируемых в сельскохозяйственном производстве, зависит от вида выполняемого технологического процесса. При пахоте, севе, культивации, междурядной обработке и других операциях степень загрузки двигателей составляет 70...90 % от номинальной мощности, при транспортных работах — 30...60 %. Время работы тракторов на различных сельскохозяйственных операциях также неодинаково. Поэтому состояние моторного масла после определенного времени работы на различных технологических операциях представляет практический интерес для определения срока своевременной замены моторного масла.

На рисунке 66 показано накопление механических примесей в моторном масле при различной загрузке дви-

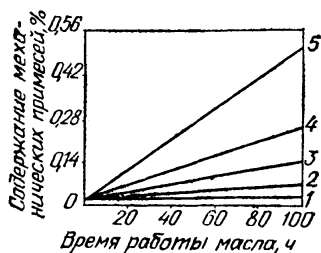


Рис. 66. Накопление в моторном масле механических примесей в зависимости от времени его работы в дизеле Д-50:

1, 2, 3, 4 и 5 — соответственно при загрузке 20 %, 40, 60, 80 и 100 % от номинальной мощности.

Таким образом, при увеличении загрузки двигателя возрастает интенсивность окисления масла. Объясняется это повышением тепловых и удельных нагрузок в трущихся парах, увеличением образования и прорыва продуктов сгорания в картер (особенно сернистых соединений) и высокой кратностью циркуляции масла в смазочной системе.

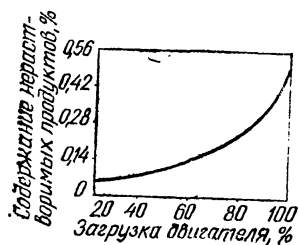


Рис. 67. Накопление в моторном масле нерастворимых продуктов в зависимости от загрузки дизеля Д-50 за 100 ч работы.

гателя Д-50 за 100 ч работы. Чем выше загрузка двигателя, тем более интенсивно протекают процессы окисления. Это положение подтверждается изменением содержания в масле нерастворимых продуктов — асфальтенов, карбенов и карбонидов, продуктов износа и др. (рис. 67).

Об интенсивном срабатывании присадки в моторном масле при возрастании загрузки дизеля Д-50 говорит изменение показателя щелочности масла (рис. 68).

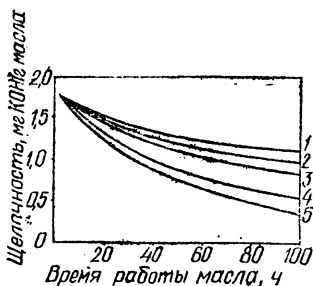


Рис. 68. Зависимость щелочности моторного масла от времени его работы в дизеле Д-50:

1, 2, 3, 4 и 5 — соответственно при загрузке 20 %, 40, 60, 80 и 100 % от номинальной мощности.



## 11.6. Обозначение моторных масел для автотракторных двигателей

В соответствии с ГОСТ 17479—72 «Масла моторные. Индексация по группам» все моторные масла в зависимости от типа применяемого двигателя внутреннего сгорания делятся на группы. В группах различают летние, зимние и всесезонные (загущенные) масла.

Существует шесть групп (А, Б, В, Г, Д и Е), каждая из которых предназначается:

- А — для нефорсированных карбюраторных двигателей;
- Б<sub>1</sub> — для малофорсированных карбюраторных двигателей;
- Б<sub>2</sub> — для малофорсированных дизелей;
- В<sub>1</sub> — для среднефорсированных карбюраторных двигателей;
- В<sub>2</sub> — для среднефорсированных дизелей;
- Г<sub>1</sub> — для высокофорсированных карбюраторных двигателей;
- Г<sub>2</sub> — для высокофорсированных дизелей;
- Д — для высокофорсированных дизелей, работающих в тяжелых условиях;
- Е — для малооборотных дизелей с лубрикаторной смазочной системой, работающих на тяжелом топливе с высоким содержанием серы.

Индекс 1 указывает на применение в карбюраторных двигателях, индекс 2 — в дизелях.

При определении марки масла, необходимого для двигателя, учитывают различные факторы: частоту вращения коленчатого вала, среднее давление, степень сжатия, теплонапряженность двигателя, применение наддува, эффективность очистки масла и др.

В таблице 25 приведены марки моторных масел по существующей индексации.

По вязкости летние и зимние моторные масла делятся на семь классов (6, 8, 10, 12, 14, 16 и 20), а всесезонные загущенные — на десять (3з/8, 4з/6, 4з/8, 4з/10, 5з/10, 5з/12, 5з/14, 6з/10, 6з/14 и 6з/16).

Класс для летних и зимних масел обозначает их вязкость ( $\text{мм}^2/\text{с}$ ) при  $100^\circ\text{C}$ . Для всесезонных масел класс изображают дробью, в которой числитель обозначает класс вязкости масла при  $-18^\circ\text{C}$  (условная цифра 4, 5 или 6), а в знаменателе — вязкость при  $100^\circ\text{C}$ . Цифра 4 указывает на то, что вязкость не превышает  $2600 \text{ мм}^2/\text{с}$ ,

## 25. Обозначение моторных масел по вязкости

| Класс вязкости | Пределы кинематической вязкости при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с | Кинематическая вязкость при —18 °С, мм <sup>2</sup> /с, не более | Индекс вязкости |
|----------------|----------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 6              | 6±0,5                                                          | —                                                                | Не менее 90     |
| 8              | 8±0,5                                                          | —                                                                | »               |
| 10             | 10±1                                                           | —                                                                | »               |
| 12             | 12±0,5                                                         | —                                                                | »               |
| 14             | 14±1                                                           | —                                                                | »               |
| 16             | 16±1                                                           | —                                                                | »               |
| 20             | 20±2                                                           | —                                                                | »               |
| 3з/8           | 8±0,5                                                          | 1250                                                             | Не менее 115    |
| 4з/6           | 6±0,5                                                          | 2600                                                             | »               |
| 4з/8           | 8±0,5                                                          | 2600                                                             | »               |
| 4з/10          | 10±0,5                                                         | 2600                                                             | »               |
| 5з/10          | 10±0,5                                                         | 6000                                                             | »               |
| 5з/12          | 12±0,5                                                         | 6000                                                             | »               |
| 5з/14          | 14±0,5                                                         | 6000                                                             | »               |
| 6з/10          | 10±0,5                                                         | 10400                                                            | »               |
| 6з/14          | 14±0,5                                                         | 10400                                                            | »               |
| 6з/16          | 16±0,5                                                         | 10400                                                            | »               |

цифра 6 — 10 400 мм<sup>2</sup>/с. Индекс з при цифре указывает на присутствие в масле загущающей присадки. Индекс вязкости для незагущенных масел — не менее 90, для загущенных — не менее 115.

Всесезонные масла можно применять в любое время года, поскольку они обладают хорошей вязкостно-температурной характеристикой.

Масла без загущающих присадок с вязкостью 6...8 мм<sup>2</sup>/с при 100 °С рекомендуется применять только зимой, ибо они имеют меньшую температуру застывания и большую текучесть по сравнению с маслами вязкости 10...14 мм<sup>2</sup>/с.

Масла разных групп в зависимости от степени форсирования двигателя содержат различные присадки как по характеру действия, так и по количеству. Так, в маслах группы А содержится небольшое количество присадки; в маслах группы Б — около 3...5 % присадок; группы В — до 8 % антиокислительных, противокоррозионных, моющих и других присадок; группы Г — от 8 до 12 % многофункциональных присадок и групп Д и Е — от 18 до 25 % композиций присадок.

Предусмотрен также выпуск универсальных масел, которые применяют как в карбюраторных двигателях,

## 26. Свойства основных присадок

| Основные марки и состав                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Функциональные свойства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | Наименование и концентрация, % вводимой присадки                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>ЦИАТИМ-339, ВНИИНП-360; ИХП-101; БФК; ВНИИНП-370 — алкилфенольные, содержащие серу, кальций, барий ПМС'Я; СБ-3; СК-3 — сульфонаты кальция и бария АСК, МАСК, АСБ — соли алкилсульфиловой кислоты</p> <p>Дипол-40, СВ, С-5 (сукцинимиды) ДФ-11; ДФ-1; ЭФО; ЛЗ-309/2; ЛЗ-6/9; ЛЗ-23К; Хлорекс-40; органические соединения, содержащие серу, фосфор, хлор</p> <p>Полиизобутилен — КП-5, КП-10, КП-20 Полиметакрилат — В-1, В-2 Ионол, п-оксидифениламин</p> <p>ДФ-11 — дитиофосфаты металлов</p> <p>АКОР-1, В-15/41 — эфир алкенилтарной кислоты, КП — многокомпонентные концентраты присадок</p> <p>АзНИИ — продукт конденсации нафталина, АзНИИ-ЦИАТИМ-1 — продукт взаимодействия хлорированного парафина с фенолом, АФКалкилфенолят кальция, полиметакрилат Д</p> <p>Полиметилсилоксан ПМС-200А</p> | <p>Снижают интенсивность нагароотложений и лакообразования на деталях цилиндропоршневой группы, адсорбируют продукты окисления и поддерживают их в тонкодисперсном состоянии в масле, улучшают противокоррозионные и противоизносные свойства</p> <p>Уменьшают износ при сравнительно невысоких нагрузках и повышают нагрузку заедания (сваривания)</p> <p>Повышает вязкость при рабочей температуре и индекс вязкости</p> <p>Задерживает низкотемпературное окисление масел (трансформаторные, турбинные, индустриальные)</p> <p>Задерживают высокотемпературное окисление моторных масел</p> <p>Снижают химический (коррозионный) износ</p> <p>Понижают температуру застывания масел и улучшают их текучесть</p> <p>Снижает поверхностное натяжение и уменьшает стабильность пены</p> | <p>Моюще-диспергирующие, противонагарные 3...15</p> <p>Противоизносные и противозадирные До 1,5...2</p> <p>Вязкостные До 3</p> <p>Антиокислительные До 1</p> <p>Антикоррозионные Десятые доли</p> <p>Депрессорные 0,5...1</p> <p>Противопенные 0,002...0,005</p> |

так и в дизелях. В этом случае цифровой индекс при них не ставится.

Полностью марка моторного масла расшифровывается следующим образом. Например, М-6з/10В<sub>2</sub> означает: М — моторное масло; цифра 6 — класс вязкости (у масла этого класса вязкость при  $-18^{\circ}\text{C}$  находится в пределах 2600...10 400 мм<sup>2</sup>/с); буква з — масло, загущенное вязкостной присадкой, предназначено для применения в зимнее время и как всесезонное; цифра 10 — вязкость (мм<sup>2</sup>/с) при  $100^{\circ}\text{C}$ ; буква В — масло предназначено для среднефорсированных двигателей; индекс 2 при букве В — масло используется для дизелей.

Основные марки присадок, вводимых в моторные масла, приведены в таблице 26.

### **11.7. Сорты и марки моторных масел для автотракторных и комбайновых двигателей**

В соответствии с принятой классификацией и на основе многочисленных исследований на полноразмерных двигателях в стендовых и эксплуатационных условиях даны следующие рекомендации по использованию моторных масел для тракторных, автомобильных и комбайновых двигателей (табл. 27).

При отсутствии масел нужной группы разрешается применять масла, низшей группы, но тогда вдвое сокращается срок работы масла до замены.

Периодичность замены моторных масел указана в заводских инструкциях по эксплуатации двигателей. При этом предусматривается использование топлива с содержанием серы до 0,5 %. Если серы в топливе больше, то условия работы моторного масла ужесточаются и сроки замены масел должны быть сокращены вдвое.

В летнее время применяют масла с вязкостью 10 мм<sup>2</sup>/с при  $100^{\circ}\text{C}$ , в зимнее — 8 мм<sup>2</sup>/с. Кроме того, в зимнее время рекомендуется применять загущенные масла М-4з/8Г<sub>2</sub>.

**Моторные масла для дизелей.** Разработан ГОСТ 8581—78, в соответствии с которым выпускаются масла шести марок (табл. 28).

Моторные масла для дизелей характеризуются следующими технологиями изготовления и содержанием введенных присадок.

## 26. Свойства основных присадок

| Основные марки и состав                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Функциональные свойства                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Наименование и концентрация, % вводимой присадки                                                                                                                                                                                                                 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>ЦИАТИМ-339, ВНИИНП-360; ИХП-101; БФК; ВНИИНП-370 — алкилфенольные, содержащие серу, кальций, барий ПМС-Я; СБ-3; СК-3 — сульфонаты кальция и бария АСК, МАСК, АСБ — соли алкилсульфоновой кислоты</p> <p>Дипол-40, СВ, С-5 (сукцинимиды) ДФ-11; ДФ-1; ЭФО; ЛЗ-309/2; ЛЗ-6/9; ЛЗ-23К; Хлорекс-40; органические соединения, содержащие серу, фосфор, хлор</p> <p>Полиизобутилен — КП-5, КП-10, КП-20 Полиметакрилат — В-1, В-2 Ионол, л-оксидифениламин</p> <p>ДФ-11 — дитиофосфаты металлов</p> <p>АКОР-1, В-15/41 — эфир алкенилтанной кислоты, КП — многокомпонентные концентраты присадок</p> <p>АзНИИ — продукт конденсации нафталина, АзНИИ-ЦИАТИМ-1 — продукт взаимодействия хлорированного парафина с фенолом, АФК алкилфенолат кальция, полиметакрилат Д</p> <p>Полиметилсилосан ПМС-200А</p> | <p>Снижают интенсивность нагароотложений и лакокрасочных на деталях цилиндропоршневой группы, адсорбируют продукты окисления и поддерживают их в тонкодисперсном состоянии в масле, улучшают противокоррозионные и противоизносные свойства</p> <p>Уменьшают износ при сравнительно невысоких нагрузках и повышают нагрузку заедания (сваривания)</p> <p>Повышает вязкость при рабочей температуре и индекс вязкости</p> <p>Задерживает низкотемпературное окисление масел (трансформаторные, турбинные, индустриальные)</p> <p>Задерживают высокотемпературное окисление моторных масел</p> <p>Снижают химический (коррозионный) износ</p> <p>Понижают температуру застывания масел и улучшают их текучесть</p> <p>Снижает поверхностное натяжение и уменьшает стабильность пены</p> | <p>Моюще-диспергирующие, противонагарные 3...15</p> <p>Противоизносные и противозадирные До 1,5...2</p> <p>Вязкостные До 3</p> <p>Антиокислительные До 1</p> <p>Антикоррозионные Десятые доли</p> <p>Депрессорные 0,5...1</p> <p>Противопенные 0,002...0,005</p> |

так и в дизелях. В этом случае цифровой индекс при них не ставится.

Полностью марка моторного масла расшифровывается следующим образом. Например, М-6з/10В<sub>2</sub> означает: М — моторное масло; цифра 6 — класс вязкости (у масла этого класса вязкость при —18 °С находится в пределах 2600...10 400 мм<sup>2</sup>/с); буква з — масло, загущенное вязкостной присадкой, предназначено для применения в зимнее время и как всесезонное; цифра 10 — вязкость (мм<sup>2</sup>/с) при 100 °С; буква В — масло предназначено для среднефорсированных двигателей; индекс 2 при букве В — масло используется для дизелей.

Основные марки присадок, вводимых в моторные масла, приведены в таблице 26.

### **11.7. Сорты и марки моторных масел для автотракторных и комбайновых двигателей**

В соответствии с принятой классификацией и на основе многочисленных исследований на полноразмерных двигателях в стендовых и эксплуатационных условиях даны следующие рекомендации по использованию моторных масел для тракторных, автомобильных и комбайновых двигателей (табл. 27).

При отсутствии масел нужной группы разрешается применять масла, низшей группы, но тогда вдвое сокращается срок работы масла до замены.

Периодичность замены моторных масел указана в заводских инструкциях по эксплуатации двигателей. При этом предусматривается использование топлива с содержанием серы до 0,5 %. Если серы в топливе больше, то условия работы моторного масла ужесточаются и сроки замены масел должны быть сокращены вдвое.

В летнее время применяют масла с вязкостью 10 мм<sup>2</sup>/с при 100 °С, в зимнее — 8 мм<sup>2</sup>/с. Кроме того, в зимнее время рекомендуется применять загущенные масла М-4з/8Г<sub>2</sub>.

**Моторные масла для дизелей.** Разработан ГОСТ 8581—78, в соответствии с которым выпускаются масла шести марок (табл. 28).

Моторные масла для дизелей характеризуются следующими технологиями изготовления и содержанием введенных присадок.

## 27. Моторные масла, рекомендуемые для двигателей

| Степень форсирования двигателя | Марка базового двигателя | Рекомендуемая группа масла |
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|
|--------------------------------|--------------------------|----------------------------|

### *Карбюраторные двигатели*

|         |                                                                                            |                |
|---------|--------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Малая   | ГАЗ-51А, ГАЗ-52-01, ГАЗ-69А, ЗИЛ-157, ЗИЛ-164А, МЗМА-401, МЗМА-407                         | Б <sub>1</sub> |
| Средняя | ГАЗ-21, ГАЗ-24-01, ГАЗ-53, ГАЗ-66, ЗИЛ-130, ЗИЛ-375 Я4, ЗИЛ-375 ЯГ, ЗМЗ-977, «Москвич-407» | В <sub>1</sub> |
| Высокая | ЗИЛ-375, ЗМЗ-24, ВАЗ-2101, ВАЗ-2103, ВАЗ-2106, «Москвич-412»                               | Г <sub>1</sub> |

### *Дизели*

|         |                                                                                                                                                                                                 |                |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------|
| Малая   | Д-16, Д-20, Д-28, Д-38, Д-40, Д-48, Д-54, Д-60, КДМ-46                                                                                                                                          | Б <sub>2</sub> |
| Средняя | Д-21, Д-22, Д-37М, Д-50, СМД-7, СМД-14, Д-108, ЯМЗ-236, ЯМЗ-238А, ЯМЗ-240, А-01М, Д-75Т, А-03, А-01, ЯАЗ-204, ЯАЗ-206                                                                           | В <sub>2</sub> |
| Высокая | 8ДВТ-330, ЯМЗ-238НБ, ЯМЗ-240Н, ЯМЗ-140Б, СМД-17К, СМД-18К, СМД-19, СМД-20, СМД-60, СМД-62, СМД-64, СМД-72, А-41, Д-160, Д-37Е, Д-65, Д-240, Д-21А, Д-144, ЯМЗ-740, ЯМЗ-741, ЯМЗ-238НБ, ЯМЗ-240Б | Г <sub>2</sub> |

### *Высокофорсированные дизели, работающие в тяжелых условиях*

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| СМД-80, СМД-84, ЯМЗ-238НБ, Д-145Т, Д-181, Д-240Т, Д-260Т, 8ДВТ-330, А-01Т, ЯМЗ-240Н | Дм |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|

Моторные масла М-8В<sub>2</sub> и М-10В<sub>2</sub> изготовляют на основе прошедших селективную очистку дистиллятного и остаточного компонентов сернистых нефтей. В состав масла входят композиции моющих, антиокислительных, противоизносных, депрессорных и антипенной присадок. Масла применяют в автотракторных дизелях типа СМД-14, А-41, ЯМЗ-236 и др.

Основой моторных масел М-8Г<sub>2</sub> и М-10Г<sub>2</sub> служат базовые масла М-8 и М-10 селективной очистки, в ко-

## 28. Основные показатели дизельных моторных масел

| Показатель                                             | Значение показателя для масла марки |                    |                   |                    |                     |                      |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------|--------------------|-------------------|--------------------|---------------------|----------------------|
|                                                        | М-8В <sub>2</sub>                   | М-10В <sub>2</sub> | М-8Г <sub>2</sub> | М-10Г <sub>2</sub> | М-8Г <sub>2</sub> к | М-10Г <sub>2</sub> к |
| Кинематическая вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с | 8±0,5                               | 11±0,5             | 8±0,5             | 11±0,5             | 8±0,5               | 11±0,5               |
| Индекс вязкости, не менее                              | 90                                  | 90                 | 90                | 90                 | 95                  | 90                   |
| Зольность, %, не более                                 | 1,30                                | 1,30               | 1,65              | 1,65               | 1,15                | 1,15                 |
| Щелочное число, мг/г, не менее                         | 3,5                                 | 3,5                | 6,0               | 6,0                | 6,0                 | 6,0                  |
| Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более                | 1,0                                 | 1,0                | 1,0               | 1,0                | 0,5                 | 0,5                  |
| Температура, °С                                        |                                     |                    |                   |                    |                     |                      |
| вспышки, не ниже                                       | 200                                 | 205                | 200               | 205                | 200                 | 205                  |
| застывания, не выше                                    | —25                                 | —15                | —25               | —15                | —30                 | —15                  |
| Моторные испытания по ГОСТ 17479—72                    | Выдерживают                         |                    |                   |                    |                     |                      |

которые вводят композицию присадок в составе: 6 % ВНИИНП-360; 3,5 % ПМС'Я; 0,003 % ПМС-200А и др. Масла применяют в высокооборотных форсированных дизелях с наддувом типа ЯМЗ-238Н, ЯМЗ-238НБ, СМД-62 и др.

Моторные масла М-8Г<sub>2</sub>к и М-10Г<sub>2</sub>к готовят из сернистых нефтей на основе дистиллятного и остаточного компонентов селективной очистки, куда вводят эффективную композицию присадок. Эти масла применяют для двигателей автомобилей КамАЗ и автобусов «Икарус».

Кроме масел этих марок, выпускается долгорботающее всесезонное моторное масло марки М-6з/10В (ТУ 38 101155—76), которое вырабатывают из сернистых нефтей. Оно предназначено для среднефорсированных дизелей и карбюраторных двигателей без наддува с увеличенной периодичностью замены (в тракторных дизелях при сроке работы 480 мото-ч, в автомобильных двигателях после пробега 15...18 тыс. км).

Перспективным является масло М-10Дм (ТУ 38 101783—80), которое предназначено для эксплуатации высокофорсированных дизелей с наддувом. Оно по срав-



нению с маслом М-10Г<sub>2</sub> обладает более высокими моющими и антиокислительными свойствами и увеличенным сроком работы до замены.

В качестве смазочных масел для низкооборотных стационарных дизелей типа Д-16 и других выпускают масла двух марок, которые по своим эксплуатационным свойствам соответствуют группе А: дизельное дистиллятное моторное масло Т без присадок (ТУ 38 101655—76) и дизельное моторное масло Т (ТУ 38 101266—72) с 3 % присадки ЦИАТИМ-339. Эти масла обладают большой вязкостью (62...68 мм<sup>2</sup>/с при 50 °С) и невысокой температурой застывания.

**Моторные масла для карбюраторных двигателей.** Ассортимент моторных масел для карбюраторных двигателей с различной степенью форсирования в соответствии с ГОСТ 10541—78 включает шесть марок групп А, Б, В и Г (табл. 29).

Моторные масла для карбюраторных двигателей характеризуются следующими технологиями изготовления и содержанием введенных присадок.

Моторное масло М-8А — дистиллятное масло селективной очистки из сернистых нефтей, в состав которого входят в небольшом количестве моющие и антиокислительные присадки. Обычно его применяют в малофорсированных карбюраторных двигателях.

Моторное масло М-8Б<sub>1</sub> состоит из смеси дистиллятного и остаточного компонентов селективной очистки, в которое вводят различные композиции присадок, в основном сульфонатные и фосфатные. Его применяют всесезонно в двигателях с V-образным (ЗИЛ-130, ГАЗ-53А и др.) и рядным (ГАЗ-51А, ЗИЛ-164А и др.) расположением цилиндров, а также в двигателях легковых автомобилей, за исключением автомобилей ВАЗ.

Моторное масло М-8В<sub>1</sub> состоит из смеси дистиллятного и остаточного компонентов с композицией, включающей в себя эффективную сукцинимидную присадку. Оно обладает высокими моющими и антиокислительными свойствами, хорошей влагостойкостью, малой склонностью к образованию осадков при работе двигателя в условиях низких температур и высокой термоокислительной стабильностью. Масло применяют всесезонно для всех моделей карбюраторных двигателей, кроме автомобилей ВАЗ.

## 29. Основные показатели моторных масел для карбюраторных двигателей

| Показатель                                                                 | Значение показателя для масла марки |                   |                   |                   |                    |
|----------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
|                                                                            | М-8А                                | М-8Б <sub>1</sub> | М-8В <sub>1</sub> | М-8Г <sub>1</sub> | М-12Г <sub>1</sub> |
| Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с (сСт):<br>при 100 °С, не более | 8±0,5<br>1200                       | 8±0,5<br>1200     | 8±0,5<br>1200     | 8±0,5<br>—        | 10±0,5<br>1000     |
| при 0 °С                                                                   | —                                   | —                 | —                 | —                 | —                  |
| Массовая доля, %:                                                          |                                     |                   |                   |                   |                    |
| механических примесей,                                                     | 0,015                               | 0,015             | 0,015             | 0,015             | 0,015              |
| не более                                                                   |                                     |                   |                   |                   |                    |
| Температура застывания, °С                                                 | —25                                 | —25               | —25               | —30               | —32                |
| не выше                                                                    |                                     |                   |                   |                   |                    |
| Коррозионность на пластинках свинца, г/м <sup>2</sup> ,                    | 8                                   | 10                | 10                | Отсутствие        |                    |
| не более                                                                   |                                     |                   |                   |                   |                    |
| Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не бо-                                      | 1,5                                 | 1,0               | 0,5               | 0,5               | 0,5                |
| лее                                                                        |                                     |                   |                   |                   |                    |
| Термоокислительная стабильность при                                        |                                     |                   |                   |                   |                    |
| 250 °С, мин, не менее                                                      | —                                   | —                 | —                 | 50                | 70                 |
| Щелочное число, мг КОН/г масла, не менее                                   | 1,2                                 | 3,4               | 4,0               | 8,5               | 10,5               |
| Зольность, %, не менее                                                     | 0,45                                | —                 | —                 | —                 | —                  |
| Зольность сульфатная, %, не более                                          | —                                   | 1,0               | 0,95              | 1,3               | 1,65               |
| Массовая доля активных элементов, %, не                                    |                                     |                   |                   |                   |                    |
| менее:                                                                     |                                     |                   |                   |                   |                    |
| кальция                                                                    | —                                   | 0,06              | 0,16              | 0,23              | 0,30               |
| бария                                                                      | 0,27                                | 0,27              | —                 | —                 | —                  |
| цинка                                                                      | 0,02                                | 0,05              | 0,09              | 0,10              | 0,10               |
| фосфора                                                                    | 0,026                               | 0,06              | 0,09              | 0,10              | 0,10               |
| Плотность при 20 °С, г/см <sup>3</sup> , не более                          | 0,900                               | 0,900             | 0,900             | 0,900             | 0,900              |
| Температура вспышки, определяемая в от-                                    |                                     |                   |                   |                   |                    |
| крытом тигле, °С не ниже                                                   | 200                                 | 200               | 200               | 210               | 210                |
|                                                                            |                                     |                   |                   |                   | 220                |

Моторные масла М-8Г<sub>1</sub>, М-6з/10Г<sub>1</sub> и М-12Г<sub>1</sub> получают добавлением высокоэффективных композиций метал-  
лосодержащих и беззольных присадок. Масла М-8Г<sub>1</sub> и  
М-6з/10Г<sub>1</sub> обладают хорошими вязкостно-температурны-  
ми характеристиками, что обеспечивает легкий пуск дви-  
гателей в зимнее время. Применяют эти масла в высо-  
кофорсированных карбюраторных двигателях автомоби-  
лей, в первую очередь в автомобилях ВАЗ.

**Масла для авиационных двигателей.** В сельскохозяй-  
ственном производстве при индустриальной технологии  
возделывания различных культур находят применение  
специальные самолеты, вертолеты и т. д. Моторные мас-  
ла в авиационных двигателях этих машин работают в  
условиях высокой тепловой и динамической напряжен-  
ности. Поэтому эти масла должны обладать высокой  
вязкостью, хорошей смазывающей способностью и высо-  
кой термоокислительной стабильностью. Выпускают ави-  
ационные масла трех марок: МС-14 и МС-20 — селектив-  
ной очистки, МК-22 — кислотно-контактной очистки  
(ГОСТ 21743—76).

Основные показатели авиационных масел следующие:

|                                                      | МС-14 | МС-20 | МК-22 |
|------------------------------------------------------|-------|-------|-------|
| Вязкость при 100 °С,<br>мм <sup>2</sup> /с . . . . . | 14    | 20    | 20    |
| Кислотное число, мг<br>КОН/г масла, не более         | 0,25  | 0,03  | 0,10  |
| Зольность, %, не более                               | 0,003 | 0,003 | 0,004 |
| Температура вспышки,<br>°С, не ниже:                 |       |       |       |
| в закрытом тигле .                                   | 200   | 250   | 230   |
| в открытом тигле .                                   | 220   | 270   | 250   |

**Масло для обкатки двигателей внутреннего сгорания.**  
После изготовления или ремонта деталей на их поверх-  
ностях имеются шероховатости, микронеровности и т. д.,  
поэтому необходимо перед началом эксплуатации про-  
вести обкатку двигателя. Цель обкатки — приработка  
сопряженных поверхностей деталей, в результате кото-  
рой уменьшается шероховатость, что увеличивает несущую  
способность, уменьшает нагрев и т. п. Хорошая при-  
работка поверхностей деталей зависит от правильного  
выбора скоростного, нагрузочного и температурного ре-  
жимов. Условия обкатки должны обеспечить сглажива-  
ние микронеровностей без повышенного износа деталей.  
При обкатке трущиеся поверхности работают в условиях

смешанного (граничного, сухого, жидкостного и промежуточных) видов трения. Поэтому обкаточное масло должно обладать охлаждающими свойствами, хорошей прокачиваемостью, высокой полярной активностью и достаточной вязкостью.

Обкаточное масло ОМ-2 (ТУ 38 101325—79) готовят на базе масла ДС-8 введением в него 2,5 % прирабочей серосодержащей присадки дипроксид, 2 % ПМС'Я или ПМС, 2 % ЦИАТИМ-339 и антипенной присадки ПМС-200А. По эксплуатационным свойствам обкаточное масло ОМ-2 соответствует группе Б<sub>2</sub>. При использовании этого масла в двигателе в процессе приработки на поверхностях деталей выделяется активная сера. Она взаимодействует с металлом поверхностных слоев, образуя сульфиды. Они обладают повышенной пластичностью, что значительно ускоряет приработку. Для ускорения процесса приработки и повышения его качества одновременно применяют прирабочие присадки к топливу. Выработывают присадку АЛП-2 (ТУ 38 101368—73) для добавления к топливу, которая является раствором органических соединений алюминия в дизельном масле ДС-8. Эту прирабочую присадку вводят в топливо в количестве 2,5 %. При сгорании такого топлива в камере образуется оксид алюминия со средним размером частиц 2 мкм. Твердость его кристаллов выше твердости материала поршневых колец и гильз цилиндров. Это и обеспечивает ускорение приработки. Как показывает опыт, для дизеля после обкатки на товарном топливе угар моторного масла составлял 2,4 % по отношению к расходу основного топлива, при обкатке на топливе с присадкой угар масла составил лишь 0,9 %.

Совместное применение обкаточного масла ОМ-2 и прирабочей присадки к топливу АЛП-2 обеспечивает высококачественную обкатку двигателя за 45...60 мин, что фактически равноценно 60-часовой эксплуатационной обкатке трактора на маслах и топливе товарных марок.

В целях обеспечения высококачественной обкатки двигателей для дальнейшей их надежной и долговечной эксплуатации многие научно-исследовательские учреждения страны продолжают не только разрабатывать более эффективные присадки к обкаточным маслам и топливу, но и совершенствовать технологию обкатки.

### **12.1. Характеристика напряженности работы моторного масла в двигателе**

Правильное решение вопросов рационального и экономного использования моторных масел непосредственно связано с характером и глубиной изменения первоначальных свойств масла при работе двигателя.

Зная закономерности поведения и изменения свойств масла в двигателях, можно более объективно обосновывать требования по повышению качества выпускаемых и разработке новых унифицированных сортов моторных масел и композиций присадок к ним. Кроме того, можно прогнозировать поведение масла, изменять его в нужном направлении и даже управлять им. Выявление этих закономерностей позволяет находить пути сокращения расходования масла, уменьшения затрат труда и времени на простой машин при техническом обслуживании, повышения моторесурса и, на этой основе, повышения производительности агрегатов.

Изучение изменения физико-химических и эксплуатационных показателей моторных масел в дизелях показывает, что характер изменений принципиально одинаков, однако глубина различна. Это объясняется многими причинами: условиями работы, свойствами применяемого масла, различной теплонапряженностью двигателей, неодинаковой вместимостью смазочной системы, кратностью циркуляции масла и т. д. Основным фактором является тепловая и динамическая напряженность деталей цилиндропоршневой группы двигателя.

Хорошо изучено влияние отдельных факторов на свойства работающего в двигателе смазочного масла. Однако не найдено достаточно надежного обобщающего критерия для комплексной оценки изменения качества масла в зависимости от типа двигателя или пригодности масла к использованию. Поэтому были сделаны попытки найти такой показатель, который дал бы возможность по напряженности двигателя подбирать соответствующее масло. В качестве подобного критерия для классификации двигателей можно применять степень их форсирования  $K_f$ , которую определяют на основании

использования рабочего объема цилиндра двигателя\*:

$$K_{\phi} = P_e C_m z, \quad (42)$$

где  $P_e$  — среднее эффективное давление, МПа;  $C_m$  — средняя скорость поршня, м/с;  $z$  — коэффициент тактности (для четырехтактных двигателей  $z=0,5$ ; для двухтактных  $z=1$ ).

По данной классификации все дизели в зависимости от степени форсирования делятся на высоконапряженные ( $K_{\phi}=50$ ), средненапряженные ( $K_{\phi}=30...50$ ) и малонапряженные ( $K_{\phi}<30$ ).

Однако при подсчете  $K_{\phi}$  для тракторных дизелей оказалось, что их значение не превышает 30, хотя теплонапряженность этих двигателей различна.

На основании критериев, учитывающих условия работы масла в тракторных дизелях, была предложена иная эмпирическая зависимость для подбора смазочного масла\*\*

$$A = \frac{G_T}{F i} \frac{N_e}{G_M} K_a K_b K_p K_s K_T, \quad (43)$$

где  $A$  — условный показатель напряженности работы масла в двигателе;  $G_T$  — расход топлива, кг/ч;  $F$  — суммарная площадь рабочей поверхности зеркала цилиндра, днища поршня и головки цилиндра, м<sup>2</sup>;  $i$  — число цилиндров;  $N_e$  — эффективная мощность двигателя, кВт;  $G_M$  — количество масла в смазочной системе, кг;  $K_a$ ,  $K_b$ ,  $K_p$ ,  $K_s$ ,  $K_T$  — коэффициенты, учитывающие соответственно состав рабочей смеси, способ охлаждения двигателя, периодичность замены масла, содержание серы в топливе, техническое состояние двигателя; для дизелей  $K_a=1$ , для дизелей с турбонаддувом  $K_a=1,3$ ; для двигателей с водяным охлаждением  $K_b=1$ , с воздушным  $K_b=1,3...1,7$ ; значения  $K_p$  и  $K_s$  при увеличении срока работы масла вдвое или увеличении содержания серы в топливе с 0,5 до 1 % возрастают в 1,5...2 раза;  $K_T$  зависит от угара масла; с его ростом значение коэффициента уменьшается.

По значению показателя  $A$  все тракторные двигатели делятся на четыре группы. К первой группе относятся двигатели, для которых  $A \leq 150$ . В этом случае рекомендуются масла группы Б. Вторая группа:  $A=150...250$  и масла группы В; третья —  $A=250...400$  и масла группы Г; четвертая —  $A=400...700$  и масла группы Д. Такая классификация позволяет с приемлемой достоверностью подобрать для двигателя моторное масло соответствующей марки. Сложность заключается в том, что многие коэффициенты непостоянны при работе двигателя.

\* Предложено Г. А. Морозовым. — *Прим. авт.*

\*\* По С. Г. Арабьяну. — *Прим. авт.*

Существует и другое, более простое выражение для оценки условий работы моторного масла в двигателе. Оно связано с количеством тепла, отводимого от деталей двигателя маслом.

Количество отводимого тепла находится в прямой зависимости от мощности двигателя, расхода топлива и подачи масляного насоса, косвенно связанной с вместимостью смазочной системы. Поэтому предлагаемый оценочный показатель — *коэффициент напряженности работы масла в двигателе*, или просто *коэффициент маслonaпряженности*  $\varphi_m$  (кВт·мин) — представляет собой мощность двигателя, приходящуюся в 1 мин на 1 л прокачиваемого масла в смазочной системе двигателя:

$$\varphi_m = N_e / Q_n, \quad (44)$$

где  $N_e$  — эффективная мощность двигателя, кВт;  $Q_n$  — подача масляного насоса, л/мин.

Коэффициент маслonaпряженности косвенно учитывает основные условия работы масла в двигателе: эффективное давление в цилиндре, скорость движения поршня, частоту вращения коленчатого вала, число тактов двигателя, количество выделяемой при сгорании топлива теплоты, кратность циркуляции масла в системе. Чем больше значение коэффициента маслonaпряженности двигателя, тем выше должно быть качество масла. Значения  $\varphi_m$  составляют: для двигателей с турбонаддувом — 2,54; для СМД-14 — 1,5; Д-50 — 1,35; Д-37М — 1,33; АСМД-7 — 1,19; Д-54 — 1,12 и Д-20 — 1, т. е. чем меньше теплонапряженность двигателя, тем меньше значение коэффициента.

Сопоставляя значения  $\varphi_m$  с изменением физико-химических и эксплуатационных показателей работающего масла, можно заметить, что чем выше это значение для двигателя, тем больше изменяются показатели масла в двигателе данной марки.

На практике реально оценивать изменения качества масла в двигателе, подбирать моторное масло соответствующей марки, устанавливать оптимальные сроки работы его до замены целесообразнее по результатам стендовых и эксплуатационных испытаний двигателя.

## 12.2. Влияние срока службы - моторного масла на его расход

Значительную экономию моторного масла можно получить при выполнении следующих мероприятий: увеличении сроков службы масла в двигателе; снижении потерь на испарение и угар; применении механизированных средств для заправки двигателя маслом; поддержании оптимального уровня масла в картере двигателя; правильном хранении; исключении потерь от подтекания и разлива при отпуске; целенаправленном применении; сборе отработанного масла и его регенерации.

Наибольшую экономию масла дает увеличение срока его службы, в результате чего сокращаются также трудоемкость технического обслуживания, простой машин и т. д.

На рисунке 69 приведены кривые изменения расхода и получаемой экономии моторного масла, построенные по расчетно-теоретическим данным в зависимости от периодичности замены при различном угаре масла.

Из графика видно, что при увеличении срока работы масла до замены с 240 до 360 ч экономия его при угаре масла 100 г/ч составит около 12 % (кривая 3); при замене через 480 ч — 17 % (прирост на 5 %); при замене через 600 ч — 20 % (прирост на 3 %), при замене через 720 ч — 22,5 %; при замене через 840 ч — 24 % (прирост

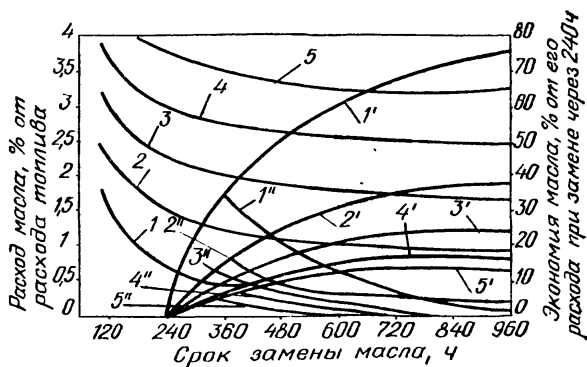


Рис. 69. Теоретическая зависимость изменения расхода моторного масла от срока его замены в двигателе:

1, 2, 3, 4 и 5 — при угаре соответственно 0, 50, 100, 150 и 200 г/ч; 1', 2', 3', 4' и 5' — экономия масла; 1'', 2'', 3'', 4'' и 5'' — прирост экономии масла. Расход топлива равен 6,67 кг/ч.



только на 1,5 %). Следовательно, увеличение срока работы масла более чем на 840 ч практически не дает экономии. Если же учесть долив масла из-за угара, то экономия будет еще меньше. Поэтому моторное масло, если оно сохранило необходимое качество, целесообразно заменять через 700...800 ч.

Периодичность замены моторного масла, установленная для тракторных двигателей, в большинстве случаев является малообоснованной.

Между тем своевременная замена масла представляет собой одно из важнейших условий надежной и долговечной работы двигателя, а также наиболее рационального и экономного использования самого масла.

Сроки службы моторного масла для двигателей в современных условиях неуклонно увеличиваются. Такая тенденция возможна благодаря постоянному повышению качества дизельного топлива (главным образом снижения содержания в нем серы), моторных масел и вводимых в них композиций присадок; совершенствованию процессов сгорания топлива, очистки воздуха и смазочного масла в двигателе; улучшению условий проведения технического обслуживания машин и т. д.

### 12.3. Освежение моторного масла

При работе в двигателе моторное масло постоянно освежается за счет периодического долива новых порций, компенсирующих испарение, угар и утечку работающего. Освежение смазочного масла в двигателе оказывается иногда настолько существенным (общий расход масла 150...300 г/ч), что фактически за период работы оно несколько раз обновляется. Поэтому действительное время работы смазочного масла в двигателе практически оказывается намного меньше нормируемого.

Для характеристики степени освежения моторного масла приняты такие величины, как *полное* и *частичное освежение*. Полное освежение  $M$  можно вычислить по формуле:

$$M = \frac{V_m - Y}{V_m}, \quad (45)$$

где  $V_m$  — первоначальное количество масла, залитого в картер двигателя, кг;  $Y$  — остаток от первоначального количества, кг.

Частичное освежение  $m$  выражается отношением

$$m = P/V_m, \quad (46)$$

где  $P$  — количество доливаемого масла, кг.

Из-за контакта масла с высоконагретыми деталями двигателя, проникновения в камеру сгорания, взаимодействия с продуктами сгорания топлива и кислорода воздуха, наличия неплотностей в соединениях маслопроводов оно испаряется, выгорает и утекает, что приводит к снижению уровня масла в картере двигателя. Для поддержания постоянного объема масла в смазочной системе в картер периодически добавляют свежее масло.

Первоначально залитое масло и доливаемое в процессе работы интенсивно перемешиваются в смазочной системе, после чего расходуется уже не первоначально залитое масло, а смесь, состоящая из неравных частей масла, проработавшего различное время. Количество первоначально залитого масла, в картере двигателя будет уменьшаться не пропорционально времени работы машины, а по более сложному закону:

$$Y_n = V_m \left(1 - \frac{q_m}{V_m} t_1\right)^n, \quad (47)$$

где  $Y_n$  — остаток первоначально залитого масла, кг;  $V_m$  — количество масла в смазочной системе двигателя, кг;  $q_m$  — угар моторного масла, кг/ч;  $t_1$  — время работы двигателя, ч;  $n$  — число доливов масла.

На рисунке 70 представлена графическая интерпретация зависимости количества первоначально залитого мас-

ла от времени работы трактора. При построении этих кривых угар моторного масла принят постоянным, имеющим следующие значения: для СМД-14 — 170 г/ч; для Д-50 — 70; для Д-37М — 80; для Д-20 — 40 г/ч.

Наиболее интенсивно количество первоначально залитого масла уменьшается в течение первого периода работы двигателя. Поскольку процесс освежения моторного ма-

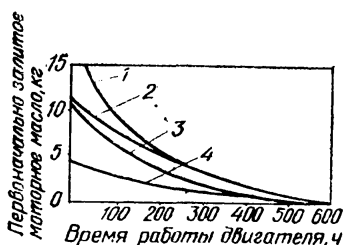


Рис. 70. Изменение первоначально залитого объема моторного масла у тракторных двигателей в зависимости от времени работы:

1 — СМД-14; 2 — Д-50; 3 — Д-37М; 4 — Д-20.

сла для тракторных двигателей разных марок различен и зависит от угара и вместимости смазочной системы, то при подборе масла и оценке его физико-химических и эксплуатационных показателей этот фактор следует учитывать.

#### 12.4. Роль маслоочистительных устройств двигателей в изменении качества моторного масла

Значительное загрязнение моторного масла при работе в двигателе приводит к крайне отрицательным последствиям: повышенному износу деталей, нагаро- и лакообразованию, закоксовыванию поршневых колец, забиванию маслоприемных сеток и маслопроводов, сокращению срока работы масла.

Моторное масло может быть загрязнено примесями *органического* (смолисто-асфальтовые соединения, углеродистые частицы и кислые продукты окисления углеводородов масла) и *неорганического происхождения* (продукты износа трущихся деталей двигателя, сработавшаяся часть присадок, а также попадающие в масло пыль, песок, вода и т. п.).

В таблице 30 приведены скорости поступления загрязняющих примесей в моторное масло [2].

Загрязнения органического происхождения, имеющие степень дисперсности 0,8...1,5 мкм (смолисто-асфальтовые

30. Скорости поступления загрязняющих примесей в моторное масло при работе двигателей различных типов

| Тип двигателя | Интервал скорости |             | Средняя скорость |                 |
|---------------|-------------------|-------------|------------------|-----------------|
|               | мг/<br>(кВт·ч)    | мг/(кВт·км) | мг/<br>(кВт·ч)   | мг/<br>(кВт·км) |

Дизели:

четырехтактные

автомобильные

тракторные

двухтактные

Карбюраторные бензиновые двигатели для автомобилей

легковых

грузовых

Двигатели, работающие на газообразном топливе

1,6...60

0,5...2

45

1,5

50

—

48...90

1,6...3

70

2,3

5...30

0,1...0,6

15

0,3

6...40

0,2...1,5

20

0,7

1,5...8

0,04...0,3

4

0,14

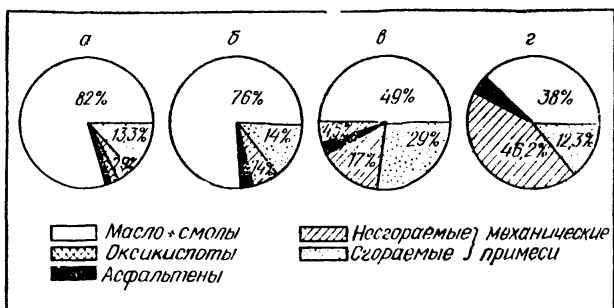


Рис. 71. Состав отложений на различных маслофильтрующих устройствах (по данным НАТИ):

а — картонные фильтры; б — проволочно-щелевые фильтры; в — ротор реактивной центрифуги; г — полости шатунных шеек.

вещества, углеродистые частицы), не только не вызывают износа, а даже улучшают смазывающую способность масла \*. И наоборот, неорганические загрязнения, размер частиц которых соизмерим с минимальным зазором сопряженной трущейся пары, попадая в моторное масло и накапливаясь в нем, вызывают интенсивное изнашивание трущихся деталей. Поэтому совершенствование очистки (фильтрации) моторного масла в двигателе имеет большое значение для повышения надежности и долговечности работы двигателей и увеличения срока службы масла.

На рисунке 71 представлен типичный состав отложений на различных маслоочистительных устройствах. Из приводимых данных видно, что наибольшая доля нежелательных несгораемых примесей удерживается реактивной масляной центрифугой и полостями шеек коленчатого вала. Схема полнопоточного включения центрифуги для очистки моторного масла является наиболее эффективной. Поэтому центрифуги устанавливают на всех современных тракторах и автомобилях некоторых марок.

Качество очистки моторного масла в двигателях зависит от конструкции маслоочистительных устройств, времени их работы до промывки, вязкости, диспергирующих свойств и угара моторного масла, прорыва газов

\* По исследованиям С. В. Венцеля, В. И. Гродзиевского и др.—  
Прим. авт.

в картер, теплонапряженности двигателя и т. п. (рис. 72). Из графика видно, что масляные центрифуги равномерно очищают моторное масло от загрязнений в течение всего периода работы до промывки (120...140 ч), однако степень удержания для двигателей различных марок неодинакова. В таблице 31 приведены показатели, характеризующие количество и качество отложений и содержание в масле механических примесей после 120 ч работы двигателей.

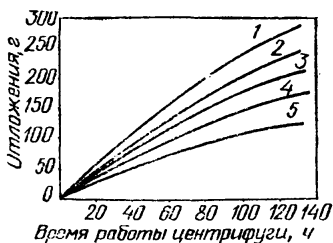


Рис. 72. Интенсивность накопления отложений в центрифуге тракторных двигателей:

1 — Т-50В; 2 — МТЗ-50; 3 — ДТ-75; 4 — Т-40; 5 — ДТ-20.

### 31. Показатели работы центрифуг двигателей

| Показатели                                                | Значение показателей для тракторов марок |        |       |       |
|-----------------------------------------------------------|------------------------------------------|--------|-------|-------|
|                                                           | Т-74                                     | МТЗ-50 | Т-40А | ДТ-20 |
| Марка двигателя                                           | СМД-14                                   | Д-50   | Д-37М | Д-20  |
| Количество отложений в центрифуге, г                      | 174                                      | 237    | 137   | 124   |
| Зольность отложений, %                                    | 14                                       | 16     | 21    | 16    |
| Коэффициент очистки масла от общих примесей $K$           | 0,49                                     | 0,64   | 0,72  | 0,84  |
| Содержание механических примесей в масле, %               | 2,2                                      | 1,06   | 0,70  | 0,60  |
| Коэффициент очистки масла от несгораемых примесей $\beta$ | 0,39                                     | 0,42   | 0,45  | 0,51  |
| Содержание в масле несгораемых примесей (зольность), %    | 0,80                                     | 1,02   | 0,50  | 0,50  |

Коэффициент очистки моторного масла  $K$  и коэффициент очистки масла от несгораемых примесей  $\beta$  определяют по формулам

$$K = \frac{Q_{\text{отл}}^{\text{ц}}}{Q_{\text{отл}}^{\text{ц}} + Q_{\text{отл}}^{\text{м}}}; \quad (48)$$

$$\beta = \frac{Q_{\text{н.п}}^{\text{ц}}}{Q_{\text{н.п}}^{\text{ц}} + Q_{\text{н.п}}^{\text{м}}}, \quad (49)$$

где  $Q_{отл}^н$  и  $Q_{н.п}^ч$  — соответственно количество отложений и несгораемых примесей в центрифуге, г;  $Q_{отл}^м$  и  $Q_{н.п}^м$  — соответственно количество механических и несгораемых примесей в масле, г.

Для двигателей значение  $K$  в среднем равно 0,65...0,8;  $\beta=0,4...0,5$ .

Значение коэффициента  $\beta$  показывает, что в моторном масле более половины металлосодержащих компонентов присадок не отфильтровываются применяемыми центрифугами. С повышением качества моторного масла количество образующихся, а следовательно, и удерживаемых центрифугой примесей уменьшается. Так, в автомобиле ЗИЛ-130 при применении масла М-8В<sub>1</sub> в центрифуге образовалось 55 г отложений, а масла М-8Г<sub>1</sub>—29 г\*.

В эксплуатационных условиях количество отложений в масляных центрифугах тракторных двигателей несколько возрастает с ухудшением технического состояния последних вследствие усиления окислительных процессов в масле и образования в нем высокомолекулярных продуктов окисления. Влияние степени прорыва газов в картер двигателя на интенсивность образования отложений показано на рисунке 73.

Количество отложений значительно увеличивается при снижении теплового режима двигателя; низкой температуре окружающего воздуха; частых пусках и остановках;

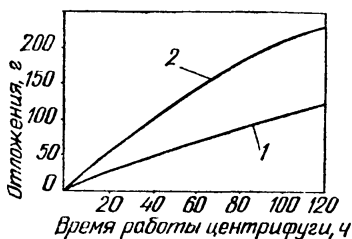


Рис. 73. Интенсивность накопления отложений в центрифуге двигателя СМД-14 в зависимости от количества газов, прорывающихся в картер:

1 — 15...20 л/мин; 2 — 23...28 л/мин.

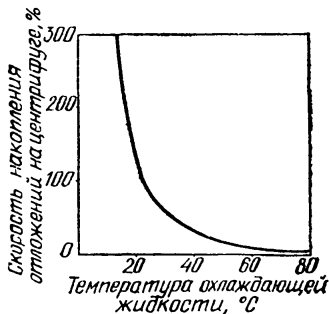


Рис. 74. Влияние температуры охлаждающей жидкости на интенсивность накопления отложений в центрифуге.

\* По данным НАМИ. — Прим. авт.

продолжительной работе на холостом ходу (для дизелей) и т. п. Работа двигателя на низкотемпературном режиме сопровождается повышенным образованием отложений, особенно шламов (рис. 74) [4].

При увеличении срока работы масла в двигателях с 240 до 600...700 ч и при промывке роторов центрифуг через 120 ч количество отложений возрастает на 10...15 %; зольность отложений практически находится на одном уровне и составляет 12...25 %.

### 12.5. Закономерности изменения физико-химических и эксплуатационных показателей моторного масла при работе двигателей

Для выяснения характера изменения показателей моторного масла при работе двигателей оно было испытано в течение 600...700 ч без замены в условиях нормальной эксплуатации тракторов и применения дизельного топлива с содержанием серы до 0,5 %. Для построения графиков были использованы средние данные по нескольким группам тракторов определенной марки; каждая группа состояла из 5...7 машин.

**Изменение содержания механических примесей.** Наиболее интенсивно механические примеси накапливаются в моторном масле в первые 60...120 ч его работы, а затем процесс стабилизируется (рис. 75). В этот период количество накапливающихся в масле и удерживаемых масляной центрифугой механических примесей делается одинаковым, что и определяет равновесное состояние. Интенсивное накопление механических примесей в первый период работы масла объясняется окислением малостабильных углеводородов масла во всем объеме смазочной системы. Затем этот процесс протекает главным образом в объеме масла, доли-

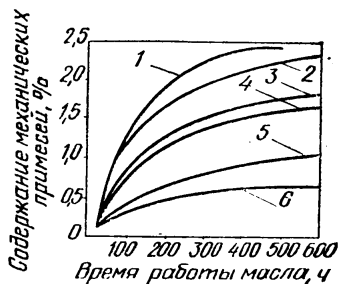


Рис. 75. Изменение содержания механических примесей в моторном масле в зависимости от времени его работы в тракторных дизелях:

1 — СМД-14; 2 — Д-75; 3 — Д-240; 4 — Д-50; 5 — Д-37М; 6 — Д-20.

ваемого с целью компенсации угоревшей его части. Установленная экспериментально закономерность накопления механических примесей в моторном масле имеет вид

$$Y_t = a(1 - e^{-kt}) + l, \quad (50)$$

где  $Y_t$  — содержание механических примесей в масле при времени его работы  $t$ , ч, г;  $a$  и  $k$  — аналитические коэффициенты (табл. 32);  $l$  — содержание механических примесей в свежем масле, г.

**32. Значения аналитических коэффициентов для некоторых показателей моторного масла М-10Б<sub>2</sub>**

| Показатель                              | Коэффициент | Значение показателей для двигателя марки |        |        |        |
|-----------------------------------------|-------------|------------------------------------------|--------|--------|--------|
|                                         |             | СМД-14                                   | Д-50   | Д-20   | Д-37М  |
| Механические примеси, %                 | $a$         | 4,1                                      | 1,8    | 0,73   | 1,28   |
|                                         | $k$         | 0,002                                    | 0,006  | 0,003  | 0,0045 |
| Вязкость при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с | $a$         | 7,3                                      | 3,1    | 1,4    | 2,2    |
|                                         | $k$         | 0,008                                    | 0,0075 | 0,0054 | 0,0035 |
| Щелочность, мг КОН/г масла              | $a$         | 0,01                                     | 0,02   | 0,005  | 0,01   |
|                                         | $k$         | 0,03                                     | 0,50   | 0,60   | 0,70   |

**Изменение вязкости моторного масла.** Вязкость масла наиболее интенсивно возрастает в первые 60...180 ч (рис. 76), а затем процесс стабилизируется и вязкость практически сохраняется на достигнутом уровне. Вязкость масла в сравнении с первоначальным значением увеличивается на 2,5...3,5 мм<sup>2</sup>/с при 100 °С, у дизелей СМД-14 несколько выше. Это явление объясняется испарением в первый период работы масла его легкокипящих маловязких фракций и накоплением в нем полимеризованных и конденсированных продуктов окисления.

Изменение вязкости в зависимости от времени работы масла подчиняется эмпирической зависимости

$$\nu_t = a(1 - e^{-kt}) + \nu, \quad (51)$$

где  $\nu_t$  — вязкость масла после работы в течение  $t$ , мм<sup>2</sup>/с;  $a$  и  $k$  — аналитические коэффициенты (см. табл. 32);  $\nu$  — вязкость свежего моторного масла при 100 °С, мм<sup>2</sup>/с.

**Изменение щелочности масла.** Щелочность является характеристикой количества введенных в масло щелочных присадок. Содержание их можно определить также по



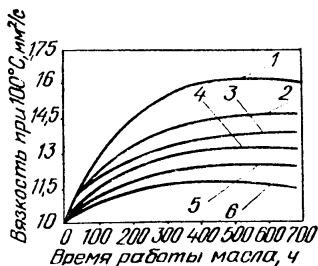


Рис. 76. Зависимость вязкости моторного масла от времени его работы в дизеле:

1 — СМД-14; 2 — Д-75; 3 — Д-37М; 4 — Д-240; 5 — Д-50; 6 — Д-20.

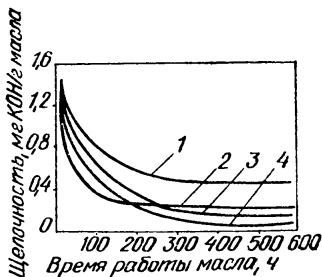


Рис. 77. Зависимость щелочности моторного масла от времени его работы в дизеле:

1 — Д-20; 2 — Д-37М; 3 — СМД-14; 4 — Д-50.

наличию в масле металлов, входящих в главные компоненты присадки.

На рисунке 77 показано изменение щелочности моторного масла при работе в различных дизелях. Интенсивное снижение щелочности масла в первый период его работы (60...120 ч) подтверждает то, что в этот период протекают интенсивные окислительные процессы мало-стабильных углеводородов во всем объеме моторного масла, а затем они главным образом идут в доливаемом моторном масле.

На рисунке 78 приведена зависимость отложения нагара в двигателе ЯМЗ-238НБ от щелочности. График наглядно показывает, насколько эффективно влияет на надежность работы двигателя введенная в масло присадка, предохраняющая детали от загрязнения отложениями (лаки, нагары, шламы).

Зависимость загрязнения поршней карбюраторного двигателя ЗИЛ-130 от пробега автомобиля в реальных условиях эксплуатации показана на рисунке 79.

**Изменение содержания продуктов окисления.** Смолы наиболее интенсивно накапливаются в масле в первый период его работы (рис. 80), а затем их содержание уменьшается, что объясняется переходом смол в асфальтены в результате протекающих окислительных процессов и полимеризации. Содержание асфальтенов в масле увеличивается в течение более длительного периода работы масла (рис. 81), что наглядно иллюстрирует поли-

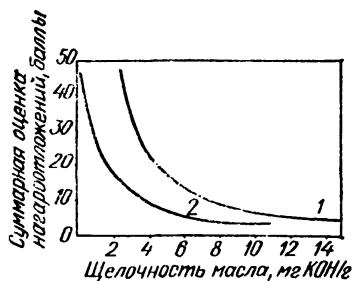


Рис. 78. Зависимость нагароотложений в двигателе ЯМЗ-238НБ от щелочности моторного масла (по данным ВНИИНП):

1 — свежее масло; 2 — масло после 240 ч работы.

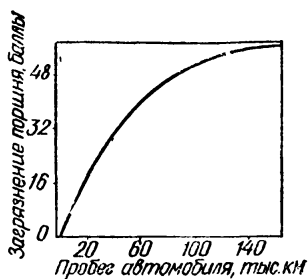


Рис. 79. Изменение загрязнения поршней двигателя ЗИЛ-130 в зависимости от пробега автомобилей.

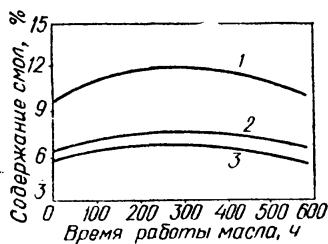


Рис. 80. Изменение содержания смол в моторном масле в зависимости от времени его работы в дизеле:

1 — Д-20; 2 — СМД-14; 3 — Д-37М.

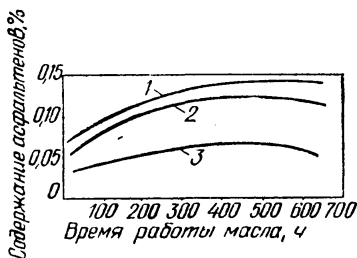


Рис. 81. Изменение содержания асфальтенов в моторном масле в зависимости от времени его работы в дизеле:

1 — СМД-14; 2 — Д-37М; 3 — Д-20.

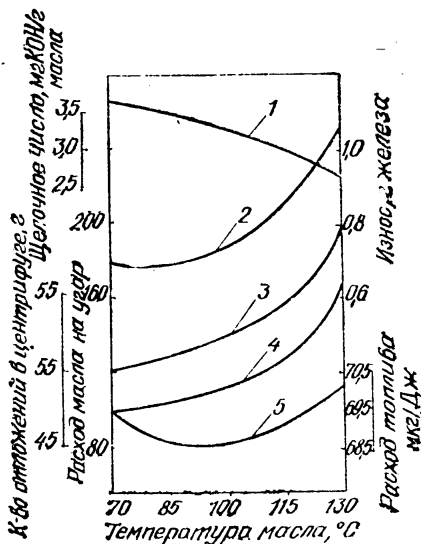
меризацию и конденсацию смолистых веществ и переход их в асфальтены.

Карбены и карбониды в моторном масле содержатся в пределах 0,25...0,9, причем большее их количество отмечается в двигателях с большей теплонапряженностью.

Термоокислительная стабильность моторного масла при работе в дизелях изменяется незначительно. Коррозионность масла с увеличением времени его работы возрастает и достигает значения 20...25 г/м<sup>2</sup>. Однако при этих изменениях моторного масла в двигателях не происходит повышенного нагарообразования, закоксовыва-

Рис. 82. Влияние температуры масла на некоторые показатели двигателя и масла:

1 — щелочное число; 2 — износ; 3 — угар масла; 4 — количество отложений в центрифуге; 5 — расход топлива.



ния поршневых колец и коррозии вкладышей подшипников.

С повышением температуры свойства масла интенсивно меняются, что отрицательно влияет на работу двигателя (рис. 82). При повышении температуры масла увеличивается износ деталей, повышается расход топлива, возрастает угар масла. [4].

Изменение основных физико-химических показателей моторного масла в меньшей степени протекает для двигателя с большей вместимостью смазочной системы (рис. 83), что вполне закономерно.

Содержание загрязняющих примесей в масле при работе в карбюраторном двигателе находится в пределах 0,5...0,8 % (рис. 84), что ниже, чем в дизелях. Интенсивность срабатывания присадки (снижение щелочности) та же, что и в дизелях на первом периоде работы масла.

Изменение количества снимаемого с деталей двигателя железа при работе масла. На рисунке 85 приведена зависимость общего количества железа, снимаемого с деталей двигателя, от времени работы моторного масла.

Общее количество железа  $Q_{ж}^{об}$  определяют через каждые 120 ч работы масла при одновременном промывании масляной центрифуги.

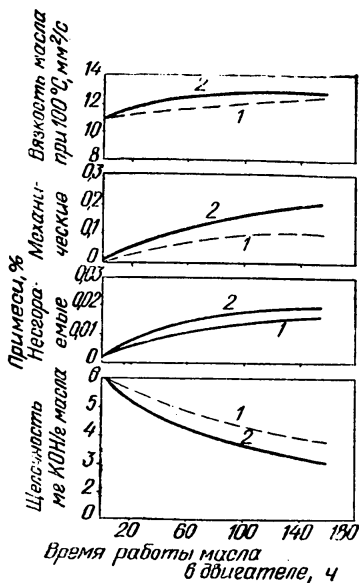


Рис. 83. Изменение физико-химических показателей масла М-10Г<sub>2</sub> в зависимости от вместимости смазочной системы дизеля автомобиля КамАЗ-740:

1 — при вместимости 31,5 л;  
2 — при вместимости 20 л.

Рис. 84. Изменение свойств моторного масла в легковом автомобиле:

1 — содержание продуктов окисления (поглощение ИК-спектра); 2 — содержание механических примесей; 3 — щелочное число; 4 — диспергирующие свойства; 5 — индукционный период осадкообразования.

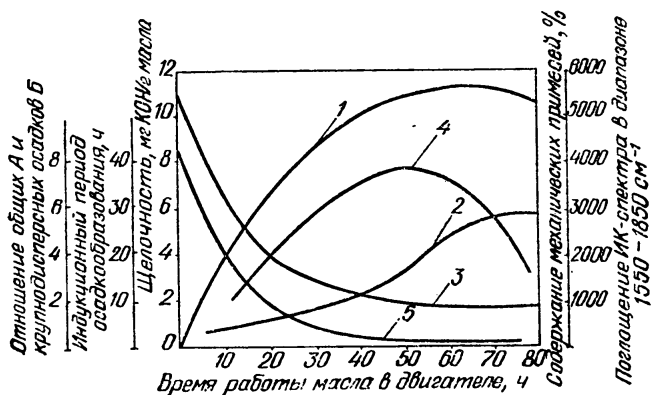


Рис. 85. Зависимость количества снимаемого с деталей железа от времени работы масла для дизелей:

1 — СМД-14; 2 — Д-240; 3 — Д-50; 4 — Д-37М; 5 — Д-20.

$$Q_{\text{ж}}^{\text{об}} = 0,01 \left( \sum_1^k q_y \frac{a_{n-1} + a_n}{2} + \sum_1^k M_{\text{ц}} a_{\text{ц}} + \sum_1^k q_{\text{п}} a_{\text{п}} + \right. \\ \left. + q_{\text{см}} a_{\text{см}} \right), \quad (52)$$

где  $k$  — число 120-часовых периодов работы масла;  $q_y$  — количество угоревшего масла за период, г;  $a_{n-1}$  и  $a_n$  — содержание железа в масле соответственно в начале и конце периода, ‰;  $M_{\text{ц}}$  — количество отложений в центрифуге в конце периода, г;  $a_{\text{ц}}$ ,  $a_{\text{п}}$  и  $a_{\text{см}}$  — содержание железа соответственно в отложениях, в пробах и в масле перед заменой, ‰;  $q_{\text{п}}$  — количество масла, отобранного с пробами, г;  $q_{\text{см}}$  — количество масла в картере двигателя перед его заменой, г.

На снижение общей массы железа, снимаемого с деталей двигателей, положительное влияние оказывают полярно-активные продукты окисления масла (смолисто-асфальтовые вещества), а также улучшение качества центробежной очистки моторного масла от неорганических примесей (продуктов износа и других загрязнений).

#### 12.6. Определение содержания присадки в моторных маслах методом разделения золы

Содержание присадки в моторном масле достаточно сложно определить из-за отсутствия конкретного показателя. Предлагаются такие показатели, как щелочность масла, значение электропроводности, содержание в масле главных компонентов присадки и др.

Применяется метод разделения золы масла на растворимую и нерастворимую части, в которых одновременно определяют наличие главного компонента присадки.

Метод основан на том, что в свежих моторных маслах присадка находится в растворенном состоянии, и несгораемая часть масла (зольность) будет обуславливаться только концентрацией введенной присадки. В работающем масле накапливаются нерастворимые вещества: продукты износа, загрязнения, поступающие с воздухом (кремний, кальций и др.), сработавшаяся часть присадки; поэтому зольность в данном случае характеризует общую несгораемую часть масла.

Для разделения золы работающего моторного масла на растворимую и нерастворимую части принят метод центрифугирования (ГОСТ 4539—48) с некоторым изменением, обеспечивающим полное выделение нераствори-

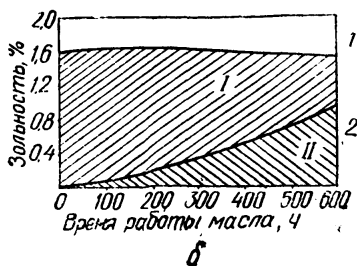
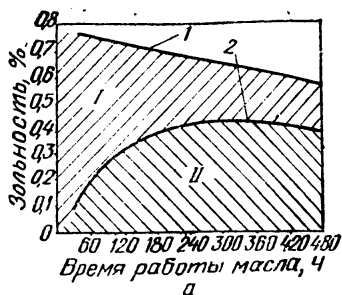


Рис. 86. Зависимость зольности моторных масел от времени их работы:

а — масло М-10Б<sub>2</sub> в дизеле Д-50; б — масло М-10Г<sub>2</sub> в дизеле Д-240; I — общая зольность; 2 — зольность нерастворимых соединений; I — растворимая зола (активная часть присадки), II — нерастворимая зола (сработавшаяся часть присадки).

мых веществ из масла. С этой целью введен показатель оценки раствора, находящегося в пробирке с пробкой работающего масла после его первого центрифугирования, на прозрачность. Процесс проводят с увеличенным фактором разделения. Во избежание растрескивания стеклянные пробирки с приборами масел помещают в пластмассовые стаканчики, заполненные водой.

С увеличением времени работы двигателя общая зольность масла (рис. 86, кривая I) уменьшается, а зольность нерастворимых веществ (кривая 2) возрастает.

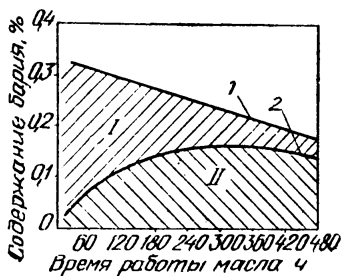


Рис. 87. Изменение содержания бария в моторном масле при работе в дизеле Д-50:

I — общий барий в масле; 2 — барий в нерастворимых соединениях масла; I — зона активного бария; II — зона сработавшегося бария.

Зона, находящаяся между кривыми 1 и 2, характеризует зольность растворимых соединений или активную, т. е. растворенную в масле, присадку. По ее значению в каждый определенный момент работы масла можно судить о содержащейся в нем активной части присадки. Отсутствие в работающем моторном масле растворимой части присадки говорит о полном расходовании последней. Кривые на рисунке 86 построены при испытании масел в двига-

телях тракторов, которые работали в обычных эксплуатационных условиях на топливе с содержанием серы до 0,5 %. Большой запас активной присадки при одинаковом времени работы имеют масла высшей группы.

На рисунке 87 приведены кривые по изменению содержания бария, общего (кривая 1) и растворимого (кривая 2), в нерастворимой части золы в пробах масла с различным сроком работы. Зона I между кривыми 1 и 2 характеризует содержание в моторном масле активного бария, т.е. той части присадки, которая еще способна выполнять свои функции. При сопоставлении рисунков 86 и 87 видно, что зольность растворимых соединений моторного масла и содержание активного бария в зависимости от продолжительности работы масла в двигателе изменяется эквидистантно. Это значит, что оценивать содержание несработавшейся части присадки в масле можно по содержанию бария в растворимой части золы.

### **12.7. Использование закономерностей изменения моторного масла для диагностирования двигателя**

Состояние двигателя при его эксплуатации можно контролировать без разборки по изменению показателей моторного масла. В некоторых отраслях народного хозяйства, главным образом при эксплуатации тепловозных и судовых дизелей, периодически анализируют пробы смазочного масла, а затем по изменению его отдельных показателей оценивают работу двигателя, необходимость замены масла и т. д.

При эксплуатации маломощных двигателей типа автотракторных такие методы контроля применяют мало. Однако наряду со сравнительно простыми методами все шире входит в практику метод спектрального анализа моторного масла для оценки износа деталей и условий работы двигателя, определения его остаточного моторесурса, состояния масла и др.

Изменение эксплуатационных и физико-химических показателей моторного масла взаимосвязано с техническим состоянием двигателей. Поэтому значения этих показателей могут быть использованы не только для контроля условий эксплуатации двигателей, но и для оценки состояния и пригодности моторного масла к дальнейшей работе. Для этого дополнительно определяют содержа-

ние в работающем моторном масле бария и цинка (характеризующих наличие введенной в масло присадки), кремния и кальция (продуктов постороннего загрязнения масла).

В предыдущих параграфах было рассмотрено влияние степени загрузки двигателя на качество моторного масла, а также изменение показателей масла при эксплуатации тракторных двигателей в зависимости от работы их приборов и механизмов. Так, нарушение нормальной работы воздухоочистителя немедленно вызывает повышение содержания кремния в моторном масле. Вследствие этого мгновенно возрастает концентрация железа в масле из-за абразивного действия кремния на трущиеся детали. Резкое повышение концентрации железа в масле при отсутствии кремния указывает на появление технической неисправности в одном из механизмов двигателя или на увеличение зазоров сопряжений, вызывающее более интенсивный износ деталей.

Достаточная концентрация бария и цинка, как компонентов содержащейся в масле присадки, указывает на наличие в работающем масле активной части присадки и, следовательно, говорит о сохранении необходимых эксплуатационных свойств масла.

Наличие присадки в работающем масле можно контролировать также по щелочности последнего. Снижение щелочности до нуля указывает на полное расходование нейтрализующего компонента присадки, что может быть вызвано применением топлива с повышенным содержанием серы или ухудшением процесса сгорания.

Повышение скорости накопления в моторном масле нерастворимого осадка (механических примесей) свидетельствует о нарушении нормальной работы маслофильтрующих элементов. Последнее может быть связано с полным загрязнением ротора центрифуги или с малой частотой вращения ротора, что резко ухудшает качество очистки моторного масла.

Изменение вязкости моторного масла в дизеле связано не только с процессами окисления и полимеризации углеводородов масла, но и с работой форсунок, входящих в систему питания двигателя. При появлении неисправности в одной из форсунок топливо в камеру сгорания впрыскивается в виде струи. В результате этого оно, не сгорая, стекает в картер двигателя и разжижает масло, вязкость которого значительно снижается.



В карбюраторных двигателях вязкость моторного масла в процессе работы не повышается, так как из-за частых пусков холодного двигателя высококипящие фракции бензина не испаряются и не сгорают. Они постоянно стекают в картер двигателя и разжижают масло, снижая его вязкость.

По аналогичному принципу можно рассмотреть и другие показатели: угар масла, интенсивность накопления отложений в центрифуге, показатель вспышки и кислотность масла, содержание золы и т. д.

Следует отметить, что метод периодического контроля работы двигателей по изменению состояния моторного масла достаточно эффективен для оценки условий эксплуатации двигателя и предупреждения его работы при неблагоприятных режимах.

В таблице 33 приведены предельные значения эксплуатационных и физико-химических показателей моторного масла, а также интенсивность накопления отложений в масляной центрифуге.

**33. Предельные значения отдельных показателей моторного масла при нормальной работе тракторных двигателей**

| Марка двигателя | Предельное значение                     |                                     |              |                            |                                        |
|-----------------|-----------------------------------------|-------------------------------------|--------------|----------------------------|----------------------------------------|
|                 | вязкости при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с | содержания механических примесей, % | зольности, % | щелочности, мг КОН/г масла | количества отложений в центрифуге, г/ч |
| СМД-62          | 13,5                                    | 2,5                                 | 1,4          | 1,20                       | 3,0...4,5                              |
| СМД-14          | 16,0                                    | 3,0                                 | 0,9          | 0,15                       | 2,0...3,6                              |
| Д-37М           | 13,5                                    | 1,0                                 | 0,3          | 0,20                       | 1,3...1,7                              |
| Д-144           | 13,5                                    | 1,6                                 | 0,3          | 0,20                       | 1,4...1,8                              |
| Д-50            | 13,0                                    | 1,7                                 | 0,5          | 0,10                       | 2,0...2,7                              |

В таблице 34 приведены предельные значения содержания в моторном масле отдельных элементов — бария, цинка, железа, кремния, алюминия и кальция.

Периодически отбирая пробы работающего в тракторных двигателях моторного масла, анализируя их, а затем сравнивая полученные данные с приводимыми в таблицах значениями, можно получить информацию о характере протекающих в масле процессов, о работе воздухоочистителя, о чистоте доливаемого в картер двига-

**34. Предельные значения содержания отдельных элементов в моторном масле при нормальной работе тракторных двигателей**

| Марка двигателя | Содержание элементов, % |       |          |         |          |         |
|-----------------|-------------------------|-------|----------|---------|----------|---------|
|                 | бария                   | цинка | железа   | кремния | алюминия | кальция |
|                 | не менее                |       | не более |         |          |         |
| СМД-62          | 0,25                    | 0,025 | 0,018    | 0,006   | 0,003    | 0,010   |
| СМД-14          | 0,13                    | 0,028 | 0,013    | 0,006   | 0,003    | 0,010   |
| Д-37М           | 0,18                    | 0,019 | 0,010    | 0,004   | 0,003    | 0,005   |
| Д-144           | 0,25                    | 0,031 | 0,018    | 0,002   | 0,002    | 0,010   |
| Д-50            | 0,21                    | 0,025 | 0,011    | 0,005   | 0,002    | 0,008   |
| Д-20            | 0,18                    | 0,008 | 0,006    | 0,002   | 0,001    | 0,005   |

теля масла при компенсации угоревшей части, об интенсивности износа деталей и т. д. В целом по комплексу показателей моторного масла можно с достаточной для практических целей достоверностью судить о необходимости замены масла, о работе отдельных приборов и механизмов двигателя, о предупреждении работы двигателей в неблагоприятных условиях.

**12.8. Оценка технического состояния и остаточного моторесурса двигателя по накоплению продуктов износа в моторном масле**

Оценка технического состояния двигателей без разборки и определение их остаточного моторесурса необходимы для повышения эффективности использования техники при эксплуатации. С этой целью широко применяются различные приборы и методы (по степени угара масла по прорыву газов в картер, по давлению в конце такта сжатия, по осциллограммам двигателя, при помощи акустики и меченых изотопов). Однако одни из них позволяют лишь косвенно судить о техническом состоянии двигателя, а другие являются весьма сложными для применения в эксплуатационных условиях.

Вместе с тем техническое состояние двигателя и его остаточный моторесурс можно оценивать по массе железа, снимаемого с трущихся деталей за определенное время работы двигателя. Количество железа в этом случае суммарно определяется в моторном масле и отложе-

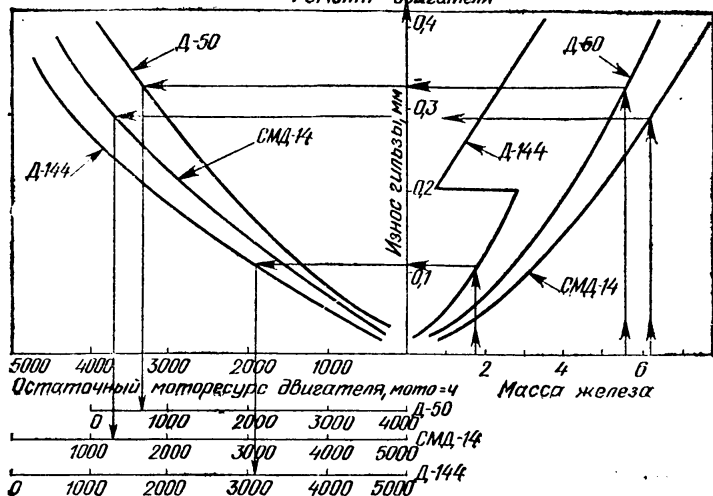


Рис. 88. Номограмма для оценки технического состояния и остаточного моторесурса двигателей Д-50, СМД-14А и Д-144 по количеству железа, снимаемого с деталей.

ниях на роторе центрифуги. Такой метод основан на том, что интенсивность накопления продуктов износа в моторном масле и в отложениях центрифуги находится в прямой зависимости от технического состояния двигателя, т. е. зазора в сопряжениях трущихся пар. С возрастанием зазоров в трущихся парах увеличивается их износ, а значит, повышается концентрация продуктов износа в моторном масле.

При этом методе предварительно определяют содержание железа в моторном масле и отложениях центрифуги за определенное время работы двигателя на установленном нагрузочном режиме. Затем замеряют износ цилиндров в поясе наибольших износов, зазор в стыке первых компрессионных колец и других деталей. После этого устанавливают взаимосвязь между полученными параметрами.

Аналогичные опыты проводят для различных технических состояний двигателя. Составляют эталонную таблицу, в которой указывают количество железа, снимаемого с деталей двигателя, соответствующее определенному износу основных деталей. Кроме эталонной таблицы,

по этим данным можно построить параметрическую модель-номограмму, на которой графически по количеству снятого железа определяют техническое состояние двигателя и его остаточный моторесурс.

На рисунке 88 приведен пример подобной номограммы, построенной для определения технического состояния двигателей Д-50, СМД-14А и Д-144.

Первая часть номограммы построена по данным стендовых испытаний двигателей Д-50, СМД-14А и Д-144 следующим образом. Новые двигатели были соответствующе обкатаны, т. е. технически подготовлены к нормальной эксплуатации. Затем для них периодически проводили *диагностический* и *износные* циклы.

Под диагностическим циклом понимается работа двигателя в течение 60 ч при загрузке двигателя на 80 % от номинальной мощности, при которой определяют изменение качества масла и содержание в нем продуктов износа. Продолжительность цикла выбрана из условия вполне достаточного накопления в масле продуктов износа. Получаемая при этом погрешность не сказывается на достоверности результатов.

Износные циклы продолжительностью 18 ч проводили с целью быстро довести основные детали двигателя до такого технического состояния, когда их износ равноценен износу при 800...1000 ч работы двигателя в нормальных условиях эксплуатации.

Перед проведением каждого диагностического цикла двигатели тщательно промывали и разбирали для технической экспертизы. Износы основных деталей определяли способом микрометрирования. Затем двигатели вновь обкатывали в течение 10 ч с заменой моторного масла. Таким образом было проведено пять диагностических и пять износных циклов, в результате чего износ основных деталей двигателя дошел до уровня, при котором требуется выполнение капитального ремонта. В конце каждого диагностического цикла отбирали средние пробы моторного масла и отложений центрифуги, в которых определяли концентрацию продуктов износа и подсчитывали суммарное количество железа, снятого с деталей двигателя. По полученным данным устанавливали зависимость между количеством снимаемого железа и износом основных деталей двигателя. В этих же пробах масла исследовали изменение его вязкости, щелочности и содержания нерастворимого остатка.

Левую часть номограммы строили по данным экспертизы технического состояния двигателей тракторов в зависимости от времени их работы. Для этого подбирали пять групп тракторов (по 3...5 машин в каждой) с различной наработкой, т. е. с различным техническим состоянием.

В соответствии с наработанным временем и средним износом гильз цилиндров в поясе наибольших износов строили график зависимости этих двух параметров.

Для оценки технического состояния двигателя и его остаточного моторесурса в эксплуатационных условиях работы трактора выполняют следующие операции. При очередном техническом обслуживании трактора, которое проводят в строгом соответствии с заводской инструкцией, заменяют моторное масло в двигателе. Трактор должен проработать в нормальных условиях 60 мото-ч или израсходовать соответствующее этой наработке количество топлива. После этого отбирают среднюю пробу масла и отложений центрифуги. Определяют массу отложений в роторе для вычисления суммарного количества железа, снятого за 60 мото-ч работы трактора. Определяют содержание кремния в масле. По суммарной массе снятого железа, пользуясь номограммой, устанавливают техническое состояние двигателя (по износу гильз цилиндров в поясе наибольших износов) и его остаточный моторесурс. Последовательность поиска показана на рисунке 88 стрелкой.

Такое определение оказывается действительным, если в моторном масле количество кремния не превышает 0,006 %. Повышенное содержание кремния указывает на неисправную работу воздухоочистителя, при которой в двигатель попадает больше абразива, вызывающего дополнительный износ деталей.

При таких обстоятельствах общее количество снятого с деталей железа не отражает действительное техническое состояние двигателя, ибо оно связано со случайным фактором.

На неполадки в работе двигателя может указывать также резкое понижение щелочности масла, вызываемое применением топлива с повышенным содержанием серы, или снижение вязкости масла, вызываемое неисправностью форсунок, и т. д.

В этом случае полученные данные следует забраковать, а диагностический цикл провести заново. Перед

**35. Значения диагностических параметров моторного масла при различных вариантах технического состояния двигателей**

| Параметры                                      | Значения параметров |        |        |        |        |        |
|------------------------------------------------|---------------------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Двигатель Д-50                                 |                     |        |        |        |        |        |
| Износ гильз в поясе наибольших износов, мкм    | 0,05                | 0,13   | 0,20   | 0,32   | 0,45   |        |
| Содержание железа в масле, %                   | 0,12                | 0,14   | 0,016  | 0,02   | 0,025  |        |
| г                                              | 1,20                | 1,40   | 1,61   | 2,0    | 2,50   |        |
| Масса железа в отложениях, г                   | 1,83                | 2,51   | 3,01   | 3,61   | 4,02   |        |
| Общая снятая масса железа, г                   | 3,03                | 3,91   | 4,62   | 5,61   | 6,52   |        |
| Вязкость масла при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с  | 12,0                | 12,5   | 13,2   | 14,4   | 15,0   |        |
| Нерастворимый осадок (механические примеси), % | 0,40                | 0,62   | 0,70   | 0,96   | 1,20   |        |
| Щелочность, мг КОН/г масла                     | 1,35                | 1,30   | 1,26   | 1,18   | 1,10   |        |
| Двигатель СМД-14А                              |                     |        |        |        |        |        |
| Износ гильз в поясе наибольших износов, мкм    | 0,055               | 0,12   | 0,20   | 0,29   | 0,345  | 0,39   |
| Содержание железа в масле, %                   | 0,0049              | 0,0071 | 0,0085 | 0,0098 | 0,0108 | 0,0124 |
| г                                              | 1,1243              | 1,1092 | 2,050  | 2,5051 | 2,8282 | 2,2676 |
| Масса железа в отложениях, г                   | 0,8625              | 1,5510 | 2,6425 | 3,6087 | 4,0890 | 4,4738 |
| Общая масса снятого железа, г                  | 1,98                | 2,66   | 4,69   | 6,11   | 6,91   | 6,74   |
| Вязкость масла при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с  | 12,2                | 13,2   | 14,1   | 14,7   | 15,4   | 15,8   |
| Нерастворимый осадок (механические примеси), % | 0,60                | 0,74   | 0,83   | 1,06   | 1,25   | 1,35   |
| Щелочность, мг КОН/г масла                     | 1,18                | 1,02   | 0,69   | 0,61   | 0,56   | 0,43   |
| Двигатель Д-144                                |                     |        |        |        |        |        |
| Износ гильз в поясе наибольших износов, мкм    | 0,05                | 0,12   | 0,20*  | 0,26   | 0,35   | 0,48   |
| Содержание железа в масле, %                   | 0,25                | 0,26   | 0,38   | 0,52   | 0,66   | 0,81   |

| Параметры                                      | Значения параметров |       |       |       |       |      |
|------------------------------------------------|---------------------|-------|-------|-------|-------|------|
| Масса железа в отложениях, г                   | 0,80                | 1,42  | 2,48  | 1,26  | 2,17  | 5,03 |
| Общая масса снятого железа, г                  | 1,05                | 1,68  | 2,86  | 1,78  | 2,83  | 5,84 |
| Вязкость масла при 100 °С, мм <sup>2</sup> /с  | 12,46               | 13,61 | 14,91 | 13,43 | 14,79 | 15,7 |
| Нерастворимый осадок (механические примеси), % | 0,29                | 0,7   | 1,12  | 0,55  | 1,2   | 1,51 |
| Щелочность, КОН/г масла                        | 2,14                | 2,03  | 1,37  | 1,79  | 1,52  | 1,19 |

\* При износе гильз цилиндров, равном 0,2 мкм, поршневые кольца заменяли.

проведением повторного цикла должна быть выявлена и устранена неисправность в двигателе.

В таблице 35 приведены диагностические параметры моторного масла после 60 ч работы двигателей Д-50, СМД-14А и Д-144.

Правая часть номограммы (см. рис. 88) может быть построена также по данным проведения диагностических циклов во время обычной эксплуатации тракторов. Для этого подбирают несколько групп машин с различной наработкой, начиная от новых и заканчивая тракторами, имеющими минимальный остаточный моторесурс до ремонта. В каждой группе должно быть не менее пяти тракторов.

Перед проведением диагностического цикла двигателя частично разбирают с целью определения действительных износов гильз цилиндров в поясе наибольших износов. Затем вычисляют средний износ гильз цилиндров для пяти тракторов. По диагностическим циклам определяют среднее количество железа, снимаемого с деталей двигателя, по пяти машинам. Строят графическую зависимость в виде кривой: износ гильз по оси ординат, количество снятого железа — по оси абсцисс.

Последовательность определения технического состояния и остаточного моторесурса показана стрелкой. Так, для двигателя СМД-14А установленной массе снятого железа 6,12 г соответствует износ гильз цилиндров в по-

ясе-наибольших износos, равный 0,29 мкм, при котором остаточный моторесурс двигателя составляет 1200 мото-ч. Аналогичное определение проводят и для двигателей других марок.

Пользуясь рассмотренной методикой, можно строить аналогичные номограммы для двигателей различных марок и использовать их в дальнейшем для диагностических целей. В этом случае следует применять моторное масло только рекомендуемого для данного двигателя сорта, а также дизельное топливо с допустимым содержанием серы.

Содержание продуктов износа и кремния в моторном масле и в отложениях центрифуг наиболее целесообразно определять методом спектрального анализа.

## **Глава 13. ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МОТОРНЫХ МАСЕЛ**

### **13.1. Некоторые направления в совершенствовании масел**

Эксплуатационные свойства моторных масел, режимы их использования, сохранение первоначальных свойств в процессе работы и другие факторы определяют надежность и долговечность двигателей различных машин, расход запасных частей, затраты на техническое обслуживание и ремонт. Расход моторных масел в современных тракторных двигателях равен приблизительно 4 % от расхода основного топлива, а стоимость их составляет значительную долю в общей структуре денежных затрат на эксплуатацию машины. Поэтому очень важно экономное расходование масел. В связи с этим изыскание и внедрение в практику наиболее рациональных и экономных методов применения и использования моторных масел является серьезной народнохозяйственной задачей.

В условиях преимущественного использования высококачественных масел с высокоэффективными композициями присадок большое значение в их совершенствовании приобретает проблема унификации моторных и других видов смазочных масел. Наличие широкого ассортимента смазочных масел создает значительные трудности не только при их производстве, но главным образом при транспортировании, хранении и примене-



нии, особенно в тех случаях, когда в хозяйстве много машин разных марок.

Перспективной в этой области является программа работ по сокращению ассортимента и унификации смазочных масел. На первом этапе предусмотрено заменить моторные масла групп А и Б маслами высшей группы, а также повысить качество трансмиссионных и гидравлических масел. При этом с производства снимаются масла дублирующих сортов. В результате этих мероприятий число марок масел намечено сократить вдвое.

На втором этапе планируется более широкое использование всесезонных и универсальных масел, а также продуктов с рабоче-консервационными свойствами, что позволит сократить ассортимент еще примерно вдвое.

Намечено промышленное производство низкозастывающих моторных масел М-4з/6Г<sub>2</sub>; М-4з/8Г<sub>2</sub>; М-4з/8В<sub>2</sub>; М-8ДМ; М-4з/8Д для высокофорсированных двигателей; единого моторно-трансмиссионного масла для промышленных тракторов и др. Для большегрузных автомобилей БелАЗ будут внедрены масла М-14ДМ и всесезонные М-6з/14ДМ.

Примером современного всесезонного универсального масла, применяемого для карбюраторных двигателей и дизелей (без наддува), может служить всесезонное долгорботающее моторное масло М-6з/10В. Срок службы этого масла в двигателе по сравнению с рекомендуемыми марками в 2...3 раза больше без снижения технико-экономических показателей двигателя. Масло М-6з/10В можно использовать вместо моторных масел 10 сортов. Несмотря на относительно высокую стоимость по сравнению с рекомендуемыми, это масло обеспечивает экономический эффект более 40 руб/т.

Важным новым направлением является использование синтетических масел, обладающих высокими эксплуатационными качествами, повышающими срок их службы в 3,5 раза. Для синтетических масел характерна универсальность. В сочетании со специально подобранными присадками их можно применять не только в карбюраторных двигателях и дизелях, но и в гидравлических системах и гидромеханических трансмиссиях.

Применение синтетических моторных масел позволит, с одной стороны, повысить надежность работы машин, а с другой — продолжить унификацию масел, что значительно упростит эксплуатацию машин.

### 13.2. Повышение эксплуатационных свойств моторных масел воздействием ультразвука

Если товарные моторные масла перед применением в двигателях обработать ультразвуком, то их эксплуатационные свойства значительно повышаются. Объясняется это явление тем, что получается тонкодисперсный коллоидный раствор металлосодержащей присадки в масле, в результате чего присадка в меньшей степени выпадает в осадок и большее время сохраняет свою работоспособность. Этот метод в еще большей степени эффективен для долгохранящихся масел, в которых присадка уже частично седиментировала. При центрифугировании товарных масел и масел, обработанных ультразвуком, выяснилось, что для выпадения в осадок присадки обработанного масла требуется в 1,5...2 раза больший фактор разделения. Максимального улучшения эксплуатационных свойств моторных масел можно достичь при их обработке ультразвуком с частотой колебаний около 20 кГц и мощностью 15 кВт/м<sup>2</sup>, с разовым объемом 30...40 л масла (высота столба 25...35 см) в течение 1 ч. Производственные испытания двигателей Д-50 на моторном масле М-10Б<sub>2</sub> и двигателей Д-144 на масле М-10Г<sub>2</sub> показали, что в маслах, обработанных ультразвуком, массовая доля продуктов окисления была на 25 % ниже, износ деталей сократился в среднем на 30...35 %, а загрязненность поршней уменьшилась примерно на 20 %. Одновременно срок работы моторных масел, обработанных ультразвуком, был увеличен с 240 до 600 мото-ч, что сэкономило около 15 % масла.

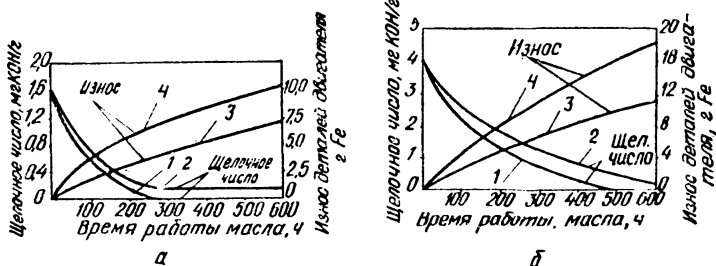


Рис. 89. Изменение щелочности моторных масел и износа:  
 а — масло М-10Б<sub>2</sub> в двигателях Д-50; б — масло М-10Г<sub>2</sub> в двигателях Д-144;  
 1 и 4 — товарное масло; 2 и 3 — обработанное ультразвуком.

Изменение щелочности товарного и обработанного ультразвуком масел при работе в двигателях подтверждает более высокую эффективность действия присадки в масле, обработанном ультразвуком (рис. 89, а). При использовании масел, обработанных ультразвуком, снижается не только износ, но и темп износа (рис. 89, б).

### **13.3. Техничко-экономические мероприятия при эксплуатации машин**

**Применение моторных масел рекомендованных марок.** Экономически весьма нецелесообразно для дизелей старых моделей применять моторные масла высшей группы вместо масел рекомендованной группы. Это увеличивает стоимость эксплуатации машин и создает дефицит масел, необходимых для высокофорсированных двигателей. К тому же масла высшей группы содержат большее количество присадок, т. е. обладают высокой зольностью, в результате чего может повышаться износ трущихся деталей.

**Ликвидация потерь моторных масел от разлива и утечек при заправке машин и хранении.** Для того чтобы ликвидировать или резко сократить потери масел от разлива и утечек, следует применять механизированные средства заправки и технического обслуживания машин. При этом исключаются также случаи загрязнения и обводнения масла, что имеет большое значение для смазывания деталей и сохранения первоначального качества масла.

Следует также более строго учитывать расход моторного масла.

**Снижение расхода масла, доливаемого для компенсации угоревшей части.** Главным фактором в снижении угара масла является сохранение компрессии цилиндропоршневой группы и сбрасывающей способности маслоъемных колец. Первое зависит от качества проведения обкатки двигателя, второе — от качества колец и масла. При плохой моюще-диспергирующей способности моторного масла поршневые кольца забиваются нагароотложениями, работа их ухудшается, что приводит к увеличению заброса моторного масла в камеру сгорания. Тому же способствует и ухудшение технического состояния цилиндропоршневой группы. Поршневые кольца и поршни следует заменять своевременно, чтобы не допу-

ската увеличения угара моторного масла и, как следствие, резкого повышения отложения нагара на деталях.

**Применение магнитной очистки моторного масла.** Магнитная очистка совместно с очисткой на центрифуге позволяет практически полностью удалять из масла продукты износа (железо), в присутствии которых повышается интенсивность износа трущихся деталей. При установке магнита в смазочной системе совместно с фильтром грубой очистки масла и в спускной пробке масляного картера двигателя износ деталей снижается на 15...20 % по сравнению с износом в двигателе со стандартной очисткой.

**Периодическое добавление в работающее моторное масло присадки.** Это мероприятие позволяет сохранять эксплуатационные свойства масла на более высоком уровне и при соответствующем техническом обслуживании тракторов увеличить срок работы моторного масла до замены в 2...3 раза.

Результаты испытания подтвердили эффективность периодического введения присадки в моторное масло двигателя: снизилось количество лако- и нагароотложений, уменьшился износ деталей. Сложность осуществления на практике такого мероприятия заключается в том, что присадки не выпускаются в расфасованном виде, на выполнение данной операции требуются дополнительные затраты времени. Наличие в двигателе дополнительного бачка для автоматического введения присадки в масло решило бы этот вопрос более конкретно.

**Увеличение сроков службы моторных масел в двигателях.** Увеличение срока работы масла в двигателе — это наиболее эффективный вариант сокращения его потребления. Многие исследователи высказывают предложения о значительном увеличении сроков работы моторных масел. На практике это действительно происходит, хотя сравнительно медленно. Раньше срок замены масла у двигателей тракторов был равен 120 ч, затем 240, а сейчас для тракторов многих марок в заводских инструкциях указываются 480 ч. Проводятся испытания новых масел, для которых сроки работы соответствуют сезонному периоду работы трактора. Это оказывается возможным, с одной стороны, за счет значительного повышения качества моторных масел и вводимых в них высокоэффективных присадок, а с другой — совершенствованием условий работы моторного масла в двигателе.

лях и улучшением технического обслуживания тракторов.

При сезонном сроке работы моторного масла до замены сокращается время на непроизводительные простои тракторов при техническом обслуживании, уменьшаются затраты труда, а также уменьшается вероятность случайного внесения загрязнений при замене масла, когда требуется частичная разборка двигателя.

Результаты производственных испытаний тракторов показывают, что переход на сезонный срок работы моторного масла — задача реальная. При сезонном сроке работы моторного масла в тракторах по сравнению со сроком 240 ч расход масла сокращается в зависимости от угара на 15...20 %.

На рисунках 90 и 91 показано соответственно изменение интенсивности износа основных деталей двигателя Д-50 тракторов «Беларусь» и загрязненность деталей нагароотложениями в зависимости от срока замены моторного масла М-10Б<sub>2</sub>.

Изменения основных физико-химических показателей моторного масла М-6з/10Г<sub>1</sub> при различных сроках замены в двигателях легковых автомобилей с рабочим объемом цилиндров 2,45 л и удельной вместимостью смазочной системы 0,07 л/кВт в производственных условиях приведено на рисунке 92. Наибольший срок служ-

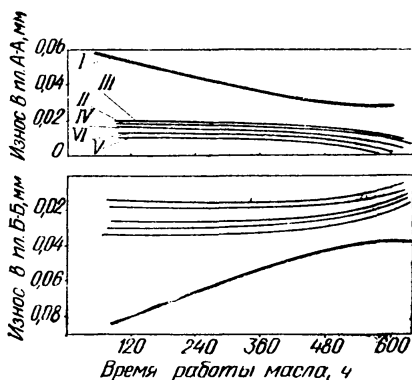


Рис. 90. Изменение износа деталей двигателей Д-50 в зависимости от срока замены моторного масла:

I...IV — пояса износов. Высота поясов I — наибольший износ; II — 80 мм; III — 110 мм; IV — 145 мм; V — 200 мм; VI — 235 мм.

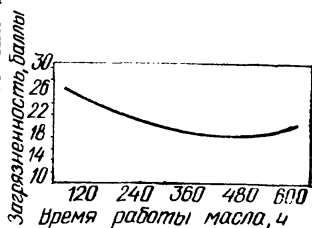


Рис. 91. Изменение загрязненности поршневой группы двигателей Д-50 в зависимости от срока замены моторного масла.

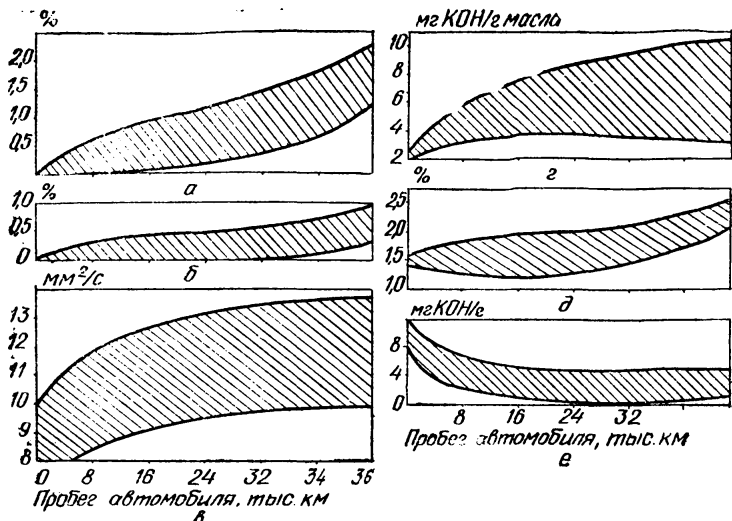


Рис. 92. Зоны изменения физико-химических показателей моторного масла М-63/10Г<sub>1</sub> в двигателях легковых автомобилей в зависимости от срока его работы (по данным М. А. Григорьева):

*а* — механические примеси, не растворимые в бензине; *б* — несгораемые механические примеси; *в* — вязкость; *г* — кислотность; *д* — зольность; *е* — щелочность.

бы двигателей до капитального ремонта был при замене масла через 12...24 тыс. км пробега.

Наряду с учетом общих рекомендаций по сокращению расходования моторных масел нужно в конкретных природно-экономических зонах проводить мероприятия по экономии масел в зависимости от марок машин, уровня форсирования двигателей и действительных условий эксплуатации.

#### 13.4. Определение сроков замены моторных масел по их качественному состоянию

Как уже отмечалось, при эксплуатации тракторов и других самоходных машин возникают многочисленные проблемы, связанные с рациональным сроком работы моторных масел. Причиной тому служит отсутствие браковочных показателей качества масел

при работе в двигателях. Это приводит или к необоснованному уменьшению сроков службы масел (перерасход), или к использованию моторных масел с неудовлетворительными функциональными свойствами (повышенные износ деталей двигателя или нагарообразование). По этому вопросу существует два мнения: оценивать состояние масла по одному весомерному показателю или по нескольким диагностическим показателям, выраженным в фактических единицах. Однако изменение уровня одного показателя в конкретных условиях по-разному влияет на эксплуатационные свойства моторного масла и, следовательно, на интенсивность изнашивания деталей двигателя. Комплексная оценка качественного состояния моторного масла более объективна, однако с ней связаны значительные трудности, так как диагностических показателей состояния моторного масла существует около 30. Это создает необходимость иметь большое количество оборудования и приборов для анализа, требует значительных затрат времени и высокой квалификации работников.

Для оценки состояния масла предложен комплекс диагностических показателей, наиболее сильно влияющих на параметры работы двигателя. Применение такой методики позволяет сократить время на анализы, отказаться от существующего регламентированного срока замены масла и установить оптимальное время его использования. В качестве обобщенного комплексного показателя (ОКП) принят показатель  $K_{кп}$ , характеризующий взаимосвязь и взаимозависимость состояния масла и условий работы механизмов двигателя. Он выражается суммой единичных оценочных диагностических показателей. Применение этого показателя повышает достоверность эксплуатационной оценки качества масла. Показатель  $K_{кп}$  (баллы) можно вычислить по формуле:

$$K_{кп} = \sum_{i=1}^{i=n} K_i < K_{пр}, \quad (53)$$

где  $K_i$  — показатель состояния моторного масла по  $i$ -му параметру, баллы;  $n$  — число оценочных диагностических показателей;  $K_{пр}$  — предельное значение комплексного показателя состояния масла, баллы.

Показатели качественного состояния моторного масла, по которым оценивается работа механизмов двига-

### 36. Показатели оценки состояния моторного масла

| Группа | Характеристика                                 | Принятые диагностические показатели                                                                                                                                                 |
|--------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1      | Наличие продуктов внешнего загрязнения в масле | Содержание кремния, воды, механических примесей, %                                                                                                                                  |
| 2      | Наличие продуктов износа в масле               | Содержание Fe, Al, Cu, Cr, %                                                                                                                                                        |
| 3      | Наличие присадки в масле                       | Щелочное число, мг КОН/г масла; зольность, %; содержание Ва, %; диспергирующая способность                                                                                          |
| 4      | Физико-химические показатели масла             | Вязкость, мм <sup>2</sup> /с, температура вспышки и застывания, °С; кислотное число, мг КОН/г масла; содержание смол, асфальтенов, карбенов и карбоидов, %; нерастворимый осадок, % |

теля и самого масла, можно условно разделить на четыре группы (табл. 36).

Подтверждением правильности выбора определяющих диагностических показателей явились экспериментальные исследования на тракторных двигателях А-41 и СМД-14. Работоспособность сборочных единиц и качественное состояние моторного масла оценивали по 16 диагностическим показателям. Были сделаны следующие выводы: наибольшие изменения физико-химических показателей моторного масла происходят в первые 60...120 мото-ч работы; до наработки 140...180 мото-ч концентрация продуктов износа практически постоянна и возрастает при наработке более 240 мото-ч; при различных диагностических показателях износ деталей двигателя разный.

Исходя из этого, определяющим диагностическим показателем, отражающим работу двигателя, выбрана скорость изнашивания гильз (на стадии исследований критерием оценки служил износ деталей кривошипно-шатунного механизма, наиболее существенно зависящий от качества масла).

Случайное изменение параметра (скорости изнашивания)  $U_{иг}(t)$  учитывают как функцию

$$U_{иг}(t) = f(\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \dots, \alpha_n), \quad (54)$$

где  $\alpha$  — значение диагностического показателя.



Взаимосвязь между параметром состояния двигателя (износом гильз) и диагностическими показателями масла имеет статистический характер. Для установления законов ее изменения были использованы экспериментальные методы с последующим применением корреляционного анализа. Были проанализированы связи между конкретными диагностическими показателями масла и содержанием в нем железа, характеризующим износ. Реальность полученных зависимостей проверяли по критерию Стьюдента.

Суммарное влияние всех выбранных диагностических показателей на износ двигателя оценивали в 100 %. По выявленным степеням взаимосвязи определяли долю влияния каждого из них. Предельные значения диагностических показателей были выявлены при построении гистограмм распределения и подборе аналитической закономерности. По подобранной закономерности распределения и принятому уровню вероятности  $P=0,95$  выявляли допустимый диапазон рассеивания диагностического показателя, границы которого определили нормативные значения показателей для данных условий.

Значения диагностических показателей масла (табл. 37) следует рассматривать как контрольные для двига-

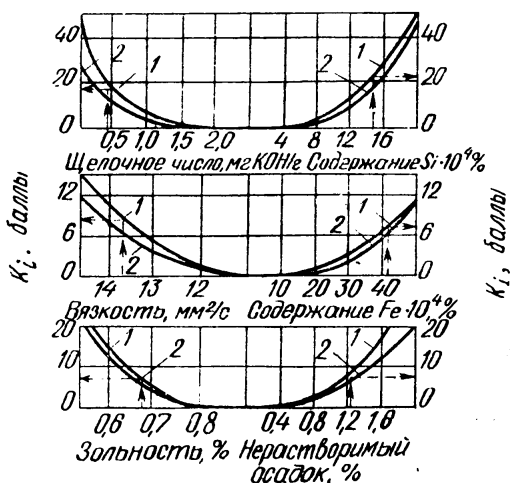


Рис. 93. Номограмма для оценки качественного состояния моторного масла по диагностическим показателям:

1 — для двигателей А-41; 2 — для двигателей СМД-14.

телей А-41 и СМД-14 при использовании дизельного топлива с содержанием серы не более 0,5 % и моторного масла марки М-10В<sub>2</sub>. Динамика износа деталей двигателя свидетельствует о различном влиянии значения диагностического показателя на  $K_i$ . В связи с этим рассчитывали коэффициенты неравнозначности диагностических показателей, которые находились в пределах 0,5...2. Затем их учитывали при построении номограмм оценки качественного состояния моторного масла (рис. 93).

При эксплуатации двигателя диагностические показатели одновременно не достигают предельно допустимых значений. Поэтому важно установить такое значение  $K_i$ , при котором масло необходимо заменить. Максимальная эффективность использования масла и наилучшие условия эксплуатации двигателя могут быть обеспечены в том случае, когда обобщенный комплексный показатель несколько меньше своего предельного значения.

Разложение функции зависимости оценки диагностического показателя от его физического значения в ряд Тейлора показало, что данная функция может быть аппроксимирована параболой и оценочный показатель возрастает пропорционально дисперсиям диагностических показателей. Следовательно, браковочное значение

### 37. Значения диагностических показателей масла

| Диагностический показатель               | Значение показателя <sup>а</sup> |                        |                      |                               |
|------------------------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------------|-------------------------------|
|                                          | предельно допустимое             | удельное выявленное, % | удельное принятое, % | принятая оценка $K_i$ , баллы |
| Кремний, $\times 10^4$ , %               | До 18                            | 33,57/32,73            | 33,33                | 40                            |
| Щелочное число, мг КОН/г масла, не менее | 0,28/0,19                        | 21,67/24,55            | 25,00                | 30                            |
| Зольность, %, не менее                   | 0,60/0,60                        | 14,46/13,65            | 12,50                | 15                            |
| Нерастворимый осадок, %                  | До 1,50/1,50                     | 17,66/17,19            | 12,50                | 15                            |
| Вязкость, мм <sup>2</sup> /с             | До 13,7/14,2                     | 10,00/9,06             | 8,33                 | 10                            |
| Железо, $\times 10^4$ , %                | До 50,0                          | 2,64/2,82              | 8,33                 | 10                            |
| Итого                                    | —                                | 100,00                 | 100,00               | 120                           |

<sup>а</sup> В числителе — для двигателя А-41, в знаменателе — для СМД-14.

должно быть уменьшено на величину  $\sum_1^n a\sigma_{q_i}^2$  (где  $n$  — число параметров;  $a$  — постоянная величина;  $\sigma_{q_i}$  — дисперсия  $i$ -го диагностического параметра). Суммарное значение дисперсий приняли равным (на основании результатов исследований) 20 баллам. Тогда с учетом данных таблицы 37 искомое браковочное значение комплексного показателя качества масла  $K_{\text{бр}} = 120 - 20 = 100$  баллам.

Анализ данных эксплуатации двигателей в хозяйствах указывает на значительный диапазон их фактической наработки. Это может влиять на количественную оценку состояния масла (баллы) в двигателях с большей наработкой. Для учета данного явления введено понятие «коэффициент интенсивности изменения диагностических показателей  $\alpha$  в зависимости от наработки двигателя», определяемый экспериментально. По индивидуальным коэффициентам  $\alpha_i$  определен коэффициент  $\alpha = \sum_1^n \alpha_i$ . Тогда качественное состояние масла можно оценить по следующей уточненной формуле:

$$K_{\text{кп}} = \sum_{i=1}^{i=n} K_i - \alpha T, \quad (55)$$

где  $T$  — наработка двигателя, мото-ч.

Коэффициенты  $\alpha_i$  рассчитывали на основе анализа 200 проб масла со сроком работы 240...260 мото-ч, отобранных в двигателях с различной наработкой (рис. 94). Значения коэффициентов  $\alpha$  составили 0,0105 и 0,0149 балл/мото-ч соответственно для двигателей А-41 и СМД-14, а оптимальная периодичность контроля — 60...120 мото-ч использования масла.

Порядок расчета эксплуатационной оценки качественного состояния моторного масла по обобщенному комплексному показателю (двигатель А-41 с наработкой 1720 мото-ч) следующий. Отбирают пробу масла и анализируют ее. По номограмме оценивают значения каждого диагностического показателя (на рис. 94 показано стрелками) и определяют  $\sum K_i = 67,5$  балла. Учитывая коэффициент  $\alpha = 0,0105$  и наработку двигателя  $T = 1720$  мото-ч, оценивают качественное состояние масла в данный момент:  $K_{\text{кп}} = \sum K_i - \alpha T = 67,5 - 0,0105 \cdot 1720 =$

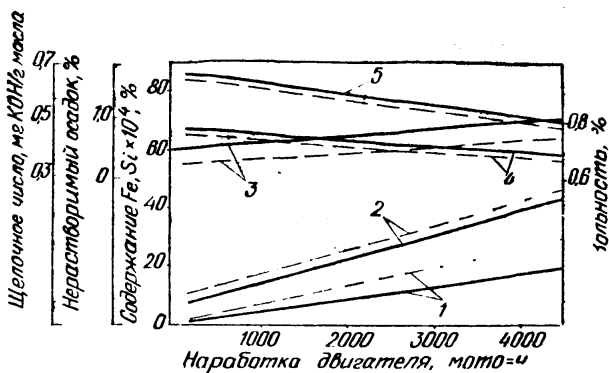


Рис. 94. Зависимость средних значений диагностических показателей моторного масла от наработки двигателя:

1 — кремний; 2 — железо; 3 — нерастворимый осадок; 4 — зольность; 5 — щелочное число; — — — — СМД-14; — — — — А-41.

$\approx 49,4$  балла. Так как браковочное значение состояния масла равно 100 баллам, а  $K_{\text{кп}} = 49,4 < 100$ , масло пригодно к дальнейшему использованию. По отдельным диагностическим показателям определяют работоспособность сборочных единиц двигателя (например, по уровню нерастворимого осадка — о работе масляных фильтров и т. д.) и назначают соответствующее обслуживание.

При сравнении технико-экономических показателей регламентированного обслуживания, замены моторного масла и контроля его состояния по обобщенному комплексному показателю было установлено, что в последнем случае загрязненность поршней нагароотложениями уменьшается на 10...15 %, подвижность колец повышается в среднем на 30 %, расход моторного масла снижается на 12...20 %, износ — на 30...60 %. В целом уменьшение затрат на ремонт и увеличение сроков использования моторного масла позволяют значительно экономить средства при эксплуатации двигателей.

Оценка качественного состояния моторного масла во взаимосвязи с техническим состоянием двигателя и условиями его эксплуатации по обобщенному комплексному показателю является новым направлением. Его следует развивать за счет исследований этого показателя для двигателей различных марок.

## **Глава 14. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ТРАНСМИССИОННЫХ И ДРУГИХ МАСЕЛ**

### **14.1. Трансмиссионные масла, свойства и применение**

Условия работы и требования, предъявляемые к трансмиссионным маслам. Для смазывания коробок передач, главных и бортовых передач, раздаточных коробок, дифференциалов, механизмов рулевого управления, представляющих собой зубчатые передачи — цилиндрические, конические, червячные, гипоидные и другие, применяют смазочные масла, относящиеся к группе трансмиссионных. Большинство зубчатых передач этих видов смазываются способом погружения механизма и последующего разбрызгивания масла. В некоторых тракторах и автомобилях одновременно с разбрызгиванием масла для трансмиссии применяется индивидуальная смазочная система, когда к зубьям шестерен масло подается под давлением. В практику автотракторостроения внедряются также гидротрансмиссии, в которых масло служит рабочей средой для передачи крутящего момента от двигателя на ведущие механизмы машины.

Условия работы трансмиссионных масел существенно отличаются от условий работы моторных масел. Зубчатые передачи машин подвергаются прежде всего действию весьма высоких удельных нагрузок. В червячных и конических зубчатых передачах удельные нагрузки на зубья шестерен достигают 1 500...2 000 МПа, а в гипоидных передачах — 3 000...4 000 МПа.

Более тяжелые режимы работы зубчатых передач приводят к значительному росту рабочей температуры в агрегатах трансмиссий, достигающей значения 125...140 °С, а в местах контакта зубчатых зацеплений — 250 °С.

Тракторы, комбайны и другие сельскохозяйственные машины работают в различных температурных условиях окружающей среды от —50...60 °С в северных районах до 50...60 °С в южной зоне страны. Поэтому масло должно обладать низкой температурой застывания и соответствующей вязкостью. Внутри картеров зубчатых передач механизмов трансмиссии масло подвергается разбрызгиванию и аэрации, а также каталитическому воздействию

металлов смазываемых деталей, нагреванию, окислению и т. д. Поэтому к трансмиссионным маслам предъявляют специфические требования.

С развитием техники условия работы трансмиссионных масел становятся все более жесткими, что требует создания высококачественных масел с комплексом различных присадок, обеспечивающих повышение нескольких эксплуатационных свойств.

Для обеспечения надежной и долговечной работы механизмов трансмиссионные масла должны отвечать следующим основным эксплуатационным требованиям:

- предотвращать или уменьшать износ рабочих поверхностей зубьев шестерен и других высоконагруженных деталей;

- уменьшать потери на трение и обеспечивать высокий к. п. д. зубчатых передач;

- хорошо отводить тепло и удалять с трущихся поверхностей продукты износа и другие посторонние механические примеси;

- обеспечивать работу поверхностей деталей механизмов трансмиссии без коррозии;

- не вспениваться;

- не изменять в процессе работы своих первоначальных свойств;

- обеспечивать плавное трогание машины при различных температурах окружающей среды.

Данные требования характеризуются соответствующими физико-химическими показателями трансмиссионных масел: вязкостью, вязкостно-температурной характеристикой, температурой застывания, коррозионностью, содержанием механических примесей, смазывающей способностью и др.

**Свойства трансмиссионных масел.** К ним относятся противоизносные и противозадирные, вязкостно-температурные, противокоррозионные и другие свойства.

*Противоизносные и противозадирные свойства* трансмиссионных масел являются основной их характеристикой. Они обеспечиваются высокой смазывающей способностью, при которой на трущихся поверхностях зубьев шестерен создается прочная пленка, предотвращающая сваривание и задираание микронеровностей. Это свойство определяется наличием поверхностно-активных веществ, содержащихся в наибольшем количестве в высокосмолистых остаточных нефтепродуктах, из которых получают

Рис. 95. Изменение тягового усилия при движении автомобиля в зависимости от вида трансмиссионного масла и его температуры в главной передаче:

*а* — для автомобиля ГАЗ-51; *б* — для автомобиля ЗИЛ-150; 1 — летнее трансмиссионное масло (нигрол); 2 — то же, зимнее; 3 — зимнее с добавлением 18 % дизельного топлива ДЗ.

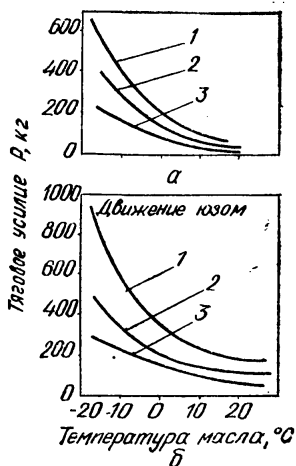
трансмиссионные масла. Кроме того, для повышения противозадирных свойств в масла вводят специальные присадки, включающие соединения хлора, фосфора, серы и цинка. Эти вещества при большом давлении и высокой температуре образуют пленки оксидов, предохраняющие металл от схватывания в точках контакта.

При получении трансмиссионные масла не подвергаются глубокой очистке. Несмотря на это, они оказываются сравнительно стабильными при работе, так как температура масла в картерах механизмов трансмиссий машин значительно ниже, чем в двигателях.

В качестве противоизносных и противозадирных присадок к трансмиссионным маслам наиболее широко применяются: ЛЗ-23к — дибутилксантат этилена с содержанием 38...41 % серы; ОТП — осерненный тетрамер пропилена, полученный осернением фракции олефиновых полимеров, содержит около 20 % серы; ЭФО — продукт взаимодействия экстракта фенольной очистки остаточных масел с пентасернистым фосфором и др.

Эти присадки добавляют к маслам в количестве до 5 %.

**Вязкостно-температурные свойства** трансмиссионных масел характеризуют изменение их вязкости с изменением температуры. Поскольку эти масла являются остаточными высокомолекулярными соединениями, содержащими большое количество смолистых веществ, то с понижением температуры их вязкость резко увеличивается. Это свойство вызывает значительные потери мощности на преодоление трения в узлах трансмиссии, особенно при трогании машин с места. Предельная вязкость масла,



при которой возможно провертывание механизмов автомобильных и тракторных трансмиссий и трогание машин, составляет 600 Па·с. Трансмиссионные масла с оптимальной вязкостью и пологой вязкостно-температурной кривой значительно облегчают эксплуатацию машин, особенно в зимний период.

На рисунке 95 показана зависимость тягового усилия  $P$ , необходимого для обеспечения движения автомобиля, от вида трансмиссионного масла и его температуры в картере главной передачи автомобиля. В данном случае значение тягового усилия характеризует сумму сопротивлений провертыванию механизмов силовой передачи и качению колес автомобиля. Если разделить значения этих слагаемых, оказывается, что в процессе использования трансмиссионного зимнего масла (кривая 2) при температуре  $-12^{\circ}\text{C}$  около 80 % тягового усилия затрачивается на преодоление сопротивления в механизмах трансмиссии и только около 20 % — на преодоление сопротивления качению колес автомобиля. Большие потери мощности в механизмах трансмиссии, особенно зимой, когда вязкостно-температурные свойства трансмиссионных масел не соответствуют необходимым требованиям, приводят к значительному ухудшению топливной экономичности автомобилей и других машин.

На рисунке 96 показана зависимость вязкости трансмиссионных масел от температуры. При проведении зимних испытаний автомобилей ГАЗ-51 и ЗИЛ-150 с использованием трансмиссионного автотракторного масла (летнего и зимнего) было установлено, что расход топлива при движении по шоссе в случае применения летнего масла в сравнении с зимним, разбавленным 18 % дизельного топлива марки ДЗ, был на 3...6 % выше, а в условиях городского движения — на 8...12 %.

При изучении износа главной передачи автомобиля ГАЗ-51 в зависимости от сорта применяемого трансмиссионного масла было выяснено, что шестерни главной передачи больше всего изнашиваются в случае применения автотракторного трансмиссионного масла (нигрола)\*. При добавлении к последнему дизельного топлива ДЗ в количестве 10 и 18 % меньший износ был получен в первом случае.

---

\* По данным Н. В. Брусянцева. — *Прим. авт.*



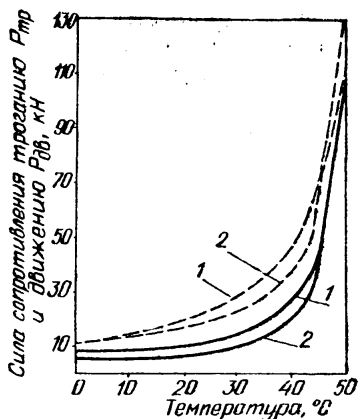
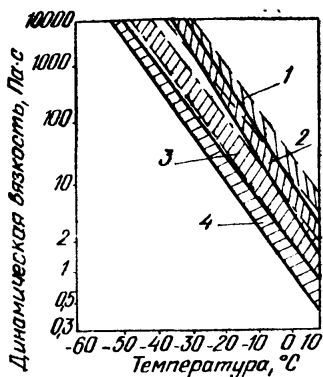


Рис. 96. Зависимость вязкости трансмиссионных масел от температуры (по среднестатистическим данным П. П. Заскалько):

1 — гипоидное; 2 — ТАп-15В; 3 — ТАД-17и, ТСП-14 и ТСП-15к; 4 — ТСЗп-16А.

Рис. 97. Зависимость сил сопротивления троганию  $P_{тр}$  и движению  $P_{дв}$  автомобиля МАЗ-543 от температуры масла в агрегатах трансмиссий (по данным П. П. Заскалько):

1 — масло ТМ5-12рк; 2 — масло МТЗ-10п; — — — —  $P_{тр}$ ; — — — —  $P_{дв}$ .

Автомобиль трогается с места при соблюдении условия:

$$D > P_{тр}/G_a, \quad (56)$$

где  $D$  — динамический фактор автомобиля;  $P_{тр}$  — сила сопротивления троганию автомобиля с места при низких температурах окружающего воздуха, Н;  $G_a$  — полная масса автомобиля, кг.

Усилие, необходимое для трогания автомобиля с места, в 1,2...1,8 раза превышает силу сопротивления в начальный момент движения, так как  $P_{тр} = (1,2...1,8) P_{дв}$ .

На рисунке 97 приведена зависимость сил сопротивления троганию  $P_{тр}$  и движению  $P_{дв}$  автомобиля-тягача МАЗ-543 от температуры масла в агрегатах трансмиссии. В качестве объектов исследования использованы моторное масло МТЗ-10п и универсальное рабоче-консервационное трансмиссионное масло типа ТМ5-12рк.

Важным показателем, характеризующим пригодность трансмиссионного масла для применения в зимних условиях, является температура застывания. Для понижения температуры застывания широко применяется присадка-

депрессор АзНИИ, которую добавляют в масло в количестве 0,2...0,5 %.

*Противокоррозионные свойства* трансмиссионных масел характеризуются отсутствием в них водорастворимых кислот и щелочей. В отличие от других видов нефтепродуктов наличие серы в трансмиссионном масле улучшает противоизносные и противозадирные свойства.

Важным эксплуатационным свойством трансмиссионного масла является *невспениваемость*, ибо наличие пузырьков воздуха в масле ухудшает его противоизносные и противозадирные качества.

В трансмиссионных маслах не допускается содержание воды и абразивных механических примесей.

**Сорта и марки трансмиссионных масел.** В зависимости от условий применения трансмиссионные масла подразделяются на пять групп (табл. 38).

38. Группы трансмиссионных масел

| Группа | Назначение                                                             | Условия работы                         | Наличие присадок                                                                       |
|--------|------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| ТМ-1   | Прямозубые, спирально-конические и червячные передачи                  | До 800 МПа<br>До 90 °С                 | Без противозадирных присадок                                                           |
| ТМ-2   | То же                                                                  | До 1500 МПа<br>До 120 °С               | С противозадирными присадками                                                          |
| ТМ-3   | » »                                                                    | До 2000 МПа<br>Свыше 120 °С            | Со слабыми противозадирными присадками                                                 |
| ТМ-4   | То же и гипоидные передачи                                             | Свыше 2000 МПа, до 135 °С              | С сильными противокоррозионными присадками                                             |
| ТМ-5   | Гипоидные передачи, работающие при высокой скорости, ударных нагрузках | Температура масла в объеме выше 135 °С | С сильными противозадирными и с повышающими термоокислительную стабильность присадками |

В соответствии с ГОСТ 23652—79 выпускают трансмиссионные масла восьми марок: ТСП-14,5; ТЭп-15; ТСП-10; ТСП-14; ТСП-15К; ТАп-15В; ТСП-14гип и ТАД-17и.

В таблице 39 приведены их основные показатели и область применения для механизмов трансмиссий.

В трансмиссиях большинства тракторов и комбайнов используют масло ТЭп-15 (группа ТМ-2), которое содер-

### 39. Основные показатели трансмиссионных масел и область их применения

| Марка     | Показатели                                     |                                             |                                             |                                                                                   | Область применения                                                                                           |
|-----------|------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|           | кинематическая<br>вязкость, мм <sup>2</sup> /с | динамическая<br>вязкость при<br>-15°С, Па·с | температура за-<br>стывания, °С,<br>не выше | противоизносные<br>свойства — нагруз-<br>ка сваривания<br>P <sub>c</sub> , Н(кгс) |                                                                                                              |
| ТЭп-15    | 15,0<br>(при<br>100 °С)                        | 200                                         | -18                                         | —                                                                                 | Коробки передач, задние мосты, бортовые колесные передачи тракторов (кроме К-700, К-701), комбайнов          |
| ТСп-10    | 10,0<br>(при<br>100 °С)                        | 300                                         | -40                                         | 3479                                                                              | Тяжело нагруженные, цилиндрические, конические и спирально-конические передачи                               |
| ТСп-15к   | 15,0<br>(при<br>50 °С)                         | 80                                          | -25                                         | 3479                                                                              | Тяжело нагруженные цилиндрические, конические и спирально-конические передачи КамАЗ. Всесезонно              |
| ТАп-15В   | 15,0<br>(при<br>100 °С)                        | 180                                         | -20                                         | 3283                                                                              | Тяжело нагруженные цилиндрические, конические и спирально-конические передачи автомобилей. Всесезонно        |
| ТСп-14гип | 14,0<br>(при<br>50 °С)                         | 80                                          | -25                                         | 3920                                                                              | Гипоидные передачи грузовых автомобилей. Всесезонно                                                          |
| ТАД-17и   | 17,5<br>(при<br>50 °С)                         | —                                           | -25                                         | 3687                                                                              | Цилиндрические, конические, червячные, спирально-конические и гипоидные передачи автомобилей ВАЗ. Всесезонно |

жит 5 % противоизносной присадки ЭФО и 1 % депрессора, понижающего температуру застывания. Для средней зоны оно является всесезонным. Несколько улучшенными противозадирными свойствами по сравнению с маслом ТЭп-15 обладает масло ТАп-15В, которое содержит противозадирные присадки ОТП и ЛЗ-23К. Для обеспечения эксплуатации машин в условиях низкой темпера-

туры окружающего воздуха применяется масло ТСП-10 (группа ТМ-3) с противоизносной присадкой ОТП.

В таблице 40 приведены марки масел, рекомендованных для трансмиссий тракторов.

#### 40. Масла, рекомендуемые для механизмов трансмиссии тракторов, и сроки их работы

| Марка трактора                                                                                                | Масла, применяемые в                      |                         | Срок смены масла, ч |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------|---------------------|
|                                                                                                               | коробке передач                           | трансмиссии             |                     |
| Т-150, Т-150К, Т-330                                                                                          | Моторные группы В                         | ТАп-15В; ТЭп-15, ТСП-10 | 960                 |
| К-700, К-700А                                                                                                 | ТАп-15В; ТЭп-15, ТСП-10 моторные группы В |                         | Сезонный            |
| К-701                                                                                                         | Моторные группы В                         |                         | Сезонный            |
| Т-130, Т-100М, Т-4А, МТЗ-80, ДТ-75, ДТ-75М, ЮМЗ-6Л, ЮМЗ-6М, Т-70С, МТЗ-50, Т-40М, Т-28Х4, Т-38М, Т-25А, Т-16М | ТАп-15В; ТЭп, ТСП-10;                     |                         | 960                 |

Конструкция тракторов К-701 и коробки передач тракторов Т-150К и Т-130 такова, что в них необходимо применять только моторные масла.

В таблице 41 приведены марки масел, рекомендованные для трансмиссий автомобилей.

Для гипоидных передач грузовых автомобилей применяется масло ТСП-14гип (группа ТМ-4), которое содержит эффективные противозадирную, моющую и противопенную присадки. Масло ТАД-17и (группа ТМ-5) используется для механизмов трансмиссии автомобилей ВАЗ. Это масло содержит полиметакрилат Д, снижающий температуру застывания, и комплексную присадку, обеспечивающую высокие противозадирные, противоизносные, антикоррозионные и антиокислительные свойства. Оно пригодно для всесезонной работы гипоидных, спирально-конических, конических и червячных передач автомобилей.

Масло ТСП-15к, содержащее комплекс эффективных присадок (группа МТ-3), предназначено для использования в механизмах трансмиссии автомобилей КамАЗ.

#### 41. Масла, рекомендуемые для механизмов трансмиссии автомобилей

| Базовая модель<br>автомобиля                                                                             | Масла, применяемые в |                  |                         |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------------|-------------------------|
|                                                                                                          | коробке пе-<br>редач | ведущем<br>мосту | рулевом управ-<br>лении |
| ЗИЛ-130, ЗИЛ-ММЗ-555,<br>ЗИЛ-131                                                                         | ТАп-15В              |                  | Масло Р                 |
| КамАЗ-5320, КамАЗ-<br>5510, КамАЗ-5410                                                                   | ТСП-15К              |                  | » »                     |
| ГАЗ-12, ГАЗ-21, ГАЗ-<br>24-01, РАФ-977ДМ,<br>РАФ-2203, ЕрАЗ-762                                          | ТАп-15В              | ТСП-14гип        | ТАп-15В                 |
| «Москвич-407», «Мос-<br>квич-408»,<br>«Москвич-412»                                                      | ТАД-17и,<br>ТАп-15В  | ТСП-14гип        | ТАД-17и,<br>ТАп-15В     |
| ЗАЗ-965А, ЗАЗ-966,<br>ЗАЗ-968                                                                            | ТАД-17и или ТАп-15В  |                  |                         |
| ВАЗ-2101, ВАЗ-2103                                                                                       | ТАД-17и              |                  |                         |
| Все модификации авто-<br>мобилей КраЗ, Урал,<br>МАЗ                                                      | ТСП-15к              | ТАп-15В          |                         |
| Все модификации авто-<br>мобилей ЗИЛ, ГАЗ,<br>РАФ, КАЗ, ПАЗ, ЛАЗ,<br>ЗАЗ, кроме перечис-<br>ленных ранее | ТАп-15В              |                  |                         |

Масло меняют 2 раза в год при сезонном техническом обслуживании автомобиля. Если заводской инструкцией предусмотрена одна замена, то это делают при основном техническом обслуживании. Эти масла являются всесезонными.

#### 14.2. Масла для гидромеханических передач

Ввиду жестких условий работы масла для гидромеханических передач должны обладать соответствующими вязкостными и противоизносными свойствами. Эти масла также должны иметь хорошие фрикционные качества, чтобы обеспечить надежную работу фрикционных дисков, предназначенных для переключения скоростей в планетарных коробках гидромеханических передач. Кроме этого, они должны быть нейтральными к различным резиновым изделиям и специальной бумаге, ис-

пользуемой для выполнения рабочих поверхностей дисков. Масла должны обладать высокими противокоррозионными свойствами по отношению к алюминиевым и магниевым сплавам, а также другим металлам, из которых выполнены гидромеханическая передача и вся система автомобильного управления.

Гидравлические масла работают в интервале температур от  $-30$  до  $150^{\circ}\text{C}$ . В связи с этим они должны иметь необходимые низкотемпературные свойства, а также высокие противоокислительные и моющие свойства, чтобы на деталях системы автоматического управления коробки не образовывались различного рода отложения (типа смолисто-асфальтовых продуктов).

Для того чтобы масла для гидромеханических передач обладали требуемыми эксплуатационными свойствами, в них вводят комплекс присадок — моющих, противоизносных, противоокислительных, противокоррозионных, фрикционных и др.

Гидравлические масла выпускают марки ЭШ (ГОСТ 10363—78), предназначенное для гидросистем управления шагающих экскаваторов, и марки А (ТУ 38 101179—70), используемое для гидротрансформаторов автомобилей. Для применения в объемных гидроприводах ведущих колес сельскохозяйственной техники рекомендовано масло МГ-30У, представляющее собой гидравлическое масло МГ-30, в которое введено 1,5 % присадки ДФ-11. Физико-химические свойства этого масла не изменяются в процессе длительной работы на максимальных нагрузочных режимах. В сравнении с маслами марок А и ЭШ масло МГ-30У имеет более высокие про-

#### 42. Основные свойства масел для гидромеханических передач

| Показатели                                         | Масло А для гидротрансформаторов и автоматических коробок передач | Масло Р для системы гидроусилителя рулевого управления и гидрообъемных передач |
|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| Вязкость, $\text{мм}^2/\text{с}$ , при температуре |                                                                   |                                                                                |
| 100 $^{\circ}\text{C}$                             | 7,0                                                               | 3,8                                                                            |
| 50 $^{\circ}\text{C}$                              | 23...30                                                           | 12...14                                                                        |
| -20 $^{\circ}\text{C}$                             | 2100                                                              | 1300                                                                           |
| Температура застывания, $^{\circ}\text{C}$         | -40                                                               | -45                                                                            |
| Кислотное число, $\text{мг КОН/г}$ масла           | 0,07                                                              | 0,30                                                                           |
| Зольность, %                                       | 0,65                                                              | 0,65                                                                           |

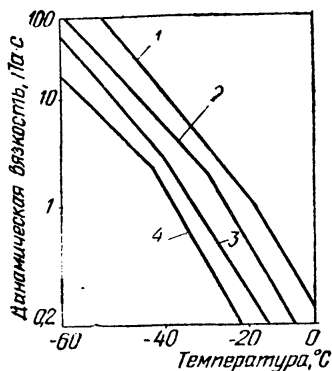


Рис. 98. Влияние температуры на вязкость масла ТСЗп-8 и его смесей с топливом (по данным П. П. Заскалько):

1 — ТСЗп-8; 2, 3 и 4 — смесь ТСЗп-8 с соответственно 10, 20 и 30 % дизельного арктического топлива.

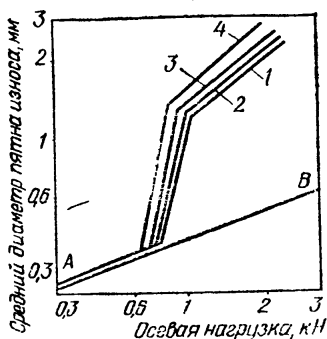


Рис. 99. Зависимость среднего диаметра пятна износа шариков от осевой нагрузки на верхний шарик:

1 — ТСЗп-8; 2, 3 и 4 — смесь ТСЗп-8 с соответственно 10, 20 и 30 % дизельного арктического топлива; АВ — линия упругой деформации шариков (линия Герца).

тивоизносные, противозадирные и вязкостные свойства при рабочих температурах.

В таблице 42 приведены основные показатели масел для гидромеханических передач и рулевого управления.

Для смазывания агрегатов трансмиссий колесных и гусеничных машин с планетарными зубчатыми редукторами, а также в качестве гидравлической жидкости используют трансмиссионное масло ТСЗп-8 (ТУ 38 101313—77). Его получают, загущая маловязкое низкозастывающее масло полимерной присадкой (полиметакрилат с молекулярной массой 3000...4300) и добавляя противозадирную, противозносную, антиокислительную и противопенную присадки.

Масло ТСЗп-8 удовлетворяет требованиям трогания с места машин, имеющих механические передачи: динамическая вязкость этого масла не превышает 100 Па·с при температуре окружающего воздуха до  $-50^{\circ}\text{C}$ . Если масло используют в гидромеханических коробках передач и в муфтах свободного хода, его вязкость должна быть не более 10 Па·с. Для этих условий или подогревают масло в агрегатах, или к нему добавляют определенное количество топлива. Зависимость вязкости масла

ТСЗп-8 и его смесей с дизельным арктическим топливом от температуры приведена на рисунке 98. При добавлении в масло дизельного топлива в приведенном количестве вязкость масла не превышает 10 Па·с. Поэтому трогание с места машин, имеющих гидромеханические коробки передач, становится возможным при более низких температурах.

По результатам исследований смазывающих свойств масла ТСЗп-8 и его смесей на четырехшариковой машине трения установлено, что показатели, характеризующие противозадирные свойства масел, снижаются пропорционально повышению содержания топлива в масле (рис. 99). Однако другие свойства смесей весьма близки свойствам чистого масла, которое обеспечивает надежную работу планетарных редукторов.

### **14.3. Индустриальные масла и их применение**

Масла, применяемые для промышленного оборудования, называются индустриальными. К ним относится большая группа масел для смазывания различных машин и механизмов, подшипников в металлообрабатывающих станках, электродвигателей, генераторов, приборов и другого оборудования. Особенностью условий работы этих масел является рабочая температура, практически не превышающая 50 °С. Их используют также в качестве рабочих жидкостей в гидросистемах различных механизмов (веретенное), для технических целей в металлообрабатывающей промышленности и т. п.

Индустриальные масла делятся на три группы: легкие, средние и тяжелые. Масла в группах различаются значением вязкости, способом очистки и некоторыми другими показателями.

При подборе индустриального масла для промышленного оборудования основным показателем служит вязкость. Индустриальные масла работают длительное время без замены, поэтому они должны быть устойчивы против окисления и не изменять своих первоначальных свойств.

К легким индустриальным относятся масла приборные и сепараторные, обладающие малой вязкостью. Они рекомендуются для смазывания механизмов, работающих с большими скоростями, и контрольно-измеритель-



ных приборов. Наиболее распространенным приборным маслом является вазелиновое МВП, вязкость которого при 50 °С составляет приблизительно 7,5 мм<sup>2</sup>/с, температура застывания — 60 °С.

Сепараторные масла получают смешением маловязкостного дистиллятного масла серно-кислотной очистки с 2...3 % растительного масла (сурепного или горчичного). Их выпускают марки Л — легкие, с вязкостью около 10 мм<sup>2</sup>/с при 50 °С и марки Т — тяжелые, с вязкостью около 15 мм<sup>2</sup>/с.

В соответствии с ГОСТ 20799—75 выпускают промышленные масла марок: И-5А, И-8А, И-12А, И-20А, И-25А

#### 43. Основные показатели промышленных масел

| Марка | Кинематическая вязкость при 50 °С, мм <sup>2</sup> /с | Кислотное число мг КОН/г масла, не более | Температура          |                         | Назначение                                                                                                                |
|-------|-------------------------------------------------------|------------------------------------------|----------------------|-------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|       |                                                       |                                          | вспышки, °С, не ниже | застывания, °С, не выше |                                                                                                                           |
| И-12А | 10...14                                               | 0,05                                     | 165                  | —30                     | Гидравлические системы станков, шпиндели шлифовальных станков, работающие с частотой вращения до 10 000 мин <sup>-1</sup> |
| И-20А | 17...23                                               | 0,05                                     | 180                  | —15                     | Электродвигатели, подшипники вентиляторов, насосов, сверлильных станков при частоте вращения до 1500 мин <sup>-1</sup>    |
| И-30А | 27...33                                               | 0,05                                     | 190                  | —15                     | Гидравлические системы для тяжелых токарных, фрезерных станков с частотой вращения до 1000 мин <sup>-1</sup>              |
| И-10А | 38...52                                               | 0,05                                     | 200                  | —10                     | Крупные и средние станки. Тяжело нагруженные механизмы шаровых машин, насосов, малооборотные двигатели                    |
| И-50А | 42...58                                               | 0,05                                     | 210                  | —20                     | Гидравлические системы тяжелых механизмов, работающие при больших нагрузках, малых скоростях и частых остановах           |

Примечание. Во всех маслах водорастворимые кислоты, щелочи и механические примеси отсутствуют.

(веретенные) и И-40А, И-50А (машинные), И-70А, И-100А, а также веретенное АУ (ГОСТ 1642—75) и трансмиссионное для промышленного оборудования (нигрол) (ТУ 38 101529—75).

Марку масла выбирают по частоте вращения вала и значению нагрузки. Чем выше частота вращения вала, тем меньше должна быть вязкость.

Индустриальные масла одинаковой вязкости взаимозаменяемы, хотя их свойства несколько различаются из-за способа очистки, вида сырья и т. д.

В таблице 43 приведены основные показатели и назначение индустриальных масел, которые имеют наиболее широкое применение в сельскохозяйственном производстве.

#### **14.4. Трансформаторные или электроизоляционные масла**

Трансформаторные масла предназначены для применения в трансформаторах, реостатах, масляных выключателях и других высоковольтных электроаппаратах в качестве изолирующей и теплоотводящей среды.

Основные требования, предъявляемые к трансформаторным маслам: высокая диэлектрическая прочность или высокое пробивное напряжение; соответствующая вязкость для хорошего отвода тепла; низкая температура застывания для обеспечения подвижности масла, высокая устойчивость к окислению и др.

Трансформаторное масло должно обладать высокой диэлектрической прочностью не только в первый период его применения в трансформаторе, но и в течение длительного времени его работы. Снижение диэлектрической прочности из-за окисления углеводородов масла и образования в нем органических кислот, попадания в масло воды и различных механических примесей может привести к замыканию и аварийному состоянию электросистемы. Поэтому свойства трансформаторного масла должны быть постоянны в течение длительного времени их использования. Вместимость трансформаторов весьма значительна, и частая замена масла приводит к большим экономическим затратам, а также к отключению системы.

Трансформаторные масла получают из дистиллятных продуктов переработки высококачественных малосмо-

#### 44. Основные показатели электроизоляционных масел

| Марка                                      | Вязкость<br>при 50 °С,<br>мм <sup>2</sup> /с, не<br>более | Кислотное<br>число,<br>мг КОН/г<br>масла, не<br>более | Зольность,<br>%, не более | Температура, °С     |                             | Назначение                                            |
|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------------|
|                                            |                                                           |                                                       |                           | вспышки,<br>не ниже | застыва-<br>ния, не<br>выше |                                                       |
| Трансформаторные                           |                                                           |                                                       |                           |                     |                             |                                                       |
| ТКп (ГОСТ 982—68)                          | 9,0                                                       | 0,02                                                  | 0,005                     | 135                 | —45                         | Для изоляции и теплоот-<br>вода в токонесущих частях  |
| ТК (ГОСТ 992—68)                           | 9,6                                                       | 0,05                                                  | 0,005                     | 135                 | —45                         | трансформаторов, вклю-<br>чателей и другого электро-  |
| Адсорбционной очистки (ТУ<br>38 101281—80) | 9,0                                                       | 0,03                                                  | 0,005                     | 135                 | —50                         | оборудования                                          |
| Селективной очистки (ГОСТ<br>10121—76)     | 9,0                                                       | 0,02                                                  | 0,005                     | 150                 | —45                         |                                                       |
| Конденсаторные                             |                                                           |                                                       |                           |                     |                             |                                                       |
| Серно-кислотной<br>(ГОСТ 5775—68)          | очистки 9,0...12,0                                        | 0,002                                                 | 0,0015                    | 135                 | —45                         | Для заливки и пропитки<br>изоляции бумажно-масля-     |
| Фенольной очистки (ГОСТ<br>5775—68)        | 9,0                                                       | 0,02                                                  | 0,005                     | 150                 | —45                         | ных конденсаторов, исполь-<br>зуемых в электротехнике |
| Кабельные                                  |                                                           |                                                       |                           |                     |                             |                                                       |
| С-220 (ГОСТ 8463—76)                       | Не ниже 50,0                                              | 0,002                                                 | 0,0001                    | 180                 | —30                         | Для пропиточной и изо-                                |
| МН-4 (ТУ 38101654—76)                      | Не более 10,0                                             | 0,04                                                  | 0,005                     | 135                 | —45                         | лирующей среды в масло-<br>наполненных кабелях        |

листных и беспарафинистых нефтей. Они подвергаются глубокой очистке серной кислотой, затем проходят фенольную очистку с последующей низкотемпературной депарафинизацией. Основными трансформаторными маслами являются: масло марки ТКп, которое содержит 0,2 % антиокислительной присадки дибутилкрезола ДБК и ТК и марки ТК без присадки (оба соответствуют ГОСТ 982—80).

Существуют также трансформаторные масла без марок, характеризующиеся по способу их очистки.

В таблице 44 приведены основные показатели электроизоляционных масел.

Для надежной работы трансформаторов масло периодически анализируют. Масло бракуют при повышении вязкости на 10 %, при значении кислотного числа, превышающем 0,6 кг КОН/г масла; при появлении кислотной реакции водной вытяжки масла и накоплении взвешенных углеродистых частиц и воды.

#### **14.5. Масла для холодильных установок, компрессорные, цилиндровые и турбинные**

Масла для компрессоров холодильных машин, которые работают на углекислоте, аммиаке и фреонах различных марок, выпускают с холодильным агентом.

Основные требования к этим маслам: низкая температура застывания, пологая вязкостно-температурная кривая, хорошие антиокислительные и противокоррозионные свойства. Масла для холодильных машин должны обладать высокой стабильностью и работать весь период эксплуатации без замены.

В соответствии с ГОСТ 5546—66 для холодильных машин выпускают масла нескольких марок:

ХА (фригус), являющееся дистиллятным маслом, содержащим депрессор; ХА-23 и ХА-30 — смеси дистиллятных и остаточных масел. Масла этих марок предназначены для холодильных машин, работающих на аммиаке и углекислоте.

Кинематическая вязкость масла ХА (фригус) при 50 °С — 11...14 мм<sup>2</sup>/с, температура застывания ниже —40 °С. Цифры в марках масел ХА-23 и ХА-30 означают

кинематическую вязкость масла при 50.°С. Температура застывания их также около —40 °С.

Для холодильных машин, работающих на фреоне 12, выпускают масло ХФ-12-18 с добавлением антиокислительной присадки. В случае применения фреона 18 для холодильных машин используют масла: ХФ-22-24 загущенное и ХФ-22С-16 синтетическое с антиокислительной присадкой, которое работает в интервале температур —50...—80 °С. Масла последних двух марок заменителей не имеют и невзаимозаменяемы.

Масла для холодильных машин не должны содержать воды и механических примесей и не вызывать коррозии металлов.

**Компрессорные масла** используют для смазывания цилиндров компрессоров и герметизации камер сжатия воздуходувок. В этих условиях они подвергаются воздействию температур до 220...250 °С и давлению 15...20 МПа, поэтому они должны обладать достаточно высокой термической стабильностью, соответствующей вязкостью и хорошими противокоррозионными свойствами.

Изготавливают компрессорные масла из малосмолистых, малосернистых и сернистых нефтей с применением глубокой очистки. Для одноступенчатых компрессоров низкого давления выпускают компаундированные масла, для многоступенчатых высокого давления — высоковязкие остаточные масла.

Компрессорные масла вырабатывают следующих марок: К-12 и К-19 из малосернистых нефтей (ГОСТ 1861—73); КС-19 из сернистых нефтей (ГОСТ 9243—75). Цифра в марке масла показывает кинематическую вязкость при 100 °С. Эти масла высокостабильны; температура вспышки их порядка 220...270 °С, причем с повышением вязкости масла температура вспышки возрастает. Температура застывания — около —15 °С.

Масло марки 12 рекомендуется для смазывания горизонтальных двух- и трехступенчатых компрессоров низкого и среднего давления, а также для одноступенчатых вертикальных компрессоров; масла марки 19 — для многоступенчатых компрессоров высокого давления.

**Цилиндровые масла** предназначаются для смазывания паровых машин и механизмов, имеющих большие нагрузки и малые скорости.

В зависимости от условий работы цилиндровые масла подразделяются на легкие и тяжелые.

Легкие цилиндрические масла применяют в машинах, работающих на насыщенном паре. Они представляют собой дистиллятные масла серно-кислотной или щелочной очистки. Это цилиндрическое 11 и цилиндрическое 24, выпускаемые в соответствии с ТУ 380185—75. Кинематическая вязкость их при 100 °С 9...13 мм<sup>2</sup>/с, температура застывания около 0 °С.

Тяжелые цилиндрические масла рекомендуются для смазывания машин, работающих на перегретом паре. Это масла: цилиндрическое 38 и цилиндрическое 52 (ГОСТ 6411—76), представляющие собой смесь дистиллятных и остаточных масел.

В цилиндрических маслах не допускается содержание воды, механических примесей, водорастворимых кислот и щелочей.

Турбинные масла используют для смазывания и охлаждения подшипников и вспомогательных частей паровых и водяных турбин, турбокомпрессоров и других машин, имеющих циркуляционную смазочную систему. Эти масла работают длительное время без замены, поэтому они должны обладать высокой стабильностью и хорошей деэмульгирующей способностью. Последний показатель наряду с вязкостью является важнейшим оценочным показателем турбинных масел.

По значению вязкости турбинные масла (ГОСТ 32—74) маркируют: ТП-22 (с антиокислительной присадкой ВТИ-1); Т-22, Тп-30, Т-30, Тп-46 и Т-57. Цифры при марке масла означают кинематическую вязкость при 50 °С.

Турбинные масла выпускают с композицией присадок, улучшающих деэмульгирующие, антиокислительные и противокоррозионные свойства масел.

Зольность базовых турбинных масел не превышает 0,005...0,010 %. Наличие воды, механических примесей, водорастворимых кислот и щелочей не допускается.

Масла, рассмотренные в данном параграфе, в сельскохозяйственном производстве применяются весьма ограниченно, главным образом в турбонасосах воздуходувок, электрических генераторах.

Однако эти масла при использовании в машинах нужно также строго контролировать как по соответствию требованиям ГОСТ, так и по качественному состоянию при их эксплуатации, чтобы обеспечить надежную работу механизмов.

### **15.1. Понятие о пластичных смазках, основные виды и назначение**

Пластичные смазки, представляющие собой мазеобразные продукты, по общим свойствам находятся между жидкими маслами и твердыми смазочными материалами, ибо они сочетают свойства жидкости и твердого тела. Вещество пластичной смазки состоит из структурного каркаса, образованного твердыми частицами загустителя (дисперсная фаза), и жидкого масла, включенного в ячейки этого твердого каркаса (дисперсионная среда).

Особенностью пластичных смазок является обратимость процесса разрушения структурного каркаса: под действием больших нагрузок каркас разрушается, и смазка работает как жидкость; при снятии нагрузки каркас мгновенно восстанавливается, и смазка вновь приобретает свойства твердого тела.

Пластичные смазки состоят из смеси минерального масла (80...90 %) и загустителя (10...20 %); в небольшом количестве вводятся наполнители, стабилизаторы и присадки. Основное свойство смазке придает вводимый в масло загуститель.

Загустители бывают мыльные и немыльные. К мыльным загустителям относятся соли натуральных или синтетических жирных кислот, из которых наиболее широко применяются кальциевые, литиевые, натриевые, бариевые, алюминиевые, цинковые, свинцовые соли и др. Смазки с этими загустителями могут быть средне- и высокотемпературными.

К немыльным загустителям относятся твердые углеводороды — парафины, церезины, воски, озокериты и подобные им продукты. Пластичные смазки, изготовленные с применением немыльных загустителей, являются влагостойкими низкотемпературными смазками. Они применяются в основном как консервационные защитные смазки.

Назначение пластичных смазок весьма обширно: смазывание открытых и негерметизированных узлов трения и механизмов, труднодоступных узлов трения, где следует обеспечить длительный срок службы смазки; дли-

тельная консервация машин и рабочих поверхностей; герметизация подвижных уплотнений, наполнение герметизированных подшипников; смазывание механизмов, в которых недопустимо разбрызгивание смазочного масла, и т. п.

Для обеспечения надежной и долговечной эксплуатации машин и механизмов при выборе смазки определяющими факторами являются: соответствие смазки условиям работы механизма, машины; оптимизация режимов смазывания механизмов как в условиях эксплуатации, так и при консервации; правильная расфасовка смазки, обеспечивающая сохранность свойств и наиболее экономное расходование, и др.

В исследовании пластичных смазок широко известны работы советских ученых Д. С. Великовского, Г. В. Виноградова, П. А. Ребиндера, М. П. Воларовича, В. В. Сеницина и др.

В соответствии с ГОСТ 23258—78 пластичные смазки по применению делятся на: *антифрикционные* — общего назначения для обычных и повышенных температур, многоцелевые, высокотемпературные и низкотемпературные; *защитные* — общего назначения и канатные; *уплотнительные* — арматурные, резьбовые и вакуумные.

Показатели и признаки качества пластичных смазок, которые определяют их эксплуатационные и физико-химические свойства, делятся на обязательные для всех видов смазок и обязательные для отдельных видов.

К обязательным показателям и признакам качества для всех видов смазок относятся: внешний вид, содержание воды и механических примесей, коррозионная активность.

Обязательные показатели качества для отдельных видов пластичных смазок следующие: предел прочности; температура каплепадения; эффективная вязкость; содержание свободных щелочей и органических кислот; коллоидная и механическая стабильность; термоупрочнение; испаряемость; содержание водорастворимых кислот и щелочей; показатели защитных, противозадирных и противоизносных свойств; растворимость в воде.

Наиболее многочисленной является группа антифрикционных смазок, назначение которых — снижение износа и трения скольжения в сопряженных узлах. В эту группу входят смазки следующих видов: *общего назначения* и *многоцелевые* — солидол жировой и синтетический,



консталин, графитная смазка, смазка ВНИИНП-242, Литол-24; термо- и морозостойкие, противозадирные и физически стойкие ТОН-54п, самолетомоторная тугоплавкая СТ; ЦИАТИМ-201, 203, 205 и 221; смазка МС-70; ВНИИНП-279, 246 и 207; приборные ЦИАТИМ-202; ВНИИНП-223, 228, 257, 260, 274; смазка ОКБ-122-7; часовая смазка РС-1 общего назначения; *индустриальные и транспортные* карданная АМ; автомобильная; железнодорожная ЛЗ-ЦНИИ; УНИОЛ-2; ЛЗ-31; канатные и консервационные АМС; предохранительная ПП 95/5; для пропитки органических сердечников стальных канатов; кремнийорганический вазелин КВ-3/10Э; пластичная ПВК; Торсиол-55; *вазелины* медицинский; конденсаторный; ветеринарный ВСХВ, *уплотнительные* снаряжная ВС; лайнерная; графитная БВН-1; бензиноупорная; ВНИИНП-263; замазка ЗЗК-3у; паста ВНИИНП-225.

## 15.2. Наименование и обозначение смазок

Наименование смазки обычно состоит из одного слова, а для модификаций дополнительно используют буквенные или цифровые индексы. Например: *солидол С*, *солидол Ж*, *карданная Фиол-1*, *Фиол-2*, *тормозная ЦИАТИМ-221 Д* и т. д. Обозначение пластичной смазки характеризует ее назначение, состав и свойства. Обозначение состоит из пяти буквенных и цифровых индексов, которые располагаются в следующем порядке и указывают: группу (подгруппу) в соответствии с назначением смазки; загуститель; рекомендованный (условный) температурный интервал применения; дисперсионную среду; консистенцию смазки.

Группу или подгруппу смазки обозначают индексами — прописными буквами русского алфавита: С — общего назначения для обычных температур (солидолы); О — общего назначения для повышенных температур, М — многоцелевые, Ж — термостойкие, Н — морозостойкие, И — противозадирные и противоизносные, Х — химически стойкие, П — приборные и т. д. В таблице 45 приведены группы и подгруппы смазок, их назначение и область применения.

Тип загустителя в пластичной смазке обозначают также буквами русского алфавита в соответствии с индексами, приведенными в таблице 46.

| Группа          | Основное назначение                                         | Подгруппа                                           | Индекс | Область применения                                                                                                                                                                                                                       |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Антифрикционные | Для снижения износа и трения скольжения сопряженных деталей | Общего назначения для обычных температур (солидолы) | С      | Узлы трения с рабочей температурой до 70 °С                                                                                                                                                                                              |
|                 |                                                             | Общего назначения для повышенных температур         | О      | Узлы трения с рабочей температурой до 100 °С                                                                                                                                                                                             |
|                 |                                                             | Многоцелевые                                        | М      | Узлы трения с рабочей температурой от -30 до 130 °С в условиях повышенной влажности. В достаточно мощных механизмах сохраняют работоспособность до -40 °С и ниже                                                                         |
|                 |                                                             | Термостойкие                                        | Ж      | Узлы трения с рабочей температурой 150 °С и выше                                                                                                                                                                                         |
|                 |                                                             | Морозостойкие                                       | Н      | Узлы трения с рабочей температурой -40 °С и ниже                                                                                                                                                                                         |
|                 | Противозадирные и противозносные                            |                                                     | И      | Подшипники качения при контактных напряжениях выше 2500 МПа (25 000 кгс/см <sup>2</sup> ) и подшипники скольжения при удельных нагрузках выше 150 МПа (1500 кгс/см <sup>2</sup> ). Содержат противозадирные присадки или твердые добавки |

#### 46. Индексы загустителей смазок

| Загуститель                 | Индекс                         | Загуститель           | Индекс   |
|-----------------------------|--------------------------------|-----------------------|----------|
| <i>Мыло</i>                 | <i>М</i>                       | <i>Органические</i>   | <i>О</i> |
| Алюминиевое                 | Ал                             | Пигменты              | Пг       |
| Бариевое                    | Ба                             | Полимеры              | Пм       |
| Кальциевое                  | Ка                             | Уреаты                | Ур       |
| Литиевое                    | Ли                             | Фторуглероды          | Фу       |
| Натриевое                   | На                             |                       |          |
| Свинцовое                   | Св                             | <i>Неорганические</i> |          |
| Цинковое                    | Цн                             |                       |          |
| Комплексное                 | кМ                             | Глины (бетонитовые    | Бн       |
| Смесь мыл                   | М <sub>1</sub> -М <sub>2</sub> | и др.)                |          |
|                             |                                | Сажа                  | Сж       |
| <i>Углеводороды твердые</i> | <i>Т</i>                       | Силикагель            | Си       |

Комплексное мыло обозначают строчной буквой К русского алфавита, после которой указывают индекс соответствующего мыла: кКа, кБа и т. д. Смесь двух и более загустителей обозначают составным индексом: Ка-На, Ли-Ба, Си-Пг и т. д. Индексы М, О, Н применяют только в тех случаях, когда загуститель, входящий в одну из трех групп (мыла, органические вещества, неорганические вещества), не предусмотрен перечнем таблицы 46.

Рекомендуемый температурный интервал применения смазки обозначают дробью округленно до 10 °С. В числителе указывают (без знака минус) уменьшенную в 10 раз максимальную температуру (например, индекс 3/12 соответствует температурному интервалу от —30 до 120 °С). Температурный интервал применения носит ориентировочный характер, так как допустимые значения температур зависят не только от свойств смазки, но и от конструкции и условий работы (скорость, нагрузка, срок замены смазки) смазываемого узла трения, механизма и т. п.

За минимальную температуру применения принимают такую, при которой вязкость смазки, определенная в соответствии с ГОСТ 7163—63, равна 2000 Па·с. Для приработочных, узкоспециализированных, брикетных, консервационных, канатных, резьбовых смазок за минимальную и максимальную принимают температуры, рекомендуемые технической документацией на смазку.

Тип дисперсионной среды и присутствие твердых добавок обозначают строчными буквами русского алфавита в соответствии с индексами, приведенными в таблице 47.

#### 47. Индексы для составляющих смазки

| Составляющие смазки                                                    | Индекс |
|------------------------------------------------------------------------|--------|
| <i>Дисперсионная среда</i>                                             |        |
| Нефтяное масло                                                         | н      |
| Синтетические углеводороды (алкилароматические, изо-парафиновые и др.) | у      |
| Кремнийорганические жидкости                                           | к      |
| Сложные эфиры                                                          | э      |
| Галогенуглеродные жидкости                                             | ж      |
| Фторсилоксаны                                                          | ф      |
| Перфторалкилполиэфиры                                                  | а      |
| Прочие масла и жидкости                                                | п      |
| <i>Твердые добавки</i>                                                 |        |
| Графит                                                                 | г      |
| Дисульфид молибдена                                                    | д      |
| Порошки:                                                               |        |
| свинца                                                                 | в      |
| меди                                                                   | м      |
| цинка                                                                  | ц      |
| Прочие твердые добавки                                                 | т      |

Смесь двух и более масел обозначают составным индексом: нк, уэ и т. д. На первом месте ставят индекс масла, входящего в состав дисперсионной среды, в большей концентрации.

Индекс «п» применяют в тех случаях, когда входящее в состав дисперсионной среды синтетическое или иное масло не предусмотрено перечнем таблицы 47. Индекс указывают через дефис после индекса температурного интервала или индекса дисперсионной среды.

Индекс класса консистенции смазки обозначают арабскими цифрами в соответствии с данными, приводимыми в таблице 48.

Пластичные смазки, имеющие промежуточное значение пенетрации, относят к ближайшему классу консистенции. Между индексом консистенции и цифровым индексом температурного интервала ставят дефис.

#### 48. Значения индекса класса консистенции смазки

| Пенетрация при<br>25 °С<br>(ГОСТ 5346—78) | Индекс класса<br>консистенции | Пенетрация при<br>25 °С<br>(ГОСТ 5346—78) | Индекс класса<br>консистенции |
|-------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------|
| 400...430                                 | 00                            | 175...205                                 | 4                             |
| 335...385                                 | 0                             | 130...160                                 | 5                             |
| 310...340                                 | 1                             | 85...115                                  | 6                             |
| 265...295                                 | 2                             | Ниже 70                                   | 7                             |
| 220...250                                 | 3                             |                                           |                               |

Ниже приводятся примеры обозначений пластичных смазок.

Смазка СК<sub>а</sub> 2/8-2: буква С — смазка общего назначения для обычных температур (солидол); К<sub>а</sub> — загущена кальциевым мылом; 2/8 — предназначена для применения при температурах —20...80 °С (вязкость смазки при —20 °С близка к 2000 Па·с); отсутствие индекса дисперсионной среды — приготовлена на нефтяном масле; 2 — пенетрация 265...296 при 25 °С.

Смазка МЛ<sub>и</sub> 3/13-3: буква М — многоцелевая; Л<sub>и</sub> — загущена литиевым мылом; 3/13 — предназначена для применения при температурах —30...130 °С; отсутствие индекса дисперсионной среды — приготовлена на нефтяном масле; 3 — пенетрация 220...250 при 25 °С.

Смазка УН<sub>а</sub> 3/12 э3; буква У — узкоспециализированная; Н<sub>а</sub> — загущена натриевым мылом; 3/12 — предназначена для применения при температурах —30...120 °С; э — приготовлена на сложном эфире, 3 — пенетрация 220...250 при 25 °С.

Смазка КТ 6/5 к4: буква К — канатная; Т — загущена твердыми углеводородами; 6/5 — предназначена для применения при температурах —60...50 °С, к — приготовлена на кремнийорганической жидкости, 4 — пенетрация 175...205 при 25 °С.

Смазка АЦ<sub>н</sub> 0/4 п7: буква А — арматурная; Ц<sub>н</sub> — загущена цинковым мылом; 0/4 — предназначена для применения при температурах 0...40 °С; п — приготовлена на масле, тип которого не предусмотрен перечнем таблицы 47; 7 — пенетрация ниже 70 при 25 °С.

Обозначение смазки указывают в вводной части нормативно-технической документации на пластичную смазку.

Наряду с обозначением смазки в нормативно-технической документации указывают необходимые сведения о

## 49. Состав и основные характеристики пластичных смазок

| Загуститель | Дисперсионная среда                              | Температура каплепадения или плавления, °C | Максимальная температура применения, °C | Водостойкость | Защитные свойства | Механическая стабильность |
|-------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------|---------------|-------------------|---------------------------|
| Ал          | Нефтяное масло                                   | 70...100                                   | 80                                      | Очень хорошая | Очень хорошие     | Низкая                    |
| кАл         | »                                                | 250...300                                  | 150                                     | Хорошая       | Хорошие           | Очень хорошая             |
| кАл         | Кремнийорганическая жидкость                     | 250...300                                  | 200                                     | »             | »                 | »                         |
| Ба          | Нефтяное масло                                   | 90...120                                   | 90                                      | »             | »                 | Хорошая                   |
| кБа         | »                                                | 150...230                                  | 150                                     | »             | »                 | »                         |
| Ка          | »                                                | 75...100                                   | 70                                      | »             | »                 | Средняя                   |
| кКа         | »                                                | 200...250                                  | 120                                     | »             | »                 | Хорошая                   |
| кКа         | Кремнийорганическая жидкость                     | 200...250                                  | 160                                     | Средняя       | Средние           | Средняя                   |
| Ли          | Нефтяное масло                                   | 180...200                                  | 130                                     | Хорошая       | Хорошие           | Низкая                    |
| На          | Нефтяное масло                                   | 120...200                                  | 110                                     | Низкая        | Низкие            | Средняя                   |
| кНа         | »                                                | 200...250                                  | 150                                     | »             | »                 | Хорошая                   |
| Т           | »                                                | 50...70                                    | 50                                      | Очень хорошая | Очень хорошие     | »                         |
| Пг          | Кремнийорганическая жидкость                     | Не имеет                                   | 250                                     | Хорошая       | Средние           | Хорошая                   |
| Ур          | »                                                | »                                          | 180                                     | »             | Хорошие           | »                         |
| Пм          | Нефтяное масло                                   | »                                          | 100                                     | »             | »                 | Средняя                   |
| Фу          | Галогенуглеродные жидкости                       | »                                          | 150                                     | Средняя       | Низкие            | Низкая                    |
| Си          | Кремнийорганические и галогенуглеродные жидкости | »                                          | 150                                     | Хорошая       | »                 | Хорошая                   |
| Бн          | Нефтяное масло                                   | »                                          | 120                                     | »             | Средние           | »                         |

ее составе, назначении и контролируемых характеристиках.

В таблице 49 приведены состав и основные характеристики пластичных смазок.

### **15.3. Краткая характеристика пластичных смазок для сельскохозяйственной техники**

Наиболее широко распространенными водостойкими смазками для смазывания узлов трения и качения различных машин и механизмов являются кальциевые смазки — солидолы. Основную часть вырабатываемых солидолов составляют синтетические.

**Синтетические солидолы СКа 2/7-2 (ГОСТ 4636—76)** готовят загущением масел средней вязкости гидратированными кальциевыми мылами синтетических жирных кислот, полученных окислением парафина. Температура применения синтетических солидолов не превышает 50...70 °С. Выше этой температуры они необратимо распадаются. Солидол С можно заправлять в узлы трения до температуры —10 °С, а пресс-солидолы С — до температуры —20 °С.

Синтетические солидолы обладают хорошей коллоидной стабильностью. Их используют как консервационные смазки, так как они практически не смываются дождем с открытых поверхностей.

Пресс-солидол С используют для смазывания узлов трения шасси автомобилей; солидол С — в качестве летней и зимней смазки для различных узлов трения. Недостатком последнего является относительно низкая механическая стабильность.

**Жировые солидолы (ГОСТ 1033—79)** в отличие от синтетических загущаются кальциевыми мылами жирных кислот, входящих в состав естественных жиров. Жировые солидолы выпускают двух марок: пресс-солидол Ж и солидол Ж. Жировые солидолы взаимозаменяемы с синтетическими.

**Графитная смазка СКа 2/6-г3 (УССА) (ГОСТ 3333—80)** готовится из высоковязкого цилиндрического масла с введением кальциевого мыла и графита. Эта смазка применяется для тяжело нагруженных тихоходных механизмов, в рессорах, резьбовых соединениях, торсион-

ных подвесках машин и т. д. Температурный предел применения — 20...60 °С.

**Жировой консталин** (универсальная тугоплавкая смазка УТ) (ГОСТ 23258—78) двух марок: консталин-1 — ОНа 2/11-3 и консталин-2 — ОНа 2/11-4, которые различаются температурой каплепадения и значением пенетрации. Получают жировые консталлины загущением очищенного или выщелоченного минерального масла натриевыми мылами. Применяется для подшипников качения с температурой до 120 °С.

**Автомобильная смазка ОНаКа 3/10-2** (ГОСТ 9432—60) предназначена для смазывания подшипников ступиц колес, червячного вала коробки передач и других узлов автомобилей. Она почти нерастворима в воде, но эмульгируется при длительном пребывании во влажной атмосфере. Ввиду относительно мягкой консистенции и пониженной вязкости при обычных температурах эта смазка хорошо смазывает подшипники качения. Температура каплепадения — не ниже 150 °С.

**Смазка МЛи 4/12-3 (Литол-24)** (ГОСТ 21150—75) — антифрикционная многоцелевая водостойкая. Предназначена для применения в узлах трения колесных и гусеничных транспортных средств и промышленного оборудования, работающих при температурах — 40...120 °С.

Смазка Литол-24 изготавливается загущением минерального масла литиевыми мылами 12-оксистеариновой кислоты с добавлением антиокислительной присадки.

**Смазка УЛи 4/13-э3 (13-31)** (ГОСТ 24300—80) представляет собой синтетическое масло, загущенное стеаратом лития и содержащее вязкостную, антиокислительную и антикоррозионную присадки.

Назначение смазки — закрытые подшипники качения, которые работают в интервале температур от — 40 до 130 °С.

**Смазка ЦИАТИМ-201** (ГОСТ 6267—74) предназначена для смазывания приборов и механизмов, работающих с малым усилием сдвига при температурах — 60... 90 °С.

**Карданная смазка УНа 2/10-2 (АМ)** (ГОСТ 5730—51) применяется при смазывании поворотных цапф переднего ведущего моста автомобилей. Температура каплепадения — не ниже 115 °С, пенетрация 220...270 при 25 °С.

**Смазка Униол** относится по составу к комплексным кальциевым смазкам, приготовляемым на мылах высо-



ко- и низкомолекулярных кислот. Униол водостоек даже в кипящей воде. Минимальная температура применения Униола примерно одинакова со смазками 1-13 и солидолом С, а по максимальной температуре превосходит их и хорошо выдерживает рабочую температуру порядка 150...160 °С. Обладает хорошей коллоидной устойчивостью и высокими противозадирными свойствами. Недостатком Униола является его гигроскопичность, что требует хранения его в герметичной таре. Эти недостатки исключены в Униоле-1, приготовляемом на вязком авиационном масле. Униол может применяться в качестве единой автомобильной смазки взамен солидола, смазок 1-13, ЯНЗ-2 и др.

**Высокотемпературные смазки** предназначены для узлов трения, работающих при температуре 150...250 °С. К этим смазкам относятся самолетомоторная тугоплавкая СТ (ГОСТ 5573—67), ЦИАТИМ-221 (ГОСТ 9433—80) и др.

**Низкотемпературные смазки** предназначаются для смазывания при низких температурах. К ним относятся смазки ЦИАТИМ-201 и 203, МС-70, ГОИ-54п и др.

**Смазка ЦИАТИМ-203 (ГОСТ 8773—73)** предназначена для смазывания механизмов, работающих при высоких удельных нагрузках и температуре —50...90 °С.

**Консервационные смазки** — это смазки с углеводородными загустителями: НТ 5/5-3 (ГОИ-54п), ПВК, содержащие загуститель церезин. Смазка НТ 5/5-3 (ГОИ-54п) (ГОСТ 3276—74) используется для смазывания приборов и механизмов, работающих при температурах —40...50 °С, и защиты металлических поверхностей от коррозии.

**Пластичная смазка ЗТ 5/5-5 (ПВК) (ГОСТ 19537—74)** предназначена для защиты от коррозии металлических изделий при температурах —50...50 °С в условиях складского хранения и на открытых площадках под навесами и чехлами. Смазка ПВК получается сплавлением петролатума с вязким остаточным маслом, куда дополнительно вводят 5 % церезина и присадку. Она обладает высокими водостойкостью и стабильностью, не растворима в воде, что позволяет защищать детали от коррозии в течение 10 лет.

В таблице 50 представлены некоторые физико-химические и эксплуатационные показатели ряда антифрикционных пластичных смазок.

| Марка                              | Примерный состав                                                            | Эффектив-<br>ная вяз-<br>кость при<br>0 °С и ско-<br>рости де-<br>формации<br>10 с <sup>-1</sup> ,<br>Па·с | Пенет-<br>рация<br>при<br>25 °С | Предел<br>прочности<br>при 50 °С,<br>Па·с, не<br>менее | Темпера-<br>тура кап-<br>лепада-<br>ния, °С | Температурный<br>предел работо-<br>способности, °С |              | Область применения                                                                                  |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------|----------------------------------------------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    |                                                                             |                                                                                                            |                                 |                                                        |                                             | нижний                                             | верх-<br>ний |                                                                                                     |
| Силидолы<br>жировые                | Индустриальное<br>масло, кальциевые<br>мыла растительных<br>масел           | 100...250                                                                                                  | —                               | 100...200                                              | 75...55                                     | -50...<br>-25                                      | 65           | Автомобили, трак-<br>торы, комбайны, сель-<br>скохозяйственные ма-<br>шины<br>То же                 |
| Силидолы<br>синтетиче-<br>ские     | Индустриальное<br>масло, кальциевые<br>мыла синтетических<br>кислот         | 100...200                                                                                                  | —                               | 1000...200                                             | —                                           | -50...<br>-25                                      | 65           |                                                                                                     |
| Консталин<br>жировой               | Индустриальное<br>масло, натриевые мы-<br>ла растительных ма-<br>сел        | —                                                                                                          | 225...275                       | —                                                      | 130                                         | 0                                                  | 110          | Подшипники каче-<br>ния ступиц колес,<br>карданных валов,<br>осей и шарниров пе-<br>даль управления |
| Графитная<br>СКа 2/6-г3<br>(УССА)  | Цилиндровое мас-<br>ло, кальциевые мыла<br>синтетических жир-<br>ных кислот | —                                                                                                          | 250                             | —                                                      | 77                                          | -20                                                | 65           | Рессоры автомоби-<br>лей, подвеска захо-<br>вой части тракторов,<br>тросы и др.                     |
| Смазка<br>МЛи 4/12-3<br>(Литол-24) | Минеральные мас-<br>ла, литиевые мыла,<br>присадки                          | 280                                                                                                        | 220...250                       | 450                                                    | 180                                         | -40                                                | 110          | Универсальная, уз-<br>лы трения автомоби-<br>лей и тракторов                                        |
| Карданная<br>УНа 2/10-2<br>(АМ)    | Минеральное мас-<br>ло, натриевые мыла                                      | —                                                                                                          | 220...275                       | —                                                      | 115                                         | -30                                                | 100          | Ведущие мосты ав-<br>томобилей                                                                      |

#### **15.4. Требования и основные виды смазок для автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин**

Для надежной работы в различных условиях пластичные смазки должны обладать следующими характеристиками:

- высоким пределом прочности, чтобы удерживаться на вертикальных и наклонных плоскостях, движущихся деталях и трудногерметизируемых узлах трения;

- соответствующим значением пенетрации, т. е. густотой, обеспечивающей надежное смазывание без вытекания;

- определенным температурным пределом работоспособности и в связи с этим необходимой температурой каплепадения;

- стабильностью первоначальных свойств;

- высокой устойчивостью к испарению и соответствующей эффективной вязкостью;

- хорошей коллоидной и химической стабильностью, не расслаиваться и не окисляться в процессе работы и хранения;

- хорошими противокоррозионными и защитными свойствами, а также высокими противоизносными и противозадирными качествами.

Сельскохозяйственное производство является одним из основных потребителей пластичных смазок как по количеству, так и по ассортименту. В таком масштабе вопросы правильного использования смазок для различных узлов и механизмов тракторов, автомобилей и сельскохозяйственных машин превращаются в сложную и ответственную задачу. Применение смазки несоответствующей марки может повлечь за собой уменьшение срока работы деталей вплоть до аварийного состояния механизма и машины.

**Смазки для автомобилей.** В автомобилях смазыванию подлежат подшипники качения ступиц колес, шарниры рулевого управления, подшипники водяного насоса, выжимные подшипники муфты сцепления и т. д. Условия работы смазки в этих узлах трения неодинаковы. Поэтому в автомобиле применяются смазки, различные по своему назначению и эксплуатационным свойствам.

В связи с тем, что стоимость смазочных операций составляет весомую часть расходов на техническое обслужи-

живание, перспективным направлением следует считать применение подшипников с разовой смазкой.

Наиболее широко распространенными смазками для автомобилей являются: автомобильная, синтетический солидол и жировой пресс-солидол, Литол-24, ЛЗ-31, ЦИАТИМ-201, карданная АМ, ПВК, графитная и др.

Для шарниров поперечной и рулевой тяг, шкворней поворотных кулаков, скользящих вилок и шлицев карданных валов, ступиц передних и задних колес, подшипников водяных насосов и других сборочных единиц рекомендуются солидол С, Литол-24; для выжимного подшипника муфты сцепления — ЛЗ-31; подшипников генератора — ЦИАТИМ-201; для смазывания рессор — графитная смазка; шарниров полуосей и переднего ведущего моста — карданная АМ, Литол-24; для консервации — солидол С, ПВК и т. д.

Срок замены смазки в большинстве случаев составляет 2...3 тыс. ч; для шарниров рулевых тяг — 1500 ч; для ступиц колес — 6...8 тыс. ч.

Расход смазок при эксплуатации автомобилей — 0,1...0,2 кг на 100 л используемого топлива.

**Смазки для тракторов.** В тракторах смазывают узлы трения подвески, ходовой части, управления. В основном используют солидол С, так как температура в катках, ступицах колес, карданных валах, подшипниках муфт сцепления не превышает 50...60 °С.

Кроме силодола С, для подшипника водяного насоса, главной передачи, муфты сцепления применяют смазку 1-13, для генераторов — смазку ЦИАТИМ-201.

Для консервации рекомендуется солидол С или смазка ПВК. Срок замены смазки у тракторов в зависимости от вида узла трения составляет от 8 до 240 и 500 ч работы.

В большинстве тракторов пластичных смазок расходуется 0,5...0,8 % от расхода топлива.

**Смазки для сельскохозяйственных машин.** Поскольку сельскохозяйственные машины работают с низкими скоростями и температурами и при относительно небольших нагрузках, для смазывания их узлов трения и подшипников применяют главным образом солидолы. Расход пластичных смазок для простых сельскохозяйственных машин составляет 10...15 г/га, для комбайнов он выше и находится в пределах 100...140 г/га.

Для консервации сельскохозяйственных машин используются разнообразные смазки. В последнее время находит широкое применение углеводородная защитная смазка.

Для расфасовки, транспортировки и хранения пластичных смазок используют различную тару; от тубиков с массой в несколько граммов до контейнеров в несколько сотен килограммов. Наиболее широко распространенной тарой для пластичных смазок являются деревянные и металлические бочки вместимостью от 50 до 200 л, фанерные цилиндрические барабаны (40 л), прямоугольные бидоны из белой жести с широким горлом (18 и 20 л), цилиндрические банки из белой жести (1 л) и алюминиевые тубы вместимостью 0,05 л.

В герметичной таре смазки могут храниться достаточно долго: несколько месяцев, а иногда и лет.

### **15.5. Методы оценки основных показателей и свойств смазок**

Пластичные смазки при небольших нагрузках ведут себя как твердые тела, а при увеличении нагрузки — как жидкие. Поэтому для оценки качества смазки служат ее упругопластические и прочностные характеристики.

**Предел прочности.** Для каждой смазки существует определенная критическая нагрузка, превышение которой нарушает пропорциональность между нагрузкой и деформацией, после чего смазка начинает вести себя как жидкость. Такая критическая нагрузка, или напряжение сдвига, называется пределом прочности, который выражается в  $\text{Па} \cdot \text{с}$  ( $\text{г}/\text{см}^2$ ). Для смазок при температурах 20...120 °C он равен 100...500  $\text{Па} \cdot \text{с}$  (0,5...20  $\text{г}/\text{см}^2$ ).

Предел прочности является важнейшей эксплуатационной характеристикой смазки.

Предел прочности смазок на сдвиг определяют с помощью пластомера К-2 (ГОСТ 7143—73). Метод основан на определении давления, под действием которого при заданной температуре происходит сдвиг смазки в капилляре пластомера.

Большое влияние на механическую прочность смазки оказывает температура, с повышением которой обычно происходит более интенсивное разрушение смазок (рис. 100). Наиболее важным свойством смазок является их

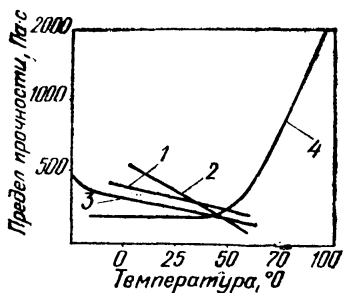
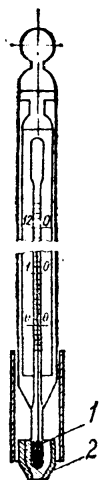


Рис. 100. Влияние температуры на предел прочности смазок:

1 — солидол; 2 — солидол С; 3 — ЦИАТИМ-201; 4 — жировой консталин.

Рис. 101. Прибор (термометр) → для определения температуры каплепадения пластичных смазок:

1 — ртутный шарик; 2 — стеклянный колпачок.



способность восстанавливать прочность, ибо при значительном ее уменьшении смазки вытекают из узлов трения. Восстановление прочности смазок после снятия деформации объясняется взаимодействием частиц загустителя и образованием нового структурного каркаса. Смазки, у которых упрочнение протекает медленно, обладают низкими механическими свойствами.

**Пенетрация** характеризует густоту смазки. Значение пенетрации, выражаемое целым числом десятых долей миллиметра по шкале пенетromетра, представляет собой глубину погружения в смазку стандартного конуса под действием собственной массы (150 г) в течение 5 с. Если пенетрация смазки равна 250, это значит, что конус за 5 с опустился в смазку на глубину 25 мм. Чем выше значение пенетрации, тем меньше густота (консистенция) данной смазки. Смазки с большим значением пенетрации применяются зимой, с меньшим — летом. Пенетрацию смазок определяют в соответствии с ГОСТ 5346—78. Для смазок значение пенетрации равно 200...400.

**Температура каплепадения** характеризует температуру плавления смазки и определяется в соответствии с ГОСТ 6793—74. Для определения температуры каплепа-

дения используют специальный прибор (рис. 101). Прибор работает следующим образом. На ртутный шарик 1 термометра надевают стеклянный колпачок 2 с исследуемой смазкой. Термометр с колпачком и смазкой вставляют в стеклянную пробирку. В ней термометр удерживается корковой пробкой. Собранный прибор вставляют в баню. Наблюдают за состоянием смазки в колпачке. Температура, при которой падает первая капля смазки через специальное отверстие колпачка, называется температурой каплепадения.

Практически установлено, что смазка сохраняет работоспособность до такой температуры смазываемого узла, которая на 15...20 °С ниже температуры ее каплепадения. Однако для современных смазок, загущенных тугоплавкими загустителями (литиевыми или бариевыми мылами), этот показатель не характеризует отмеченных свойств. Так, температура каплепадения литиевой смазки около 190 °С, а максимальная температура узла, для которого применяется литиевая смазка, не должна быть выше 110...120 °С. Температура каплепадения наиболее точно характеризует условия работы углеводородных смазок.

**Вязкость** пластичных смазок является одним из важнейших эксплуатационных показателей. Вязкость пластичной смазки в отличие от вязкости масла может изменяться при одной и той же температуре в довольно широких пределах и зависит от скорости перемещения ее слоев относительно друг друга. Чем быстрее продавливают смазку через капиллярную трубку, тем меньше становится ее вязкость. Поэтому при определении вязкости смазки нужно фиксировать не только температуру, но и скорость ее подачи через капилляр.

Вязкость пластичных смазок (пластично-аномально-вязкого материала) при постоянной температуре зависит от скорости деформации. Вязкость смазки, определенная при заданных скорости деформации и температуре, является постоянной величиной и называется *эффективной вязкостью*. Для жидких нефтепродуктов вязкость не зависит от скорости деформации, в связи с чем эффективная вязкость совпадает с динамической.

Эффективную вязкость пластичных смазок определяют с помощью автоматического капиллярного вискозиметра АКВ-4 (ГОСТ 7163—63).

**Стабильность** характеризует сохранение смазкой своих первоначальных свойств в условиях хранения и применения. Для смазки, представляющей собой коллоидную систему, важны физическая стабильность; устойчивость к радиации, характеризуемая химической стабильностью; инертность к воде, агрессивным средам, окислению кислородом воздуха и т. д.

Одним из показателей стабильности является *испаряемость*, которая характеризует испарение из смазки ее дисперсионной среды. Испаряемость смазок в наибольшей степени зависит от температуры, причем потеря легких фракций происходит более интенсивно у смазок, изготовленных на базе маловязких нефтяных масел. Показатель испаряемости имеет большое значение для характеристики смазок, предназначенных для работы при высокой температуре и в вакууме.

Испаряемость оценивают потерей массы смазки в условиях определенных температуры и времени (ГОСТ 7934.1—74).

Различают стабильность коллоидную, механическую и химическую (против окисления).

*Коллоидная стабильность* характеризуется степенью отделения из смазки дисперсионной среды — масла. Ее определяют при отпрессовывании масла из смазки на приборе КСА (ГОСТ 7142—74).

Коллоидная стабильность смазки существенно зависит от вязкости входящего в ее состав масла: чем больше вязкость, тем выше коллоидная стабильность. Смазки с чрезмерно высокой коллоидной стабильностью нежелательны, ибо они действуют неэффективно.

*Механическая стабильность* смазок характеризует их способность противостоять разрушению. Смазки с низкой механической стабильностью быстро разрушаются, разжижаются и вытекают из узлов трения. Высококачественная смазка не должна существенно изменять свои механические свойства как при действии, так и при снятии нагрузки.

Механическую стабильность определяют в соответствии с ГОСТ 19295—73. Ее обозначают индексом разрушения  $K_p$ , который характеризует степень разрушения смазки при ее интенсивном деформировании (тиксотронное восстановление смазки).

Сущность метода заключается в определении изменения предела прочности на разрыв в результате интенсив-



ного деформирования смазки в зазоре между ротором и статором тиксометра и при последующем тиксотронном восстановлении.

**Химическую стабильность** смазок (против окисления) определяют в соответствии с ГОСТ 5734—76. Сущность метода заключается в окислении смазки, нанесенной тонким слоем на медную пластинку (катализатор). При этом определяют свободные кислоты или щелочи, образующиеся при окислении смазки. Полученное кислотное число характеризует стабильность смазки.

**Водостойкость** определяет устойчивость смазки к растворению ее в воде, а также неизменяемость ее свойств при попадании влаги. Здесь же учитывается гигроскопичность и проницаемость смазок по отношению к воде и пару.

**Противозадирные и противоизносные свойства** — важнейшая характеристика смазок, применяемых в узлах с высокими контактными напряжениями и скоростями скольжения.

Эти свойства оценивают с помощью различных машин трения, которые используются для исследования смазочных масел.

**Антикоррозионные и защитные свойства** смазок являются важнейшими показателями для обеспечения надежной работы трущихся или перекачиваемых металлических поверхностей. Коррозионную активность смазок определяют следующим способом (ГОСТ 7934.5—74). Металлические пластины погружают в смазку, выдерживают и затем осматривают. Браковочными признаками являются изменение цвета пластины, появление на ней коррозионных точек и пятен.

**Защитные свойства** пластичных смазок определяют в соответствии с ГОСТ 0.054—75. При этом на металлическую пластинку наносят слой смазки, выдерживают ее в условиях повышенной относительной влажности воздуха и температуры без конденсации, с периодической или постоянной конденсацией влаги на образце. Затем сравнивают цвет и блеск поверхностей испытуемой пластинки и пластинки-образца.

Существуют другие оценочные показатели свойств пластичных смазок, которые применяют в зависимости от назначения смазки и условий ее работы.

### **16.1. Простейшие способы определения качества нефтепродуктов**

В сельскохозяйственном производстве ежегодно расходуется огромное количество различных нефтепродуктов, стоимость которых составляет значительную долю себестоимости продукции.

Рациональное использование нефтепродуктов возможно при обеспечении надежности и долговечности машин в работе, что непосредственно связано с применением топлива и смазочных материалов рекомендуемых сортов, соблюдением режимов использования, сохранностью свойств и т. д.

Отклонение отдельных физико-химических и эксплуатационных показателей используемых нефтепродуктов (фракционного состава, содержания смол в топливе, наличия механических примесей и воды, количества введенной присадки, противодетонационных свойств, температуры застывания и др.) от требований ГОСТ способствует не только перерасходу топлива, но отрицательно сказывается на надежности работы двигателя и машины в целом, на сокращении межремонтных сроков, на уменьшении производительности агрегатов. Все это вызывает дополнительные эксплуатационные расходы на содержание техники и увеличивает себестоимость продукции.

При эксплуатации техники необходимо систематически контролировать качество нефтепродуктов на соответствие требованиям технических условий или ГОСТ. В условиях колхозов и совхозов из-за сложности определения, отсутствия оборудования, приборов и лабораторий часто невозможно полностью проанализировать и установить качество применяемого или хранимого топлива и смазочного масла. В этом случае следует пользоваться простейшими методами, которые позволяют, хотя и упрощенно, определить качество исследуемого нефтепродукта и сделать заключение о его пригодности. Для этого выпускают комплекты приборов: ручную РЛ и полевую ПЛ-2М лаборатории.

В комплект лаборатории входят приборы, необходимые для контроля тех свойств нефтепродуктов, которые

в наибольшей степени изменяются при транспортировании, хранении и отпуске. Одной из главных причин, вызывающих ухудшение качества топлива и масел, является разгерметизация емкостей. При негерметичном хранении в нефтепродукт попадают вода и пыль, улетучиваются низкокипящие фракции, топливо взаимодействует с кислородом воздуха, что при нагревании солнечными лучами способствует интенсивному окислению топлива с образованием смолистых веществ и т. д.

Ручная лаборатория РЛ оснащена следующими оборудованием и реактивами: комплектом нефтенсиметров для определения плотности различных нефтепродуктов; лотопробоотборником с рулеткой для определения уровня нефтепродукта в резервуаре и отбора средней пробы; полевым шариковым вискозиметром для определения вязкости; водочувствительной пастой для установления наличия воды в резервуаре; мерным цилиндром для визуального определения в топливе воды и механических примесей по цвету и прозрачности и др.

Полевая лаборатория ПЛ-2М дает возможность проводить более сложный и широкий анализ по следующим физико-химическим показателям: плотность различных видов нефтепродуктов; фракционный состав топлива; наличие этиловой жидкости (антидетонатора) и водорастворимых кислот и щелочей в бензинах; коррозионные свойства (испытания на медной пластинке); содержание фактических смол в бензинах; температура застывания и помутнения топлива; кинематическая вязкость и температура вспышки в открытом тигле; содержание воды и механических примесей; температура каплепадения пластичных смазок; кислотность смазочных масел.

Чтобы правильно оценить качество исследуемого нефтепродукта, необходимо прежде всего тщательно отобрать из емкости среднюю пробу. Для этого установлены специальные правила по каждому виду нефтепродукта и в зависимости от типа резервуаров, в которых он хранится. Только при правильно отобранной средней пробе можно, выполнив анализ, получить истинную характеристику нефтепродукта, отражающую свойства любой части его объема.

Простейшими способами определения качества нефтепродуктов являются внешний осмотр, отстаивание, фильтрование, подогревание, сжигание, лабораторное исследование и т. д.

**Наличие воды в топливе.** Для светлых видов топлива — бензина и керосина наличие воды определяют путем отстаивания пробы в стеклянном цилиндре в течение 1,5...2 ч. Из-за значительного различия плотностей смесь нефтепродукта и воды расслаивается и вода оседает на дно сосуда. Ее хорошо видно при внешнем визуальном осмотре.

Наличие воды в дизельном топливе определяют также взбалтыванием пробы. Дизельное топливо, содержащее воду, будет мутным на вид.

**Наличие воды в смазочном масле.** Метод отстаивания взятой пробы для вязких нефтепродуктов менее приемлем. Для быстрого и более полного определения наличия воды в смазочном масле в стеклянную пробирку помещают 2...3 см<sup>3</sup> испытуемого масла. Затем ту часть пробирки, где находится образец масла, подогревают над открытым пламенем газовой горелки или обычной свечи. При наличии воды в пробе масло вспенивается, слышно характерное потрескивание, вызванное испарением воды. При нагревании отверстие пробирки следует держать от себя, так как при значительном содержании воды в пробе масло может выбрасываться из пробирки за счет бурного вспенивания и образования паров воды.

**Наличие механических примесей в топливе.** Один из способов определения наличия механических примесей в светлом топливе — визуальный осмотр на просвет пробы топлива, залитого в стеклянный прозрачный цилиндр. Механические примеси можно легко заметить в объеме просматриваемого топлива в виде взвеси или же выпадающего осадка. Для большей достоверности пробы топлива отстаивают в течение 10...12 ч, затем осадок тщательно осматривают с целью нахождения в нем механических примесей.

Другой способ — фильтрация пробы топлива через бумажный фильтр. После фильтрации чистого топлива фильтр будет только пропитан нефтепродуктом, а после загрязненного — на нем будет осадок, по внешнему виду которого можно определить примерный состав примесей.

Механические примеси можно обнаружить при визуальном осмотре испарившихся капель испытуемого топлива на прозрачном стекле или белой бумаге.

В дизельном топливе наличие механических примесей определяют фильтрацией. Предварительно дизельное топливо разбавляют чистым бензином в пропорции при-

мерно 1:1. После фильтрации фильтр промывают чистым бензином для растворения и удаления с него смолистых веществ и просушивают. Затем внешним осмотром устанавливают наличие на фильтре осадка. Чистое дизельное топливо окрашивает бумажный фильтр в желтоватый цвет, а загрязненное оставляет на нем темное пятно. Чем темнее пятно, тем больше загрязнено топливо.

Судить о наличии механических примесей в дизельном топливе можно также по осадку после отстаивания предварительно разбавленного чистым бензином топлива.

**Наличие механических примесей в смазочном масле.** Пробу смазочного масла фильтруют, фильтр промывают чистым бензином, просушивают и тщательно осматривают осадок. Пробу смазочного масла предварительно разбавляют чистым бензином в пропорции 1:3 или 1:4 в зависимости от вязкости масла.

Кроме того, наличие механических примесей можно установить по прозрачности капель масла, помещенных на чистое стекло. Капли чистого смазочного масла будут совершенно прозрачны. При наличии даже небольшого количества механических примесей капли масла будут мутными. Недостаточная прозрачность капли масла при отсутствии мути указывает на содержание в масле смолистых веществ.

**Коррозионная активность нефтепродуктов.** Наличие коррозионно-активных веществ в нефтепродукте определяют при опускании в него отполированной медной пластинки (примерно на 3 ч). Для ускорения окисления медной пластинки сосуд подогревают в водяной бане. Налет или точки зеленого цвета, а также потемнение пластинки указывают на наличие в нефтепродукте коррозионно-активных соединений. О количестве этих соединений и об их агрессивности судят по интенсивности изменения поверхности медной пластинки.

**Содержание смол в топливе.** Упрощенным способом определения содержания смол в топливе является метод сжигания его на часовом стекле. Для этой цели в вогнутое часовое стекло диаметром 55...60 мм и глубиной 4...5 мм наливают 1 см<sup>3</sup> испытуемого бензина. После сжигания пробы бензина на часовом стекле остается остаток смол в виде круга или кольца. Чем больше в топливе смол, тем больше диаметр пятна. Для количественного определения содержания смол измеряют диаметр пятна

в трех направлениях и вычисляют среднее значение. Затем с помощью эталонных данных, приведенных в таблице 51, определяют содержание смол в испытуемом образце.

#### 51. Содержание смол в топливе в зависимости от размера пятна

| Диаметр пятна, мм,<br>на часовом стекле            | 6 | 7 | 8  | 9  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22  |
|----------------------------------------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|
| Содержание смол,<br>мг/100 см <sup>3</sup> бензина | 4 | 7 | 11 | 15 | 20 | 32 | 43 | 56 | 70 | 85 | 102 |

**Вязкость смазочных масел.** Этот показатель наиболее часто приходится определять в полевых условиях с целью контроля соответствия вязкости применяемого смазочного масла техническим условиям. Вязкость определяют при помощи полевого шарикового вискозиметра. На рисунке 102 показана схема вискозиметра с четырьмя пробирками. В трех из них находятся эталонные масла с известной вязкостью. В четвертую пробирку заливают испытуемое масло. Все пробирки заполняют маслами до одного уровня. В каждую пробирку опускают одинакового размера и массы металлический шарик. Затем рамку с пробирками, заполненными маслами, опускают в сосуд с теплой водой и выдерживают около 10 мин для того, чтобы масла приобрели одинаковую температуру. После этого прибор вынимают и быстро переворачивают пробками вниз так, чтобы пробирки располагались строго вертикально. Следят за скоростью перемещения металлического шарика. Скорость падения шарика в пробирке с испытуемым маслом сравнивают со скоростью шариков в пробирках с эталонными маслами. Совпадение скоростей перемещения шариков в испытуемом масле и в эталонном укажет вязкость данного масла. Может оказаться, что во всех четырех пробирках скорости

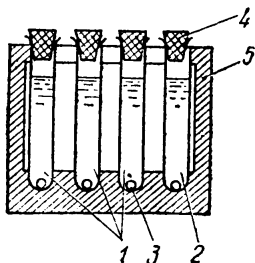


Рис. 102. Полевой шариковый вискозиметр:

1 — пробирки с эталонными маслами; 2 — пробирка для испытуемого масла; 3 — металлический шарик; 4 — пробка; 5 — рамка.

перемещения шариков различны. Тогда вязкость испытуемого масла принимают приблизительно равной вязкости того масла, скорость шарика в котором ближе всего к скорости шарика в образце.

**Плотность нефтепродуктов.** Плотность разных нефтепродуктов различна, поэтому по значению плотности можно определять вид нефтепродукта. Чем легче по фракционному составу нефтепродукт, тем меньше его плотность, и наоборот. Смазочные масла, имеющие более тяжелый молекулярный состав, обладают большей плотностью. Плотность нефтепродуктов в значительной степени изменяется от температуры: с повышением температуры плотность уменьшается. Плотность необходимо знать при пересчете объема нефтепродукта в массу и наоборот.

Наиболее просто плотность нефтепродукта можно определить с помощью нефтенсиметра (разновидность ареометра). Ареометры изготавливают совместно с термометром или без него. При определении плотности нефтепродукта ареометром без встроенного термометра температуру нефтепродукта определяют обычным термометром.

Для определения плотности нефтепродукта с помощью ареометра в чистый стеклянный цилиндр диаметром не менее 5...6 см осторожно по стенке наливают нефтепродукт. Когда поверхность нефтепродукта успокоится, осторожно опускают ареометр в вертикальном положении. После того как ареометр установится, по верхнему мениску нефтепродукта определяют значение плотности при данной температуре.

Для приведения плотности нефтепродукта к стандартной при 20°C полученное значение плотности пересчитывают, используя поправочные температурные коэффициенты.

**Содержание присадки в масле.** По внешнему виду и цвету сравнительно трудно определить марку и сорт смазочного масла и тем более содержание в нем присадки. Моторные масла в проходящем свете имеют окраску от темно-желтой до красной. Интенсивность цвета зависит главным образом от содержания смолистых веществ. Моторные, автотракторные масла флуоресцируют синеватым цветом, а авиационные масла, содержащие значительно меньшее количество смол, — зеленовато-голубоватым. Цвет масла обычно определяют в стеклянной про-

бирке небольшого диаметра, располагая пробирку в хорошо освещенном месте.

Практически все современные моторные масла содержат присадки, причем комплексные, у которых основным компонентом является барий или кальций. При озолении масла с присадкой в фарфоровой чашечке на дне получается плотный серовато-белый осадок, если компонент присадки — барий. Если присадка содержит кальций, то осадок получается также серого цвета, но более рыхлый. Масла без присадок сгорают почти полностью. Если при озолении масла получается весьма твердый осадок желтого или красного цвета, то это указывает на загрязнение масла абразивными примесями в виде кремния или железа.

Отрицательные результаты, получаемые при определении качества нефтепродукта, указывают на необходимость его исправления соответствующей очисткой или другими способами. Если это невозможно, то продукт выбраковывают, так как нефтепродукты плохого качества применять для машин категорически запрещается.

### **16.2. Пути рационального использования, сокращения потерь и экономии нефтепродуктов**

Задачей всех работников сельского хозяйства является сокращение, а при возможности полное исключение потерь нефтепродуктов. Устранение потерь, рациональное использование и экономия нефтепродуктов позволяют получить не только экономический эффект, заключающийся в стоимости сэкономленного нефтепродукта, но и в значительной степени сохранить топливные ресурсы страны. Топливо, смазочные масла, пластичные смазки и технические жидкости нужно экономить на всех участках их использования. Этого достигают не только при технически правильной организации транспортирования, слива и хранения нефтепродуктов, но и применением их в процессе эксплуатации машинно-тракторного парка строго по назначению. Сохранение качества используемых нефтепродуктов имеет также большое значение для обеспечения надежной и долговечной работы машинно-тракторного парка. Предупреждение потерь и утечек нефтепродуктов является исключительно важным и для защиты окружающей среды. Утечка только 1 г



нефтепродукта загрязняет 10 м<sup>3</sup> воды, а содержание 10 г его в 1 м<sup>3</sup> воды делает ее ядовитой. Такая вода непригодна для питья и приготовления пищи, рыба в ней гибнет. Отрицательно влияют растекающиеся нефтепродукты и на растительность.

Чтобы решение вопросов экономии нефтепродуктов было успешным, необходимо знать причины и источники их потерь (см. форзац).

При обращении с нефтепродуктами и эксплуатации машинно-тракторного парка необходимо выполнять следующие правила:

знать ассортимент и свойства нефтепродуктов, применяемых для тракторов, автомобилей, комбайнов и сельскохозяйственных машин;

правильно организовать работу нефтесклада колхоза (совхоза) и бригадных постов заправки и оснастить их необходимыми техническими средствами, обеспечивающими механизированный слив, отпуск и заправку;

использовать наряду со стационарным оборудованием передвижные механизированные средства для заправки машин непосредственно при работе агрегатов в поле только отстоянным топливом;

обеспечить соответствующее хранение нефтепродуктов, не допуская ухудшения их первоначальных качеств за счет загрязнения, обводнения, испарения и окисления;

применять для транспортирования нефтепродуктов специальные и только исправные технические средства, не допускающие загрязнения и утечек;

проводить правильное техническое обслуживание систем питания и смазочной, механизмов двигателей тракторов, автомобилей и комбайнов;

наладить систематический контроль качества используемых нефтепродуктов и не допускать применения для машинно-тракторного парка топливо-смазочных материалов, не соответствующих требованиям ГОСТ;

контролировать применение и разрабатывать технически обоснованные нормы расхода топлива и смазочных материалов, особенно для новой техники;

соблюдать установленные правила по технике безопасности и противопожарным мероприятиям на всех участках при хранении, транспортировании и использовании нефтепродуктов;

организовать в рамках административного района специальное подразделение, обеспечивающее централизо-

ванный завоз нефтепродуктов в хозяйства, специализированное звено, работающее по сетевому графику для централизованного технического и технологического обслуживания и ремонта оборудования нефтебаз.

**Транспортирование и слив.** Нефтепродукты следует перевозить в технически исправных герметизированных автоцистернах, что обеспечивает чистоту топлива и до минимума сокращает потери его от разлива и испарения.

Чтобы уменьшить потери при заполнении автоцистерн, рекомендуется заправлять их не открытой струей, что приводит к разбрызгиванию и испарению топлива, а способом нижнего налива под уровень. В этом случае потери бензина уменьшаются примерно в 3 раза.

Необходимо следить за герметичностью всех соединений и уплотнений автоцистерны, исправностью дыхательных клапанов. Для уменьшения нагревания цистерны окрашивают в светлые тона. При выдаче полностью сливают топливо из соединительных рукавов и шлангов.

**Хранение топлива и смазочных материалов.** В результате неплотного соединения трубопроводов, негерметичности люков и крышек резервуаров, неисправности дыхательных клапанов, трещин в сварных швах и нагревания солнечными лучами топливо может утекать, испаряться, окисляться, а также загрязняться пылью воздуха и атмосферной влагой. В результате этого происходят количественные потери нефтепродукта и снижается его качество. В таблице 52 приведены экспериментально полученные значения потерь нефтепродуктов при различных условиях. Приведенные в таблице данные свидетельствуют о важности вопросов рационального транспортирования, хранения и заправки нефтепродуктов, решение которых может обеспечить значительную экономию топлива и смазочных материалов.

К большим потерям топлива приводит подкапывание при заправке, просачивание через микротрещины в сварном шве (потение), неплотные соединения трубопроводов, кранов и люков. Чтобы избежать таких потерь, необходимо своевременно и тщательно проводить техническое обслуживание и ремонт оборудования постов заправки и нефтескладов.

Для временного ремонта резервуаров используют аварийные замазки или клей. Выпускают специальный набор ОП-1764, состоящий из материалов и инструментов для ремонта с помощью полимерных материалов.

## 52. Потери нефтепродуктов

| Источники потерь | Нефтепродукт | Потери |   |
|------------------|--------------|--------|---|
|                  |              | кг     | % |

### При транспортировании

|                                                      |        |         |            |
|------------------------------------------------------|--------|---------|------------|
| Заполнение бензовоза:                                |        |         |            |
| выше отметки (за один рейс)                          | Бензин | 10...12 | 0,4...0,5  |
| ниже отметки (за один рейс)                          | »      | 3...10  | 0,1...0,4  |
| Неполное закрытие горловины бензовоза (за один рейс) | »      | 15...40 | 0,6...1,7  |
| Неплотности в топливопроводах и швах бензовоза       | »      | 2...10  | 0,1...0,4  |
| Неплотности в пробке бочки (на бочку)                | »      | 0,1...1 | 0,07...0,7 |

### При наливке, сливе

|                                               |        |         |           |
|-----------------------------------------------|--------|---------|-----------|
| Налив открытой струей не под уровень, на 1 м³ | Бензин | 2...3   | 0,2...0,3 |
| Остаток в бензовозе (за один рейс)            | »      | 20...25 | 1,1...5   |
| Остаток в рукавах (за один рейс)              | »      | 5...8   |           |
| Неисправные средства перекачки (за один рейс) | »      | 2...10  | 0,1...0,4 |

### При хранении (резервуар вместимостью 10 м³)

|                                                               |        |          |          |
|---------------------------------------------------------------|--------|----------|----------|
| Заполнение резервуара на 20...60 % (в год)                    | Бензин | 70...140 | 8,5...15 |
| Не окрашенный в светлый цвет резервуар (в год)                | »      | 65       | 1,0      |
| Резервуар без дыхательного клапана (в год)                    | »      | 2000     | —        |
| Подтекание задвижки со скоростью одна капля в секунду (в год) | »      | 1200     | —        |
| Микротрещины в сварочном шве (на 1 м в сут)                   | »      | 50       | —        |

### При заправке (отпуске)

|                                                      |                   |       |           |
|------------------------------------------------------|-------------------|-------|-----------|
| Заправка открытой струей (ведром) (на трактор в год) | Дизельное топливо | 200   | 1,2       |
| Переполнение топливного бака (на трактор в год)      | То же             | 2...3 | 0,1...0,3 |

| Источники потерь                                   | Нефтепродукт      | Потери      |            |
|----------------------------------------------------|-------------------|-------------|------------|
|                                                    |                   | кг          | %          |
| Неплотности в соединениях средств заправки (в год) | Дизельное топливо | 1000...2000 | 0,4...0,5  |
| Заправка без раздаточного крана (в год)            | То же             | —           | 0,18...0,2 |
| Заправка кружкой из бака (в год)                   | Масло             | —           | 3,5...10   |
| Заправка без шприцев вручную (в год)               | Солидол           | —           | 17...20    |

В состав замазки входят: эпоксидная смола ЭД-5 или ЭД-6 как основное связующее вещество в смеси, отвердитель полиэтиленполиамин, пластификатор дибутилфталат и наполнители — тонкоизмельченные порошки (цемент, алюминиевая пудра и т. д.) (табл. 53).

#### 53. Состав эпоксидной смолы для устранения дефектов на нефтеоборудовании

| Материал                       | Состав, % по массе |       |       |       |
|--------------------------------|--------------------|-------|-------|-------|
|                                | № 1                | № 2   | № 3   | № 4   |
| Эпоксидная смола ЭД-5 или ЭД-6 | 100                | 100   | 100   | 100   |
| Дибутилфталат*                 | 12/20              | 12/20 | 12/20 | 12/20 |
| Полиэтиленполиамин*            | 12/10              | 12/10 | 12/10 | 12/10 |
| Наполнители:                   |                    |       |       |       |
| цемент марки 400               | —                  | 20    | —     | 20    |
| алюминиевая пудра              | —                  | —     | 25    | 20    |
| порошок слюды                  | —                  | —     | 25    | —     |

\* В числителе — для смолы ЭД-5, в знаменателе — для смолы ЭД-6.

Большое количество нефтепродуктов теряется в результате нагревания резервуаров солнечными лучами. Из бензина испаряются легкие фракции, что ухудшает пуск двигателя и снижает противодетонационные качества бензина. На таком бензине двигатель будет работать неэкономно, с повышенным износом деталей. При нагревании топливо окисляется, образуются смолисто-асфальтовые соединения. Они вызывают усиленное нагарообразование в камере сгорания двигателя, что способствует повышению его теплонпряженности и снижению эконо-

мичности. Все это вызывает уменьшение межремонтного срока работы двигателя на 20...30 % и повышение расхода топлива примерно на 6...8 %.

Резервуар для хранения топлива нагревается солнечными лучами меньше, если он окрашен в светлые цвета и находится в тени. Например, в резервуаре, окрашенном в темный цвет, температура топлива достигает 30 °C и выше, а в резервуаре, окрашенном в светлый цвет, она составляет около 12 °C.

Установлено, что за год хранения в результате испарения потери бензина в зависимости от окраски резервуара составляют: при черном цвете — 1,24 %; при красном — 1,14; при сером — 1,03; при серебристом — 0,83 %.

Эффективным средством борьбы с потерями бензина от испарения является подземная установка резервуаров. В этом случае потери от испарения уменьшаются практически в 3 раза.

**Организация эксплуатации машинно-тракторного парка.** Вопросы правильной организации использования сельскохозяйственной техники являются первостепенными в деле экономии нефтепродуктов. Один из способов экономного расходования топлива — наиболее полная загрузка мощности двигателя машины. При эксплуатации трактора с загрузкой мощности двигателя меньше нормальной удельный расход топлива на единицу мощности значительно возрастает. Следовательно, при выполнении одинакового объема работ тракторами с различной загрузкой мощности двигателя расход топлива на единицу выполняемой работы будет различным. Так, при загрузке двигателя трактора, составляющей около 60 % номинальной, расход топлива на единицу выполняемой работы повышается на 30 %. При среднем расходе топлива около 10 кг на один условный эталонный гектар эксплуатация 100 тракторов с недогрузкой мощности двигателей на 30...40 % приведет к перерасходу около двух тонн топлива за одну смену.

Несвоевременное техническое обслуживание, например воздухоочистителя двигателя, приводит к значительному повышению сопротивления воздуха, идущего в камеры сгорания, и вызывает снижение мощности двигателя на 2...3 %. При этом удельный расход топлива повышается на 3...4 %. В таблице 54 приведены характерные технические неисправности двигателей и машины в целом, которые снижают экономичность их работы.

## 54. Потери топлива при работе технически неисправных машин

| Наименование неисправности                                                    | Перерасход топлива, % от расхода по норме |
|-------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------|
| <i>Система питания</i>                                                        |                                           |
| Подтекание трубопроводов и бензобака                                          | 0,1...0,4                                 |
| Неплотное закрытие бензобака (отсутствие стандартной пробки)                  | 0,7                                       |
| Негерметичность клапана экономайзера карбюратора                              | 10...15                                   |
| Увеличение отверстия жиклера на 10 %                                          | 5...7                                     |
| Неисправность одной форсунки                                                  | 30...35                                   |
| Засорение впускного трубопровода (воздухоочиститель)                          | 2...3                                     |
| Отложение смол в выпускном патрубке                                           | 7...8                                     |
| Работа трактора без стакана пылеотстойника                                    | 0,5                                       |
| <i>Система зажигания</i>                                                      |                                           |
| Неправильная установка угла опережения зажигания                              | 5...6                                     |
| Отказ вакуум-регулятора                                                       | 4...6                                     |
| Ошибка в регулировке контактов прерывателя (на 0,2 мм)                        | 7...10                                    |
| Неработающие искровые свечи зажигания (одна-две в шестицилиндровом двигателе) | { 25...60                                 |
| <i>Система охлаждения</i>                                                     |                                           |
| Накипь в радиаторе (больше 1 мм)                                              | 7...8                                     |
| Понижение температуры охлаждающей жидкости (до 40...50 °C)                    | 8...10                                    |
| <i>Цилиндропоршневая группа и газораспределение</i>                           |                                           |
| Неправильная регулировка зазора между клапанами и толкателями                 | 5...7                                     |
| Износ цилиндропоршневой группы (на 0,01 см)                                   | 0,5                                       |
| Нагар в камере сгорания                                                       | 5...6                                     |
| <i>Ходовая часть</i>                                                          |                                           |
| Неправильная регулировка сцепления, подшипников, тормозов                     | 10...20                                   |
| Неправильная регулировка сходимости передних колес                            | 5...7                                     |
| Снижение давления воздуха в шинах, МПа:                                       |                                           |
| на 0,05...0,1                                                                 | 4...5                                     |
| на 0,15                                                                       | 17...20                                   |

## 55. Потери нефтепродуктов при нерациональном использовании техники

| Причины перерасхода | Потери (перерасход) |          |
|---------------------|---------------------|----------|
|                     | единицы измерения   | значение |

### *Эксплуатация грузовых автомашин*

|                                                                           |   |     |
|---------------------------------------------------------------------------|---|-----|
| Низкий коэффициент использования пробега (при повышении на 0,01)          | % | 1,2 |
| Низкий коэффициент использования грузоподъемности (при понижении на 0,01) | % | 0,6 |
| Недостаточное использование прицепов автопоездов (при повышении на 1 %)   | % | 0,5 |

### *Использование тракторов*

|                                                                |                     |                       |
|----------------------------------------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Работа трактора Т-74 вхолостую (1...2 ч в смену)               | кг/день             | 2...4<br>(500 кг/год) |
| Недоиспользование мощности (тягового усилия на 40...50...60 %) | % от общего расхода | 7...10...15           |
| Работа трактора на малых загонах (до 500 м)                    | % от нормы расхода  | 5...7                 |
| Работа трактора на пониженных скоростях                        | %                   | 5...6                 |
| Большие переезды на заправку и машинный двор                   | % на трактор в год  | 0,4...0,5             |
| Работа на тракторе после ремонта без обкатки                   | %                   | 2...2,5               |

### *Содержание машин*

|                                                    |                     |           |
|----------------------------------------------------|---------------------|-----------|
| Отсутствие подогрева двигателя зимой               | т на машину в сезон | 0,5...0,6 |
| Прогревание двигателя зимой без покрытия радиатора | кг в сезон          | 400       |

### *Вождение*

|                                                                                        |   |         |
|----------------------------------------------------------------------------------------|---|---------|
| Низкая квалификация водителей                                                          | % | 2...6   |
| Низкая квалификация механизаторов                                                      | % | 5...10  |
| Движение автомобиля без использования наката                                           | % | 5...15  |
| Длительное движение автомобиля на промежуточных скоростях с включенным передним мостом | % | 15...20 |

Большое влияние на уменьшение расхода топлива оказывает рациональное использование машинно-тракторного парка. В таблице 55 приведены потери нефтепродуктов при неправильном использовании машин.

### **16.3. Сбор и повторное использование отработанных нефтепродуктов**

Сбор и регенерация отработанных нефтепродуктов служит одним из способов их экономии и в то же время является эффективной мерой по предотвращению загрязнения окружающей среды. На отработанные нефтепродукты существует ГОСТ 21046—81 «Нефтепродукты отработанные. Общие технические условия». Он распространяется на отработанные нефтепродукты, которые предприятия различных отраслей народного хозяйства сдают специальным организациям для регенерации, переработки и другого рационального использования.

Обработанные нефтепродукты в зависимости от условий применения и назначения делятся на три группы: масла моторные отработанные (ММО); масла промышленные отработанные (МИО), а также турбинные и компрессорные масла; смесь нефтепродуктов отработанных (СНО) (масел, бензина, керосина и дизельного топлива).

В отработанные нефтепродукты первых двух групп при их сборе не должны сливать или подмешивать бензин, керосин, нигрол, смазки и другие вещества. Смазочные масла этих групп идут на регенерацию (восстановление), а затем на повторное использование для тех же машин с дополнительным введением соответствующих присадок. Восстановленные масла по качеству не уступают свежим.

Чтобы обеспечить возможность регенерации и дальнейшего использования отработанных нефтепродуктов третьей группы, а также рационального использования регенерированных масел, в СНО запрещается сливать синтетические, коррозионно-агрессивные, токсичные вещества и другие продукты ненефтяного происхождения.

В соответствии с ГОСТ 21046—81 установлены определенные физико-химические показатели качества отработанных нефтепродуктов различных групп (табл. 56).

Отработанные нефтепродукты из колхозов и совхозов, со станций технического обслуживания автомобилей, автозаправочных и других мест отпуска или сбора по-



## 56. Физико-химические показатели отработанных нефтепродуктов

| Показатели                                               | Норма для групп |     |     |
|----------------------------------------------------------|-----------------|-----|-----|
|                                                          | ММО             | МИО | СНО |
| Вязкость кинематическая, мм <sup>2</sup> /с,<br>не менее |                 |     |     |
| при 50 °С                                                | 25              | 5   | —   |
| при 100 °С                                               | 5               | —   | —   |
| Вязкость условная при 20 °С, не<br>менее                 | 29              | 13  | —   |
| Температура вспышки в откры-<br>том тигле, °С, не ниже   | 100             | 120 | —   |
| Массовая доля, %, не более                               |                 |     |     |
| механических примесей                                    | 2               | 2   | 3   |
| воды                                                     | 4               | 4   | 5   |
| топлива                                                  | 6               | 6   | —   |

ставляют нефтебазам в бочках или автоцистернах сука-  
занием марки. Хозяйствам, сдавшим отработанные неф-  
тепродукты на нефтебазы, оплачивают их стоимость  
согласно утвержденным расценкам.

В колхозах и совхозах сбор отработанных смазочных  
масел и других нефтепродуктов организуют на пунктах  
технического обслуживания автомобилей и тракторов, в  
бригадах, нефтескладах, на стационарных постах заправ-  
ки машин, а также в ремонтных мастерских. При сборе  
нефтепродукты сливают в тару через воронки с сеткой,  
размер ячейки которой не превышает 1 см<sup>2</sup>. На таре ука-  
зывают наименование сливаемого нефтепродукта.

### 16.4. Премии за экономию топлива

В соответствии с действующим положением  
за экономию топлива и смазочных материалов свыше  
установленных норм расхода, при условии соблюдения  
агротехнических требований и выполнения механизиро-  
ванных работ, премии выплачиваются в следующих раз-  
мерах: трактористу-машинисту — 70 % стоимости сэко-  
номленных им топливо-смазочных материалов; бригади-  
ру тракторно-полеводческой бригады — 7 %, помощнику  
бригадира — 3; мастеру-наладчику — 5; заправщику — 3 %  
стоимости топливо-смазочных материалов, сэкономлен-  
ных по бригаде; заведующему нефтескладом — 3 %; рабо-  
чим ремонтных мастерских, занятых регулировкой топ-  
ливной аппаратуры, — 5 % стоимости топлива и смазоч-  
ных материалов, сэкономленных в целом по хозяйству.

За перерасход топлива и смазочных материалов по вине работников с тракториста-машиниста удерживается 50 % стоимости перерасходованных им топливо-смазочных материалов; с бригадира тракторно-полеводческой бригады — 10; с помощника бригадира — 5; с заправщика — 5 % стоимости топливо-смазочных материалов, перерасходованных по бригаде.

В случае, когда перерасход топливо-смазочных материалов допущен не по вине работников, его в пределах 30 % от установленных норм списывает руководитель хозяйства.

Перерасход топливо-смазочных материалов свыше 30 % от установленных норм, допущенный не по вине работников, а в результате выполнения сельскохозяйственных работ в сложных условиях, списывает руководитель вышестоящей организации.

При выполнении тракторных работ с нарушением установленных агротехнических требований с тракториста-машиниста удерживают 50 %, а с бригадира тракторно-полеводческой бригады 10 % стоимости топливо-смазочных материалов, израсходованных на работу, выполненную недоброкачественно.

Премии за экономию топлива и смазочных материалов выплачивают, а за перерасход удерживают из заработка по истечении каждого квартала. Если перерасход топлива и смазочных материалов, допущенный в предыдущих кварталах, будет восполнен полностью или частично в следующих кварталах, то проводится перерасчет с возвратом ранее удержанных сумм соответственно сэкономленному количеству топливо-смазочных материалов.

Окончательный расчет по премиям за экономию топливо-смазочных материалов и удержаниям за их перерасход проводится в конце календарного года по действительным результатам за год.

Премирование за экономию топливо-смазочных материалов и материальная ответственность за их перерасход осуществляются только в тех хозяйствах, где внедрены технически обоснованные нормативы расхода нефтепродуктов.

Соответствующим положением предусматривается выплата за экономию бензина и дизельного автотракторного топлива при эксплуатации автомобилей. На премирование водителей автомобилей следует расходовать не

менее 60 % суммы, полученной от экономии бензина, и 20 % — от экономии дизельного топлива.

На премирование рабочих, занятых ремонтом и регулировкой двигателей, систем питания, электрооборудования, диагностированием и техническим обслуживанием автомобилей можно расходовать до 10 % стоимости сэкономленного топлива (с учетом перерасхода по отдельным автомобилям).

На премирование инженерно-технических работников, руководящих работами по ремонту, регулированию двигателей и по учету топлива, разрешается расходовать до 5 % стоимости сэкономленного топлива.

Премии инженерно-технических работников за экономию топлива должны быть соразмерны с поощрениями водителей и рабочих, от которых непосредственно зависит экономия топлива.

За перерасход топлива сверх установленных норм по вине водителей автомобилей с них удерживают 60 % стоимости перерасходованного карбюраторного топлива и 35 % — дизельного.

Премии за экономию топлива и смазочных материалов выплачивают в соответствии с другими решениями сверх установленных максимальных размеров. Все премии учитывают при начислении среднего заработка работников.

Премирование за экономию топливо-смазочных материалов и удержание сумм из заработка за их перерасход в порядке и размерах, установленных для работников государственных предприятий сельского хозяйства, рекомендуется проводить и в колхозах.

### **16.5. Техника безопасности и противопожарные мероприятия при обращении с нефтепродуктами**

Все виды нефтепродуктов огнеопасны и вредны для здоровья человека, поэтому при приеме, хранении, отпуске и заправке топливо-смазочных материалов необходимо строго соблюдать соответствующие правила.

Одно из важнейших организационных мероприятий, которое предупреждает различные несчастные случаи при обращении с нефтепродуктами, а также при техническом обслуживании и ремонте нефтяного оборудования, —

тщательный инструктаж каждого работника нефтебазы, а затем строгое соблюдение всех правил техники безопасности и противопожарных мероприятий.

На нефтескладах и стационарных постах заправки необходимо соблюдать установленные нормы противопожарных разрывов между сооружениями внутри нефтесклада или поста заправки и до окружающих построек.

Во избежание появления искр от разрядов статического электричества все трубопроводы и резервуары тщательно заземляют. Стационарные посты заправки с топливозаправочными колонками и агрегатами оборудуют молниеотводами. Нефтесклады оснащают соответствующими комплектами первичных средств пожаротушения, включающими щиты с пожарным инвентарем и ящики с песком, огнетушителями, кошму, штыковые лопаты, крюки, багры и прочий инструмент.

Нефтетара (резервуары, бочки, бидоны), предназначенная для хранения этилированного бензина, а также автоцистерны, используемые для его перевозки, снабжают предупредительными надписями: «Этилированный бензин ядовит! Годен только в качестве топлива для двигателей». Такие надписи делают у бензозаправочных колонок и раздаточных кранов.

Все противопожарные мероприятия, равно как и по технике безопасности, указываются в специальной литературе. Здесь внимание обращено только на исключительно необходимые.

Нефтепродукты по степени огнеопасности делятся на легковоспламеняющиеся (бензин, керосин и дизельное топливо) и горючие (смазочные масла различных групп). Поэтому при обращении с нефтепродуктами требуется особая осторожность во избежание их воспламенения. Если же пожар возник, то при тушении горящих нефтепродуктов применяют химическую пену, углекислый газ, песок и землю. Использовать воду категорически запрещается, так как удельный вес ее выше, горящий нефтепродукт всплывает на поверхность воды и продолжает гореть, растекаясь вместе с ней и способствуя этим расширению пожара.

Наиболее распространенными и надежными средствами тушения горящих нефтепродуктов служат огнетушители. Их выпускают двух типов — пенные и углекислотные. Пенные огнетушители ОП-3, ОП-5 и ОПМ при включении в работу образуют пену в результате взаимо-

действия водных растворов кислоты и щелочи в присутствии пенообразователя. Время действия огнетушителя 1 мин, дальность струи пены — 6...8 м. Углекислотные огнетушители ОУ-2, ОУ-5 и ОУ-8 основаны на действии жидкой углекислоты, которая, попадая в раструб, переходит в газообразное состояние. При этом образуются белые хлопья с температурой  $-79^{\circ}\text{C}$ . Нефтепродукты в емкостях тушат огнетушителями, направляя струю на стенки у краев очага так, чтобы не разбрызгивать горящий нефтепродукт.

Огнетушители вместе с противопожарным инвентарем (баграми, лопатами) размещают на специальных щитах у приемораздаточных площадок, на заправке, складах и других местах, где проводят операции с нефтепродуктами. Вблизи противопожарных щитов ставят ящики с песком.

# **Раздел III. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА**

## **Глава 17. ЖИДКОСТИ ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ**

### **17.1. Назначение, виды охлаждающих жидкостей и требования к ним**

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:

преждевременное самовоспламенение рабочей смеси и детонация в двигателях с искровым зажиганием;

ухудшение работы смазочной системы;

заклинивание перегретых деталей двигателя и снижение их механической прочности;

пригорание поршневых колец и клапанов;

ухудшение наполнения цилиндров топливовоздушной смесью;

увеличение потерь мощности на преодоление трения.

Вследствие переохлаждения двигателя может произойти:

снижение индикаторной мощности из-за повышенной теплоотдачи;

резкое увеличение потерь мощности на преодоление трения от увеличения вязкости моторного масла;

значительное ухудшение смесеобразования и сгорания топлива;

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;

образование низкотемпературных отложений в карте-ре 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.

Схема жидкостной системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания представлена на рисунке 103. При работе двигателя охлаждающая жидкость с температурой до 80...90 °С водяным насосом 5 прокачивается в системе по малому кругу, минуя радиатор 1, вследствие чего теплоты от нее отводится мало. Термостат 3 в этом случае закрыт.

При нагревании охлаждающей жидкости до температуры выше оптимальной термостат открывается и она начинает циркулировать по большому кругу. В таком случае охлаждающая жидкость более интенсивно принимает теплоту от водяной рубашки 4 двигателя, проходя при этом через радиатор 1.

При эксплуатации двигателей с низкой температурой окружающего воздуха охлаждающая жидкость не достигает оптимального значения температуры и двигатель работает в заниженном тепловом режиме. Тогда для уменьшения охлаждения двигателя и улучшения его теплового состояния прикрывают шторку радиатора, а у некоторых автомобильных двигателей отключают привод вентилятора.

Надежность системы охлаждения в значительной мере зависит от свойств применяемой жидкости, которая должна отвечать следующим основным требованиям:

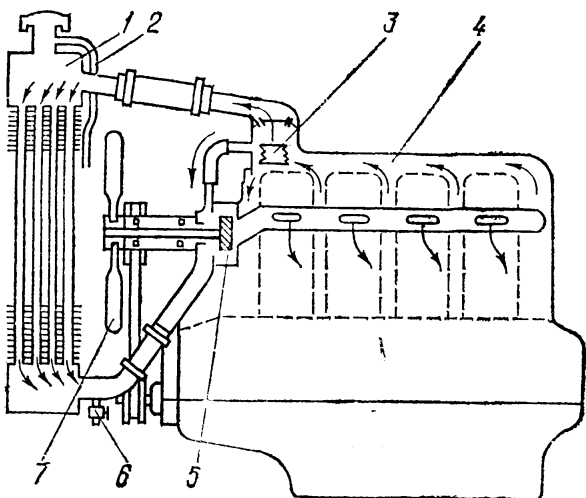


Рис. 103. Жидкостная система охлаждения двигателя внутреннего сгорания:

1 — радиатор; 2 — паропроводная трубка; 3 — термостат; 4 — водяная рубашка; 5 — водяной насос; 6 — спускной кран; 7 — вентилятор.

иметь достаточно высокие температуру кипения и теплоемкость; обладать температурой замерзания ниже температуры окружающего воздуха;

не образовывать на водяной рубашке двигателя и приборах системы охлаждения накипи;

не вызывать коррозию деталей двигателя и быть нейтральной к уплотнительным соединениям в системе охлаждения;

быть безопасной в обращении, дешевой и универсальной.

В качестве охлаждающих жидкостей для двигателей внутреннего сгорания широко применяют воду и низкотемпературные смеси — *антифризы*. Однако они не в полной мере отвечают необходимым требованиям.

Существенный недостаток обыкновенной воды как охлаждающей жидкости — высокая температура замерзания ( $0^{\circ}\text{C}$ ), что затрудняет ее применение в зимнее время. Из-за этого при длительной остановке двигателя необходимо сливать охлаждающую воду из системы. Заливание воды в систему охлаждения перед пуском двигателя мо-



жет быть сопряжено с целым рядом трудностей. Если же воду при остановках машины не сливать, то двигатель необходимо поддерживать в горячем состоянии, что ведет к перерасходу топлива и повышает износ двигателя.

Опасность применения воды при минусовых температурах окружающего воздуха заключается еще и в том, что замерзание ее в системе охлаждения приводит к разрушению двигателя (трещины в головке блока цилиндров, в трубках сердцевины радиатора и т. п.).

Другим недостатком является наличие в воде различных растворимых солей, способных в виде накипи откладываться на поверхностях деталей водяной рубашки. Из-за низкой теплопроводности накипи ухудшается охлаждение двигателя. На рисунке 104 графически изображено влияние толщины слоя накипи в водяной рубашке двигателя на расход топлива. Естественно, что эксплуатация двигателя с таким количеством накипи на гильзах приведет к значительному их перегреву и снижению технико-экономических показателей.

Кроме того, вода может корродировать металл деталей, что приводит к потере их механической прочности и снижению надежности работы двигателя.

Основными задачами при применении воды как охлаждающей жидкости являются обеспечение необходимого температурного состояния ее зимой и предупреждение процессов накипеобразования и коррозии в процессе эксплуатации двигателя внутреннего сгорания. При таких условиях двигатель работает в установленном режиме, сохраняется прочность и жесткость деталей системы охлаждения и исключается операция удаления накипи из двигателя. Эта операция является весьма трудоемким процессом и требует применения специального оборудования и химических веществ.

При отрицательных температурах окружающего воздуха применяют низкотемпературные охлаждающие жидкости. Антифризы также не полностью удовлетворяют не-

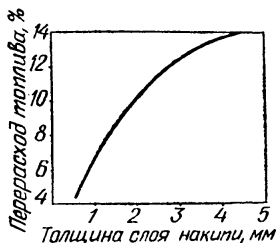


Рис. 104. Влияние толщины слоя накипи в водяной рубашке двигателя на перерасход топлива.

обходимым требованиям. Коэффициент их расширения относительно высок, что не позволяет целиком заполнить систему охлаждения. Многие антифризы отрицательно действуют на уплотнительные резинотехнические изделия, сравнительно дороги и т. д. Однако положительным их качеством является низкая температура замерзания, что обеспечивает надежную работу системы охлаждения при минусовых температурах окружающего воздуха.

## **17.2. Характеристика воды и способы определения жесткости**

Одним из недостатков воды, как отмечалось выше, является наличие в ней растворенных солей (жесткости), которые при нагревании образуют накипь. Накипью называются осаждающиеся на поверхности деталей отложения солей с высокой твердостью и низким коэффициентом теплопроводности. По внешнему виду накипь представляет собой плотно приставший к поверхности металла слой темно-серого или коричневого цвета. Толщина накипи на водяной рубашке двигателя может быть от десятых долей до нескольких миллиметров. По составу накипи представляют собой смеси различных химических соединений кальция и магния:  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{MgCO}_3$ ,  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{MgSiO}_3$  и т. д.

В воде могут быть также взвешенные механические примеси, которые забивают отверстия трубок радиаторов и ухудшают циркуляцию воды в системе. Эти примеси из воды можно удалить отстаиванием или фильтрованием. Соли жесткости на фильтре не задерживаются. Для того чтобы избавиться от них, нужно прибегнуть к другим технологическим приемам.

Жесткость воды определяется содержанием в ней ионов кальция и магния. Различают общую, карбонатную (временную) и некарбонатную (постоянную) жесткость.

Общая жесткость воды характеризуется суммарным содержанием в ней ионов кальция и магния, входящих в состав всех солей: хлоридов, сульфатов, бикарбонатов, нитратов и силикатов. Измеряется жесткость в миллиграммах-эквивалентах на 1 л воды ( $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$ ). Один миллиграмм-эквивалент жесткости соответствует содержанию в 1 л воды 20,04 мг кальция ( $\text{Ca}^{+2}$ ) или 12,16 мг магния ( $\text{Mg}^{+2}$ ).

**Карбонатная жесткость** обуславливается содержанием в воде растворенных двууглекислых солей Ca и Mg —  $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$  и  $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ . Эти соли при нагревании выше  $80\ldots 85^\circ\text{C}$  разлагаются с выделением осадков — карбонатов кальция  $\text{CaCO}_3$ , гидроокиси магния  $\text{Mg}(\text{OH})_2$ , углекислого газа и воды. В связи с этим карбонатная жесткость воды иначе называется *временной жесткостью*.

**Некарбонатная жесткость** воды обуславливается присутствием в ней всех остальных солей кальция и магния: хлоридов  $\text{CaCl}$ ,  $\text{MgCl}_2$ , сульфатов  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{MgSO}_4$ , силикатов  $\text{CaSiO}_3$ ,  $\text{MgSiO}_3$  и нитратов. При кипячении воды эти соли не выпадают в осадок, поэтому жесткость, обусловленная содержанием этих солей, иначе называется *постоянной жесткостью*.

Вода считается мягкой, если в ней содержится солей до  $3 \text{ мг}\cdot\text{экв/л}$ , средней жесткости —  $3\ldots 6 \text{ мг}\cdot\text{экв/л}$  и жесткой — более  $6 \text{ мг}\cdot\text{экв/л}$ . Вода с жесткостью выше  $3 \text{ мг}\cdot\text{экв/л}$ , предназначенная для систем охлаждения, подлежит обязательному умягчению.

Умягчение проводят с целью удаления из воды катионов  $\text{Ca}^{+2}$  и  $\text{Mg}^{+2}$  перед тем как залить ее в систему охлаждения двигателя. Этот процесс можно осуществить термически и химически.

При термическом способе умягчения воду нагревают до  $85\ldots 110^\circ\text{C}$ . Соли карбонатной жесткости разлагаются с образованием труднорастворимых, выпадающих в осадок карбоната кальция и гидроокиси магния. Одновременно частично удаляются углекислый газ и кислород.

Химическое умягчение воды основано на двух принципиально различных методах — осаждения и катионного обмена.

Метод осаждения состоит в переводе содержащихся в воде катионов кальция и магния растворимых солей в малорастворимые соединения, выпадающие в осадок. Этого достигают введением в воду гидроксильных  $\text{OH}^-$  и карбонатных  $\text{CO}_3^{-2}$  ионов. Для этой цели служат известь  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , едкий натр  $\text{NaOH}$ , кальцинированная сода  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  и тринатрийфосфат  $\text{Na}_3\text{PO}_4$ .

Умягчение воды катионированием основано на способности некоторых не растворимых в воде веществ, называемых *катионитами*, заменять свой катион на катионы солей в процессе фильтрования воды через слой катионита. К минеральным катионитам относятся природные минералы — глауконит, группа цеолитов и др.

Прежде чем умягчать воду, необходимо определить ее жесткость. Сделать это можно *массовым* и *объемным* способами.

При массовом способе находят содержание  $\text{Ca}^{+2}$  и  $\text{Mg}^{+2}$  и выражают жесткость Ж (мг·экв/л) по формуле

$$\text{Ж} = \text{Ca}^{+2}/20,04 + \text{Mg}^{+2}/12,16. \quad (57)$$

Из объемных наиболее широко применяют щелочной и мыльный способы. При щелочном способе соли жесткости осаждают растворами едкого натра и карбоната натрия, прибавляемыми в избытке. По количеству щелочи, затраченной на реакцию осаждения, судят о жесткости воды.

Мыльный способ основан на появлении в воде пены после того, как соли кальция и магния прореагируют с мылом (олеатом калия).

**Щелочность** воды характеризует содержание в ней бикарбонатных  $\text{HCO}_3^-$ , карбонатных  $\text{CO}_3^{2-}$  и гидроксильных  $\text{OH}^-$  ионов в сочетании с катионами  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$ .

Щелочность воды выражается в мг·экв/л и определяется титрованием 100 мл воды 0,1 н. раствором соляной кислоты с индикаторами фенолфталеином или метилоранжем. Делают это так. В цилиндр наливают 100 мл исследуемой воды и добавляют 3...4 капли метилоранжа, а затем титруют 0,1 н. раствором соляной кислоты до перехода окраски воды из желтой в оранжевую. Количество израсходованного 0,1 н. раствора кислоты дает численное значение щелочности воды.

**Карбонатная жесткость нещелочной воды** определяется титрованием 100 мл исследуемой воды 0,1 н. раствором соляной кислоты в присутствии индикатора метилоранжа (3...4 капли). Количество кислоты, израсходованной до момента изменения окраски воды из желтой в оранжевую, будет соответствовать карбонатной жесткости в мг·экв/л.

**Карбонатная жесткость щелочной воды** определяется следующим образом. В колбу наливают 100 мл исследуемой воды и кипятят 30 мин для осаждения бикарбонатов кальция и магния. Бикарбонаты натрия и другие соединения, обуславливающие щелочность воды, остаются в ней. Затем осадок отфильтровывают, в колбу добавляют до 100 мл дистиллированной воды и

3...4 капли метилоранжа. Титруют 0,1 н. раствором  $\text{HCl}$  до перехода окраски из желтой в оранжевую.

Из общего количества кислоты, израсходованной на нейтрализацию солей при определении общей щелочности воды, вычитают количество кислоты, затраченной на нейтрализацию бикарбонатов натрия после кипячения воды, и получают количество кислоты, необходимое для нейтрализации солей карбонатной жесткости, т. е. карбонатную жесткость воды ( $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$ ).

### **17.3. Способы умягчения воды и удаление накипи**

Наиболее простыми и доступными способами умягчения воды в условиях производственной эксплуатации тракторов, автомобилей и комбайнов являются следующие.

**Кипячение.** При кипячении воды соли-накипеобразователи карбонатной (временной) жесткости разлагаются и выпадают в осадок. Перед употреблением умягченную воду отстаивают и фильтруют через матерчатый фильтр. Хотя кипячение воды является наиболее простым способом ее умягчения, однако для этого требуется значительный расход топлива.

В целях экономии воду, спускаемую из системы охлаждения, следует собирать в емкость, отстаивать, а затем повторно заливать в систему охлаждения.

Для систем охлаждения двигателей пригодна дождевая и талая вода, не содержащая солей жесткости.

**Обработка тринатрийфосфатом.** В этом случае вода умягчается вне системы охлаждения двигателя. Используют отдельную емкость, обычно деревянную бочку. Предварительно готовят насыщенный раствор из расчета 3 кг технического тринатрийфосфата на 10 л воды, который несколько раз перемешивают, а затем отстаивают. Для осаждения 1  $\text{мг} \cdot \text{экв.}$  солей в 1 л воды требуется 20 мг безводного тринатрийфосфата. В 1 л насыщенного раствора содержится 100 г безводного тринатрийфосфата, т. е. 1 л приготовленного раствора достаточно для умягчения 200 л воды с жесткостью около 9  $\text{мг} \cdot \text{экв/л}$ .

После добавления тринатрийфосфата воду четыре раза тщательно перемешивают через каждые 15 мин. Дают ей отстояться в течение 3...5 ч. После этого воду

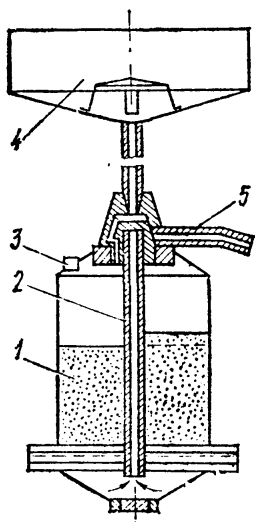


Рис. 105. Глауконитовый фильтр для умягчения воды:

1 — глауконит; 2 — центральная труба для воды; 3 — отверстие для загрузки глауконита; 4 — бачок для умягчаемой воды; 5 — трубка для выхода умягченной воды.

фильтруют и очищенную заливают в систему охлаждения двигателя.

**Фильтрация через глауконитовый фильтр.** Умягчение воды таким фильтром основано на обменной реакции между солями жесткости и глауконитом. Он представляет собой минерал цеолит, который встречается в природе в виде гладких зерен зеленого цвета разных оттенков. При прохождении жесткой воды через глауконитовый фильтр ионы кальция и магния солей жесткости обмениваются на ион натрия из глауконита. Таким образом вода умягчается.

Глауконитовый фильтр (рис. 105) представляет собой емкость, в которую помещено 40 кг глауконита. Высота его слоя равна примерно 350...370 мм. Производительность такого аппарата составляет 250...300 л умягченной воды при ее начальной жесткости до 18 мг·экв/л. После длительной работы фильтр срабатывается. Для восстановления первоначальных свойств его регенерируют. С этой целью в фильтр на 10 ч заливают 10 %-ный раствор поваренной соли. На одну регенерацию расходуется 0,5 кг соли. После выдержки глауконитовый фильтр промывают водой.

Помимо глауконита, применяют искусственно приготовленное соединение — *пермутит*. В этом случае фильтр носит название пермутитового.

**Магнитная обработка воды.** Для умягчения воды широко применяют магнитную обработку. Аппараты для магнитной обработки воды изготовляют с постоянными и электрическими магнитами. Первые конструктивно проще, не требуют источника питания и постоянного наблюдения при эксплуатации. Недостатком их является то, что с течением времени они размагничива-

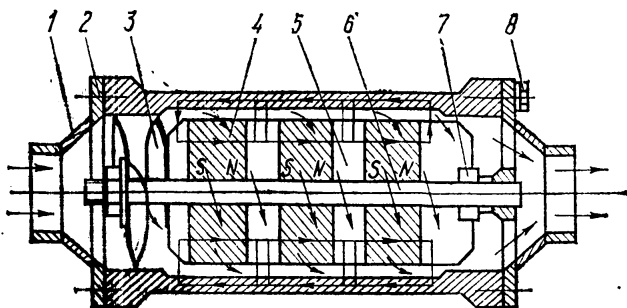


Рис. 106. Магнитный фильтр для умягчения воды:

1 — фланец; 2 — крышка; 3 — шнековая навивка; 4 — магнит; 5 — полюсный наконечник; 6 — винт; 7 — упор; 8 — болт.

ются, особенно, если при эксплуатации подвергаются механическим ударам, сильному нагреванию или воздействию блуждающих токов. При этом способе соли жесткости, образующие накипь, выделяются в виде твердой фазы — шлама, который легко удаляется из воды при фильтровании.

На рисунке 106 показан аппарат на постоянных магнитах. Аппарат состоит из стального корпуса, двух стальных фланцев 1 с патрубками. Внутри корпуса установлены три постоянных магнита 4, между которыми размещаются полюсные наконечники 5. В передней части аппарата, по ходу движения, находится вихревая камера, полость которой образуется корпусом аппарата и лопастями шнековой навивки 3, выполненной из диамагнитного материала. Вода поступает в аппарат, ударяется о винтовую лопасть, приобретает вращательное движение и движется по кольцевому зазору, подвергаясь обработке магнитным полем. В массе воды под действием магнитного поля зарождаются центры кристаллизации, которые способствуют выпадению солей жесткости в виде шлама в осадок.

**Применение, антикоррозионных присадок и антинакипинов.** В случаях, когда затруднено применение умягченной воды, а также для повышения ее антикоррозионных свойств в систему охлаждения вводят присадки, которые предотвращают отложение накипи и образуют защитные антикоррозионные пленки. Для этих целей широко используется хромпик  $K_2Cr_2O_7$ . При жесткости

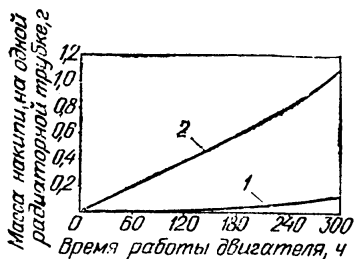


Рис. 107. Изменение образования накипи в системе охлаждения двигателя:

1 — при добавлении в воду антинакипина; 2 — неумягченная вода.

Добавление к умягчаемой воде антинакипинов непосредственно в систему охлаждения двигателя особенно удобно для полевых условий эксплуатации машин. Действие антинакипинов сводится к предотвращению образования накипи на водяной рубашке двигателя. Это достигается за счет перевода солей жесткости в рыхлое состояние или удержания их в виде перенасыщенного раствора. На рисунке 107 показана динамика нарастания накипи в системе охлаждения двигателя, заправленной с антинакипином (кривая 1) и без него (кривая 2).

С течением времени бывает необходимо удалить образовавшуюся накипь из водяной рубашки двигателя. Для этой цели следует применять один из следующих способов.

**Удаление накипи содовым раствором.** При использовании кальцинированной соды готовят раствор из расчета 100...150 г соды и 50 г керосина на 1 л воды; при использовании каустической соды — 50...60 г каустика и 25 г керосина на 1 л воды. Одним из этих растворов заполняют систему охлаждения. Двигатель работает в течение 10...12 ч при температуре охлаждающей жидкости около 80 °С. Затем останавливают двигатель, раствор сливают, а систему охлаждения промывают чистой водой не менее 2...3 раз.

При применении раствора из каустической соды с двигателей предварительно снимают термостаты, ибо они в значительной степени подвергаются коррозии.

**Применение 2 %-ного раствора технической соляной**

воды 8...9 мг·экв/л его добавляют до 10 г на 1 л воды. Эффективны также фосфаты натрия. Эти вещества переводят накипеобразующие соли Са и Mg в рыхлые осадки, циркулирующие вместе с водой и легко удаляемые при промывке системы охлаждения. Весьма эффективна для антикоррозионных целей присадка к воде в виде смеси  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  с  $\text{NaNO}_2$  и  $\text{NaOH}$ .



**кислоты.** Готовят раствор из расчета 53 мл соляной кислоты на 1 л воды (кислоту наливают в воду). При заполнении системы охлаждения этой жидкостью накипь растворяется с бурным выделением углекислого газа. Как только выделение газа прекращается, раствор сливают, а систему охлаждения тщательно промывают водой. После этого в систему на 1 ч заливают 2 %-ный раствор технической соды из расчета 20 г на 1 л воды для нейтрализации остатков кислоты. Затем этот раствор сливают и систему промывают водой.

В двигателях с алюминиевыми деталями водяных рубашек запрещается применять для удаления накипи кислотные и щелочные растворы. Лучшим способом удаления накипи в этих случаях является использование раствора из кальцинированной соды с последующим промыванием системы охлаждения чистой водой.

#### **17.4. Низкозамерзающие охлаждающие смеси (антифризы)**

В зимнее время эксплуатации тракторов и автомобилей с водяным охлаждением двигателей целесообразно применять жидкости, обладающие низкими температурами замерзания, — антифризы.

Наилучшей низкозамерзающей жидкостью является смесь этиленгликоля с водой, причем смесь может быть приготовлена в любых соотношениях в зависимости от требуемой температуры ее замерзания. В чистом виде этиленгликоль — бесцветная прозрачная жидкость, без запаха, температура замерзания ее —  $-11,5^{\circ}\text{C}$ . Максимально низкой температурой замерзания ( $-75^{\circ}\text{C}$ ) обладает смесь, содержащая 66,7 % этиленгликоля и 33,3 % воды. На рисунке 108 показана кривая кристаллизации водоетиленгликолевых смесей.

Положительным качеством этиленгликолевых смесей является то, что они не образуют в системе охлаждения накипи, так как для приготовления смеси используют дистиллированную воду.

Промышленность, помимо чистого этиленгликоля, выпускает водоетиленгликолевые смеси (антифризы) двух марок: А-40 и А-65 (цифра означает температуру замерзания смеси). В А-40 содержится 53 % этиленгликоля и 47 % воды, в А-65 — 65 % этиленгликоля и 35 % воды.

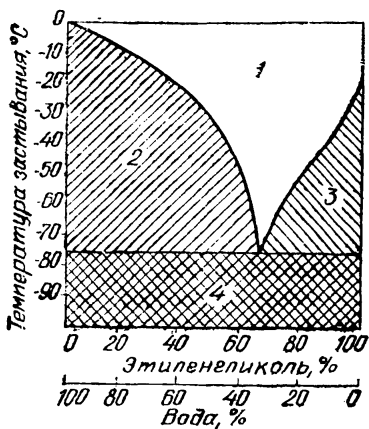


Рис. 108. Кривая кристаллизации водозтиленгликолевых смесей:

1 — раствор; 2 — кристаллы льда+раствор; 3 — кристаллы этиленгликоля+раствор; 4 — кристаллы льда и этиленгликоля.

Следует помнить, что этиленгликоль ядовит, поэтому обращаться с ним надо осторожно.

Перед заполнением системы этиленгликолевой жидкостью ее тщательно промывают и следят, чтобы в нее не попали нефтепродукты. Наличие их способствует сильному вспениванию жидкости. Системы охлаждения заполняют водозтиленгликолевыми смесями на 5...7 % меньше объема, так как они в значительно большей степени, чем вода, расширяются при нагревании.

При нагревании этиленгликолевой жидкости при эксплуатации двигателя из нее испаряется вода. Поэтому убыль в системе охлаждения восполняют не смесью, а дистиллированной водой.

Однако прежде чем долить воду в систему охлаждения, следует проверить состав смеси *гидрометром*. Гидрометр представляет собой разновидность ареометра, только на шкале его вместо значений плотности нанесены значения концентрации этиленгликоля в растворе и температура замерзания. Каждому составу смеси соответствует определенная плотность. Замеряют в пробе из системы охлаждения концентрацию этиленгликоля. Если она завышена, добавляют воду до стандартного состава смеси.

Плотность жидкости А-40 составляет 1,07, жидкости А-65 — 1,084. Плотность определяют при температуре смеси 20°C.

Если при добавлении воды в смесь уровень жидкости в системе охлаждения двигателя недостаточен при установленной ее плотности, то дополнительно вводят свежую этиленгликолевую смесь.

При переходе машины на летнюю эксплуатацию антифриз сливают в чистую посуду. После фильтрации он

может быть повторно использован. Систему охлаждения после этого хорошо промывают чистой водой.

Для легковых автомобилей «Жигули», «Волга», «Москвич», грузовых автомобилей КамАЗ, тракторов К-701 и машин других марок широко применяют всеесезонную низкотемпературную жидкость Тосол, приготовленную на основе этиленгликоля с добавлением 2,5...3 % сложной композиции противокоррозионных и антипенной присадок. Выпускают Тосол А, Тосол А-40 и Тосол А-65 (ТУ 6 02751—73), который окрашивается в зелено-голубой цвет. Тосол А представляет собой концентрированный этиленгликоль, содержащий присадки. Пользоваться Тосолом А следует после разведения его дистиллированной водой. Смесь Тосола А и воды в соотношении 1:1 имеет температуру начала кристаллизации —35 °С.

Водный раствор Тосола А с температурой застывания не выше —40 °С маркируют как Тосол А-40, с температурой —65 °С как Тосол А-65. Марки Тосола определяют по плотности: Тосол А имеет плотность в пределах 1,12...1,14; Тосол А-40 — 1,075...1,085 и Тосол А-65 — 1,085...1,095 г/см<sup>3</sup>. При уменьшении объема Тосола в системе охлаждения двигателя доливают только дистиллированную воду, которая в процессе работы испаряется. Используют Тосол как летом, так и зимой. Заменять Тосол в системе охлаждения следует через 2 года.

### 17.5. Смазочно-охлаждающие жидкости

Жидкости этой группы применяют при металлообработке. Они выполняют функции смазочного вещества охлаждающего действия, а также предотвращающего деформирование металла и улучшающего качество обрабатываемой поверхности.

Смазочно-охлаждающие жидкости делятся на две группы: эмульсолы, применяемые в виде водомасляных эмульсий, и смазочно-охлаждающие жидкости на нефтяной основе, используемые в натуральном виде.

В качестве эмульсолов выпускают: Э-2 (Б) (ГОСТ 1975—75), ЭТ-2 (ТУ 38 101599—75), НГЛ-205 (ТУ 38 101547—80), СДМУ-2 (ТУ 38 101546—75), Укринол-1 (ТУ 38 101197—74), которые применяют при обработке металлов резанием и давлением.

В качестве смазочно-охлаждающих жидкостей на масляной основе выпускают: сульфифрезол (ГОСТ 122—54); ЛЗ-СОЖ1 (ТУ 38 101510—74), ЛЗ-СОЖ2СО (ТУ 38 101115—75); смазка технологическая ХС-147 (ТУ 38 101612—76), которые используют при резании, прессовании и штамповке черных металлов.

### 17.6. Пусковые жидкости

Для облегчения пуска двигателей при низкой температуре окружающего воздуха (ниже  $-20\ldots -25^{\circ}\text{C}$ ) применяют пусковые жидкости, которые должны хорошо испаряться и быстро воспламеняться от искры или самовоспламеняться от сжатия. Кроме того, они должны обладать высокими антикоррозионными и противоизносными свойствами, иметь низкую температуру застывания, быть стабильными при длительном хранении. В качестве пусковых производят легковоспламеняющиеся жидкости на основе диэтилового эфира: Холод Д-40 для дизелей и Арктика для карбюраторных двигателей. Эфир обладает широким пределом воспламеняемости и невысокой температурой самовоспламенения в топливовоздушной смеси. В таблице 57 приведен состав пусковых жидкостей.

57. Состав пусковых жидкостей

| Компоненты      | Состав, %  |           |
|-----------------|------------|-----------|
|                 | Холод Д-40 | Арктика   |
| Диэтиловый эфир | 58...62    | 54...56   |
| Газовый бензин  | 13...17    | 38...43   |
| Изопропилнитрат | 13...17    | 2...4     |
| Турбинное масло | 9...11     | 1,5...2,5 |

Добавление к пусковой жидкости для дизелей газового бензина и изопропилнитрата позволяет ускорить самовоспламенение и сгорание основного топлива, делает работу двигателя в период пуска более мягкой.

В жидкости для карбюраторных двигателей присутствие изопропилнитрата ускоряет воспламенение эфира и газового бензина от искры, а газовый бензин обеспечивает плавный переход к работе на основном топливе.

Турбинное масло к пусковым жидкостям добавляют для снижения износа в период пуска.

Пусковые жидкости поставляют потребителям в герметичных алюминиевых ампулах емкостью 20 и 50 мл. Для их введения в двигатель разработаны специальные приспособления. На рисунке 109 показана зависимость минимальной пусковой частоты вращения коленчатого вала двигателя ЗИЛ-130 при использовании пусковой жидкости и без нее.

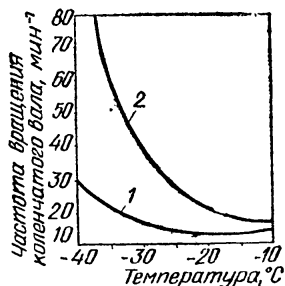


Рис. 109. Изменение минимальных пусковых оборотов двигателя ЗИЛ-130 в зависимости от температуры:

1 — при применении пусковой жидкости «Арктика»;  
2 — без применения пусковой жидкости.

## Глава 18. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

### 18.1. Жидкости для гидравлических систем

В современных тракторах, автомобилях, комбайнах и других сельскохозяйственных машинах для приведения в действие разнообразных механизмов широко используются гидравлические передачи (раздельноагрегатные гидросистемы с выносными гидроцилиндрами, гидротрансформаторы, гидромеханические трансмиссии, гидроусилители рулевого управления, гидроувеличители сцепного веса, гидравлический привод тормозов, амортизаторы и др.), в которых применяются жидкости различных видов.

Эти жидкости в определенных условиях должны обеспечивать надежную и долговечную работу гидромеханизмов и приводов, не изменяя при этом своих первоначальных свойств. Основные условия, в которых работают жидкости для гидравлических систем, характеризуются: широким колебанием температуры окружающего воздуха ( $-60...60^{\circ}\text{C}$  и более); передачей больших усилий и воздействием высоких удельных нагрузок

в шестеренных насосах; запыленностью и влажностью окружающего воздуха; контактированием с различными металлами, их сплавами, резинотехническими и другими изделиями и т. д.

Поэтому к жидкостям для гидравлических систем предъявляются следующие требования:

вязкость должна быть такой, чтобы жидкость хорошо прокачивалась. Вязкость не должна сильно изменяться при изменении температур;

температура застывания должна быть ниже температуры окружающего воздуха;

жидкость должна обладать высокими противокоррозионными свойствами и не вызывать разрушения или разбухания резинотехнических и кожаных уплотнений в гидросистеме;

жидкость должна иметь высокую смазывающую способность, чтобы обеспечивать минимальный износ трущихся деталей и снижение потерь на трение;

жидкость должна обладать высокой химической и физической стабильностью, не окисляться в процессе работы и не изменять своих первоначальных характеристик;

жидкость не должна содержать механических примесей, воды и коррозионно-активных веществ, которые способствуют повышению износов, коррозии и ухудшают прокачивание ее в каналах гидросистемы.

Для применения в гидравлических системах различных машин и оборудования выпускают гидравлические масла более 20 наименований. Их получают главным образом из нефтяных дистиллятов с добавлением соответствующих присадок (вязкостных, депрессорных, антикоррозионных, противоиринов и др.).

Для гидросистем в качестве рабочей жидкости наиболее широко используют веретенное масло АУ (ГОСТ 1642—75), которое обеспечивает пуск при температуре до  $-35^{\circ}\text{C}$ ; максимально допустимый верхний температурный предел равен  $90^{\circ}\text{C}$ . Веретенное масло АУП (ТУ 38 101719—78) получают добавлением к маслу АУ антикоррозионной и антиокислительной присадок, что позволяет повысить максимально допустимую температуру до  $125^{\circ}\text{C}$ .

На базе индустриального И-30А введением антиокислительной, депрессорной и антипенной присадок получают гидравлическое масло МГ-30 (ТУ 38 10150—79).

Оно предназначено для гидросистем с рабочим давлением до 20 МПа (строительных, дорожных, подъемно-транспортных машин и др.), эксплуатируемых на открытом воздухе в весенне-летний период в средней климатической зоне и всесезонно в южных районах.

Для всесезонной эксплуатации гидроприводов и гидроуправления промышленных тракторов разработано гидравлическое масло М-2ИХП (ТУ 38 101770—79), которое готовят на базе индустриального И-12А с добавлением присадок, улучшающих вязкостные, моющие и антиокислительные свойства.

Для гидросистем различной техники всесезонно в интервале температур от  $-50$  до  $50^{\circ}\text{C}$  предназначено масло ВМГЗ (ТУ 38 101479—74).

В качестве специального гидравлического масла широко применяют авиационное гидравлическое АМГ-10. Кроме самолетов, оно может быть использовано как рабочая жидкость для гидроприводов и гидравлических систем различных механизмов. Вязкость масла АМГ-10 около  $10\text{ мм}^2/\text{с}$  при  $50^{\circ}\text{C}$ , температура застывания  $-60^{\circ}\text{C}$ . В случае применения этой жидкости уплотнения должны быть из маслостойкой резины.

В качестве единого гидравлического масла все шире распространяется масло МГЕ-10А (ТУ 38 101572—75), которое представляет собой загущенную низкозастывающую фракцию нефтяного масла с присадкой. Это масло может работать в широких температурных пределах ( $-60\ldots 90^{\circ}\text{C}$ ). При  $50^{\circ}\text{C}$  вязкость его составляет  $10\text{ мм}^2/\text{с}$ , температура застывания равна  $-70^{\circ}\text{C}$ .

На практике в качестве рабочей жидкости для гидросистем отдельных тракторов применяют моторное масло, которое рекомендуется для двигателей. Моторное масло не в полной мере удовлетворяет необходимым требованиям, главным образом из-за относительно высокой вязкости и несоответствующих вязкостно-температурных свойств, а также из-за высокой зольности присадок, способствующей повышенному износу деталей.

## **18.2. Жидкости для тормозных систем**

Тормозные жидкости — это разновидность гидравлических жидкостей. В соответствии с назначением к ним предъявляются специфические требования. В качестве тормозных жидкостей для гидравличес-

ких тормозов автомобилей и других машин применяют такие, которые обладают низкой температурой замерзания, хорошими антикоррозионными свойствами, а также не разрушают резиновые изделия. Трущиеся детали тормозной системы смазываются этой же жидкостью, поэтому большое значение имеет ее смазывающая способность.

Выпускают тормозные жидкости нескольких видов и сортов на касторовой, глицериновой, гликолевой и нефтяной основах.

На касторовой основе выпускают автомобильные тормозные жидкости марок ЭСК и БСК. Жидкость ЭСК представляет собой смесь 60 % касторового масла и 40 % этилового спирта, окрашенную в красный цвет; жидкость БСК — 50 % касторового масла и 50 % бутилового спирта, окрашенную в оранжевый цвет. Эти жидкости отвечают всем необходимым требованиям. Недостатком является то, что их невозможно применять в зимних условиях при температуре окружающего воздуха ниже  $-20...-25^{\circ}\text{C}$ . При низких температурах в этих жидкостях касторовое масло кристаллизуется в виде салообразной массы, и в растворе фактически остается только спирт. Наличие касторового масла в этих жидкостях обуславливает их высокую смазывающую способность.

На глицериновой основе выпускают тормозную жидкость, содержащую 35 % очищенного глицерина и 65 % спирта-ректификата. Эта жидкость по своим свойствам аналогична ЭСК и БСК.

Спирт из этих тормозных жидкостей достаточно легко испаряется, поэтому хранить их надо в герметизированных емкостях.

На гликолевой основе выпускают автомобильные жидкости марки ГТЖ-22М (ТУ 60 1814—73) и Нева (ТУ 6 011163—78). Основным компонентом в них являются гликоль и его производные. Эти жидкости содержат вязкостные, противоизносные, ингибиторы коррозии и другие присадки. Низкотемпературные качества этих жидкостей позволяют применять их для тормозов во все времена года. Жидкость ГТЖ-22М окрашена в зеленый цвет и принята в качестве единой всесезонной гидротормозной жидкости для отечественных автомобилей всех марок. Эта жидкость при  $50^{\circ}\text{C}$  имеет кинематическую вязкость в пределах  $7,9...8,3 \text{ мм}^2/\text{с}$ , температуру замер-



зания — 65 °С. Она стабильна при хранении, однако имеет недостатки — обладает повышенной коррозионной агрессивностью к чугуну и невысокими смазывающими свойствами.

Жидкость Нева рекомендуется для применения в приводах тормозов современных легковых автомобилей. Положительным свойством жидкостей на гликолевой основе является то, что при поглощении ими воды расслаивания не происходит, так как гликоль хорошо растворяется в воде.

Наиболее перспективно использование новой всесезонной жидкости Томь (ТУ 6 012620—77), которая представляет собой смесь гликолей и эфиров борной кислоты. Основные преимущества этой жидкости: небольшая гигроскопичность, незначительное снижение температуры кипения при обводнении, хорошие противоизносные и антикоррозионные свойства, низкая стоимость. Эксплуатационные свойства этой жидкости обеспечивают надежную работу приводов тормозов грузовых и легковых автомобилей.

### **18.3. Жидкости для амортизаторов**

Для автомобильных гидравлических амортизаторов следует применять жидкости, обладающие хорошими смазывающей способностью и вязкостно-температурной характеристикой, высокими и противокоррозионными качествами и низкой температурой застывания. Такие жидкости должны также иметь высокую термическую и механическую стабильность, чтобы амортизаторы надежно работали на протяжении 75...100 тыс. км пробега машины.

Наиболее широко в амортизаторах автомобилей используется жидкость АЖ-12Т (ГОСТ 23008—78). Она представляет собой смесь маловязкого минерального масла и кремнийорганической жидкости с добавлением противоизносной и антиокислительной присадок. Жидкость АЖ-12Т обеспечивает устойчивую работу амортизаторов, детали уплотнений которых выполнены из маслостойкой резины, при повышенных температуре и давлении. Интервал температур, при которых возможна работа этой жидкости, находится в пределах —50...60 °С.

Кроме этой жидкости для всесезонной работы гидравлические амортизаторы автомобилей заправляют

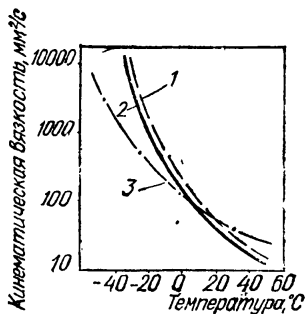


Рис. 110. Изменение вязкостно-температурных свойств амортизаторных жидкостей:

1 — смесь 40 % турбинного и 60 % трансформаторного масел; 2 — веретенное АУ; 3 — жидкость АЖ-12Т.

маслом МГП-10 (ТУ 38 154—74), которое является смесью трансформаторного масла, кремнийорганической жидкости, животных жиров, антиокислительной и противопенной присадок.

В производственных условиях при отсутствии специальных амортизаторных жидкостей применяют смеси трансформаторного и турбинного масел в равном соотношении. Эти смеси готовят, исходя из требуемой вязкости: для летних условий вязкость должна быть равна 11...12 мм<sup>2</sup>/с при 50 °С (60 % турбинного и 40 % трансформаторного масел); для зимних смесь составляют

в обратном соотношении. Зимой можно использовать также веретенное масло АУ.

Такие смеси обладают вполне удовлетворительными эксплуатационными свойствами, уступая лишь по вязкостно-температурным характеристикам специальным амортизаторным жидкостям (рис. 110).

В случае отсутствия турбинного масла в смесь добавляют легкое индустриальное. Применять одно лишь трансформаторное масло в качестве амортизаторной жидкости не рекомендуется из-за отсутствия у него необходимых противоизносных свойств.

#### 18.4. Консервационные жидкости

Для защиты металлических поверхностей механизмов и машин от атмосферной коррозии вместо пластичных смазок широко используют жидкие консервационные масла.

К положительным свойствам жидких консервационных масел относится то, что их легко наносить на защищаемую поверхность (без нагревания), можно применять для защиты внутренних рабочих поверхностей (цилиндры) и труднодоступных частей механизма. При введении в такие масла различных присадок получают

ся стойкие и надежные покрытия. Кроме того, перед началом эксплуатации не надо проводить расконсервацию машины — можно сразу заправить ее рекомендуемым смазочным маслом.

Для длительной консервации машин (пять лет и более) применяют смазку К-17 (ГОСТ 10877—76). Ее кинематическая вязкость при 100°C составляет 15...22 мм<sup>2</sup>/с, температура застывания —20°C. Для консервации двигателя внутреннего сгорания сливают моторное масло и через форсуночные отверстия заливают консервационное. При этом проворачивают коленчатый вал для равномерного распределения масла на зеркалах гильз цилиндров и поршнях. При вводе двигателя в эксплуатацию заливают моторное масло соответствующей марки без предварительного удаления консервационного.

Консервационное масло НГ-203А (ГОСТ 12238—77) и смазка НГ-204у (ГОСТ 18974—73) представляют собой маслянистые жидкости коричневого или черного цвета. Кинематическая вязкость при 100°C первой равна 25...50 мм<sup>2</sup>/с, второй — 15...35 мм<sup>2</sup>/с. Эти масла сохраняют консервационные свойства в течение одного года.

Масла с большей вязкостью применяют для защиты наружных поверхностей, с меньшей — для внутренних рабочих поверхностей.

Универсальные масла для внутренней консервации двигателей, агрегатов трансмиссий, редукторов и других механизмов готовят на основе защитной присадки АКОР-1. Для этого к товарному рабочему маслу добавляют около 5 % присадки АКОР-1, предварительно разогретой до 60...70°C и хорошо перемешанной. Заливают такое масло в двигатель или другой механизм и дают ему поработать в течение 5 мин для лучшего смазывания поверхностей. Расконсервации при использовании масла с присадкой АКОР-1 не требуется. Защитное действие сохраняется в течение одного года.

Присадку АКОР-1 можно применять как защитную жидкость для наружной консервации.

Защитные консервационные смазки должны быть устойчивы, т. е. не смываться водой, не образовывать с ней эмульсии, не растворяться и не терять свои защитные свойства. На рисунке 111 показано поведение различных защитных смазок при воздействии на них

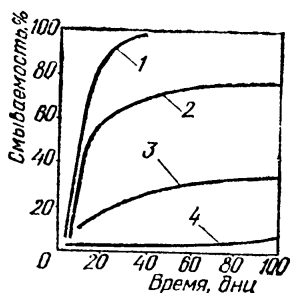


Рис. 111. Изменение смываемости смазок водой:

1 — смазка 1-13; 2 — смазка ЦИАТИМ-201; 3 — солидол УС-2; 4 — смазка ПВК.

воды. Как видно из рисунка, наименее устойчивой является смазка 1-13, которая содержит водорастворимое натриевое мыло. Быстро смывается также смазка ЦИАТИМ-201 из-за низких механических свойств. Солидол и смазка ПВК имеют более высокие защитные свойства и наиболее стойки. Смазка ПВК (ГОСТ 19537—74) представляет собой минеральное масло, загущенное твердыми углеводородами и содержащее присадки, улучшающие его защитные свойства.

Для консервации деталей в виде защитного пленочного покрытия на основе продуктов переработки нефти, загустителей, малорастворимого ингибитора коррозии и растворителей выпускают защитное покрытие НГ-216 «Масплин» (ТУ 38 101427—76). После нанесения такой смазки растворитель испаряется, а на поверхности образуется воскообразная пленка толщиной 0,1...0,5 мм, которая и обеспечивает высокие защитные свойства.

Широко применяется для защиты от коррозии скрытых полостей автомобилей автоконсервант «Мовиль» (ТУ 6 151131—78). Он содержит раствор ингибитора коррозии АКОР-1, окисленный петролатум, церезин, олифу и некоторые виды присадок в уайт-спирите. Этот консервант наносят путем распыления под давлением около 0,3 МПа.

### 18.5. Жидкости для удаления нагара с деталей двигателя

Для удаления нагара с поршней, поршневых колец, головок блока и других деталей применяют различные моющие составы, приготовленные на основе каустической соды (едкого натра) с добавлением жидкого стекла, углекислого натрия и других веществ (табл. 58). Однако существенным недостатком их является сильное коррозионное действие на детали, изготовленные из цветных металлов или сплавов, особенно алюминиевые. Кроме того, эти составы — токсичные ве-

## 58. Моющие составы для очистки деталей от нагара

| Компоненты                                            | Стальные детали                                 |     |     | Алюминиевые детали |     |     |     |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|-----|-----|--------------------|-----|-----|-----|
|                                                       | содержание компонентов в составе, кг/100 л воды |     |     |                    |     |     |     |
|                                                       | 1                                               | 2   | 3   | 1                  | 2   | 3   | 4   |
| Едкий натр NaOH                                       | 2,5                                             | 10  | 2,5 | —                  | —   | —   | —   |
| Кальцинированная сода Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> | 3,3                                             | —   | 3,1 | 1,85               | 2,0 | 1,0 | 1,0 |
| Жидкое стекло Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub>        | 0,15                                            | —   | 1,0 | 0,85               | 0,8 | —   | —   |
| Мыло                                                  | 0,85                                            | —   | 0,8 | 1,0                | 1,0 | 1,0 | —   |
| Хромпик K <sub>2</sub> Cr <sub>2</sub> O <sub>7</sub> | —                                               | 0,5 | 0,5 | —                  | 0,5 | 0,5 | 0,3 |

щества, поэтому при работе с ними требуется особая осторожность. Для удаления углеродистых веществ (нагаров) поршни и другие детали выдерживают 2...3 ч в соответствующей моющей жидкости при температуре 80...85 °С. После этого отложения легко снимаются с деталей при помощи кисти или щетки.

Наряду со щелочными растворами применяют синтетические моющие средства, которые не корродируют металлические поверхности и хорошо смывают нагар. Они нетоксичны и невзрывоопасны. Среди них наиболее распространены моющие смеси МС-5, МС-6 и МС-8 (табл. 59). Эти смеси неионогенных поверхностно-активных веществ с добавлением активных соединений в виде триполифосфата натрия, кальцинированной соды и других соединений. Эти моющие средства используют в виде 1...2,5 %-ных водных растворов.

## 59. Моющие составы МС

| Компоненты                           | Содержание компонентов в составе, % |         |         |
|--------------------------------------|-------------------------------------|---------|---------|
|                                      | МС-5                                | МС-6    | МС-8    |
| Кальцинированная сода                | 46                                  | 40      | 38      |
| Триполифосфат натрия                 | 24                                  | 25      | 27      |
| Метасиликат натрия                   | 24                                  | 29      | 29      |
| Поверхностно-активные вещества:      |                                     |         |         |
| ОС-20                                | 6                                   | —       | —       |
| синтакол ДС-6                        | —                                   | 6       | —       |
| синтамид-6                           | —                                   | —       | 8       |
| Рекомендуемая концентрация, г/л воды | 20...25                             | 15...20 | 15...20 |

Состав МС-5 особенно эффективен для мойки деталей и сборочных единиц двигателей внутреннего сгорания; состав МС-6 — для деталей трансмиссий и ходовой части автомобилей, тракторов. Состав МС-8 следует использовать для очистки сильно загрязненных машин. Эти составы могут быть использованы также и для наружной мойки тракторов и автомобилей, но в этом случае их раствор готовят меньшей концентрации (10...15 г/л).

Составы обладают наибольшей моющей способностью при температуре 70...80 °С. Срок службы растворов зависит от степени их использования и вместимости баков для мойки. При средней загрязненности на 1 т деталей необходимо 1...2 кг моющего средства. Продолжительность мойки при правильно выбранном режиме работы моечной установки не превышает 10...30 мин.

При очистке машин пароводоструйной установкой используют синтетическую пасту «Аэрол» в концентрации 1...5 г/л в зависимости от степени и вида загрязнения. Применение этого препарата позволяет быстро и полностью удалить отложения, нагары и лаки с сильно загрязненных поверхностей.

Для получения особенно чистых поверхностей деталей применяют ультразвуковую обработку в эмульсиях (дизельное топливо с водой и небольшим количеством поверхностно-активного вещества).

## **СОДЕРЖАНИЕ ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНИЙ ПО КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКЕ СВОЙСТВ ТОПЛИВА, СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ**

### **Цель занятий**

Цель проведения лабораторно-практических занятий — овладение методами комплексной оценки эксплуатационных свойств топлива, смазочных материалов и технических жидкостей, по которым оценивают пригодность этих продуктов для использования в сельскохозяйственной технике.

Для этого необходимо:

знать, как влияют физико-химические и эксплуатационные свойства нефтепродукта на технико-экономи-

ческие показатели сборочной единицы, механизма и машины в целом;

владеть методиками определения физико-химических и эксплуатационных показателей и практическим навыком подбора нефтепродуктов необходимых сортов и марок для применения в сельскохозяйственной технике;

уметь анализировать результаты исследования, сравнивать их с данными ГОСТ и делать соответствующее заключение о пригодности нефтепродукта для использования в машине.

В процессе проведения лабораторно-практических занятий необходимо знать и соблюдать следующие положения.

### **Техника безопасности и противопожарные мероприятия**

#### **Мероприятия по технике безопасности.**

В лаборатории по исследованию топлива, смазочных материалов и технических жидкостей приходится работать с ядовитыми веществами, огнем, взрыво- и огнеопасными соединениями. Поэтому необходимо строго соблюдать правила личной и противопожарной безопасности.

Все нефтепродукты огне- и взрывоопасны, пары их ядовиты, они могут поражать органы дыхания и кожу. Ядовиты и различные органические растворители: бензол, хлороформ, четыреххлористый углерод и др. Щелочи и кислоты, применяемые для анализов, вызывают ожоги кожи и слизистых оболочек. В термометрах, манометрах и вакуумметрах находится ртуть, которая при попадании в кровь и органы дыхания вызывает сильные отравления. Очень ядовит этилированный бензин.

*Правила личной безопасности* заключаются в следующем:

студент должен выполнять лабораторные работы в халате;

при работе с кислотами и щелочами следует пользоваться резиновыми перчатками и защитными очками;

запрещается применять этилированный бензин для мытья рук и посуды и использовать его как растворитель. Остатки этилированного бензина после работы следует выливать в специальную посуду. Наполнять пипетки этилированным бензином следует при помощи резиновой груши, а не ртом. После работы с этилирован-

ным бензином лицо и руки нужно вымыть теплой водой с мылом;

категорически запрещается принимать пищу во время работы в лаборатории, пить воду из лабораторной посуды.

**Противопожарные мероприятия.** Во время выполнения работ необходимо соблюдать следующие правила противопожарной безопасности:

при выполнении работ, связанных с нагреванием воспламеняющихся жидкостей, нельзя оставлять приборы без наблюдения;

для нагревания легковоспламеняющихся жидкостей следует пользоваться водяной баней, закрытой электроплиткой или песочной ванной;

остатки нефтепродуктов и растворителей нужно сливать только в специальные емкости;

по окончании работ рабочее место следует привести в порядок: выключить газовые горелки и нагревательные приборы, воду, убрать образцы нефтепродуктов и растворители.

*В случае воспламенения нефтепродукты не заливают водой, а применяют углекислотные огнетушители и кошку. Все огнеопасные вещества, находящиеся вблизи очага пожара, немедленно убирают. Нагревательные приборы, газовые горелки, приточно-вытяжную вентиляцию быстро отключают.*

**Оказание первой помощи.** При отравлении парами бензола, бензина или керосина пострадавшего немедленно выводят или выносят на свежий воздух. При ослаблении дыхания или обморочном состоянии дают нюхать нашатырный спирт, а если дыхание остановилось, немедленно начинают делать искусственное дыхание.

При попадании этилированного бензина на кожу пораженное место немедленно многократно промывают керосином или чистым бензином, а затем теплой водой с мылом. При попадании этилированного бензина на одежду ее снимают, проветривают на свежем воздухе в течение 1...2 ч, а затем тщательно стирают. При попадании этилированного бензина в желудок его немедленно промывают, а если это невозможно, дают пострадавшему выпить как можно больше теплого молока или 10...15 %-ного раствора магнезии.

При раздражении нефтепродуктами слизистых оболочек глаз их промывают 2 %-ным раствором соды.



При ожоге кожи щелочами пораженное место промывают слабым раствором уксусной кислоты.

При ожоге кислотой кожу промывают большим количеством воды, а затем слабым раствором соды или нашатырного спирта.

В случае порезов, особенно стеклянными предметами, необходимо осторожно удалить осколки, смазать края раны йодом и перевязать стерильным бинтом.

### **Примерный перечень основных лабораторно-практических занятий**

#### **Работа 1. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ КАРБЮРАТОРНОГО ТОПЛИВА (БЕНЗИНА)**

*Цель работы* — методом комплексной оценки эксплуатационных свойств бензина определить его пригодность для применения в двигателях внутреннего сгорания.

Для этого необходимо:

знать, как влияют физико-химические и эксплуатационные свойства бензина на технико-экономические показатели работы двигателя;

овладеть методиками определения физико-химических и эксплуатационных показателей топлива и научиться работать с приборами;

уметь анализировать результаты исследований показателей топлива, сравнивать их с данными ГОСТ и делать заключение о пригодности для использования.

*Задача работы:* изучить приборы, методики и выполнить исследования по определению содержания фактических и потенциальных смол, водорастворимых кислот и щелочей, фракционного состава.

*Заключение о пригодности бензина.* На основании сравнения полученных значений показателей с данными ГОСТ сделать заключение о возможности применения исследуемого бензина для двигателя. Описать возможные отрицательные последствия при работе двигателя из-за конкретных отклонений свойств данного топлива. Указать марки карбюраторных двигателей, для которых рекомендуется исследуемый бензин.

## **Работа 2. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА**

*Цель работы* — методом комплексной оценки эксплуатационных свойств дизельного топлива определить его пригодность для применения в дизелях.

Для этого необходимо:

знать, как влияют физико-химические и эксплуатационные свойства дизельного топлива на технико-экономические показатели работы двигателя;

овладеть методиками определения физико-химических и эксплуатационных показателей дизельного топлива и научиться работать с приборами;

уметь анализировать результаты исследования топлива, сравнивать их с данными ГОСТ и делать заключение о пригодности для использования.

*Задача работы:* изучить приборы, методики и выполнить исследования по определению кинематической вязкости, кислотности, температуры вспышки, температуры помутнения и начала кристаллизации дизельного топлива, содержания водорастворимых кислот и щелочей.

*Заключение о пригодности дизельного топлива.* На основании сравнения полученных значений показателей с данными ГОСТ сделать заключение о возможности применения исследуемого топлива для двигателя. Описать возможные отрицательные последствия при работе двигателя из-за конкретных отклонений свойств данного топлива. Указать марки дизелей, для которых рекомендуется исследуемое топливо.

## **Работа 3. АНАЛИЗ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ И ОЦЕНКА СОСТАВА РАБОЧЕЙ СМЕСИ**

*Цель работы* — методом комплексной оценки состава отработавших газов дизелей и карбюраторных двигателей определить качество работы систем питания и зажигания.

Для этого необходимо:

знать, как связаны соединения, содержащиеся в продуктах сгорания, с технико-экономическими показателями работы двигателя, и как влияют эти продукты на окружающую среду;

овладеть методиками определения состава отработавших газов и научиться работать с приборами;

уметь сравнивать результаты исследования состава продуктов сгорания топлива с данными технических условий и делать заключение о работе систем питания и зажигания в двигателях внутреннего сгорания.

*Задача работы:* научиться отбирать пробу отработавших газов из двигателя и выполнять его анализ на их составляющие компоненты.

*Заключение о работе двигателя, токсичности продуктов сгорания и рекомендации по улучшению этих показателей.* На основании сравнения полученных значений показателей исследуемых продуктов сгорания с данными технических требований сделать заключение о работе систем питания и зажигания. Описать причины, вызвавшие изменения показателей. Дать рекомендации по регулировкам.

#### **Работа 4. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ МОТОРНОГО МАСЛА**

*Цель работы* — методом комплексной оценки эксплуатационных свойств моторного масла определить его пригодность для применения в двигателях внутреннего сгорания.

Для этого необходимо:

знать, как влияют физико-химические и эксплуатационные свойства моторного масла на технико-экономические показатели работы двигателя;

овладеть методиками определения физико-химических и эксплуатационных показателей моторного масла и научиться работать с приборами;

уметь анализировать результаты исследования моторного масла, сравнивать их с данными ГОСТ и делать заключение о пригодности для использования.

*Задача работы:* изучить приборы, методики и выполнить анализы по определению кинематической и условной вязкостей, моющих свойств, общего щелочного числа, температуры вспышки и воспламенения масла, содержания воды и нерастворимых осадков.

*Заключение о пригодности моторного масла.* На основании сравнения полученных значений показателей с данными ГОСТ сделать заключение о возможности применения исследуемого моторного масла для двигателя.

Описать возможные отрицательные последствия при работе двигателя из-за конкретных отклонений свойств данного масла. Указать марки двигателей, для которых рекомендуется исследуемое масло.

## Работа 5. КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СВОЙСТВ ПЛАСТИЧНЫХ СМАЗОК

*Цель работы* — методом комплексной оценки эксплуатационных свойств пластичных смазок определить их пригодность для смазывания узлов трения сельскохозяйственной техники.

Для этого необходимо:

знать, как влияют физико-химические и эксплуатационные свойства пластичных смазок на технико-экономические показатели работы сельскохозяйственной техники;

овладеть методиками определения физико-химических и эксплуатационных показателей пластичных смазок и научиться работать с приборами;

уметь анализировать результаты исследования пластичных смазок, сравнивать их с данными ГОСТ и делать заключение о пригодности для использования.

*Задача работы:* изучить приборы, методики и выполнить анализы по определению пенетрации, температуры каплепадения, коррозионности и вида загустителя.

*Заключение о пригодности пластичной смазки.* На основании сравнения полученных значений показателей с данными ГОСТ сделать заключение о возможности применения исследуемой смазки для сельскохозяйственной техники. Описать возможные отрицательные последствия при работе механизмов из-за конкретных отклонений свойств смазки. Указать марки сельскохозяйственных машин и узлы трения, для которых рекомендуется данная смазка.

## Работа 6. ОЦЕНКА СВОЙСТВ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

*Цель работы* — методом комплексной оценки эксплуатационных свойств технических жидкостей определить их пригодность для применения.

Для этого необходимо:

знать, как влияют физико-химические и эксплуата-

ционные свойства технических жидкостей на работу сборочных единиц и агрегатов;

овладеть методиками определения физико-химических и эксплуатационных показателей технических жидкостей и научиться работать с приборами;

уметь анализировать результаты исследования технических жидкостей, сравнивать их с данными ГОСТ и делать заключение о пригодности для использования.

*Задача работы:* изучить приборы, методики и выполнить анализы по определению температуры замерзания антифриза и совместимости тормозных жидкостей разных марок.

*Заключение о пригодности антифриза.* На основании сравнения полученных значений показателей с данными ГОСТ сделать заключение о возможности применения исследуемого антифриза для охлаждения двигателя. Описать возможные отрицательные последствия при работе двигателя из-за конкретных отклонений свойств антифриза. Указать марки двигателей и автомобилей, для которых рекомендуется этот антифриз, а также территориальную зону его применения.

*Заключение о пригодности тормозной жидкости.* На основании сравнения полученных значений показателей с данными ГОСТ сделать заключение о возможности применения исследуемой тормозной жидкости для тормозных систем машин. Описать возможные отрицательные последствия при работе тормозной системы из-за конкретных отклонений свойств этой жидкости. Указать марки тракторов и автомобилей, для которых рекомендуется исследуемая тормозная жидкость.

## **Работа 7. ЗНАКОМСТВО С ПОЛЕВЫМИ ЛАБОРАТОРИЯМИ И ИЗУЧЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ЭКСПРЕСС-МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КАЧЕСТВА НЕФТЕПРОДУКТОВ**

*Цель работы* — изучить комплектность и назначение лабораторий для определения качества нефтепродуктов в полевых условиях. Освоить экспресс-методы определения некоторых показателей топлива и смазочных материалов. Оценить пригодность исследуемых нефтепродуктов для применения в двигателях внутреннего сгорания.

Для этого необходимо:

знать, как влияют физико-химические и эксплуатационные свойства нефтепродуктов на технико-экономические показатели работы агрегатов, в которых они применяются;

овладеть методиками определения физико-химических и эксплуатационных показателей нефтепродуктов и научиться работать с приборами;

уметь анализировать результаты исследований нефтепродуктов, сравнивать их с данными ГОСТ и делать заключение о пригодности для использования.

*Задача работы:* изучить назначение и комплектность лабораторий для анализа нефтепродуктов в полевых условиях; изучить приборы, методики и выполнить исследования по экспресс-определению содержания фактических смол в бензине, нерастворимых осадков в работавших моторных маслах, плотности и вязкости нефтепродуктов.

*Заключение о пригодности исследуемых нефтепродуктов.* На основании сравнения полученных показателей с данными ГОСТ сделать заключение о возможности применения нефтепродукта.

## **Работа 8. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЖЕСТКОСТИ ВОДЫ**

*Цель работы* — методом оценки свойств воды определить пригодность ее для применения в двигателях внутреннего сгорания в качестве охлаждающей жидкости.

Для этого необходимо:

знать, как влияют свойства воды на технико-экономические показатели работы двигателя;

овладеть методиками определения показателей воды и научиться работать с приборами;

уметь анализировать результаты исследований, сравнивать с данными ГОСТ и делать заключение о пригодности воды для применения в качестве охлаждающей жидкости.

*Задача работы:* изучить приборы, методики и выполнить анализ по определению временной, постоянной и общей жесткости воды.

*Заключение о пригодности воды для применения.* Сравнить полученные данные со значениями ГОСТ, при отклонении описать влияние данного вида жесткости

воды на работу двигателя и сделать заключение о ее пригодности.

## **Работа 9. ВЫБОР НЕФТЕПРОДУКТОВ И СОСТАВЛЕНИЕ ХИММОТОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ СМАЗЫВАНИЯ МАШИНЫ**

*Цель работы* — овладеть навыками подбора топлива, смазочных материалов и технических жидкостей для обеспечения работы машины заданной марки.

Для этого необходимо:

знать, как влияют свойства нефтепродукта данной марки и условия его работы на надежность машины;

овладеть методами контроля качества применяемых для машины нефтепродуктов;

уметь подбирать нефтепродукты, обеспечивающие необходимые условия работы соответствующего механизма, двигателя, машины.

*Задача работы:* подобрать топливо, смазочные материалы и технические жидкости соответствующих марок, необходимые для работы машины в летнее и зимнее время года, составить химмотологическую карту смазывания машины.

*Выполнение работы:* по справочной литературе установить степень форсированности двигателя машины (трактора), конструктивные особенности коробки перемены передач, ведущих мостов, гидро- и тормозных систем и других агрегатов и механизмов. На основании знаний, полученных при выполнении лабораторных работ, подобрать необходимые нефтепродукты и технические жидкости для всех сборочных единиц, агрегатов и систем машины с указанием времени использования в условиях производственной эксплуатации.

# ПРИЛОЖЕНИЯ

## 1. Примерные нормы расхода бензина для автомобилей основных марок

| Базовые модели автомобилей | Марка двигателя     | Марка бензина | Норма расхода, л/100 км |
|----------------------------|---------------------|---------------|-------------------------|
| ЗАЗ-965А, ЗАЗ-966          | МеМЗ-966, МеМЗ-966В | А-72          | 9,0                     |
| «Москвич-404»              | 407                 |               | 11,0                    |
| ГАЗ-12, ГАЗ-21Р            | ГАЗ-12, ЗМЗ-21А     |               | 13,0...13,5             |
| РАФ-251, РАФ-977ДМ         | ГАЗ-51, ЗМЗ-977     |               | 18,0                    |
| УАЗ-451ДМ                  | УМЗ-451             |               | 16,0                    |
| ПАЗ-651, ПАЗ-652Б          | ГАЗ-652Д            |               | 28,0...32,0             |
| ГАЗ-53Ф                    | ГАЗ-51              |               | 26,0                    |
| ГАЗ-51Г, ГАЗ-52-03         | ГАЗ-52-01           |               | 21,5...23,0             |
| ГАЗ-69                     | ГАЗ-69              |               | 16,5                    |
| ГАЗ-63                     | ГАЗ-63              |               | 27,0                    |
| ЗИЛ-585, ЗИЛ-ММЗ-585А      | ЗИЛ-120, ЗИЛ-164    |               | 31,5...33,0             |
| УАЗ-450, УАЗ-452           | УАЗ-450, УМЗ-451    |               | 17,0...18,0             |
| ЗАЗ-966, ЗАЗ-968, ЗАЗ-969  | МеМЗ-968, МеМЗ-969  | А-76          | 9,0                     |
| «Москвич-408»              | 408Э                |               | 11,0                    |
| ГАЗ-2401                   | 24-01               |               | 13,5                    |
| КАВЗ-685                   | ГАЗ-53              |               | 26,0                    |
| ПАЗ-672                    | ПАЗ-672             |               | 36,5                    |
| ЗИЛ-130                    | ЗИЛ-130             |               | 31,5                    |
| ЗИЛ-130В1                  | ЗИЛ-130             |               | 38,5                    |
| ЗИЛ-131В                   | ЗИЛ-131             |               | 49,0                    |
| ЗИЛ-131                    | ЗИЛ-131             |               | 44,0                    |
| ГАЗ-66-01                  | ГАЗ-66              |               | 29,5                    |
| ПАЗ-32-01                  | ПАЗ-672             |               | 36,5                    |
| «Москвич-412»              | 412Э                | АИ-93         | 11,0                    |
| ЗАЗ-968                    | МеМЗ-698А           |               | 9,0                     |
| ВАЗ-2101, ВАЗ-2103         | ВАЗ-2101, ВАЗ-2103  |               | 10,0...10,5             |
| ГАЗ-24, РАФ-2203           | 24Д                 |               | 13,5...16,0             |
| «Урал-377», «Урал-377С»    |                     |               | 48,0                    |
| «Урал-375», «Урал-375 Н/С» |                     |               | 68,0                    |



## 2. Нормы расхода масел для сельскохозяйственных тракторов

| Марка трактора | Норма расхода, % от расхода топлива |                                   |       |                                   |                                   | трансмиссион-<br>ных | индустриаль-<br>ных и др. |
|----------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------|---------------------------|
|                | моторных масел групп                |                                   |       | в том числе<br>для двига-<br>теля | в том числе<br>для двига-<br>теля |                      |                           |
|                | B <sub>2</sub>                      |                                   | всего |                                   |                                   |                      |                           |
|                | всего                               | в том числе<br>для двига-<br>теля |       |                                   |                                   |                      |                           |
| T-130          | —                                   | —                                 | 4,1   | 3,2                               | 0,8                               | 0,1                  | —                         |
| T-100M         | 4,6                                 | 3,2                               | —     | —                                 | 0,9                               | 0,1                  | —                         |
| T-150, T-150K  | —                                   | —                                 | 3,6   | 1,7                               | 0,4                               | 0,02                 | —                         |
| T-4A           | —                                   | —                                 | 4,1   | 3,2                               | 0,9                               | 0,1                  | —                         |
| ДТ-75M         | —                                   | —                                 | 4,4   | 3,3                               | 0,9                               | —                    | —                         |
| T-4            | 5,6                                 | 3,4                               | —     | —                                 | 0,9                               | —                    | —                         |
| ДТ-75          | 4,2/4,7                             | 2,9/3,4                           | —     | —                                 | 0,9                               | —                    | —                         |
| T-74           | 4,6/5,1                             | 3,1/3,6                           | —     | —                                 | 1,2                               | —                    | —                         |
| T-54B          | 4,2                                 | 3,1                               | —     | —                                 | 1,0                               | —                    | —                         |
| T-38M          | 4,3                                 | 3,2                               | —     | —                                 | 0,6                               | —                    | —                         |
| K-700, K-701   | —                                   | —                                 | 4,1   | 2,8                               | 0,4                               | 0,2                  | —                         |
| T-150K         | —                                   | —                                 | 3,5   | 1,7                               | 0,6                               | 0,4                  | —                         |
| MT3-80, MT3-82 | —                                   | —                                 | 3,5   | 2,3                               | 1,0                               | 0,1                  | —                         |
| MT3-50, MT3-52 | 3,9/4,6                             | 2,8/3,2                           | —     | —                                 | 1,0/1,7                           | 0,1                  | —                         |
| ЮМЗ-6Л, ЮМЗ-6Н | —                                   | —                                 | 4,0   | 2,8                               | 1,1                               | 0,1                  | —                         |
| T-40, T-40A    | 4,1/4/6                             | 2,3                               | —     | —                                 | 1,0                               | 0,1                  | —                         |
| T28X4M         | 4,4                                 | 2,8                               | —     | —                                 | 1,2                               | —                    | —                         |
| T-25           | 4,1                                 | 2,3                               | —     | —                                 | 0,7                               | —                    | —                         |

Примечание. В знаменателе нормы для тракторов выпуска до 1972 г.

| Марка трактора | Расход топлива, кг/ч, при         |                        |                        |  | остановках | транспортной работе <sup>2</sup> |
|----------------|-----------------------------------|------------------------|------------------------|--|------------|----------------------------------|
|                | работе под нагрузкой <sup>1</sup> | поворотах <sup>1</sup> | переездах <sup>1</sup> |  |            |                                  |
| K-700          | 24,4...36,0                       | 17,3...23,5            | 14,5...20,0            |  | 3,1        | 24,7...36,0                      |
| T-150K         | 22,0...28,0                       | 16,1...23,9            | 14,5...21,5            |  | 2,5        | 15,6...25,2                      |
| T-4A           | 12,8...16,0                       | 10,9...12,2            | 9,2...13,5             |  | 2,2        | 9,6...15,7                       |
| ДТ-75М         | 12,5...15,7                       | 7,7...14,1             | 6,0...10,8             |  | 1,9        | 9,4...15,7                       |
| ДТ-75          | 12,0...15,2                       | 7,1...13,3             | 6,0...10,8             |  | 1,8        | 8,7...13,7                       |
| ДТ-54          | 7,6...9,3                         | 4,8...8,9              | 4,3...8,4              |  | 1,3        | 5,1...9,3                        |
| МТЗ-80         | 11,2...13,9                       | 6,9...12,3             | 5,2...9,9              |  | 1,4        | 8,5...13,5                       |
| ЮМЗ-6Л         | 8,8...10,7                        | 3,7...9,2              | 3,7...7,8              |  | 1,3        | 5,6...10,7                       |
| МТЗ-50         | 7,7...9,4                         | 4,7...9,0              | 3,8...7,2              |  | 1,2        | 6,0...9,4                        |
| T-38M          | 7,5...9,3                         | 4,2...8,7              | 3,0...6,8              |  | 1,1        | 5,9...9,4                        |
| T-25           | 3,0...4,0                         | 2,2...5,5              | 1,8...5,1              |  | 0,7        | 2,4...3,4                        |

<sup>1</sup> В зависимости от состава агрегата, скорости движения.<sup>2</sup> В зависимости от грузоподъемности прицепа, класса груза, группы дорог.

#### 4. Нормы расхода масел и смазок

| Название смазочного материала | Расход масел, л, и смазок, кг, на 100 л расхода топлива               |                                                      |                                                         |
|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
|                               | легковые, грузовые автомобили, автобусы, работающие на бензине и газе | грузовые автомобили, работающие на дизельном топливе | автомобили БелАЗ и МАЗ, работающие на дизельном топливе |

##### Масла:

|                   |     |     |     |
|-------------------|-----|-----|-----|
| моторные          | 2,4 | 3,2 | 5,0 |
| трансмиссионные   | 0,3 | 0,4 | 0,5 |
| специальные       | 0,1 | 0,1 | 1,0 |
| Пластичные смазки | 0,2 | 0,3 | 0,3 |

#### 5. Примерный состав отработавших газов

| Компоненты                                          | Химическая формула                   | Состав газов, % по объему |                         |
|-----------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------|-------------------------|
|                                                     |                                      | дизели                    | карбюраторные двигатели |
| Азот                                                | $N_2$                                | 76...78                   | 74...76                 |
| Кислород                                            | $O_2$                                | 3...10                    | 0,1...6                 |
| Пары воды                                           | $H_2O$                               | 4...6                     | 7...8                   |
| Оксиды                                              |                                      |                           |                         |
| углерода                                            | $CO_2$                               | 3,5...11                  | 4...12                  |
|                                                     | $CO$                                 | 0,01...0,2                | 2...9                   |
| серы                                                | $SO_2, SO_3$                         | 0,1...0,3                 | 0...0,08                |
| азота                                               | $NO_x$                               | 0,0003...0,1              | 0,004...1,0             |
| Сероводород                                         | $H_2S$                               | 0...0,05                  | 0...0,04                |
| Альдегиды:                                          |                                      |                           |                         |
| формальдегид, уксусный альдегид и др.               |                                      | 0,002...0,01              | 0...0,15                |
| Углеводороды                                        | $C_2H_4, CH_4, C_6H_6, C_3H_6$ и др. | 0,01...0,5                | 0,025...0,3             |
| Сажа*                                               | $C$                                  | 20...1000                 | 0...50                  |
| Бензпирен*                                          |                                      | До $1,10^{-4}$            | $(1...3) \cdot 10^{-4}$ |
| Оксиды свинца (при сгорании этилированного бензина) | Продукты разложения $Pb(C_2H_5)_4$   | Отсутствие                | 0,2...0,08              |

\* В мг/м³.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 годы и на период до 1990 года. — М.: Политиздат, 1981.
2. Григорьев М. А., Бунаков В. М., Долецкий В. А. Качество моторного масла и надежность двигателей. — М.: Изд-во стандартов, 1981.
3. Гуреев А. А., Иванова Р. Я., Щеголев Н. В. Автомобильные и эксплуатационные материалы. — М.: Транспорт, 1974.
4. Итинская Н. И., Кузнецов Н. А. Справочник по топливу, маслам и техническим жидкостям. — М.: Колос, 1982.
5. Товарные нефтепродукты. Свойства и применение: Справочник. — М.: Химия, 1978.
6. Инструкция по использованию нефтепродуктов в колхозах, совхозах и других сельскохозяйственных предприятиях. — М.: Колос, 1980.

- Антидетонаторы 62, 64, 109
- Антинакипин 300
- Антифризы 301
- Асфальтены 26
- Бензин газовый 31
- чувствительность 63
- Брикеты 124
- Вискозиметр полевой 274
- Пинкевича 41
- Вода, жесткость 294
- — карбонатная 295
- — некарбонатная 295
- — общая 294
- в смазочном масле 42
- в топливе 73
- магнитная обработка 298, 299
- умягчение 297
- щелочность 207
- Воспламеняемость 46
- верхний предел 46
- нижний предел 47
- Всесоюзное универсальное масло 186
- Вязкость 39, 154
- Вязкостно-температурные свойства 155
- Газы сжатые 112, 113
- сжиженные 112, 115, 116
- Гидрогенизация деструктивная 16
- Горение, виды 16
- топлива гомогенное 16
- — гетерогенное 16
- — взрывное 16
- Деасфальтизация 37
- Депарафинизация 37
- Дрова 14, 119, 120, 123
- Зольность 100, 207
- растворимая 208
- нерастворимая 208
- Изнашивание механическое 134
- молекулярно-механическое 134
- коррозионно-механическое 134
- Иодное число 100
- Ископаемые угли 121
- Искусственное твердое топливо 124
- Индекс вязкости 155
- загустителей смазок 249
- класса консистенции смазок 257
- Индукционный период 69, 174
- Испарение динамическое 49
- статическое 49
- Карбены и карбониды 26, 143, 159
- Кислотность 164
- Классификация смазочных материалов по исходному сырью 135
- — — по внешнему состоянию 136
- — — по назначению 136
- Коксуемость 99
- Комплексная оценка качества масла 225, 226, 227, 228, 229, 230
- Консталин жировой 260
- Коррозионность 164
- Коэффициент жидкостного трения 131
- избытка воздуха 18, 60, 81
- маслонапряженности 193
- очистки масла 199
- Лаки 157, 173
- Лаборатория полевая ПЛ-2М 271
- ручная РЛ 271
- Масла, группы 135
- дизельные 184
- диагностические параметры 216
- для гидромеханических передач 240
- для гипонидных передач 238
- индустриальные 29, 136
- карбюраторные 187
- компрессорные 247
- моторные 29
- обкаточные 189
- синтетические 33, 136
- турбинные 248

- трансформаторные 244
- для холодильных машин 246
- цилиндровые 247
- Масса топлива рабочая 9
- — аналитическая 9
- — сухая 9
- — горючая 9
- — органическая 10
- Метанол (метиловый спирт) 33
- Моющие свойства масел 162
- Моющие составы от нагара 312
- — синтетические 313
- Нагар 157
- Накипь 294
- Нефтепродукты, вязкость 39
- содержание воды 41, 42
- плотность 38
- правила обращения 287, 288
- отработанные 284, 285
- Нефть, азотистые соединения 27
- минеральные примеси 27
- происхождение 22
- прямая перегонка 27
- химические методы переработки 29
- углеводородный состав 22
- элементный состав 21
- Номограмма оценки технического состояния двигателя 213
- Обкаточная присадка к маслу 190
- — к топливу 190
- Окисление масла, влияние времени 174
- — — кислорода 173
- — — поверхности 176
- — — температуры 174
- — — химического состава 175
- Октановое число 52, 61, 62, 109
- — дорожное 109
- — метод определения 62
- — — исследовательский 63
- — — — моторный 62
- Осадки 157
- Очистка адсорбентами 35
- гидрогенизационная 35
- кислотно-контактная 36
- кислотно-щелочная 36
- магнитная 298
- селективная 37
- сернокислотная 35
- Охлаждение водяное 291
- воздушное 291
- Паровые пробки 51
- Пенетрация 266
- Плотность 38
- Полукоксование 125, 126
- Потери нефтепродуктов 276
- Поощрение за экономию топлива 285
- Предел прочности смазки 265
- Примеси механические 91
- — в масле 201
- — в топливе 9, 73, 90
- Присадки 139
- АКОР 311
- антиокислительные 139, 159
- вязкостные 145, 146
- депрессорные 146
- моющие 142, 159
- противоизносные 142, 144
- противокоррозионные 140
- противопенные 147
- — алкилфенольные 147
- — беззольные 149
- — полимерные 149
- — фенолсульфидные 149
- функциональные свойства 128
- Рабочая смесь 44
- — пределы воспламеняемости 46
- фракция 51
- Сгорание неполное 21
- полное 21
- Сезонный срок работы масла 222, 223
- Силиконы 34
- Синергизм 149
- Синтез газов 33
- Система смазывания двигателя 169
- Скорость поступления загрязняющих примесей в масло 115, 197
- Сланцы 31, 122
- Смазки антифрикционные 136
- графитовые 259
- для автомобилей 263
- — тракторов 264
- — сельскохозяйственных машин 264
- карданная 260

- консервационная 136
- Смазки, стабильность 268
- коллоидная 268
- механическая 268
- химическая 269
- уплотнительные 250
- общего назначения 250
- многоцелевые 250, 251
- защитные 250
- антифрикционные 250
- Смолисто-асфальтовые вещества 26, 159, 197
- Смолы кислые нефтяные 26
- нейтральные 26
- содержание в топливе 68, 100
- потенциальные 68
- фактические 68
- токсичные 280
- Соединения азотистые 27
- кислородные 25
- сернистые 27, 71
- Солидол жировой 259
- синтетический 259
- Состав отложений 198
- Состояние деталей двигателя 223
- Стабилизаторы 30, 70
- Степень сжатия 45, 56, 81
- форсирования двигателя 114
- Сульфофрезол 304
- Температура воспламенения 98
- вспышки 98
- горения топлива 19
- застывания 95
- каплепадения 266
- помутнения 94
- Теория органических перекисей 55
- Толщина смазочного слоя 131
- Топливный баланс 5
- Топливо, виды 7
- давление насыщенных паров 52
- испаряемость 48, 95
- кислотность 71
- концевая фракция 51
- калорийный эквивалент 14
- пусковая фракция 50
- пылевидное 126
- рабочая фракция 51
- стабильность 69
- степень распыливания 91
- условное 14
- Топливо-воздушная смесь 45
- Торф 14, 31, 119, 122
- Угар масла 196
- Углеводороды ароматические 24, 87, 175
- нафтеновые 23, 61, 87, 175
- непредельные 25, 30, 61, 100
- парафиновые 22, 34, 61, 87, 175
- Угли ископаемые 121
- Удельное количество теплоты высшее 12, 13
- — — низшее 13
- Удержание за перерасход топлива 278
- Ультразвуковая обработка масел 220
- Унификация масел 219
- Фракции 27, 29, 49
- Фракционный состав 49, 97
- Химмотология 128
- Хранение топлива и смазочных материалов 278
- Цетановое число 86, 97, 110
- Экономия топлива 277
- Эмульсолы 303
- Этанол (этиловый спирт) 31
- Этиловая жидкость 65

# ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                                         |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Введение . . . . .                                                                                                                                      | 3         |
| <b>Раздел I. ПРИМЕНЕНИЕ И ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ<br/>СВОЙСТВА ТОПЛИВА ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕ-<br/>СКИХ СРЕДСТВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННО-<br/>ГО ПРОИЗВОДСТВА . . . . .</b> | <b>5</b>  |
| <b>Глава 1. Виды топлива, свойства и горение . . . . .</b>                                                                                              | <b>5</b>  |
| 1.1. Общая характеристика топлива . . . . .                                                                                                             | 5         |
| 1.2. Классификация и общий состав топлива . . . . .                                                                                                     | 7         |
| 1.3. Теплота сгорания топлива . . . . .                                                                                                                 | 12        |
| 1.4. Понятие о средней пробе топлива . . . . .                                                                                                          | 15        |
| 1.5. Количество воздуха, необходимое для горения<br>топлива . . . . .                                                                                   | 16        |
| 1.6. Определение состава продуктов сгорания топлива . . . . .                                                                                           | 19        |
| <b>Глава 2. Общие сведения о получении топлива и смазоч-<br/>ных масел для двигателей внутреннего сгорания</b>                                          | <b>21</b> |
| 2.1. Нефть — основное сырье для получения топлива и<br>смазочных масел . . . . .                                                                        | 21        |
| 2.2. Химический состав нефтей и его влияние на свой-<br>ства топлива и смазочных масел . . . . .                                                        | 22        |
| 2.3. Получение топлива и смазочных масел из нефти . . . . .                                                                                             | 27        |
| 2.4. Получение жидкого топлива из ненефтяного сырья . . . . .                                                                                           | 31        |
| 2.5. Получение синтетических масел . . . . .                                                                                                            | 33        |
| 2.6. Способы очистки топлива . . . . .                                                                                                                  | 34        |
| 2.7. Способы очистки смазочных масел . . . . .                                                                                                          | 36        |
| 2.8. Общие физико-химические показатели нефтепро-<br>дуктов . . . . .                                                                                   | 38        |
| <b>Глава 3. Эксплуатационные свойства и использование топ-<br/>лива для карбюраторных двигателей (бензинов)</b>                                         | <b>42</b> |
| 3.1. Требования, предъявляемые к карбюраторному<br>топливу . . . . .                                                                                    | 42        |
| 3.2. Условия сгорания топлива в двигателе . . . . .                                                                                                     | 44        |
| 3.3. Теплота сгорания топливовоздушной смеси . . . . .                                                                                                  | 45        |
| 3.4. Смесеобразующие свойства . . . . .                                                                                                                 | 48        |
| 3.5. Нормальное и детонационное сгорание . . . . .                                                                                                      | 53        |
| 3.6. Влияние конструктивных и эксплуатационных фак-<br>торов и состава топлива на процесс сгорания . . . . .                                            | 56        |
| 3.7. Оценка и методы повышения противодетонацион-<br>ных свойств бензинов . . . . .                                                                     | 62        |
| 3.8. Склонность бензинов к образованию отложений . . . . .                                                                                              | 66        |
| 3.9. Коррозионные свойства бензинов . . . . .                                                                                                           | 70        |
| 3.10. Виды и марки бензинов . . . . .                                                                                                                   | 73        |
| 3.11. Применение водно-бензиновых эмульсий . . . . .                                                                                                    | 78        |
| <b>Глава 4. Эксплуатационные свойства и использование ди-<br/>зельного топлива . . . . .</b>                                                            | <b>80</b> |



|                                                                                                                   |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4.1. Требования, предъявляемые к дизельному топливу                                                               | 80         |
| 4.2. Условия сгорания топлива                                                                                     | 81         |
| 4.3. Оценка самовоспламеняемости топлива                                                                          | 86         |
| 4.4. Смесеобразующие свойства                                                                                     | 89         |
| 4.5. Испаряемость топлива                                                                                         | 95         |
| 4.6. Нагарообразующие свойства топлива                                                                            | 99         |
| 4.7. Коррозионные свойства топлива                                                                                | 101        |
| 4.8. Марки дизельного топлива                                                                                     | 104        |
| 4.9. Марки моторного топлива                                                                                      | 106        |
| <b>Глава 5. Некоторые направления совершенствования производства и оценки жидкого моторного топлива</b>           | <b>108</b> |
| <b>Глава 6. Эксплуатационные свойства и использование газообразного топлива</b>                                   | <b>110</b> |
| 6.1. Виды газообразного топлива                                                                                   | 110        |
| 6.2. Применение газообразного топлива для двигателей внутреннего сгорания                                         | 113        |
| 6.3. Сущность процесса газификации и применение генераторного газа                                                | 117        |
| <b>Глава 7. Свойства и использование твердого топлива</b>                                                         | <b>120</b> |
| 7.1. Свойства естественного твердого топлива                                                                      | 120        |
| 7.2. Свойства искусственного твердого топлива                                                                     | 124        |
| <b>Раздел II. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ</b> | <b>127</b> |
| <b>Глава 8. Сведения о трении, износе и видах смазочных материалов</b>                                            | <b>127</b> |
| 8.1. Роль смазочных материалов в использовании машин                                                              | 127        |
| 8.2. Понятие о трении и его видах                                                                                 | 128        |
| 8.3. Виды изнашивания поверхностей деталей                                                                        | 134        |
| 8.4. Виды смазочных материалов                                                                                    | 135        |
| 8.5. Назначение смазочных материалов и предъявляемые к ним требования                                             | 137        |
| <b>Глава 9. Свойства присадок к смазочным маслам и механизм их действия</b>                                       | <b>139</b> |
| 9.1. Назначение присадок к маслам                                                                                 | 139        |
| 9.2. Виды и механизм действия присадок однофункционального назначения                                             | 139        |
| 9.3. Многофункциональные присадки                                                                                 | 147        |
| 9.4. Композиции присадок к моторным маслам                                                                        | 149        |
| <b>Глава 10. Оценка эксплуатационных свойств смазочных масел с присадками</b>                                     | <b>151</b> |
| 10.1. Роль метода и показателей в оценке смазочных масел                                                          | 151        |
| 10.2. Вязкостные свойства масел                                                                                   | 154        |
| 10.3. Термоокислительная стабильность масел                                                                       | 157        |
| 10.4. Противокоррозионные свойства масел                                                                          | 163        |

|                  |                                                                                                                             |            |
|------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 10.5.            | Противоизносные свойства масел . . . . .                                                                                    | 166        |
| 10.6.            | Спектральный анализ масел . . . . .                                                                                         | 168        |
| <b>Глава 11.</b> | <b>Влияние различных факторов на изменение масла в двигателе. Классификация и марки масел . . . . .</b>                     | <b>169</b> |
| 11.1.            | Условия работы моторного масла и факторы, влияющие на его изменение . . . . .                                               | 169        |
| 11.2.            | Факторы окисления моторного масла . . . . .                                                                                 | 173        |
| 11.3.            | Изменение качества масла в зависимости от кратности циркуляции . . . . .                                                    | 176        |
| 11.4.            | Влияние объема масла в смазочной системе на изменение его качества . . . . .                                                | 178        |
| 11.5.            | Влияние загрузки двигателя на качество масла . . . . .                                                                      | 179        |
| 11.6.            | Обозначение моторных масел для автотракторных двигателей . . . . .                                                          | 181        |
| 11.7.            | Сорта и марки моторных масел для автотракторных и комбайновых двигателей . . . . .                                          | 184        |
| <b>Глава 12.</b> | <b>Изменение качества моторных масел при эксплуатации двигателей . . . . .</b>                                              | <b>191</b> |
| 12.1.            | Характеристика напряженности работы моторного масла в двигателе . . . . .                                                   | 191        |
| 12.2.            | Влияние срока службы моторного масла на его расход . . . . .                                                                | 194        |
| 12.3.            | Освежение моторного масла . . . . .                                                                                         | 195        |
| 12.4.            | Роль маслоочистительных устройств двигателей в изменении качества моторного масла . . . . .                                 | 197        |
| 12.5.            | Закономерности изменения физико-химических и эксплуатационных показателей моторного масла при работе двигателей . . . . .   | 201        |
| 12.6.            | Определение содержания присадки в моторных маслах методом разделения золь . . . . .                                         | 207        |
| 12.7.            | Использование закономерностей изменения моторного масла для диагностирования двигателя . . . . .                            | 209        |
| 12.8.            | Оценка технического состояния и остаточного моторесурса двигателя по накоплению продуктов износа в моторном масле . . . . . | 212        |
| <b>Глава 13.</b> | <b>Пути совершенствования и эффективного использования моторных масел . . . . .</b>                                         | <b>218</b> |
| 13.1.            | Некоторые направления в совершенствовании масел . . . . .                                                                   | 218        |
| 13.2.            | Повышение эксплуатационных свойств моторных масел воздействием ультразвука . . . . .                                        | 220        |
| 13.3.            | Технико-экономические мероприятия при эксплуатации машин . . . . .                                                          | 221        |
| 13.4.            | Определение сроков замены моторных масел по их качественному состоянию . . . . .                                            | 224        |
| <b>Глава 14.</b> | <b>Эксплуатационные свойства и применение трансмиссионных и других масел . . . . .</b>                                      | <b>231</b> |
| 14.1.            | Трансмиссионные масла, свойства и применение . . . . .                                                                      | 231        |
| 14.2.            | Масла для гидромеханических передач . . . . .                                                                               | 239        |
| 14.3.            | Индустриальные масла и их применение . . . . .                                                                              | 242        |

|                                                                                  |     |
|----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 14.4. Трансформаторные или электроизоляционные масла                             | 244 |
| 14.5. Масла для холодильных установок, компрессорные, цилиндрические и турбинные | 246 |

|                                                                    |     |
|--------------------------------------------------------------------|-----|
| Глава 15. Эксплуатационные свойства и применение пластичных смазок | 249 |
|--------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                                 |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 15.1. Понятие о пластичных смазках, основные виды и назначение                                  | 249 |
| 15.2. Наименование и обозначение смазок                                                         | 251 |
| 15.3. Краткая характеристика пластичных смазок для сельскохозяйственной техники                 | 259 |
| 15.4. Требования и основные виды смазок для автомобилей, тракторов и сельскохозяйственных машин | 263 |
| 15.5. Методы оценки основных показателей и свойств смазок                                       | 265 |

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Глава 16. Основы рационального и экономного использования топлива и смазочных материалов | 270 |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                                          |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 16.1. Простейшие способы определения качества нефтепродуктов                             | 270 |
| 16.2. Пути рационального использования, сокращения потерь и экономии нефтепродуктов      | 276 |
| 16.3. Сбор и повторное использование отработанных нефтепродуктов                         | 284 |
| 16.4. Премии за экономию топлива                                                         | 285 |
| 16.5. Техника безопасности и противопожарные мероприятия при обращении с нефтепродуктами | 287 |

|                                                                                                        |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Раздел III. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА И ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ ДЛЯ МАШИННО-ТРАКТОРНОГО ПАРКА | 290 |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------|-----|
| Глава 17. Жидкости для охлаждения двигателей внутреннего сгорания | 290 |
|-------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                                 |     |
|-----------------------------------------------------------------|-----|
| 17.1. Назначение, виды охлаждающих жидкостей и требования к ним | 290 |
| 17.2. Характеристика воды и способы определения жесткости       | 294 |
| 17.3. Способы умягчения воды и удаление накипи                  | 297 |
| 17.4. Низкозамораживающие охлаждающие смеси (антифризы)         | 301 |
| 17.5. Смазочно-охлаждающие жидкости                             | 303 |
| 17.6. Пусковые жидкости                                         | 304 |

|                                                                                       |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Глава 18. Эксплуатационные свойства и использование специальных технических жидкостей | 305 |
|---------------------------------------------------------------------------------------|-----|

|                                                        |     |
|--------------------------------------------------------|-----|
| 18.1. Жидкости для гидравлических систем               | 305 |
| 18.2. Жидкости для тормозных систем                    | 307 |
| 18.3. Жидкости для амортизаторов                       | 309 |
| 18.4. Консервационные жидкости                         | 310 |
| 18.5. Жидкости для удаления нагара с деталей двигателя | 312 |

|                                                                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Содержание лабораторно-практических занятий по комплексной оценке свойств топлива, смазочных материалов и технических жидкостей . . . . . | 914 |
| Цель занятий . . . . .                                                                                                                    | 314 |
| Техника безопасности и противопожарные мероприятия . . . . .                                                                              | 315 |
| Примерный перечень основных лабораторно-практических занятий . . . . .                                                                    | 317 |
| Работа 1. Комплексная оценка свойств карбюраторного топлива (бензина) . . . . .                                                           | 317 |
| Работа 2. Комплексная оценка свойств дизельного топлива . . . . .                                                                         | 318 |
| Работа 3. Анализ отработавших газов двигателей внутреннего сгорания и оценка состава рабочей смеси . . . . .                              | 318 |
| Работа 4. Комплексная оценка свойств моторного масла . . . . .                                                                            | 319 |
| Работа 5. Комплексная оценка свойств пластичных смазок . . . . .                                                                          | 320 |
| Работа 6. Оценка свойств технических жидкостей . . . . .                                                                                  | 320 |
| Работа 7. Знакомство с полевыми лабораториями и изучение некоторых экспресс-методов определения качества нефтепродуктов . . . . .         | 321 |
| Работа 8. Определение жесткости воды . . . . .                                                                                            | 322 |
| Работа 9. Выбор нефтепродуктов и составление химмотологической карты смазывания машины . . . . .                                          | 323 |
| Приложения . . . . .                                                                                                                      | 324 |
| Литература . . . . .                                                                                                                      | 328 |
| Предметный указатель . . . . .                                                                                                            | 329 |