

Ю.П. Макушев

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ



Омск – 2020

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный
университет (СибАДИ)»
Кафедра «Тепловые двигатели и автотракторное
электрооборудование»

Ю.П. Макушев

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

КУРС ЛЕКЦИЙ ДЛЯ СТУДЕНТОВ
ЗАОЧНОЙ И ДИСТАНЦИОННОЙ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ

Омск
СибАДИ
2020

УДК 656.1(075)
ББК 30.82.73
М15

Макушев, Юрий Петрович.

М15. Эксплуатационные материалы : курс лекция для студентов заочной и дистанционной форм обучения / Ю. П. Макушев. – Омск : СибАДИ, 2020. – 90 с.

Приведены материалы по дисциплинам «Эксплуатационные материалы», «Химмотология». Изложены физические свойства жидкостей и газов, приведена технология получения моторных топлив, смазочных материалов, охлаждающих жидкостей. Рассмотрены альтернативные топлива, особенности сгорания бензина в цилиндрах двигателей. Приведены контрольные задания для студентов заочной и дистанционной форм обучения.

Предназначен для бакалавров, магистров всех форм обучения направления подготовки «Энергетическое машиностроение» профиля «Двигатели внутреннего сгорания» и направленности «Энергетические установки и электронные системы управления», а также может быть полезным студентам других технических специальностей, инженерам и аспирантам.

Подготовлен на кафедре «Тепловые двигатели и автотракторное электрооборудование».

ВВЕДЕНИЕ

В России эксплуатируется более 60 млн единиц мобильных транспортных машин. Для привода в движение автомобилей, тракторов, тепловозов, судов и другой техники используют в основном двигатели внутреннего сгорания. При производстве современных двигателей применяют высокопрочные материалы, полимеры, новейшие технологии, компьютерную технику, электронное управление процессом сгорания топлива. Несмотря на достижения науки и техники современные двигатели внутреннего сгорания являются основным источником загрязнения атмосферы, имеют повышенный расход топлива и смазочных материалов.

Несовершенство двигателей, низкое качество топлив, смазочных материалов, тяжелые условия эксплуатации, недостаточный уровень сервиса повышают требования к инженерам и специалистам, работающим в области конструирования, производства и обслуживания машин.

Технология (от греч. *technē* – мастерство, умение и *logos* – наука) – совокупность методов обработки, изготовления, получения материалов (например, углеводородного топлива, моторного масла), применяемых для обеспечения работы двигателей внутреннего сгорания.

Современный инженер должен знать новейшие технологии получения высококачественных топлив, смазочных материалов и технических жидкостей, их физико-химические, эксплуатационные и экологические свойства, требования к ним, передовой опыт, нормативные документы, классификацию, способы экономии, правила перевозки и хранения, технику безопасности.

Подбирать (использовать) топлива и масла необходимо с учётом типа двигателя, его форсирования по мощности и частоте вращения, особенности системы питания, смазки и условий эксплуатации.

В учебном пособии приведены материалы, охватывающие основные разделы курса «**Эксплуатационные материалы**». Целью данного курса лекций является формирование знаний у студентов технических специальностей в области теории и практики рационального использования моторных топлив, смазочных материалов, охлаждающих жидкостей и альтернативных топлив.

Лекция № 1.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОСТЕЙ И ГАЗОВ

Плотность – это физическая величина, характеризующая содержание массы вещества в единице объёма. Плотность ($\text{кг}/\text{м}^3$) определяется как отношение массы вещества к единице объёма:

$$\rho = m/V. \quad (1.1)$$

Для воды при $20\text{ }^\circ\text{C}$ плотность равна $1000\text{ кг}/\text{м}^3$, плотность моторного масла примерно $900\text{ кг}/\text{м}^3$, дизельного топлива – $850\text{ кг}/\text{м}^3$, бензина – $750\text{ кг}/\text{м}^3$. По плотности, приведенной к $20\text{ }^\circ\text{C}$, определяют массу вещества.

Удельным объёмом называют величину, обратную плотности ($\text{м}^3/\text{кг}$):

$$\vartheta = 1/\rho. \quad (1.2)$$

Удельным весом называют вес жидкости (газа), приходящийся на единицу объёма ($\text{Н}/\text{м}^3$):

$$\gamma = G/V. \quad (1.3)$$

Между удельным весом и плотностью существует следующая связь:

$$\gamma = \rho \cdot g, \quad (1.4)$$

где $g = 9,81\text{ м}/\text{с}^2$ – ускорение свободного падения.

Давление – это физическая величина, характеризующая интенсивность сил, действующих на поверхность тела. Давление ($\text{Н}/\text{м}^2$, Па) определяется отношением нормальной силы к единице площади:

$$P = F/S. \quad (1.5)$$

Для перевода давления в другие единицы величины необходимо помнить, что $1\text{ техническая атмосфера} = 1\text{ кгс}/\text{см}^2 = 0,98 \cdot 10^5\text{ Па} = 0,1\text{ МПа} = 736\text{ мм рт. ст.} = 10\text{ м водяного столба}$. На рис. 1.1 показаны виды давлений.

Давление различают атмосферное, избыточное, абсолютное, вакуумметрическое. Недостаток давления до атмосферного называют **вакуумметрическим**. Давление больше атмосферного является **избыточным**.

Давление насыщенных паров – давление, при котором жидкость и газ находятся в равновесии, жидкость не испаряется, газ не конденсируется. Его можно определить как **давление**, при котором при данной температуре **жидкость вскипает**.

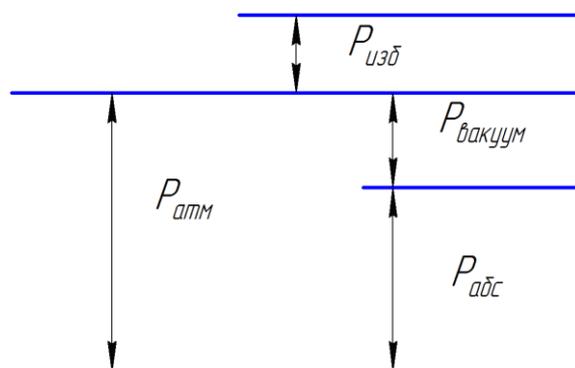


Рис. 1.1. Виды давлений

Для бензинов при температуре 38 °С давление насыщенных паров должно быть не более 0,067 МПа (летний бензин) и не более 0,093 МПа (зимний). По требованиям ГОСТ Р 51105 – 97 бензины по величине давления насыщенных паров разделяют на 5 групп.

Вязкость – способность жидкости оказывать сопротивление при относительном движении её слоёв. Согласно закону Ньютона сила внутреннего трения между слоями жидкости определяется по формуле

$$T = \mu \cdot S \cdot \Delta v / \Delta x, \quad (1.6)$$

где μ – коэффициент динамической вязкости ($\text{Н} \cdot \text{с} / \text{м}^2 = \text{Па} \cdot \text{с}$);

S – площадь соприкасающихся слоёв, м^2 ; $\Delta v / \Delta x$ – градиент скорости, характеризующий относительное изменение скорости между отдельными слоями жидкости, $1/\text{с}$.

Анализ формулы (1.6) показывает, что коэффициент динамической вязкости μ выражает силу внутреннего трения, приходящуюся на единицу площади соприкасающихся слоев при градиенте скорости, равном единице.

Кинематическая вязкость: $\nu = \mu / \rho$ в $\text{м}^2/\text{с}$. Вязкость измеряют в стоксах или сантистоксах ($1 \text{ Ст} = 1 \text{ см}^2/\text{с}$; $1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$). Эта-лоном кинематической вязкости в 1 сСт является дистиллированная вода при 20 °С. Для воды кинематическая вязкость равна $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. Вязкость любой жидкости можно определить при помощи капилляр-

ного вискозиметра (рис. 1.2). Он представляет собой U-образную прозрачную трубку с капилляром, над которым расположены две шарообразные емкости [1, 2]. В начале и конце нижней емкости расположены метки M_1 и M_2 , по которым определяют время перетекания жидкости. Например, время $\Delta\tau = 10$ с, а постоянная прибора $C = 0,1$ мм²/с². Кинематическую вязкость в сСт (мм²/с) находят по формуле

$$\nu = C \cdot \Delta\tau = 10 \cdot 0,1 = 1 \text{ мм}^2/\text{с}, \text{ или } 1 \text{ сСт}.$$

Для нахождения кинематической вязкости жидкости при определенной температуре применяют термостат (рис. 1.3), который поддерживает нужную для эксперимента температуру.

Зная кинематическую вязкость в м²/с, можно оценить **динамическую вязкость в Па·с (Н·с/м²)**. Для этого величину кинематической вязкости в м²/с умножают на плотность жидкости в кг/м³ ($\mu = \nu \cdot \rho$). Умножая дополнительно числитель и знаменатель на секунду (с), получим кг·м/с² (это Ньютон). В числителе остается с (секунда), в знаменателе м² (Н/м² = Па).

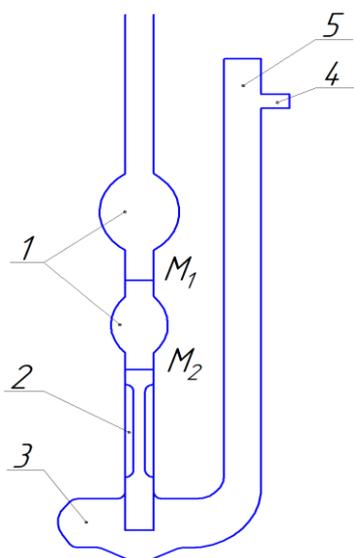


Рис. 1.2. Вискозиметр капиллярный:

1 – калиброванные ёмкости;
2 – капиллярная трубка; 3 – ёмкость для нагревания нефтепродуктов; 4 – отросток отводной; 5 – трубка широкая

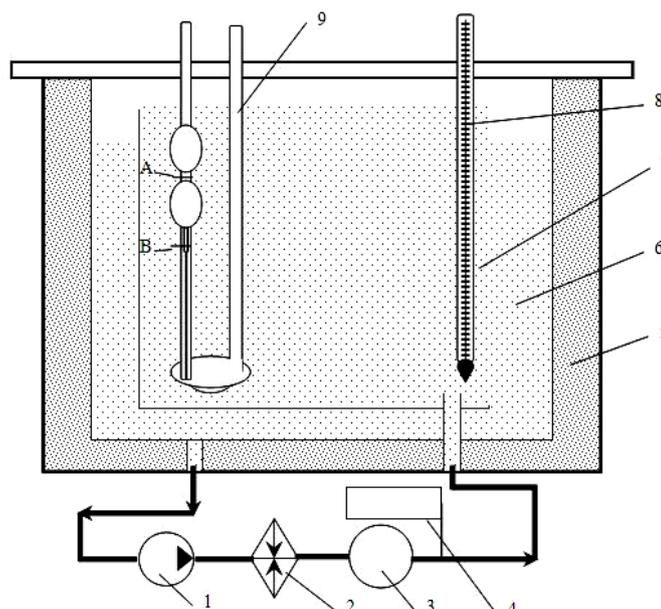


Рис. 1.3. Общий вид вискозиметра, установленного в водяном термостате:

1 – насос центробежный; 2 – нагреватель;
3 – датчик температуры; 4 – указатель температуры; 5 – теплоизоляция; 6 – нижняя ванна;
7 – верхняя ванна; 8 – термометр;
9 – вискозиметр

Кинематическая вязкость в м²/с применяется для оценки зависимости вязкости жидкости от температуры, при определении режи-

мов движения (ламинарное или турбулентное) и расчете потерь энергии при движении жидкости в местных сопротивлениях и по длине.

Динамическую вязкость в $\text{Н}\cdot\text{с}/\text{м}^2$ ($\text{Па}\cdot\text{с}$) применяют при расчете сил трения, например между подшипниками скольжения и шейками коленчатого вала двигателя. В холодное время года вязкость моторного масла резко повышается, силы трения достигают величины, при которой затрудняется вращение коленчатого вала и запуск двигателя. При кинематической вязкости моторного масла более 3000 сСт запуск двигателя затруднен.

Расход жидкости или газа – это количество жидкости (газа), протекающее за единицу времени через данное живое сечение. Различают расход объёмный ($\text{м}^3/\text{с}$) и массовый ($\text{кг}/\text{с}$).

$$Q = V / t - \text{объёмный}; \quad (1.7)$$

$$M = m / t - \text{массовый}.$$

Сжимаемость жидкости (газа) – её способность уменьшаться в объёме при повышении давления. Оценивается коэффициентом объёмного сжатия ($\text{м}^2/\text{Н}$):

$$\beta = (1/V) \cdot \Delta V / \Delta P, \quad (1.8)$$

где V – первоначальный объём системы; ΔV – изменение объёма системы; ΔP – изменение давления.

Величина, обратная β , – **модуль упругости**: $K = 1/\beta$. Для воды величина $K = 2 \cdot 10^9 \text{ Н}/\text{м}^2$, для нефтепродуктов $K = 1,35 \cdot 10^9 \text{ Н}/\text{м}^2$.

В любой замкнутой системе (насос, цилиндр) создаваемое давление определяется по формуле

$$\Delta P = K \cdot \Delta V / V. \quad (1.9)$$

Величину давления ΔP ограничивают при помощи перепускных или предохранительных клапанов. Оптимальная величина ΔP выбирается с учётом назначения конструкции исполнительного механизма, например гидроцилиндра для привода в действие ковша экскаватора. В гидравлических системах давление масла не превышает 30 МПа.

Состав и свойства топлив нефтяного происхождения изменяются в зависимости от температуры и давления. Углеводороды, содержащие от 1 до 4 атомов углерода, при нормальных атмосферных условиях являются газами. При повышении давления молекулы газа укрупняются и переходят в жидкое состояние. Бутан (C_4H_{10}) переходит в

жидкое состояние при повышении давления до 0,8 МПа. При понижении давления до величины атмосферного сжиженный бутан переходит в газообразное состояние. Данное свойство газов используется при создании систем питания двигателей, работающих на сжиженном газе (пропан - бутановая смесь газа).

Для полного сгорания 1 кг бензина требуется 14,45 кг воздуха, или 0,5 киломолей воздуха. В тепловом расчете двигателя внутреннего сгорания требуемое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива определяют в килограммах или в киломолях.

Свойства топлив и смазочных материалов условно разделяются на три группы: физико-химические, эксплуатационные и экологические.

К **физико-химическим группам** относят свойства, определяемые в лабораторных условиях, например плотность, вязкость, испаряемость, теплота сгорания [1].

К **эксплуатационным** относят свойства, проявляемые непосредственно в двигателе, например детонационная стойкость бензина, склонность топлива к образованию нагара.

К **экологическим** относят свойства, оказывающие влияние на окружающую среду, например загрязнение воздуха отработавшими газами, пожарную и взрывную опасность нефтепродуктов.

Контрольные вопросы и задания

1. *Что называют плотностью, как она определяется и с какой целью?*
2. *Дайте определение давления? Что понимают под абсолютным, избыточным (манометрическим) и вакуумметрическим давлениями, единицы величины?*
3. *Что называют давлением насыщенных паров?*
4. *Кинематическая и динамическая вязкость жидкости, единицы величины. Способы измерения.*
5. *Дайте определение объемному и массовому расходу жидкости.*

Лекция № 2.

2. НЕФТЬ – ОСНОВНОЙ ИСТОЧНИК ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВ И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Нефть – это углеводородное топливо, состоящее в основном из углерода (83 – 87%), водорода (12 – 14%) и малом количестве серы, кислорода, азота (1 – 3%) [1, 3].

Нефть (от перс. *просачиваться*) – горючая маслянистая жидкость темного цвета, плотностью $\rho = 800 - 900 \text{ кг/м}^3$, теплотой сгорания 42 – 44 МДж/кг (1 кал = 4,18 Дж). М – мега (миллион) 10^6 .

По содержанию серы нефти подразделяются на 3 класса:

- малосернистые – до 0,6%;
- сернистые от 0,61 до 1,8%;
- высокосернистые более 1,8%.

Сера в нефти находится в виде сероводорода, меркаптанов и сульфатов. Технология получения топлив из нефти с высоким содержанием серы сложная и требует больших затрат.

Теорию органического происхождения нефти высказал М.В. Ломоносов, который считал, что нефть образовалась в земных глубинах в результате разложения органических остатков растительного и животного происхождения под действием подземного тепла.

За 150 лет (1850 – 2000) из земли было добыто $70 \cdot 10^9$ т нефти. Объём добытой нефти приводят в баррелях (1 баррель = 158,9 л).

Мировая добыча нефти в 1990 г. составила 3100 млн т, а в 2018 г. – 5280 млн т. В 2018 г. добыча нефти в России составила 550 млн т.

Добыча газа в России в настоящее время производится в объёме более 700 млрд м^3 в год.

Впервые в России в городе Моздоке братьями Дубиниными (Василием, Герасимом, Макаром) в 1823 г. была создана установка для переработки нефти. Основной продукцией установки был керосин. Установка имела подогреваемый котел с нефтью и холодильник (ёмкость с водой) для конденсации паров топлива.

Испаряемость характеризуется скоростью перехода топлива из жидкой фазы в газообразную. Нефть не имеет постоянной температуры кипения.

Разделить нефть на отдельные фракции (части), виды топлив (бензин, керосин, газойль, соляр) можно методом прямой перегонки [1, 4]. Нефть нагревают до 400 °С и направляют в разделительную

(ректификационную) колонну. Колонна имеет диаметр примерно 2 м и высоту 25 м. В колонне есть разделительные тарелки с отверстиями в виде цилиндров. На цилиндры установлены колпачки с прорезями для прохода паров топлива. Самые легкие фракции – пары бензинов достигают верхних тарелок, там конденсируются и отводятся в отдельные емкости, более тяжёлые оседают на нижних тарелках (рис. 2.1, 2.2).

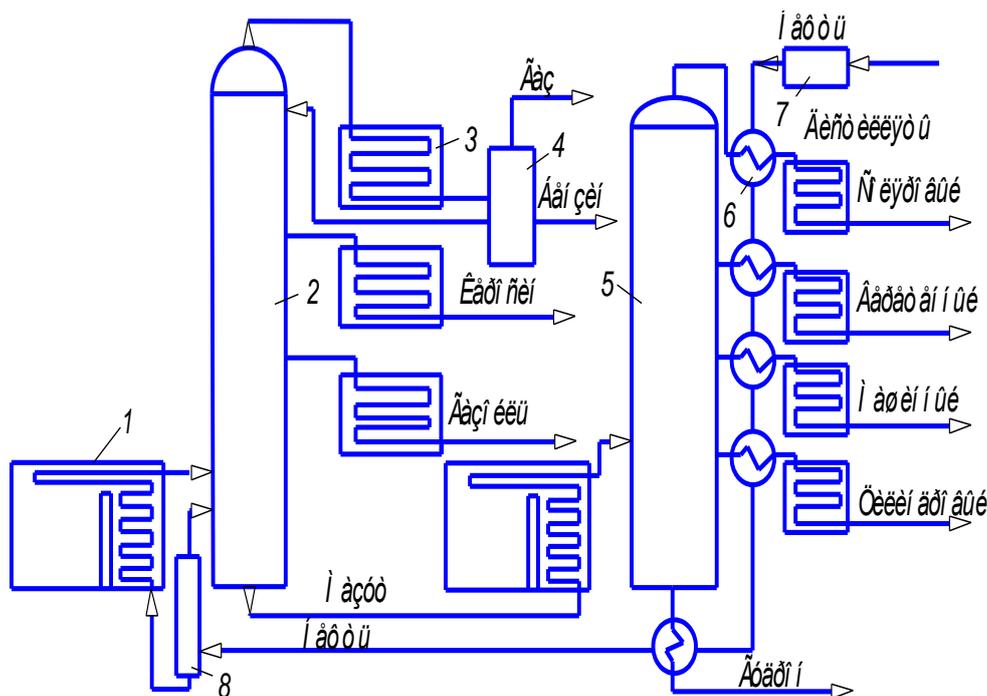


Рис. 2.1. Комплексная атмосферно-вакуумная установка переработки нефти:
 1 – трубчатая печь; 2 и 5 – ректификационные колонны; 3 – холодильник;
 4 – отделитель газа; 6 – теплообменник; 7 – насос;
 8 – испарительная колонна

Самая тяжелая фракция (мазут) снова нагревается и направляется в другую колонну, работающую под разрежением. Давление в колонне снижают до 0,01 МПа для того, чтобы мазут кипел и испарялся при меньшей температуре и разделялся на легкие, средние и тяжелые масла (веретённый, машинный, цилиндрический). **Диапазоны выкипания (испарения) нефтепродуктов:** бензин 35 – 200 °С, лигроин 110 – 230 °С, керосин 140 – 300 °С, газойль 236 – 330 °С, соляр 286 – 380 °С, масла 320 – 500 °С. При смешении фракций получают топлива для различных видов техники.

Смесь лигроина и керосина – это реактивное топливо для самолётов. Керосин и газойль – это лёгкое дизельное топливо для автомобилей. Газойль и соляр – это дизельное топливо для тракторов. Соляр – это топливо для тепловозов и судовых двигателей.

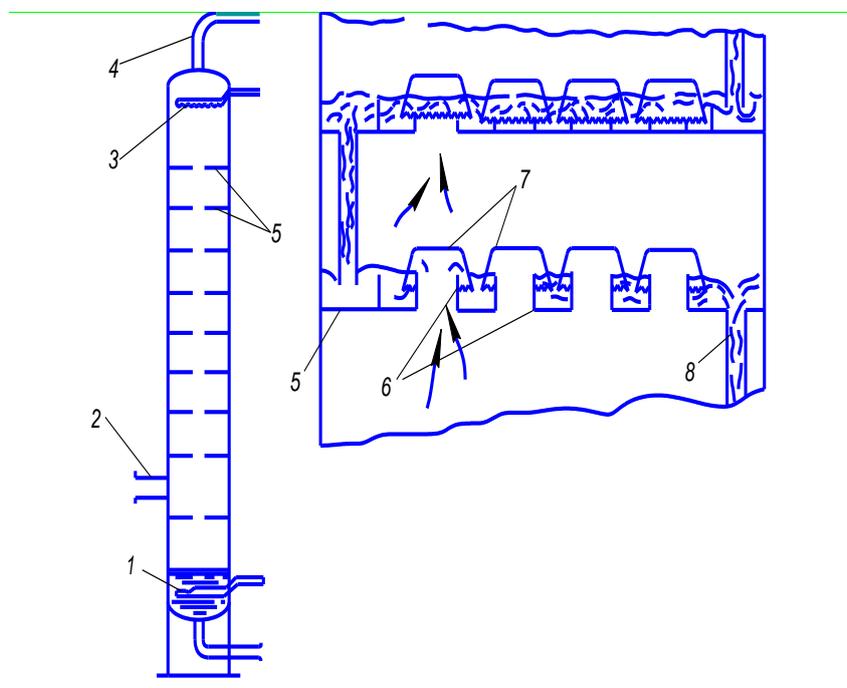


Рис. 2.2. Схема ректификационной колонны и её принцип действия:
 1 – приспособление для ввода водяного пара; 2 – труба (ввод паров нефти и её неиспарившейся части); 3 – приспособление для ввода орошения; 4 – труба для отвода легкокипящих фракций с испарившимся оросителем; 5 – металлические тарелки; 6 – отверстия в тарелках; 7 – колпачки с прорезями; 8 – сливная труба

Контрольные вопросы и задания

1. Что называют нефтью, ее состав?
2. Что называют испаряемостью топлива?
3. В чем заключается принцип прямой перегонки нефти?
4. Укажите диапазон выкипания бензиновых фракций.
5. Что называют фракцией?
6. Какие виды топлив получают в результате прямой перегонки нефти?
7. С какой целью смешивают различные фракции топлив?
8. С какой целью мазут разделяют на фракции при давлении меньше атмосферного?

Лекция № 3.

3. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ БЕНЗИНА

Требования к бензинам [1]:

1. Бесперебойно поступать в карбюратор или форсунки (давление парообразования).
2. Образовывать нормальную горючую смесь: 1 часть бензина и 15 частей воздуха.
3. Сгорать без детонации (взрыва).
4. Не вызывать коррозию деталей.
5. Сгорать без образования нагара.
6. Иметь минимальную токсичность.

В табл. 3.1 приведены энергетические показатели некоторых топлив при стандартных условиях. В таблице указана низшая теплотворная способность топлив без учета теплоты, выделяющейся при конденсации паров воды. Для сравнения различных топлив по теплотворной способности в качестве базы принята единица условного топлива, имеющая теплоту сгорания 29 307 кДж/кг (7000 ккал/кг).

Таблица 3.1

Энергетические показатели топлив

Топливо	Теплота сгорания, кДж/кг	Коэффициент перевода в условное топливо
Условное топливо	29 307	1,0
Нефть	41 900	1,43
Мазут	41 448	1,41
Древесина	12 560	0,43
Уголь каменный	27 600	0,94
Бензин	45 216	1,54
Дизельное топливо	42 704	1,46
Газ природный	35 586	1,21
Газ сжиженный	46 000	1,57

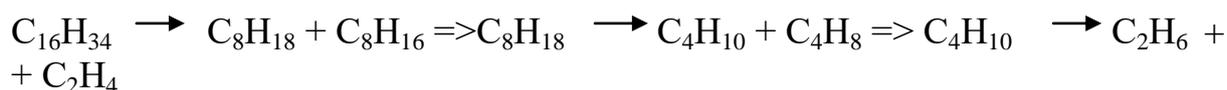
3.1. Способы повышения детонационной стойкости бензинов

В процессе прямой перегонки нефти получается 15 – 20% бензина с низким октановым числом (ОЧ \approx 60). Для повышения ОЧ применяют современные технологии переработки нефти (крекинг-процесс, риформинг), высокооктановые добавки и присадки. В про-

цессе крекинга крупные молекулы расщепляются на мелкие, что позволяет повысить ОЧ. Крекинг происходит при давлении, равном $P = 2 - 5$ МПа, и температуре $450 - 500$ °С. Выход высокооктанового бензина составляет примерно 50%.

Например, процесс крекинга протекает по следующей схеме:

Из молекул гексадекана ($C_{16}H_{34}$) образуется октан (C_8H_{18}), из него бутан (C_4H_{10}) и далее этилен (C_2H_4).



В процессе переработки нефти применяют риформинг (изменяется структура молекулы). Например, цепочное строение молекулы преобразуется в кольцевую форму.

Вид топлива зависит от количества углерода в молекуле. Если атомов углерода в молекуле до 4 – это газ, от 4 до 16 – жидкость, более 16 – масла, парафины, твёрдые вещества. Фракции бензинов выкипают при температуре от 40 до 200 °С и содержат углеводороды от C_5H_{12} до $C_{11}H_{24}$. Фракции лигроина выкипают при температуре от 150 до 250 °С и содержат углеводороды от C_8H_{18} до $C_{14}H_{30}$.

Для повышения октанового числа бензинов применяли этиловую жидкость. Этиловая жидкость (Р-9) содержит тетраэтилсвинца $Pb(C_2H_5)_4$ 54%, бромистого этила C_2H_5Br 40%, хлористого нафталина 6%. Добавка 1 см³ этиловой жидкости на 1 кг бензина повышает его октановое число, например с 80 до 90. Наличие этиловой жидкости в бензине при его сгорании задерживает образование перекисей углеводородов, отдаляя их накопление до критической концентрации и начала взрывного сгорания или детонации.

Этилированный бензин ядовит, по ГОСТ 51105–97 его использование запрещено, так как он загрязняет атмосферу, ухудшает здоровье человека, разрушает нейтрализаторы выхлопных газов.

Октановое число бензинов можно увеличить следующими способами:

1. Внедрение современных технологий переработки нефтяных фракций (крекинг-процесс и риформинг). При крекинге крупные молекулы расщепляются и становятся мелкими. При риформинге видоизменяется их строение (молекула становится компактной – кольцевой, разветвленной). Стойкость к окислению и самовозгоранию объ-

ясняется тем, что молекула принимает форму «круговой обороны» (арены, цикланы).

2. Применение высокооктановых добавок (изооктана, алкилбензола).

3. Применение антидетонационных присадок (этиловой жидкости на основе тетраэтилсвинца $Pb(CH_3)_4$), метилтретбутилового эфира $CH_3OC_4H_9$, композиций на основе марганца $C_5H_5Mg(CO)_3$ и железа $Fe(CO)_5$.

Добавка марганцесодержащей присадки 50 мг на л бензина повышает его октановое число на 5 – 6 единиц. Больше содержание $C_5H_5Mg(CO)_3$ (циклопентадиенилтрикарбонилмарганец) в топливе приводит к повышенному нагарообразованию на свечах и в камере сгорания. Применение 38 мг на л бензина пентокарбонила железа $Fe(CO)_5$ повышает его октановое число на 3 – 4 единицы.

Для повышения октановых чисел бензинов применяют и кислородосодержащие добавки – эфиры и спирты. Метилтретбутиловый эфир ($CH_3OC_4H_9$) при добавке 15% к бензину повышает его октановое число на 4 – 6 единиц. При увеличении эфира снижается теплота сгорания топлива и мощность двигателя.

3.2. Процесс сгорания бензина

Теоретическое количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг бензина, определяют из выражения [1]:

$$L_T = \frac{1}{0,23} \cdot \left(\frac{8}{3}C + 8H \right) = \frac{1}{0,23} \cdot \left(\frac{8}{3}0,855 + 8 \cdot 0,145 \right) \approx 15 \text{ кг}. \quad (3.1)$$

В воздухе 23% O_2 ; 1 кг бензина содержит 0,855 кг С и 0,145 кг Н.

Теоретическое количество воздуха для сгорания 1 кг дизельного топлива и бензина 14,5 – 15 кг, для газообразных топлив 15 – 17 кг, для этилового спирта 9 кг. Этиловый спирт C_2H_5OH содержит кислород, и для его сгорания требуется меньшее количество воздуха.

Коэффициент избытка воздуха – это отношение действительно поступившего количества воздуха в цилиндр к теоретически необходимому для сгорания 1 кг топлива:

$$\alpha = L_D/L_T, \quad \text{при } L_D = L_T \quad \alpha = 1. \quad (3.2)$$

Если $\alpha > 1$, смесь бедная; $\alpha < 1$ – богатая.

В процессе испытания двигателя на стенде коэффициент избытка воздуха α определяют расчетным путем по формуле [5]:

$$\alpha = M_B / (15,0 \cdot G_q), \quad (3.3)$$

где M_B – количество воздуха, поступившее в цилиндры двигателя на данном режиме испытания, кг/ч (определяется при помощи счетчика газа); 15,0 – теоретическое массовое количество воздуха, необходимое для сжигания 1 кг топлива; G_q – часовой расход топлива, кг/ч. Для бензиновых двигателей $\alpha = 0,8 - 1,2$, дизелей – 1,4 – 6,0.

Используя формулу Менделеева – Клапейрона (Россия, Франция, 1850 г.)

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T, \quad (3.4)$$

где P – абсолютное давление, Н/м²; V – объём, м³, например цилиндра двигателя; m – масса, кг, например воздуха; R – газовая постоянная для воздуха 287 Дж/(кг·К); T – температура, К, можно определить массу воздуха, поступившего в цилиндр, и оценить требуемое количество топлива.

Например, при атмосферных условиях в цилиндр дизеля поступила масса воздуха, равная 1,5 г. При подаче в камеру сгорания 0,1 г распыленного дизельного топлива коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1$, а при подаче 0,05 г $\alpha = 2$.

Коэффициент избытка воздуха у двигателей с воспламенением от сжатия (дизели) зависит от количества поданного топлива в камеру сгорания. У дизеля он может изменяться от 1 до 6, а у бензиновых двигателей – от 0,8 до 1,2. У бензиновых двигателей при большой подаче топлива (богатая смесь) электроды свечи покрываются пленкой топлива и искрообразование нарушается. При бедных смесях затрудняется ее воспламенение от электрической искры. У двигателей с воспламенением горючей смеси от искры коэффициент избытка воздуха изменяется от его количества, поступившего в цилиндр, и от количества поданного топлива. Количество воздуха изменяется путём дросселирования (мятия) на впуске (изменением положения заслонки).

В современных бензиновых двигателях процесс сгорания топлива протекает при $\alpha = 1$. В выпускном коллекторе установлен датчик кислорода (λ -зонд), который по наличию кислорода в отработавших газах дает сигнал в микропроцессор (контроллер) о возможности изменения подачи топлива. Если в выхлопных газах есть кислород воз-

духа, участвующий в процессе сгорания, то оператор (водитель) может увеличить подачу топлива, если кислорода нет, то подача топлива ограничивается.

Применение датчика кислорода в современных электронных системах впрыска топлива позволяет снизить расход топлива двигателей внутреннего сгорания и токсичность отработавших газов.

На рис. 3.1 показан датчик кислорода (лямбда - зонд). Лямбда-зонд работает как гальванический элемент с твердым электролитом, выполненным в виде керамики из двуокиси циркония ZrO_2 , на котором нанесено платиновое напыление, выполняющее роль электродов [6]. Один из электродов фиксирует показания атмосферного воздуха, а второй – выхлопных газов. Эффективная работа прибора возможна при достижении температуры более $300\text{ }^{\circ}\text{C}$, когда циркониевый электролит приобретает проводимость. По этой причине датчик выполняется с подогревом. Выходное напряжение зависит от разницы количества кислорода в атмосфере и выхлопных газах.

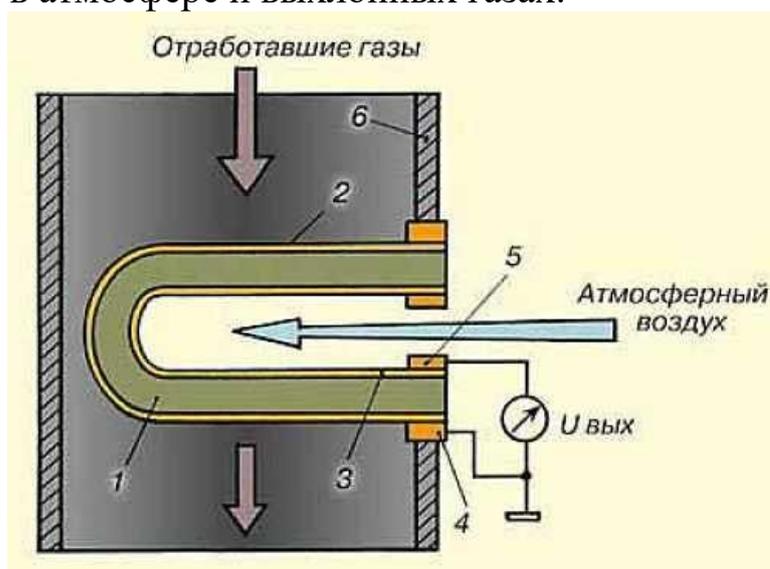


Рис. 3.1. Простейшая схема включения датчика кислорода: 1 – твердый электролит ZrO_2 ; 2, 3 – наружный и внутренний электроды; 4 – контакт заземления; 5 – «сигнальный контакт»; 6 – выхлопная труба

Так, при обогащенной смеси, когда процент кислорода в выхлопной трубе меньше, напряжение возрастает, а при обеднении – снижается (рис. 3.2). Если $\alpha > 1$, смесь бедная, $U_{\text{ВЫХ}} = 0,1\text{ В}$; $\alpha < 1$ – богатая, $U_{\text{ВЫХ}} = 0,9\text{ В}$. Полученный в результате химической реакции электрический импульс подается на электронный блок управления (ЭБУ),

параметры которого он сравнивает с данными памяти ЭБУ. При необходимости производится корректировка работы системы питания или снабжения воздухом (изменяется масса топлива или воздуха).

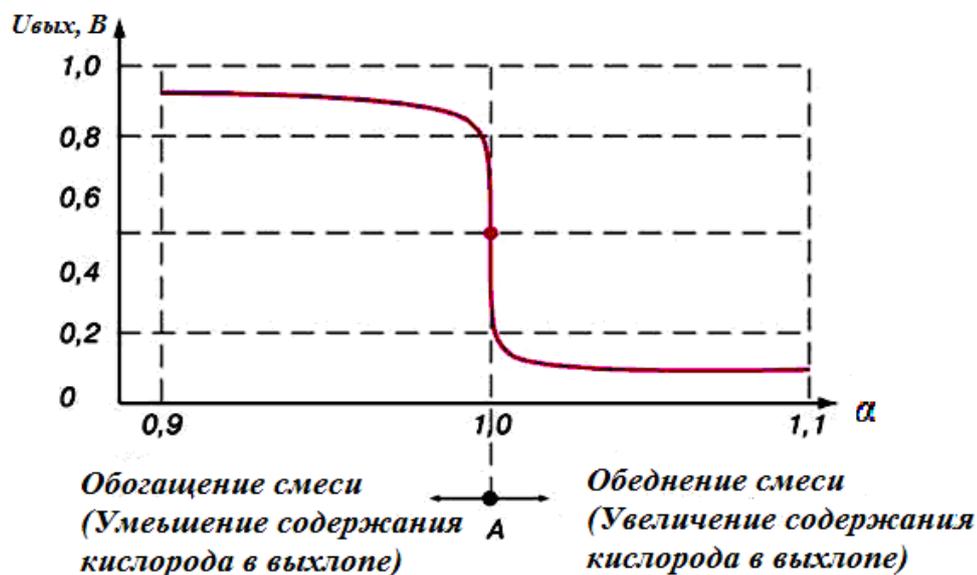


Рис. 3.2. Зависимость напряжения на выходе из датчика от коэффициента избытка воздуха

На рис. 3.3 показан разрез датчика кислорода, поясняющий его устройство.

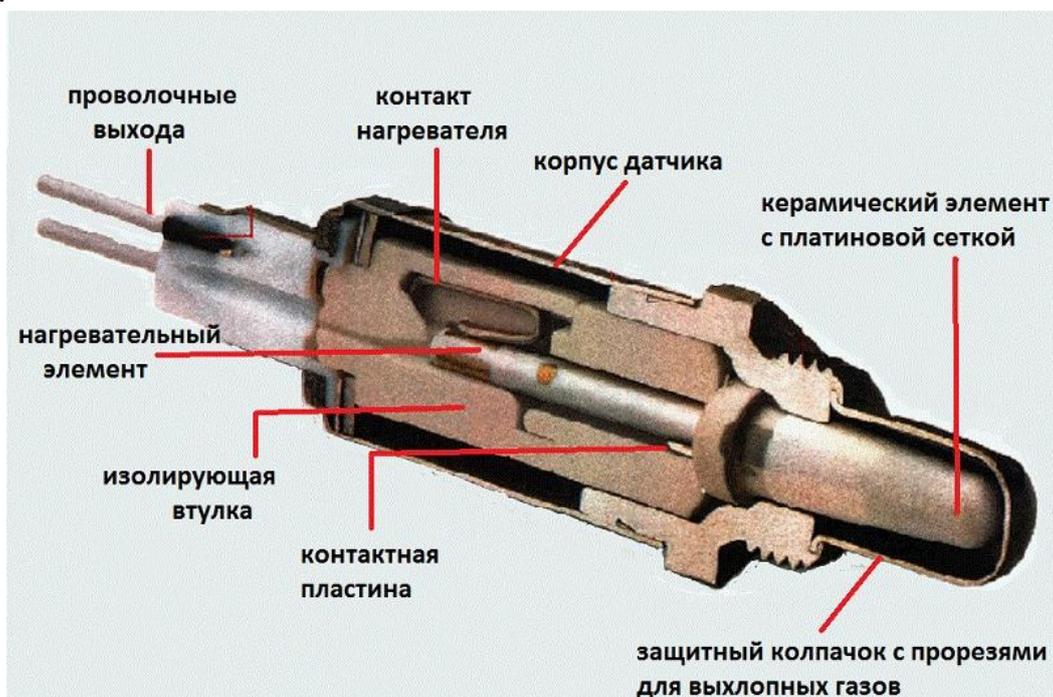


Рис. 3.3. Устройство датчика кислорода (лямбда - зонда)

На многих автомобилях, чтобы снизить содержание вредных веществ в отработавших газах, используют каталитические нейтрализаторы. При этом выхлопная система оснащается не одним, а двумя датчиками кислорода (рис. 3.4).

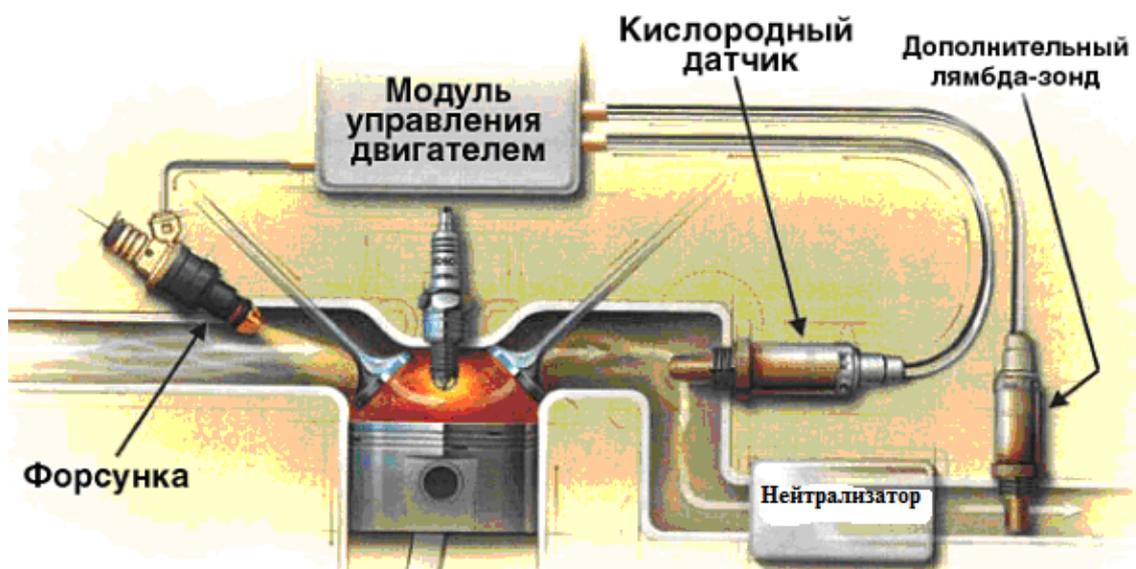


Рис. 3.4. Схема подключения двух датчиков кислорода

Процесс сгорания топлива в координатах $P - \varphi$ показан на рис. 3.5 (φ – угол поворота коленчатого вала). Примерно за $20 - 30^\circ$ до верхней мёртвой точки (ВМТ) подаётся искра при помощи свечи (в центре искры температура достигает $10\,000\text{ }^\circ\text{C}$), горючая смесь воспламеняется, кривая сгорания отделяется от кривой сжатия.

У двигателя с искровым зажиганием процесс сгорания можно условно разбить на три фазы: I – **начальный период сгорания (образование очага горения)** (сгорает $6 - 8\%$ топлива от начала подачи искры до начала сгорания топлива и повышения давления); II – **основная фаза горения или распространение фронта пламени** (80% топлива); III – **догорание топлива** [1]. Заканчивается процесс сгорания топлива, когда температура в цилиндре достигает максимального значения.

При нормальном процессе сгорания воспламенение свежих порций рабочей смеси и перемешивание фронта пламени по камере сгорания происходит вследствие передачи тепла под действием теплопроводности и лучеиспускания.

По анализу изменения давления во второй фазе сгорания судят о жесткости процесса сгорания (скорости повышения давления). Двигатель должен работать мягко, без стуков с плавным повышением давления в процессе сгорания топлива.

Для бензиновых ДВС жёсткость процесса сгорания ($C = \Delta P / \Delta \varphi$, МПа/град) $C = 0,1 - 0,2$ МПа/град. Жесткость сгорания – это приращение давления за один градус поворота коленчатого вала двигателя.

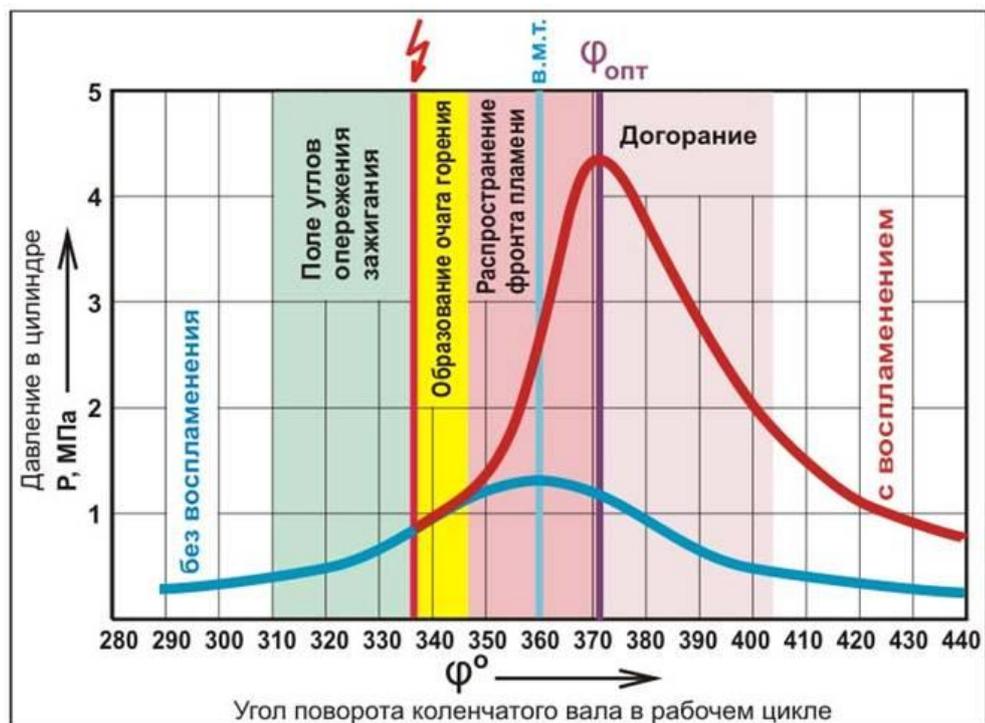


Рис. 3.5. Изменение давления газов в цилиндре бензинового двигателя

Нормальный процесс сгорания топлива протекает со скоростью 20 – 50 м/с. В процессе детонации скорость сгорания достигает 2 – 3 тыс. м/с. На осциллограмме процесс сгорания (в зоне третьей фазы) наблюдается в виде затухающих острых пиков. Частота вибрации давления равна частоте слышимых стуков. Звонкие металлические стуки являются результатом отражения ударных волн от стенок цилиндра и камеры сгорания.

На рис. 3.6 показаны процессы нормального и детонационного сгорания топлива в цилиндре двигателя. На рис. 3.7 приведены графики изменения давления в цилиндре при нормальном процессе сгорания, слабой и сильной детонации.

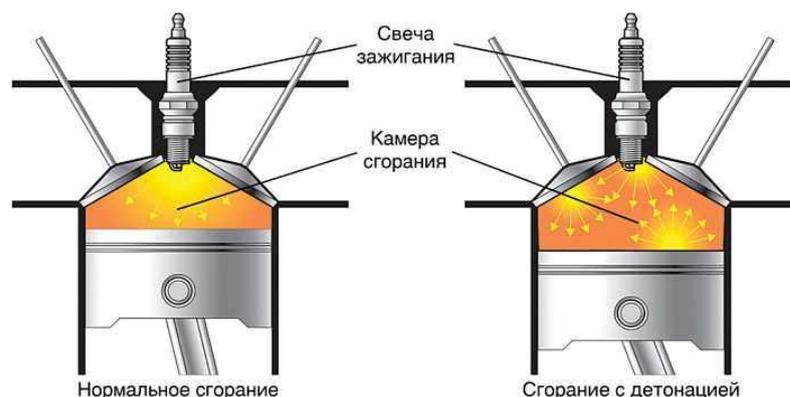


Рис. 3.6. Нормальное и детонационное сгорание топлива (бензина)

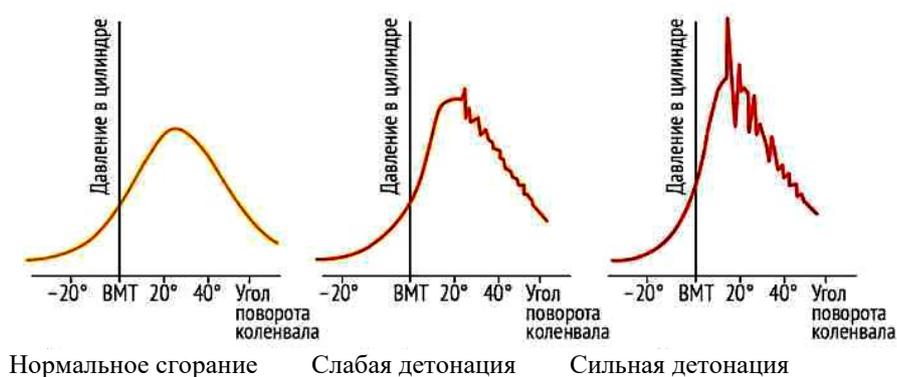


Рис. 3.7. Изменение давления в цилиндре в процессе сгорания топлива

3.3. Управление углом опережения зажигания топлива

Значение угла опережения зажигания, обеспечивающее наиболее эффективную работу ДВС, должно быть близким к такой величине, на которой возникает детонация. При обнаружении детонации по сигналу датчика детонации угол опережения зажигания уменьшается.

Основное управление опережением зажигания строится как разомкнутое с определением управляющих воздействий по базовой схеме и корректирующим матрицам. При изменении качества топлива, состояния ДВС и внешних условий возможно появление детонационного сгорания.

При выявлении детонации ЭБУ сначала резко уменьшает угол опережения зажигания, а затем постепенно увеличивает до первоначального значения [7]. Если вновь возникает детонация, то этот процесс повторяется. Величина уменьшения угла опережения зажигания устанавливается в зависимости от интенсивности детонации и осуще-

ствляется для того цилиндра, где возникло нарушение сгорания. При такой работе не исключается периодическое возникновение детонации, но количество циклов с детонацией значительно сокращается. Пример временной диаграммы работы контура обратной связи по сигналу датчика детонации в одном из цилиндров ДВС показан на рис. 3.8.

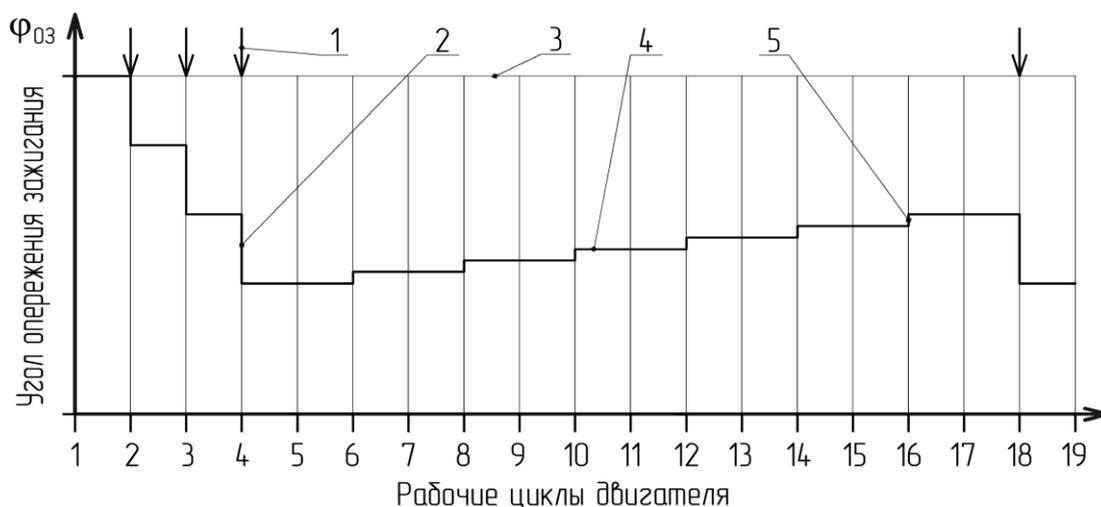


Рис. 3.8. Пример временной диаграммы работы контура обратной связи по сигналу датчика детонации в одном из цилиндров бензинового ДВС: 1 – сигнал о появлении детонации; 2 – уменьшение значения угла опережения зажигания $\varphi_{оз}$ при появлении детонации; 3 – значение $\varphi_{оз}$, устанавливаемое по программе; 4 – период сохранения значения $\varphi_{оз}$; 5 – шаг возврата $\varphi_{оз}$ к исходному значению

Для дальнейшего сокращения числа циклов с детонацией и улучшения управления опережением зажигания на неустановившихся режимах в контур ограничения детонации дополнительно включена обучающаяся корректирующая матрица. В этой матрице запоминаются значения минимально необходимого снижения угла опережения зажигания для работы без детонации в зависимости от режимных параметров ДВС и внешних условий.

Уменьшение работы ДВС с заниженными углами опережения зажигания способствует улучшению топливной экономичности автомобиля. Данные в обучающейся корректирующей матрице периодически обновляются.

На детонационное сгорание топлива влияют [1]:

1. Степень сжатия (повышение степени сжатия ускоряет детонацию).

2. Угол опережения зажигания (раннее зажигание – усиливает).
3. Сорт топлива (октановое число меньше, детонация больше).
4. Частота вращения коленчатого вала (с уменьшением – возрастает детонация).

Причиной детонации является образование перекисей. Кислород при высокой температуре внедряется в углеводородную молекулу топлива, повышая её способность к самовоспламенению. Детонационному (взрывному) сгоранию подвергается та часть горючей смеси, которая должна сгореть в последнюю очередь (рис. 3.9).

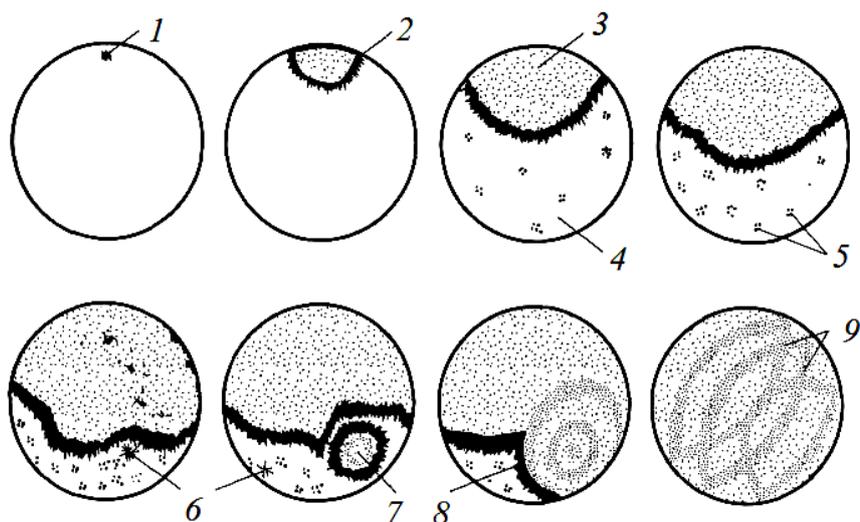


Рис. 3.9. Схема детонационного сгорания топлива:

- 1 – воспламенение смеси искрой свечи; 2 – фронт горения;
 3 – сгоревшая смесь; 4 – несгоревшая смесь; 5 – места повышенной концентрации перекисей; 6 – очаг самовоспламенения;
 7 – образование детонационной волны;
 8 – детонационная волна; 9 – отраженные волны

Перекиси накапливаются в несгоревшей части рабочей смеси и при достижении критической концентрации распадаются с сопровождением взрыва и выделением большого количества теплоты, активизируя всю рабочую смесь.

Детонация – процесс очень быстрого завершения сгорания в результате самовоспламенения части рабочей смеси и образования ударных волн, распространяющихся со сверхзвуковой скоростью.

При детонации резко повышается температура в камере сгорания, что приводит к прогоранию поршней и выпускных клапанов, перегреву и выходу из строя свечей, а при длительной интенсивной детонации – к выходу из строя двигателя.

Внешним признаком детонации является чёрный дым. Его причина заключается в забросе несгоревшего топлива в зону горения, где нет кислорода. При детонации ударная волна отражается от стенок цилиндра с частотой 2000 – 3000 Гц, при этом возникают металлические стуки. Давление в цилиндре резко повышается, мощность двигателя падает. Для устранения детонации зажигание устанавливают позже. В современных автомобилях это выполняется автоматически.

В блоке цилиндров установлен датчик с пьезокерамическим чувствительным элементом (рис. 3.10), на обкладках которого при детонации (резонансе) появляется напряжение. При появлении детонации сигнал с датчика передается на электронный блок управления двигателем, который позже подает напряжение на первичную обмотку катушки зажигания. Вторичное напряжение (25 – 30 тыс. В) катушки зажигания позже подается на электроды свечи. Угол опережения зажигания уменьшается, что снижает давление, температуру в камере сгорания и детонацию.

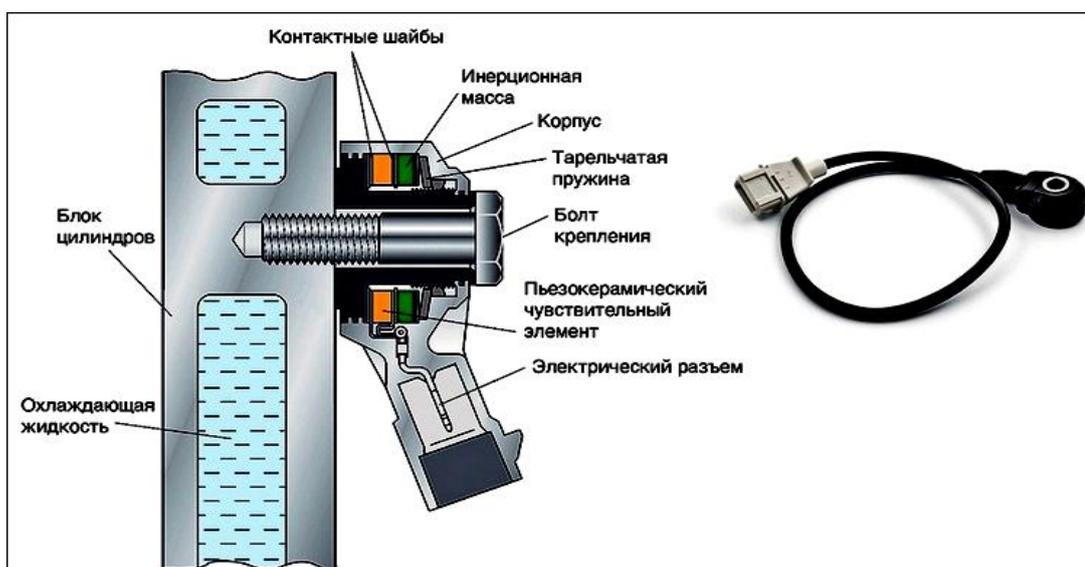


Рис. 3.10. Устройство и крепление широкополосного датчика детонации

Широкополосный датчик детонации представляет собой два корпуса – металлический (внутренний) и пластиковый (внешний), между которыми находится пьезокерамический чувствительный элемент и инерционная масса, повышающая чувствительность. Между инерционной массой и пьезоэлементом, а также пьезоэлементом и внутренним корпусом имеется контактная шайба, защищающая от ударных

нагрузок. Пьезоэлемент имеет выход к электрическому разъему датчика детонации. Вся эта конструкция через тарельчатую пружину соединена с внешним пластиковым корпусом, который крепится к блоку цилиндров двигателя при помощи болта.

Пьезо – слово греческое и означает «давлю». Известной областью применения пьезоэлементов являются датчики давления. При действии давления или вибрации на пьезоэлемент на его обкладках возникает разность потенциалов, которую можно измерить. Это явление называется пьезоэлектрическим эффектом.

Прямой пьезоэффект используют в технике для преобразования механических напряжений или деформаций в электрические сигналы (датчики давления, датчики детонации).

В пьезоэлектрическом преобразователе активными элементами является пластина, изготовленная из природного кварца. Возможно применение пьезокерамического материала, например ЦТБС-8 (цирконат ZrO_2 , титанат бария $BaTiO_3$, окись свинца PbO). Широкое применение нашли титанат бария $BaTiO_3$, титанат бария и кальция с добавкой кобальта (ТБК-3), титанат бария, кальция и свинца (ТБКС).

Контрольные вопросы и задания

- 1. Укажите главные эксплуатационные требования к бензинам.*
- 2. Как протекает процесс сгорания бензина?*
- 3. Поясните составляющие формулы (3.1), по которой определяют теоретическое количество воздуха, необходимого для сгорания 1кг бензина.*
- 4. Что называют жесткостью процесса сгорания, определите её среднюю величину по анализу индикаторной диаграммы (см. рис. 3.5).*
- 5. Что называют детонационным сгоранием бензина?*
- 6. Укажите основные причины детонации.*
- 7. Устройство и принцип работы датчика детонации.*

Лекция № 4.

4. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К БЕНЗИНАМ И ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВАМ

4.1. Бензины

При сгорании топлива образуются CO_2 и H_2O . При сгорании серы и сернистых соединений выделяются серный и сернистый ангидриды (SO_2 и SO_3). Пары воды, соединяясь с ангидридами, образуют сернистую и серную кислоты H_2SO_3 и H_2SO_4 . Данные кислоты вызывают коррозию баков, трубопроводов и деталей двигателя.

Активность сернистых соединений проверяют с помощью **медной пластинки**. В пробирку наливают бензин, опускают медную пластинку и кипятят 18 мин при температуре $100\text{ }^\circ\text{C}$. Если на пластине отсутствуют тёмные пятна, то сера в топливе находится в допустимых пределах.

Контрольно-измерительное оборудование совершенствуется. В последних вариантах приборов используются автоматика, электроника, микропроцессорная техника. Длительность контроля сократилась, а качество и точность повысились.

На рис. 4.1 показан анализатор содержания серы АСЭ-2 в нефти и нефтепродуктах. Содержание серы в нефтепродуктах определяется в соответствии с ГОСТ Р 51947–2002. Принцип действия прибора – энергодисперсионный анализ рентгеновской флуоресценции серы. Время измерения одного образца нефтепродукта до 5 мин.



Рис. 4.1. Анализатор содержания серы в нефтепродуктах АСЭ-2

При сгорании топлива его химическая энергия переходит в тепловую и далее, при использовании специальных устройств (КШМ) – в механическую. При нормальном сгорании средняя скорость распространения пламени доходит до 50 м/с. В процессе детонации скорость сгорания увеличивается до 2500 м/с. Во время детонации слышны звонкие металлические стуки (ударные волны), мощность двигателя снижается, резко повышается температура, увеличиваются нагрузки на детали кривошипно-шатунного механизма.

4.1.1. Методика определения октанового числа

Октановое число бензинов проверяют моторным и исследовательским способами. Установка представляет одноцилиндровый двигатель (УИТ – 85М) с переменной степенью сжатия (4 – 12). УИТ – универсальная одноцилиндровая установка для испытания топлива, изображенная на рис. 4.2 [1]. Диаметр поршня 85 мм, ход – 115 мм. При моторном методе частота вращения коленчатого вала $n = 900 \text{ мин}^{-1}$ и угол опережения зажигания $\varphi = 15\text{--}26^\circ$. Исследовательский метод осуществляется при $n = 600 \text{ мин}^{-1}$, $\varphi = 13^\circ$. Установка оборудована прибором для измерения интенсивности детонации, которая изменяется от 0 до 100 единиц.



Рис. 4. 2. Общий вид установки УИТ-85М для определения октанового числа бензинов

Моторный способ имитирует работу двигателя грузовых автомобилей на форсированных режимах и длительных нагрузках (междугородное движение транспорта).

Исследовательский способ имитирует работу двигателя легкового автомобиля при меньших нагрузках (внутригородское движение).

В качестве эталонных топлив берут **изооктан** C_8H_{18} (ОЧ = 100) и **гептан** C_7H_{16} (ОЧ = 0).

Октановое число определяется сравнительным методом при помощи эталонной смеси, состоящей из октана и гептана. Например, бензин, которому присвоили марку А-76, расшифровывается так: А – автомобильный бензин, октановое число 76, определено моторным методом. Если взять смесь из 76% изооктана и 24% гептана, то она по детонационной стойкости будет такой же, как бензин А-76.

Октановое число есть показатель детонационной стойкости топлива, численно равный процентному содержанию изооктана в той его смеси с гептаном, которая по интенсивности детонации эквивалентна испытываемому топливу.

Рассмотрим последовательность методики определения ОЧ по моторному методу.

1. Одноцилиндровый двигатель прогрет и работает на бензине, ОЧ которого неизвестно. Частота вращения вала двигателя 900 мин^{-1} , угол опережения зажигания, например 20° .

2. Повышаем степень сжатия (уменьшая объем камеры сгорания), добиваемся устойчивой детонации (например, при степени сжатия 8).

3. Отключаем анализируемый бензин и переводим работу двигателя на эталонную смесь с известным октановым числом. Эталонные смеси могут иметь октановые числа от 62 до 98 единиц и состоят из изооктана и нормального гептана. Подбираем эталонную смесь, при которой создаются условия сгорания с устойчивой детонацией. Например, если эталонная смесь начала активно детонировать при октановом числе 76 (изооктана 76%, гептана 24%), то октановое число анализируемого бензина будет равно 76.

При определении октанового числа могут применяться контрольные топлива. Октановые числа изменяются от 76 до 104 при различном содержании в смеси толуола, гептана, изооктана. Например, эталонная смесь с октановым числом 98 содержит толуола (C_7H_8) 74%,

изооктана (C_8H_{18}) 8% и нормального гептана (C_7H_{16}) 18%. Толуол имеет октановое число по моторному методу 104, а по исследовательскому – 120. При исследовании топлив с октановыми числами более 100 применяют смеси изооктана и тетраэтилсвинца.

При исследовательском методе двигатель работает с меньшей частотой вращения вала двигателя (600 мин^{-1}) [1]. На данном режиме увеличивается время на протекание процесса сгорания и образования перекисей (очагов самовоспламенения). При наличии очагов самовоспламенения нужно меньше гептана – ускорителя детонации. По этой причине ОЧ по исследовательскому методу будет больше ОЧ по моторному методу.

Октановое число по исследовательскому и моторному методам можно определить при помощи переносного портативного прибора октанометра (экспресс-метод).

На рис. 4.3 показан октанометр ПЭ-7300 с дополнительной программой определения цетанового числа в дизельных топливах. При помощи данного прибора за несколько минут определяют октановое число бензина по моторному и исследовательскому методам. Принцип действия основан на сравнении диэлектрических свойств бензина или дизельного топлива с компьютерной базой данных, которая ранее была аттестована с эталонными образцами бензинов и дизельных топлив, имеющих известное значение октановых и цетановых чисел. Допустимая относительная погрешность измерения не более $\pm 1\%$.



Рис. 4.3. Октанометр типа ПЭ-7300

Разность октановых чисел, определенных по исследовательскому методу и моторному ($ОЧ_{И} - ОЧ_{М}$), называется **чувствительностью бензина**. Эта разность достигает 10 единиц. Чем выше данная разность, тем лучше сгорает бензин на неустановившихся режимах. По ГОСТ Р 51313– 99 и ГОСТ 32513 – 2013 выпускаются 4 марки неэтилированных бензинов, показатели которых приведены в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Характеристики бензинов

Показатель	Марка бензина			
	«Нормаль 80»	«Регуляр 91»	«Премиум 95»	«Супер 98»
1. Октановое число: по моторному методу	76	82,5	85	88
по исследовательскому методу	80	91	95	98
2. Концентрация свинца, г/л, не более	0,01	0,01	0,01	0,01
3. Содержание серы, %, не более	0,05	0,05	0,05	0,05
4. Индукционный период, мин, не менее	360	360	360	360

Кроме детонационного сгорания возможно и калильное зажигание. Под калильным зажиганием понимают воспламенение горючей смеси от раскаленного тела, например электрода свечи, клапана. Калильное зажигание возможно даже после выключения зажигания (двигатель продолжает работать). Причиной данного нарушения могут быть нагретые поверхности клапана или свечи. Например, свеча А-17-ДВ, установленная вместо свечи А-20-ДВ, может вызвать калильное зажигание. Свеча А-20-ДВ более «холодная», лучше отводит тепло и устранит калильное зажигание.

Индукционный период определяется с целью оценки допустимого срока хранения нефтепродуктов, и он должен быть не менее 360 мин [1]. Это время испытания образца (100 см^3) в объеме кислорода при давлении 0,7 МПа, температуре $100 \text{ }^\circ\text{C}$ до начала активного поглощения кислорода. Окисление начинается при снижении давления, контролируемого по манометру (ГОСТ-1105 – 97).

Бензины, полученные прямой перегонкой, практически не содержат ненасыщенных углеводородов, имеют высокую химическую стабильность (большой индукционный период) и возможность длительного хранения. Бензины, полученные при помощи крекинг-процесса, имеют до 50% ненасыщенных углеводородов, малый индукционный период и срок хранения. При индукционном периоде 360 мин бензин можно хранить до 6 месяцев.

4.1.2. Испаряемость бензинов

Испаряемость бензина – это главное его качество, характеризующее скорость перехода жидкой фазы в газообразную. Для оценки испаряемости выполняют фракционную (фракция – часть) разгонку и определяют температуру, при которой испаряются 10, 50 и 90% топлива по объему ($t_{10\%}$, $t_{50\%}$, $t_{90\%}$) [1, 2].

На рис. 4.4 представлены графики разгонки бензина и дизельного топлива.

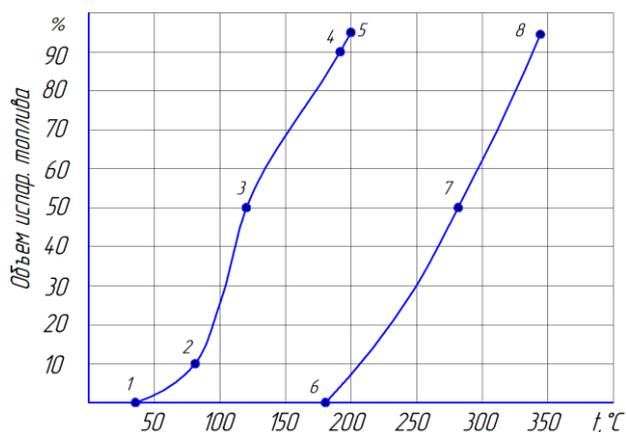


Рис. 4.4. Графики разгонки бензина и дизельного топлива

По величине температуры, при которой испаряется 10% топлива ($t_{10\%}$), определяют **пусковые качества** топлива и двигателя. При пуске двигателя в первую очередь воспламеняются от искры легкие фракции. По величине температуры выкипания (испарения) 10% топлива можно определить минимальную температуру воздуха, при которой возможен пуск двигателя

$$t_B = 0,5 \cdot t_{10\%} - 50. \quad (4.1)$$

Моторное масло должно иметь индекс вязкости (не менее 100), при котором обеспечивается легкое проворачивание коленчатого вала от стартера. Если температура воздуха не ниже минус 25 °С, то воз-

можно применение всесезонного моторного масла М-3₃/10-Г₁ (SAE - 5W/30, API - SL).

По значению температуры, при которой испаряется 50% топлива ($t_{50\%}$), определяют **качество** протекания рабочего процесса двигателя, а также время его прогрева, динамику разгона автомобиля.

По величине температуры $t_{90\%}$ оценивают количество **тяжелых углеводородов**. В случае их неполного сгорания они способствуют образованию нагара и разжижению моторного масла.

Чем меньше значения $t_{10\%}$, $t_{50\%}$, $t_{90\%}$, тем лучше пусковые качества и экономичнее работает двигатель при минимальной токсичности отработавших газов.

Точки 1 и 6 характеризуют начало кипения или перехода из жидкой фазы бензина и ДТ в газообразную фазу. Точки 2 и 7 оценивают пусковые качества бензина и ДТ. Точка 3 характеризует качество бензина (скорость прогрева двигателя, его динамику разгона). По точкам 4, 5 и 8 оценивают наличие в топливе тяжелых фракций и смол.

По ГОСТ Р 51105 – 97 испаряемость бензина характеризуется пятью классами (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Испаряемость бензинов

Показатель	Классы				
	1	2	3	4	5
Давление насыщенных паров, кПа	35–70	45–80	55–90	60–95	80–100
Фракционный состав:					
$t_{10\%}$	75	70	65	60	55
$t_{50\%}$	120	115	110	105	100
$t_{90\%}$	190	185	180	170	160

При давлении насыщенных паров, например 80 кПа (0,8 атм), бензин хорошо испаряется, что способствует более качественному протеканию процесса сгорания. Однако в системе питания могут создаваться паровые пробки. Это приведет к перебоям при подаче топлива из бака в бензонасос и в камеру сгорания (двигатели с карбюратором).

Рекомендации к применению бензинов по классам: 1, 2 – Южные районы (лето); 3 – Центральные районы; 4 – Север; 5 – Крайний Север.

ГОСТ 32513 – 2013 [8] устанавливает следующие марки бензинов: АИ-80, АИ-92, АИ-95 и АИ-98 с экологическими классами К2, К3, К4, К5. Экологический класс устанавливает допустимую массовую долю серы (мг/кг), К2 – 500, К3 – 150, К4 – 50, К5 – 10.

Условное обозначение продукции при заказе и в технической документации содержит марку и экологический класс автомобильного бензина.

Примеры условных обозначений продукции:

Бензин неэтилированный марки АИ-80-К2 по ГОСТ 32513–2013.
Бензин неэтилированный марки АИ-92-К3 по ГОСТ 32513–2013.
Бензин неэтилированный марки АИ-95-К4 по ГОСТ 32513–2013.
Бензин неэтилированный марки АИ-98-К5 по ГОСТ 32513–2013.

4.2. Дизельные топлива

В процессе разгонки нефти бензиновые фракции выкипают при температуре до 200 °С, лигроиновые – до 230 °С, керосиновые – до 290 °С, газойлевые – до 340 °С, соляровые – до 370 °С. Из керосиновых, газойлевых и соляровых фракций (путем их смешивания) получают дизельные топлива. Широкое применение получили летние (Л), зимние (З) и арктические (А) топлива. Главной их отличительной способностью является температура застывания. Так, например, летнее топливо нельзя применять зимой, так как оно может помутнеть при нулевой температуре и потерять подвижность при минус 5 °С. При застывании топлива в системе топливоподачи оно теряет подвижность, не поступает в камеру сгорания и двигатель прекращает работу. У летнего топлива больше парафиновых углеводородов.

В маркировке дизельных топлив [1] указывают его вид, допустимое содержание серы в процентах, температуру вспышки для летнего и замерзания для зимнего (Л- 0,2-50; З- 0,2 минус 35; А- 0,4).

Если нет зимнего топлива, то летнее можно разбавить керосином, снижая температуру замерзания. Добавка 10% керосина снижает температуру замерзания на минус 5 °С.

У дизельных топлив пусковые качества оцениваются при $t_{50\%}$ перегонки (250 – 280 °С); наличие тяжёлых фракций (смола) характеризуется $t_{98\%}$ испарившегося топлива (330–360 °С).

Принцип работы двигателя с воспламенением от сжатия был предложен в 1896 г. немецким инженером Рудольфом Дизелем. Распыленное топливо подаётся в камеру сгорания, в которой за счет сжатия температура воздуха достигает $t = 400 – 500$ °С, где оно само воспламеняется и сгорает.

4.2.1. Методика определения цетанового числа дизельного топлива

Топливо дизельное должно иметь температуру самовоспламенения 250–300 °С, обеспечивая устойчивую работу двигателя.

Способность дизельного топлива самовоспламеняться оценивается цетановым числом (ЦЧ). Цетан, или гексадекан ($C_{16}H_{34}$), – это углеводород с хорошей самовоспламеняемостью, ЦЧ = 100, α – метилнафталин ($C_{11}H_{10}$) – с низкой самовоспламеняемостью, ЦЧ = 0.

Цетановое число определяется на специальной одноцилиндровой установке ИТД-90 (рис. 4.5). Частота вращения вала двигателя $n = 900$ мин⁻¹, угол опережения впрыска топлива $\varphi = 13^\circ$.



Рис. 4.5. Установка ИТД -90 для определения цетанового числа дизельного топлива

Топливо подаётся в камеру сгорания при помощи насоса высокого давления и форсунки. Под действием высокого давления форсункой топливо подается в распыленном виде в предкамеру, в которой при помощи подвижного поршня может изменяться объём камеры сгорания и соответственно степень сжатия.

Процесс смесеобразования включает в себя распыливание топлива, его смешение с воздухом, нагрев, испарение, окисление и самовоспламенение. Время от момента подачи топлива до его воспламенения – это период задержки воспламенения, который зависит от цетанового числа, температуры и давления.

Испытания проводят на одноцилиндровом двигателе серии ИТД-90 методом совпадения вспышек [1]. Первая вспышка происходит в момент подъема иглы форсунки (начало подачи топлива в камеру сгорания). Вторая вспышка осуществляется в момент резкого повышения давления в цилиндре (начало сгорания топлива). Вспышки от неоновых ламп фиксируют на ободе маховика.

Степень сжатия (7–23) изменяется при помощи подвижного поршня, расположенного в предкамере. Установка имеет один бачок для хранения исследуемого топлива и двух для эталонных топлив.

1. Начало впрыска топлива устанавливают за 13° до верхней мертвой точки поршня (ВМТ).

2. Запускают двигатель, прогревают его и, подбирая (изменяя) степень сжатия (например, 16), добиваются того, чтобы начало сгорания происходило в ВМТ.

3. Исследуемое топливо отключают, двигатель начинает работать на эталонной смеси с известным цетановым числом. Подобранный эталонная смесь должна воспламениться в ВМТ. Если эталонная смесь, содержащая цетана 40%, α -метилнафталина 60%, воспламенилась в ВМТ, то цетановое число исследуемого топлива принимается равным 40.

Эталонные смеси должны отличаться между собой по цетановому числу не более чем на 4 единицы. Для окончательного определения цетанового числа топлива подбирают две эталонные смеси. Одна должна воспламениться в ВМТ при большей степени сжатия, а другая – при меньшей, чем степень сжатия, определенная для испытуемого топлива.

Цетановое число характеризует самовоспламеняемость дизельного топлива, которое численно равно процентному содержанию

цетана в такой эталонной смеси с α -метилнафталином, которая по воспламеняемости (периоду задержки воспламенения) эквивалентна испытываемому топливу.

Начало подачи топлива и момент воспламенения оцениваются при помощи неоновых ламп, расположенных на маховике. Лампы воспламеняются при подаче напряжения в момент замыкания контактов. Один контакт замыкается при подъеме иглы (начало подачи топлива), другой – при повышении давления в момент воспламенения топлива. Угол от первой вспышки до второй есть период задержки воспламенения. Подбирая эталонную смесь из цетана и α -метилнафталина, добиваются равного периода задержки воспламенения (метод совпадения вспышек).

Цетановое число можно определить при помощи переносного портативного прибора октанометра (цетанометра).

Между цетановым и октановым числом, определенным исследовательским методом, существует связь:

$$\text{ЦЧ} = 60 - 0,5 \text{ ОЧ}_И. \quad (4.2)$$

Бензин марки Аи-98 имеет низкое цетановое число (12) и не сможет самовоспламениться в камере сгорания у дизеля. Для работы дизеля на бензине используются низкооктановые бензины.

На рис. 4.6 показано изменение жесткости процесса сгорания МПа/град (кривая 2) и удельного расхода топлива q_e г/(кВт·ч) для дизеля от величины ЦЧ.

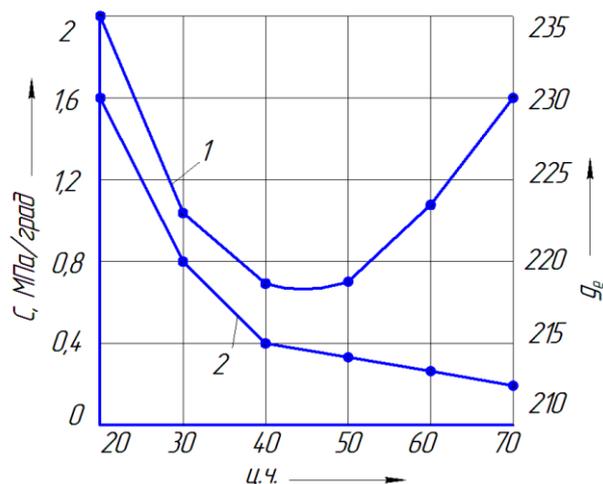


Рис. 4.6. Зависимость жесткости процесса сгорания (кривая 2) и удельного расхода топлива (кривая 1) от значения цетанового числа (ЦЧ)

При цетановом числе менее 40 ухудшаются пусковые качества дизеля, растет жесткость процесса сгорания, увеличивается расход топлива. Это связано с тем, что при малых значениях цетанового числа ухудшается самовоспламеняемость топлива. Вспышка распыленного топлива происходит с опозданием в момент, когда его часть в виде пленки сконцентрировалась на стенке камеры сгорания. Процесс сгорания пленки топлива ухудшается.

При цетановом числе более 60 улучшаются пусковые свойства дизеля, снижается жесткость процесса сгорания, но расход топлива увеличивается. Увеличение расхода топлива объясняется тем, что при больших цетановых числах скорость воспламенения топлива повышается. Топливо воспламеняется в зоне распылителя. В результате малого периода задержки воспламенения топливо не успевает распространиться по всему объёму камеры сгорания. Воздух (кислород), поступивший в камеру сгорания, полностью не используется в процессе сгорания. Часть топлива не сгорает, образуется сажа. Топливо, смешанное с воздухом, должно воспламениться в момент, когда передний фронт факела коснется стенки камеры сгорания.

Оптимальное значение цетанового числа равно 45 – 55 и зависит главным образом от способа смесеобразования.

Различают три основных способа смесеобразования:

1. Объемный (КамАЗ) – распыленное топливо подается в объём камеры сгорания, жесткость сгорания достигает 0,6 – 1 МПа/град.

2. Плёночный («Икарус») – топливо подается на горячую стенку, испаряется и плавно сгорает. Жесткость процесса сгорания снижается до 0,2 – 0,4 МПа/град. Двигатель работает мягко, но неэкономично с плохими пусковыми качествами.

3. Объёмно-плёночный (ЗИЛ-645) – часть топлива подается на стенку, а часть – в объём. Жесткость достигает 0,4 – 0,6 МПа/град.

Жесткость процесса сгорания определяется по индикаторной диаграмме на участке резкого повышения давления. От жесткости сгорания зависят экономичность двигателя, вибрации и стуки. Жесткость процесса сгорания (МПа/град) представляет отношение приращения давления на участке резкого повышения давления за один градус поворота коленчатого вала.

Считается, что при повышении давления на один градус поворота коленчатого вала на 0,2 – 0,5 МПа двигатель работает мягко, при по-

вышении давления до 0,6 – 0,9 МПа – жестко, а при повышении давления более 0,9 МПа – очень жестко.

4.2.2. Характеристики дизельных топлив

Основные показатели дизельных топлив (ГОСТ 305 – 82) приведены в табл. 4.3.

Таблица 4.3

Характеристики дизельных топлив

Показатель	Л	З	А
Цетановое число, не менее	45	45	45
Фракционный состав, °С :			
$t_{50\%}$, не выше,	280	280	255
$t_{96\%}$ (конец перегонки), не выше	360	340	330
Кинематическая вязкость, мм ² /с, при 20 °С	3,0 – 6,0	1,8 – 5,0	1,5 – 4,0
Температура помутнения, °С, не выше, для климатической зоны:			
умеренной	минус 5	минус 25	–
холодной	–	минус 35	–
Температура застывания, °С, не выше, для климатической зоны:			
умеренной	минус 10	минус 35	–
холодной	–	минус 45	минус 55
Массовая доля серы, %, не более :			
в топливе вида I	0,2	0,2	0,2
в топливе вида II	0,5	0,5	0,4
Температура вспышки (в закрытом тигле), не ниже, для дизелей общего назначения	40	35	30
Концентрация фактических смол, мг/100 см ³ , не более	40	30	30
Кислотность, мг КОН/100 см ³ , не более	5	5	5
Температура самовоспламенения, °С	300	310	330
Коэффициент фильтруемости, не более	3	3	3
Плотность, кг/м ³ при 20 °С, не более	860	840	830

Температура помутнения – это минимальная температура, при которой топливо теряет прозрачность и однородность.

Температура застывания характеризует потерю подвижности топлива. Если в пробирку стандартных размеров поместить топливо и охладить, оно остается неподвижным в течение 1 мин, при наклоне пробирки на 45° это и есть температура застывания. При помутнении топлива забиваются фильтры, а при застывании теряется его подвижность в топливопроводах и двигатель прекращает работу.

Температура вспышки – это минимумы температур, при которых пары топлива, смешанные с воздухом, воспламеняются от источника пламени (например, спички).

Кислотным числом топлива называют количество миллилитров едкого калия КОН, необходимого для нейтрализации кислот, содержащихся в 100 см^3 топлива.

Чистоту топлива оценивают **коэффициентом фильтруемости** по ГОСТ 19006–73. Он характеризует присутствие в топливе всех видов загрязнений и представляет собой отношение времени фильтрования через фильтр из бумаги при атмосферном давлении десятой порции перетекаемого топлива к первой. На коэффициент фильтруемости влияет содержание механических примесей, воды, смолистых веществ. При коэффициенте фильтруемости более 3 снижается срок службы фильтров, ускоряется износ двигателя и его систем.

Прибор для определения коэффициента фильтруемости состоит из стеклянной градуированной трубки, сверху которой расположена стеклянная воронка с краном, а внизу – разборный корпус фильтра с краном. Перед началом опыта в корпус устанавливается бумажный фильтр. От степени загрязнения бумажного фильтра зависит скорость вытекания топлива и значение коэффициента фильтруемости.

Для улучшения качества дизельных топлив применяют присадки различного функционального назначения: депрессорные, антиокислительные, повышающие цетановое число, моющие и снижающие дымность отработавших газов. Антидымные присадки (МСТ-15, АДП-2056, ЭФАП-Б) в концентрации 0,2 – 0,3% позволяют понизить дымность отработавших газов на 40 – 50%.

Плотность жидких нефтепродуктов (бензина, дизельного топлива, масла) определяют ареометрами [1]. По плотности оценивают вид нефтепродукта и его массу. Методика определения плотности следующая.

В стеклянный цилиндр (рис. 4.7), установленный на прочный горизонтальный стол, осторожно наливают испытуемый нефтепродукт, температура которого не должна отличаться от температуры окружающей среды более чем на ± 1 °С. В нефтепродукт медленно и осторожно опускают чистый и сухой ареометр, держа его за верхний конец, до момента его свободной плавучести. Отсчет показаний производится по верхнему краю мениска, глаз должен находиться на уровне мениска.

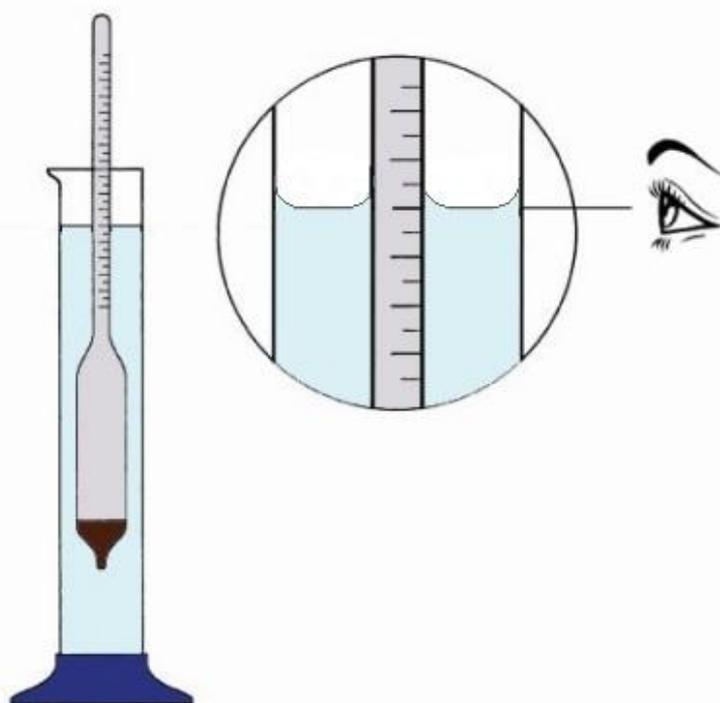


Рис. 4.7. Определение плотности жидкости при помощи ареометра

Температуру нефтепродукта определяют по термометру нефтенденсиметра или измеряют дополнительным термометром.

Обработка результатов. Если температура нефтепродукта в момент определения плотности отличалась от установленной, необходимо ввести температурную поправку. Тогда плотность, приведенная к 20 °С, определяется по формуле

$$\rho_{20} = \rho_t + \kappa (t - 20), \quad (4.3)$$

где ρ_{20} и ρ_t – плотность нефтепродукта при 20 °С и при температуре измерения; κ – температурная поправка плотности; t – температура испытаний, °С.

Среднее значение температурных поправок на плотность нефтепродуктов приведено в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Температурные поправки к плотности нефтепродуктов

Плотность топлива ρ_{20} , кг/м ³	Поправка «к»
730 – 740	0,857
740 – 750	0,844
750 – 760	0,831
760 – 770	0,818
770 – 780	0,805
780 – 790	0,793
790 – 800	0,778
800 – 810	0,765
810 – 820	0,752
820 – 830	0,738
830 – 840	0,725
840 – 850	0,712
850 – 860	0,699
860 – 880	0,676
880 – 900	0,655

Плотность бензинов стандартами не нормируется. Она используется для ориентировочной оценки вида топлива, при пересчете нефтепродуктов из массовых единиц в объёмные единицы, для обеспечения их учета при транспортировках и отпуске при заправке в бак. Плотность основных нефтепродуктов при 20 °С может лежать в следующих пределах:

бензины – 700 – 780 кг/м³, дизельные топлива – 830 – 860 кг/м³,
моторные масла – 900 – 910 кг/м³.

Общие указания к выбору и применению топлив

Согласно ГОСТ 305-2013 [9] в зависимости от условий эксплуатации и применения дизельные топлива (ДТ) подразделяют на 4 марки:

- а) Л – летнее, рекомендуемое для эксплуатации при температуре окружающего воздуха минус 5 °С и выше;
- б) Е – межсезонное, рекомендуемое для эксплуатации при темпе-

ратуре окружающего воздуха минус 15 °С и выше;

в) З – зимнее, рекомендуемое для эксплуатации при температуре окружающего воздуха до минус 25 °С (предельная температура фильтруемости – не выше минус 25 °С) и до минус 35 °С (предельная температура фильтруемости – не выше минус 35 °С);

г) А – арктическое, рекомендуемое для эксплуатации при температуре окружающего воздуха минус 45 °С и выше.

После указания марки летнего топлива (Л) записывается допустимая температура вспышки в закрытом тигле, а для топлив Е и З указывается предельная температура фильтруемости.

Далее обозначается экологический класс дизельного топлива:

- К2 – содержание серы не более 500 мг/кг;
- К3 – содержание серы не более 350 мг/кг (соответствует ГОСТ Р 52368–2005 вид I);
- К4 – содержание серы не более 50 мг/кг (соответствует ГОСТ Р 52368–2005 вид II);
- К5 – содержание серы менее 10 мг/кг (соответствует ГОСТ Р 52368–2005 вид III).

Например, ДТ-Л-40-К2 по ГОСТ 305–2013; ДТ-Е-минус 15-К2 по ГОСТ 305–2013; ДТ-З-минус 25-К2 по ГОСТ 305–2013; ДТ-А-К2 по ГОСТ 305–2013.

С 1 июля 2014 г. в России введен ГОСТ Р 55475 – 2013 «Топливо дизельное зимнее и арктическое депарафинированное». Это топливо производится с применением современного метода каталитической депарафинизации. В соответствии с ГОСТом дизельное топливо для районов с холодным климатом обозначается следующим образом:

- ДТ-З-К3 (К4, К5) минус 32;
- ДТ-З-К3 (К4, К5) минус 38;
- ДТ-А-К3 (К4, К5) минус 44;
- ДТ-А-К3 (К4, К5) минус 48;
- ДТ-А-К3 (К4, К5) минус 52.

Топливо должно соответствовать требованиям настоящего стандарта и изготавливаться по утвержденной технологии. Топлива должны изготавливаться по технологии и с присадками, которые применялись при изготовлении опытно-промышленных образцов и прошли испытания с положительными результатами. По физико-химическим и

эксплуатационным показателям топливо должно соответствовать требованиям, указанным в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Требования к топливу по ГОСТ 32513–2013

Показатель	Значения для марки топлива			
	Л	Е	З	А
1. Цетановое число, не менее	45			
2. Фракционный состав: 50% перегоняется при температуре, °С, не выше	280	280	280	255
95% перегоняется при температуре, °С, не выше	360	360	360	360
3. Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с (сСт)	3,0 – 6,0	3,0 – 6,0	1,8 – 5,0	1,5 – 4,0
4. Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже: для тепловозных, судовых дизелей и общего назначения	62/40	62/40	40/30	35/40
5. Массовая доля серы, мг/кг, не более	2000			
6. Испытание на медной пластинке	Выдерживает			
7. Кислотность, мг КОН на 100 см ³ топлива, не более	5			
8. Зольность, %, не более	0,01			
9. Коксуемость, 10%-ного остатка, %, не более	0,02			
10. Общее загрязнение, мг/кг, не более	24			
11. Содержание воды, мг/кг, не более	200			
12. Плотность при 15 °С, кг/м ³ , не более	863,4	863,4	863,4	833,5
13. Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	минус 5	минус 15	минус 25	минус 45

Контрольные вопросы

1. *Что называют октановым числом бензинов?*
2. *Какова методика определения октанового числа по моторному и исследовательскому методам?*
3. *Назовите признаки детонационного (взрывного) сгорания топлива и к каким отрицательным последствиям оно приводит, способы устранения детонации.*
4. *Перечислите характеристики бензинов, их маркировку.*
5. *Что называют цетановым числом дизельного топлива, методика его определения?*
6. *Что представляют эталонные топлива цетан и α – метилнафталин?*
7. *Каковы характеристики дизельных топлив (цетановое число, температура вспышки, помутнения и замерзания)?*
8. *Укажите маркировку дизельных топлив.*
9. *Почему зимнее дизельное топливо можно использовать летом, а летнее нельзя применять зимой?*

Лекция № 5. 5. МОТОРНЫЕ МАСЛА

От технологии (умения) выбора марки масла и его качества зависят долговечность двигателя, его износ, время запуска. Эффективность использования моторного масла определяется возможностью оптимизации его свойств в соответствии с условиями протекания рабочих процессов и особенностями конструкции двигателя.

Основная функция, которую выполняют моторные масла, – это снижение трения и износа трущихся деталей двигателя за счет создания на их поверхностях прочной масляной пленки. Одновременно моторные масла должны обеспечивать:

- уплотнение зазоров в сопряжениях поршневой группы;
- эффективный отвод тепла и продуктов износа от трущихся поверхностей; защиту рабочих поверхностей деталей от коррозии;
- предотвращение образования нагара, лака на деталях двигателя;
- высокую стабильность при окислении и обводнении;
- малый расход масла при работе двигателя;
- большой срок службы.

5.1. Условное обозначение моторных масел

Основной характеристикой моторного масла является вязкость. Вязкость масла указывается при 100 °С, так как такой температуры и выше оно достигает в процессе работы двигателя. Например, М-10 – моторное масло классом вязкости 10 (вязкость в сСт при 100 °С может лежать в пределах 9,5 – 11,5) [10].

Затем указывается область применения и условия эксплуатации:

- А – для нефорсированных бензиновых и дизельных двигателей;
- Б – для малофорсированных двигателей;
- В – для среднефорсированных двигателей;
- Г – для высокофорсированных двигателей;
- Д – для высокофорсированных дизелей с наддувом, работающих в тяжелых условиях.

Если масло предназначено для бензиновых двигателей, указывается цифра 1, если для дизелей – 2. Например, М-10-Г₁ – моторное масло летнее средней вязкостью 10 сСт для высокофорсированных

бензиновых двигателей, М-З₃Г₂ – зимнее, М-З₃/10-Г₁– всесезонное. Класс вязкости всесезонного масла определяется по последней цифре.

Экономия топлива зависит и от вязкости масла. Качественное моторное масло, например SAE 5W-20, снижает расход топлива до 10%. Если принять за 100% энергию (теплоту), выделяемую при сгорании топлива, то около 30% теряется с отработавшими газами, 30% уходит в систему охлаждения и только 40% может эффективно использоваться. Из 40% около 10% теряется на трение в деталях ДВС и трансмиссии. Эти потери можно снизить путем правильного выбора марки моторного масла и технологии использования.

К 2030 г. автомобиль должен иметь расход топлива не более 5 л на 100 км. Для этого масса легковой автомашины должна быть не больше 1000 кг, с идеальной обтекаемостью, с низким коэффициентом трения в трущихся деталях, электронным впрыском бензина и управлением, с оптимальной постоянной вязкостью масла при любых погодных условиях (синтетические масла).

У синтетических масел и минеральных со специальными присадками вязкость незначительно изменяется от температуры, что важно при зимней эксплуатации автомобилей.

В маркировке масел часто встречаются иностранные обозначения. По системе SAE – американское общество автомобильных инженеров (*society of automobile engineers*) применяют 6 зимних (0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W) и 5 летних (20, 30, 40, 50, 60) масел [1]. По системе SAE указывается класс вязкости моторных масел.

В отечественной маркировке масел указывается 4 зимних масла (основных), 5 летних и 4 всесезонных (табл. 5.1). У всесезонных масел класс вязкости указывается последней цифрой в обозначении.

Моторное масло марки 0W (W-*winter*, зима) рекомендуется для зимних условий эксплуатации с температурой окружающей среды не ниже – 30 °С, а 5W – 25 °С, 10W – 20 °С.

Область применения моторных масел по американской системе указывает API (Американский институт нефти):

S – для легковых бензиновых двигателей (*service*, сервис);

C – для дизельных двигателей (*commercial*, коммерция);

CF – для дизелей с разделенными камерами сгорания;

CF-4 – для четырехтактных дизелей;

CF-2 – для двухтактных дизелей транспортных средств;

CG-4 – для четырехтактных дизелей, работающих на топливе с содержанием серы до 0,05%;

CH-4 – для четырехтактных дизельных двигателей, длительно работающих без замены масла;

CD – высокофорсированные двигатели с наддувом;

CC – высокофорсированные двигатели без наддува или уменьшенным наддувом; SL – для двигателей выпуска до 2001 г.;

SE – высокофорсированные бензиновые двигатели;

EC – энергосберегающее масло (*energy conserving*).

Таблица 5.1

Классы вязкости моторных масел

Класс вязкости (Россия)	SAE	$\nu_{100}, ^\circ\text{C}$ мм ² /с	$\nu_{-18}, ^\circ\text{C}$, мм ² /с
3 _з	5W	Не менее 3,8	<1250
4 _з	10W	Не менее 4,1	<2600
5 _з	15W	Не менее 5,6	<6000
6 _з	20W	Не менее 5,6	<10 400
6	20	5,6 – 7,0	–
8	20	7,0 – 9,5	–
10	30	9,5 – 11,5	–
12	30	11,5 – 13,0	–
14	40	13 – 15	–
3 _з /8	5W–20	7,0 – 9,5	<1250
4 _з /8	10W–20	7,0 – 9,5	<2600
5 _з /10	15W–30	9,5 – 1,5	<6000
6 _з /14	15W–40	13 – 15	<10 400

Пример обозначения: SAE –5W/30, API – SE, EC. Всесезонное моторное масло со средней кинематической вязкостью 12 сСт (класс вязкости 30) при 100 °С. При отрицательных температурах ведет себя как масло зимнее типа 5W, обеспечивает легкий запуск двигателя до температуры – 25 °С, предназначено для высокофорсированных бензиновых двигателей, энергосберегающее.

Вязкость – это способность масла оказывать сопротивление при его движении. Вязкость зависит от состава масла и температуры окружающей среды.

На рис. 5.1 показано перетекание зимнего и всесезонного моторных масел с различным классом вязкости в мерную ёмкость за опре-

деленное время при температуре – 20 °С. Наибольшей текучестью обладает зимнее масло 0W-30. Движение всесезонных масел 10W-40 и 15W-40 прекращается ввиду повышения их вязкости при низкой температуре.

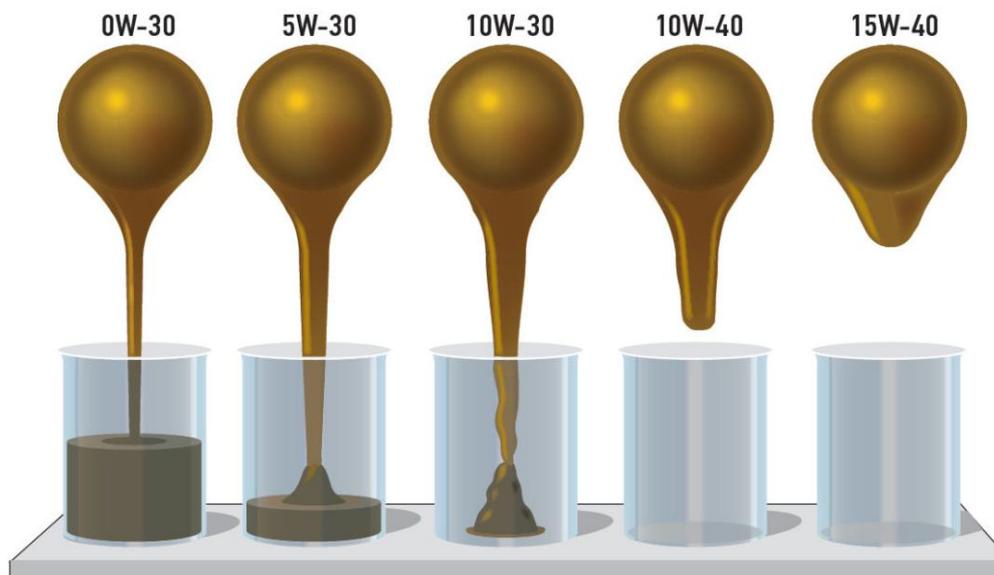


Рис. 5.1. Влияние вязкости моторного масла на характер его движения при температуре -20 °С

В табл. 5.2 приведены условные обозначения моторных масел по американскому стандарту API и стандарту РФ (ГОСТ 17479.1 – 85).

Таблица 5.2

Группы масел

Россия	A	Б ₁	Б ₂	В ₁	В ₂	Г ₁	Г ₂	Д
API	SB	SC	CA	SD	CB	SE	CC	CD

Европейские страны с 1996 г. ввели свою классификацию моторных масел по системе ACEA (Ассоциация европейских производителей автомобилей). Обозначение масел по системе ACEA приведено в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Классификация масел по системе ACEA

Бензиновые двигатели			Дизельные двигатели		
ACEA	A2-96	A3-96	E1-96	E3-96	E5-99
API	SG	SH	CD	CD	CH-4

Примечание. А – бензиновые, Б – дизели легковых автомобилей и легких грузовых, Е – дизели грузовых автомобилей, где 1, 2, 3 – категории, 96 – год введения в действие.

На рис. 5.2 показана диаграмма, позволяющая правильно делать выбор моторных масел (зимних, летних, всесезонных) в зависимости от температуры окружающей среды.

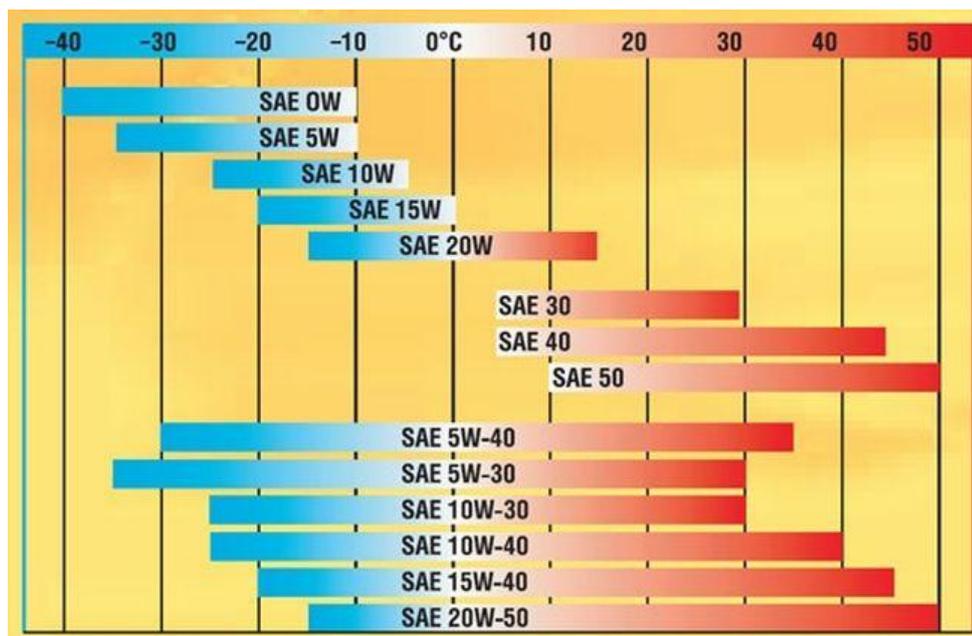


Рис. 5.2. Диаграмма для выбора моторных масел SAE в зависимости от температуры окружающей среды

5.2. Производство моторных масел

Мазут нагревают до температуры 450 °С, направляют в ректификационную колонну (см. рис. 2.1), которая работает при давлении меньше 0,01 МПа.

Известно, что с понижением давления над жидкостью уменьшается температура кипения. Так, например, углеводород при атмосферном давлении 760 мм рт. ст. имел температуру кипения 500 °С, а при снижении давления до 50 мм рт. ст. его температура кипения уменьшилась до 250 °С. Тяжелые углеводороды будут **испаряться**, а не разлагаться. Появляется возможность мазут разделить по их температурам кипения и получить масла разной вязкости. На этом принципе и основана вакуумная дистилляция мазута.

Технология получения масел следующая. Нагретый мазут в ректификационной вакуумной колонне разделяется на дистиляты (легкие, средние, тяжелые). Затем идет их очистка от смолистых соединений с получением **рафинатов**. Далее, рафинаты **депарафинизируют** (удаляют парафин) и получают базовые масла. Затем к базовым маслам добавляют присадки и получают конечный продукт – **товарные масла**.

Дистилятом называют неочищенную нефтяную фракцию, полученную перегонкой. Полученное масло, например, SAE–5W (М-З₃) очищают, затем удаляют парафин, добавляют присадки и получают товарные масла. Основные методы очистки: **кислотная** (применение серной кислоты) и **селективная**.

Неочищенное масло смешивается с серной кислотой. Смолистые вещества вступают в реакцию с кислотой, образуя густую, тяжелую массу, – кислый гудрон. Гудрон удаляют из бака, в котором остается чистое масло.

При селективной (выборочной) очистке применяют растворитель (фенол, ацетон). Растворитель выборочно растворяет, например, сернистые соединения при повышении температуры. При понижении температуры сернистые соединения выпадают в осадок.

При депарафинизации масло смешивают со смесью растворителей (толуол, метилэтилкетон). Полученный раствор охлаждают до температуры – (6 – 12) °С. Кристаллы парафина выпадают в осадок. Депарафинизация повышает температуру застывания масел.

Товарные масла с необходимыми эксплуатационными свойствами получают из базовых масел, которые смешиваются между собой с добавлением соответствующих присадок.

5.3. Присадки к моторным маслам

Для повышения технико-эксплуатационных и экономических показателей масел в них вводят присадки, количество которых изменяется от долей до 25–35%. **Присадки** – это вещества, которые усиливают положительные природные свойства базовых масел. **Базовое масло** – это смазочный материал, к которому для получения товарного продукта добавляют присадки (минеральные, синтетические).

Для усиления смазочных свойств моторных масел в них вводят антифрикционные, противоизносные и противозадирные присадки. В

качестве *антифрикционных присадок* используют олеиновую и стеариновую кислоты, эфиры различных кислот. Эти присадки добавляют к маслам в количестве 0,5–2,0%.

Противоизносные и противозадирные присадки обладают способностью образовывать на трущихся поверхностях адсорбированные и хемосорбированные пленки (нафтенат свинца). Механизм действия таких присадок заключается в образовании прочных, главным образом хемосорбированных, граничных пленок, обеспечивающих «мягкое» изнашивание поверхностей трения благодаря созданию на них тонкого слоя продуктов химического взаимодействия вещества присадок с металлом.

Масла, в которые вводят *вязкостные* присадки, называют загущенными. Загущенные масла правильно называть зимними. Для их приготовления берут маловязкие масла, например М-3 (вязкость примерно 3 сСт при 100 °С). При введении в масло вязкостных присадок его вязкость увеличилась примерно в 2 раза и масло стало иметь марку М-6з. При понижении температуры до – 30 °С вязкость масла с 6000 сСт снизилась до 3000 сСт. Масла загущенные имеют повышенную вязкость при плюсовых температурах, но при отрицательных температурах вязкость масла снижается.

Механизм воздействия вязкостных присадок можно объяснить изменением формы молекул присадки (полиизобутилен C_4H_8). При повышенной температуре обладающая большими линейными размерами молекула имеет вид длинной разветвленной цепи и присоединяет силами адгезии ко всей своей поверхности окружающие углеводородные молекулы, обуславливая этим повышенную вязкость масла. При снижении температуры молекула присадки «свертывается», ее поверхность уменьшается, соответственно снижаются силы межмолекулярного взаимодействия и вязкость масла.

Моющие присадки применяют с целью ограничить прилипание смолистых веществ к нагретым деталям двигателя (они **не моют** двигатель). Применяют два основных типа моющих присадок: зольные и беззольные. Зольные присадки содержат сульфаты бария, кальция, магния и обладают высокой щелочностью, обеспечивающей эффективную нейтрализацию кислых продуктов.

При сгорании зольных присадок образуется зола, оказывающая отрицательное влияние на работу двигателя. Зольность товарных масел находится в пределах 0,5 – 2,6%. Содержание золы до 0,002%

оценивается как ее отсутствие. При снижении зольности масла уменьшается возможность калильного зажигания, улучшается работа свечей и уменьшается износ двигателя.

Беззольные присадки состоят из органических соединений и при сгорании не дают зольных отложений. Существуют беззольные присадки двух основных видов: на основе производных янтарной кислоты – сукцинимидные присадки и на основе метакриловых эфиров и азотистых соединений – сополимерные присадки. Недостатком беззольных присадок является повышенная коррозионная агрессивность, поэтому их применяют вместе с антиокислительными присадками.

Для уменьшения вспениваемости масел в них вводят **противопенные присадки**. Практически во все моторные масла вводят противопенные присадки на основе кремнийорганических соединений $(\text{CH}_3)_2\text{SiO}$. Механизм пеногасящего действия этих присадок заключается в том, что кремнийорганические соединения плохо растворяются в масле и располагаются на поверхности раздела «масло–воздух» в виде тончайшей пленки. Обладая большим поверхностным натяжением, эти пленки ускоряют «схлопывание» пузырьков пены, успокаивают колебания масла в картере двигателя и препятствуют проникновению газа в масло (что одновременно способствует уменьшению его окисления). К недостаткам противопенных присадок относится то, что они ухудшают адсорбцию масел к металлическим поверхностям. Противопенные присадки вводят в масло в небольших количествах – 0,001 – 0,005%.

Способность масла не терять подвижность до определенных температур оценивается его депрессорными свойствами. Для снижения температуры, при которой масла теряют подвижность, к ним добавляют вещества, называемые депрессорами (диалкил нафталина). Присадки, понижающие температуру застывания масла, называют **депрессорными**.

Воздействие депрессорных присадок основано на том, что они препятствуют объединению кристаллов в объемные структуры, прерывая процесс застывания на стадии образования кристаллов. Депрессорные присадки понижают температуру структурного застывания масла, но не влияют на его вязкостное застывание.

Депрессорные присадки наиболее эффективны в маловязких маслах, так как механизм потери текучести в них объясняется образованием объемной структуры из кристаллов парафинов. Потеря теку-

части в высоковязких маслах объясняется не столько образованием объемных структур, сколько вязкостным застыванием жидкости с понижением температуры.

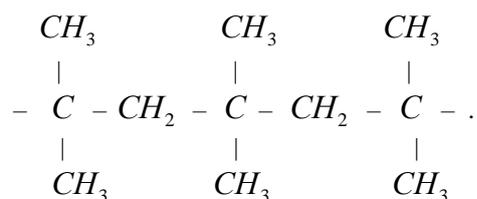
Для изготовления депрессорных присадок используют продукты полимеризации некоторых углеводородов и кислородосодержащих соединений (полиметакрилаты, полиакриламиды). Такие присадки обладают моющими и антикоррозионными свойствами. Добавление 0,5% депрессорной присадки снижает температуру застывания масла на 15 – 20 °С.

5.4. Определение индекса вязкости

Индекс вязкости – это относительная величина, показывающая степень изменения **вязкости масла** в зависимости от температуры в °С и **определяющая** пологость кривой кинематической **вязкости** от температуры.

Индекс (указатель) вязкости (ИВ) – это условный показатель, характеризующий степень изменения вязкости масла в зависимости от температуры и оценивающий крутизну вязкостно-температурной кривой. Чем выше ИВ, тем более пологой кривой характеризуется масло и тем лучше оно для зимней эксплуатации. Чаще всего ИВ определяют по номограмме или расчетным путем, зная значения вязкости исследуемого масла при 40 и 100 °С. Для автомобильных масел ИВ должен быть не менее 100, а для зимних условий эксплуатации не менее 120.

Лучшие моторные масла при зимней эксплуатации двигателя должны иметь пологую характеристику зависимости вязкости от температуры, то есть вязкость должна незначительно изменяться от температуры. При кинематической вязкости масла более 3000 сСт (мм²/с) запуск двигателя затрудняется. Для снижения зависимости вязкости от температуры в него добавляют присадку (3 – 4%), например полиизобутилена. Полиизобутилен получают полимеризацией изобутилена С₄Н₈ в присутствии катализаторов. Формула полиизобутилена приведена ниже



Молекула полиизобутилена подобна нити или волокнам изменяет форму в зависимости от температуры. При высокой температуре молекулы вытягиваются в длинные нитевидные цепочки, повышая вязкость. При снижении температуры молекулы полиизобутилена находятся в масле в виде компактных клубков, снижая трение и вязкость.

Согласно ГОСТ 53371 – 97 «Нефтепродукты, метод расчёта индекса вязкости по кинематической вязкости» [11] индекс вязкости (ИВ) определяют следующим образом. У исследуемого масла, например М-4_з/10-Г₁ (SAE 10W-30), определяется вязкость в диапазоне температуры от 40 до 100 °С. При 100 °С кинематическая вязкость должна быть примерно 10 сСт. По табл. 3 ГОСТа [18] находим, что для исходной вязкости 10 сСт при температуре 40 °С вязкость для эталонного масла при ИВ = 0 равна 147 сСт, а для ИВ = 100 вязкость равна 83 сСт.

При температуре 40 °С вязкость исследуемого масла, для которого определяется ИВ, оценена опытным путём и составила 63 сСт. Вычислим ИВ по формуле

$$ИВ = \frac{v_2 - v_1}{v_2 - v_3} \cdot 100, \quad (5.1)$$

где v_1 – кинематическая вязкость при 40 °С исследуемого масла;
 v_2 – кинематическая вязкость при 40 °С эталонного масла с ИВ = 0;
 v_3 – кинематическая вязкость при 40 °С эталонного масла с ИВ, равна 100. Для нашего примера

$$ИВ = \frac{147 - 63}{147 - 83} \cdot 100 = 133.$$

Если при изменении температуры от 100 до 40 °С вязкость масла увеличивается в 15 – 16 раз, то такое масло имеет ИВ, равный нулю, если в 7–8 раз, то ИВ равен 100. Характеристики данных масел (зависимость вязкости от температуры) считаются **эталонными**.

Для легкого запуска двигателя при отрицательных температурах (не ниже – 20 °С) ИВ должен быть не менее 120.

Наиболее высокий индекс вязкости имеют **синтетические масла**, которые представляют собой индивидуальные химические вещества или смесь ограниченного количества веществ, близких по химическому составу и физическим свойствам.

Использование синтетических масел открывает широкие возможности для повышения удельных параметров, экономичности и эффективности ДВС. Это особенно важно, если учесть, что моторные масла на нефтяной основе находятся на пределе своих возможностей по ряду важнейших эксплуатационных свойств, а современные синтетические масла по тем или иным свойствам обладают значительно лучшими показателями. Например, некоторые синтетические масла имеют высокий индекс вязкости (150 – 170), низкую температуру застывания ($-65\text{ }^{\circ}\text{C}$), высокую термическую стабильность при практическом отсутствии образования отложений и потерь на испарение, хорошие смазочные свойства.

Контрольные вопросы и задания

- 1. Укажите отечественную и зарубежную маркировку моторных масел.*
- 2. Дайте характеристики присадкам, улучшающим качество моторных масел (противозадирным, противоизносным, загущающим, противопенным, моющим, депрессорным).*
- 3. Объясните технологию получения товарных моторных масел.*
- 4. Что такое индекс вязкости моторного масла, как он определяется расчетным путем?*
- 5. Какой индекс вязкости должно иметь моторное масло при эксплуатации двигателя при отрицательных температурах?*

Лекция № 6. 6. ТРАНСМИССИОННЫЕ МАСЛА

6.1. Область применения и классы вязкости трансмиссионных масел

Трансмиссия (лат. *переход, передача*) служит для передачи и изменения крутящего момента вала двигателя на колёса автомобиля или другой техники. Включает в себя: коробку перемены передач, карданный вал, главную передачу и дифференциал.

Основное назначение трансмиссионных масел – смазка высоконагруженных зубчатых механизмов, подшипников и других узлов силовой передачи автомобиля.

Требования к трансмиссионным маслам [1]:

- 1) снижать износ трущихся пар, отводить тепло;
- 2) уменьшать потери энергии на преодоление трения, вязкость масла не должна превышать $150 \text{ Па}\cdot\text{с}$ (150000 сСт);
- 3) понижать шум и вибрации, защищать металл от коррозии;
- 4) удалять продукты износа и не быть токсичным.

В трансмиссии в основном применяют гипоидные передачи с передаточным числом, равным 10. Гипоидная – это зубчатая передача, в которой колеса соприкасаются по прямой линии без разрыва связи. Существуют также передачи конические, червячные и прямозубые.

До 2000 г. широкое применение получило трансмиссионное масло ТАД-17_и для автомобилей типа ВАЗ, ГАЗ, АЗЛК. В маркировке трансмиссионного масла буква Т обозначает – трансмиссионное; А – автомобильное; Д – работающие длительное время; 17 – класс вязкости; «и» – с добавлением износостойкой присадки. Это масло имело индекс вязкости, равный 120. Хорошо работало до температуры – 25 °С. При температуре – 45 °С динамическая вязкость достигала 150 Па·с и потери энергии в коробке перемены передач и главной передаче не превышали 5%.

Основное назначение трансмиссионных масел – смазка высоконагруженных зубчатых механизмов, подшипников и других узлов силовой передачи автомобиля. В трансмиссии автомобиля используют спирально-конические, червячные и гипоидные передачи. Масло для гидродинамических передач, автоматических коробок также относят к трансмиссионным маслам. Хотя кроме смазки оно выполняет дру-

гую функцию – изменение и передачу крутящего момента (гидромуфты, гидротрансформаторы). Гидромуфта служит для плавной передачи крутящего момента от насосного колеса к турбинному. Гидротрансформатор при помощи реактора увеличивает крутящий момент от ведущего вала (насосного колеса) к ведомому валу примерно в четыре раза (используется в автоматических коробках). Главное требование к таким маслам – отсутствие серы, которая приводит к коррозии подшипников скольжения, выполненных из цветных металлов.

В нашей стране в соответствии с ГОСТ 17479.2 – 2015 [12] производятся трансмиссионные масла пяти групп (табл. 6.1).

Таблица 6.1

Область применения трансмиссионных масел

Группа масел		Наличие присадок	Область применения
Россия	API		
TM-1	GL-1	Без присадок	Цилиндрические, конические, червячные передачи при σ_k до 900 МПа, при t масла до 90 °С
TM-2	GL-2	Противоизносные присадки	Прямозубые, конические, червячные до σ_k 2100 МПа и $t=130$ °С
TM-3	GL-3	Противозадирные присадки умеренной эффективности	Те же передачи, что и для TM-1 и TM-2, σ_k до 2500 МПа и $t=150$ °С
TM-4	GL-4	Противозадирные с высоким эффектом	Все передачи с t до 150 °С, σ_k до 3000 МПа
TM-5	GL-5	Противозадирные присадки с высокой эффективностью	Гипоидные передачи, работающие с ударными нагрузками, σ_k до 3000 МПа и t до 150 °С

Трансмиссионные масла (TM) делятся на 4 основных класса по величине кинематической вязкости (табл. 6.2).

Таблица 6.2

Классы вязкости

Класс вязкости	ν , мм ² /с, при 100 °С	Мах. темп., °С, при $\mu = 150$ Па·с
9	6 – 11	– 45
12	11 – 14	– 35
18	14 – 25	– 18
34	25 – 41	,–

По стандартам России и SAE выпускают следующие виды ТМ (табл. 6.3).

Таблица 6.3

Виды трансмиссионных масел

Классы вязкости SAE	Россия ГОСТ 174792– 85	ν , мм ² /с	
		min	max
70w, 75w	9	4,1	–
80w, 85w	12	7,0	–
90	18	13,5	24
140	34	24	41

ТМ (табл. 6.4) могут иметь следующие марки.

Таблица 6.4

Классы вязкости трансмиссионных масел

Класс вязкости	Группа по эксплуатационным свойствам				
	ТМ-1	ТМ-2	ТМ-3	ТМ-4	ТМ-5
9	–	ТМ-2-9	ТМ-3-9	ТМ-4-9	ТМ-5-9
12	–	ТМ-2-12	ТМ-3-12	ТМ-4-12	ТМ-5-12
18	ТМ-1-18	ТМ-2-18	ТМ-3-18	ТМ-4-18	ТМ-5-18
34	ТМ-1-34	ТМ-2-34	ТМ-3-34	ТМ-4-34	ТМ-5-34

В зависимости от сезона эксплуатации трансмиссионные масла подразделяют на зимние (табл. 6.5), летние и всесезонные, которые обозначают: для эксплуатации в зимнее время числовым значением с буквой «з» (например, 9з); для эксплуатации в летнее время только численным значением (например, 18); для всесезонной эксплуатации дробью, при этом цифра в числителе указывает на низкотемпературные свойства масла (например, – 55), цифра в знаменателе на высокотемпературные свойства масла (при +100 °С).

Таблица 6.5

Классы вязкости зимних трансмиссионных масел

Класс трансмиссионного масла	Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /с (сСт)	Температура, при которой динамическая вязкость не превышает 150 Па·с, °С, не выше
5 _з	Св. 4,1	– 55
9 _з	Св. 7,0	– 40
12 _з	Св. 11,0	– 26
18 _з	Св. 13,5	– 12

В трансмиссионных маслах могут применять следующие виды присадок [1]:

1) противоизносные ЭФО – экстракт фенольной очистки (фосфора – 1,4%; цинка – 1,1%; бария – 2%);

2) противозадирные ПЗ – 309/2 (серы – 1,7%; хлора – 2,7%; фосфора – 1%).

6.2. Обозначения трансмиссионных масел

Отечественная маркировка трансмиссионных масел: Т – трансмиссионное; М – масло; 1, 2, 3, 4, 5 – область применения масел (группа масел).

1. ТМ-3-18 (типа GL-3 по API, SAE 90), где ТМ – трансмиссионное масло; 3 – группа масла по области применения трансмиссионного масла в соответствии с табл. 6.1; 18 – класс вязкости летнего трансмиссионного масла в соответствии с табл. 6.3, которому при температуре + 100 °С соответствует кинематическая вязкость в пределах от 13,5 до 24 мм²/с. В скобках указана примерная принадлежность трансмиссионного масла к группе по API и классу SAE.

2. ТМ-5-9з/18 (типа GL-5 по API, SAE 75W-90), где ТМ – трансмиссионное масло; 5 – группа масла по области применения трансмиссионного масла в соответствии с табл. 6.1; 9з/18 – класс вязкости всесезонного трансмиссионного масла в соответствии с табл. 6.5, в обозначении которого первая цифра обозначает низкотемпературные свойства масла (т.е. масло гарантированно работоспособно до температуры – 40 °С, так как динамическая вязкость масла при этой температуре не превышает 150 Па·с), а вторая – высокотемпературные свойства масла (т.е. кинематическая вязкость масла при температуре + 100 °С находится в пределах от 13,5 до 24 мм²/с). В скобках указана примерная принадлежность трансмиссионного масла к группе по API и классу SAE.

В маркировке масел до 2000 г. буквы указывали: Т – трансмиссионное; А – автомобильное; Д – работающее длительное время; С – селективной очистки; З – загущенное; К – для автомобиля КамАЗ; Э – присадка ЭФО (экстракт фенольной очистки); ГИП – для гипoidных передач; В – из волгоградской нефти.

Зарубежная маркировка масел:

W – зимнее масло; GL – главная смазка (*General* – главный, *Lube* – масло); 90 – класс вязкости (номер масла) соответствующей вязкости);

API – Американский институт нефти (указывает область применения масел); SAE – Общество инженеров -автомобилистов (указывает класс вязкости масел).

Например, ТМ-5-18 – трансмиссионное масло, 5-й группы, всесезонное, классом вязкости 18 (вязкость $14 - 25 \text{ мм}^2/\text{с}$ при $100 \text{ }^\circ\text{C}$).

API GL-5, SAE-70W/90 – масло трансмиссионное, 5-й группы, всесезонное, классом вязкости 90 (вязкость $13,5 - 24 \text{ мм}^2/\text{с}$ при $100 \text{ }^\circ\text{C}$).

Ряд иностранных фирм выпускают судовые трансмиссионные масла марок Shell Spirax S3 G 80W-90, Texaco Geartex EP –B 85W-90.

Некоторые нефтеперерабатывающие заводы и российские фирмы помимо масел, выпускаемых по ГОСТам и общеотраслевым техническим условиям, вырабатывают трансмиссионные масла под своей торговой маркой и по собственным техническим условиям.

В качестве примера приведем несколько торговых марок трансмиссионных масел, вырабатываемых российскими фирмами (Омский Супер Т, Ангрол Супер Т, Новойл Супер Т). Указанные торговые марки по качеству соответствуют трансмиссионному маслу ТМ-5-18.

Контрольные вопросы и задания

- 1. Какова отечественная и зарубежная маркировка трансмиссионных масел?*
- 2. Укажите классы вязкости трансмиссионных масел.*
- 3. Дайте характеристику присадкам, улучшающим качество трансмиссионных масел (противозадирным, противоизносным).*
- 4. В обозначении трансмиссионных масел ТМ-5 и GL-5 что указывает цифра 5?*
- 5. Расшифруйте марки трансмиссионных масел ТМ-4 -18 и GL-4 -90.*
- 6. Какую марку отечественного трансмиссионного масла вы выберете, если температура окружающей среды – $40 \text{ }^\circ\text{C}$?*

Лекция №7.

7. СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ

Широкое применение в двигателях внутреннего сгорания получили два вида газообразного топлива – сжиженный нефтяной газ (СНГ) и сжатый природный газ (СПГ).

В табл. 7.1 даны характеристики газов, применяемых в качестве топлив в двигателях внутреннего сгорания [1].

Таблица 7.1

Характеристики газов

Параметры	Метан	Этан	Пропан	Бутан
1. Молекулярная формула	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀
2. Молярная масса, кг / кмоль	16	30	44	58
3. Относительная плотность газовой фазы по воздуху	0,55	1,05	1,56	2,1
4. Теплотворная способность, МДж/кг, МДж/ м ³	49,7 33,8	47,1 59,9	45,9 85,6	45,4 111,6
5. Необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива	17,2	16,8	15,7	15,6
6. Температура самовоспламенения, °С	680 –750	650 –580	510 –580	475– 510
7. Октановое число по моторному методу	110	108	105	94

7.1. Сжиженные газы

Автомобильная газобаллонная установка рассчитана на подачу топлива в камеру сгорания под действием давления паров газа в баллоне. В этой связи величина давления насыщенных паров имеет важное эксплуатационное значение. Зависимость давления насыщенных паров пропана и бутана мало изменяется от температуры, что позволяет хранить сжиженные газы в баллонах при давлении 1,6 МПа. Для перевода в жидкое состояние пропана и бутана достаточно при 20 °С повысить давление соответственно на 0,8 и 0,2 МПа.

Главным преимуществом пропана и бутана является высокое октановое число, равное 98 единиц по моторному методу.

По ГОСТ Р 52087–2003. Газы углеводородные сжиженные топливные. Технические условия на автомобилях применяют в качестве топлива пропан автомобильный (ПА), 85±10% пропана, остальное бутан (для зимних условий), пропан - бутан автомобильный (ПБА), 50 ±10% пропана, остальное бутан [5] (табл. 7.2).

Таблица 7.2

Характеристики сжиженных газов

Содержание газов, %	ПА (зимний)	ПБА
Пропан	90	40
Бутан	5	55
Метан, этан, этилен	5 (3,1,1)	5 (3,1,1)

При емкости баллонов 50 л их заполняют на 45 л, обеспечивая запас 10% в связи с расширением газа при повышении температуры.

Один 50 - литровый баллон, заправленный сжиженной пропан - бутановой смесью для автомобиля ВАЗ, рассчитан на 500 км пробега.

Баллон для сжиженного газа имеет две трубки: одна – для газовой фазы, другая – для жидкой фазы. Газовая фаза используется для пуска двигателя.

Пропан - бутановая жидкая смесь имеет теплотворную способность ниже, чем бензин, поэтому при переводе двигателя на газ его мощность снижается примерно на 20%.

Пропан - бутановая смесь тяжелее воздуха, и при ее утечках газ будет скапливаться внизу. Скопление газа может спровоцировать взрыв и пожар.

На рис. 7.1 показана принципиальная схема системы питания газобаллонного оборудования при работе двигателя на сжиженном газе [13].

При работе на сжиженных газах запуск холодного двигателя осуществляется на бензине, а после прогрева двигатель переводится на газовое топливо.

В баллон сжиженный газ заправляется через вентиль 13 (рис. 7.1). Наполнение баллона автоматически прекращается при всплытии поплавка 18, который связан с отсечным клапаном 17.

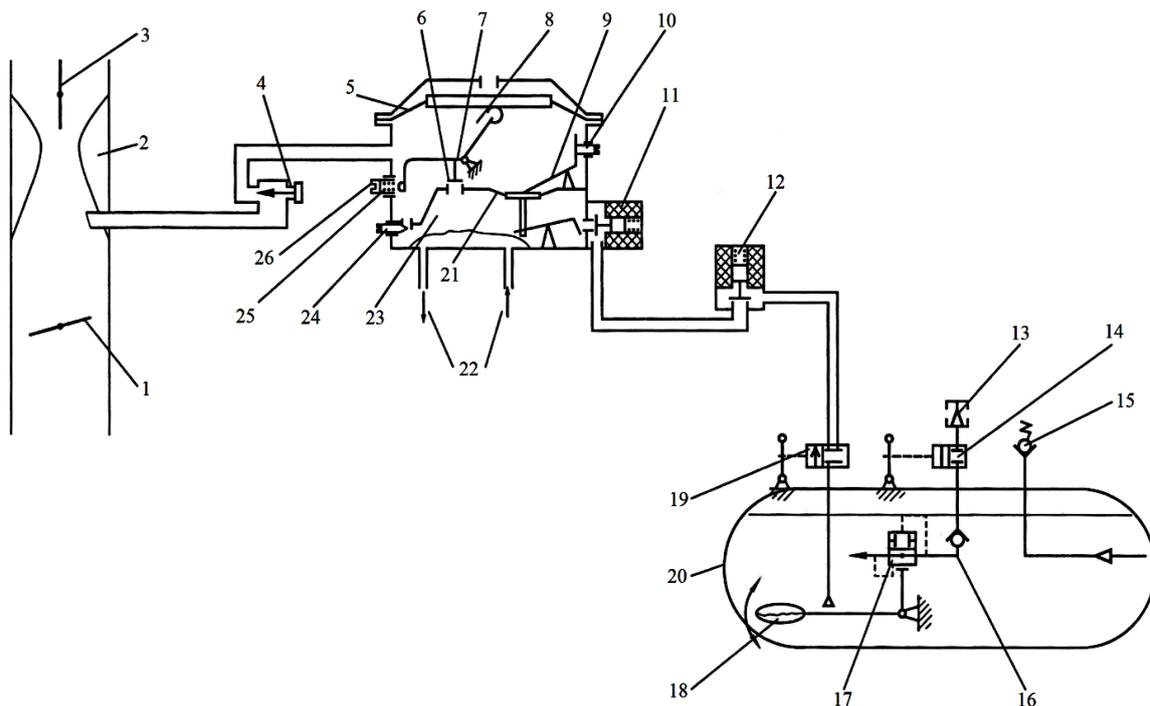


Рис. 7.1. Принципиальная схема питания двигателя на сжиженном газе:

1 – дроссельная заслонка; 2 – смеситель; 3 – воздушная заслонка; 4 – дозатор газа; 5 – мембрана 2-й ступени РВД; 6 – клапан 2-й ступени; 7 – рычаг клапана 2-й ступени; 8 – полость 2-й ступени; 9 – рычаг мембраны 1-й ступени; 10 – регулировочный винт рычага 1-й ступени; 11 – входной электромагнитный клапан; 12 – магистральный электромагнитный клапан; 13 – заправочное устройство; 14 – заправочный вентиль; 15 – предохранительный клапан; 16 – клапан обратный; 17 – отсечной клапан; 18 – поплавок; 19 – магистральный вентиль; 20 – баллон; 21 – мембрана с клапаном 1-й ступени; 22 – каналы для охлаждающей жидкости; 23 – полость 1-й ступени; 24 – винт регулировочный холостого хода; 25 – пружина; 26 – регулировочный винт клапана 2-й ступени

Через магистральный вентиль 19 газ поступает через электромагнитные клапаны 12, 11 и далее в редуктор. В смесителе 2 происходит снижение давления газа до атмосферного значения. Для испарения жидкой фазы газ подогревается жидкостью из системы охлаждения. Через дозатор газ поступает в смеситель, откуда смесь газа с воздухом поступает в цилиндры (одна часть газа и 16 частей воздуха).

Преимущества работы двигателя на газе:

1. Срок службы моторного масла увеличивается в 2 – 3 раза.
2. Токсичность отработанных газов снижается в 3 – 4 раза.
3. Уменьшается образование нагара в поршневой группе.

Недостатки:

1. Мощность двигателя снижается примерно на 20%.

2. Работа автомобиля на газе требует герметичной системы. Для определения утечки газа (по запаху) в него добавляется этилмеркаптан C_2H_5SH с неприятным запахом.

3. Плохие пусковые качества и пожарная опасность.

На рис. 7.2 показана система питания с механическим управлением при работе двигателя на сжиженном газе или бензине. Двигатель может работать на бензине (режим прогрева) или на газе. В качестве газового топлива зимой рекомендуется пропан автомобильный (ПА), летом пропан-бутан автомобильный (ПБА).

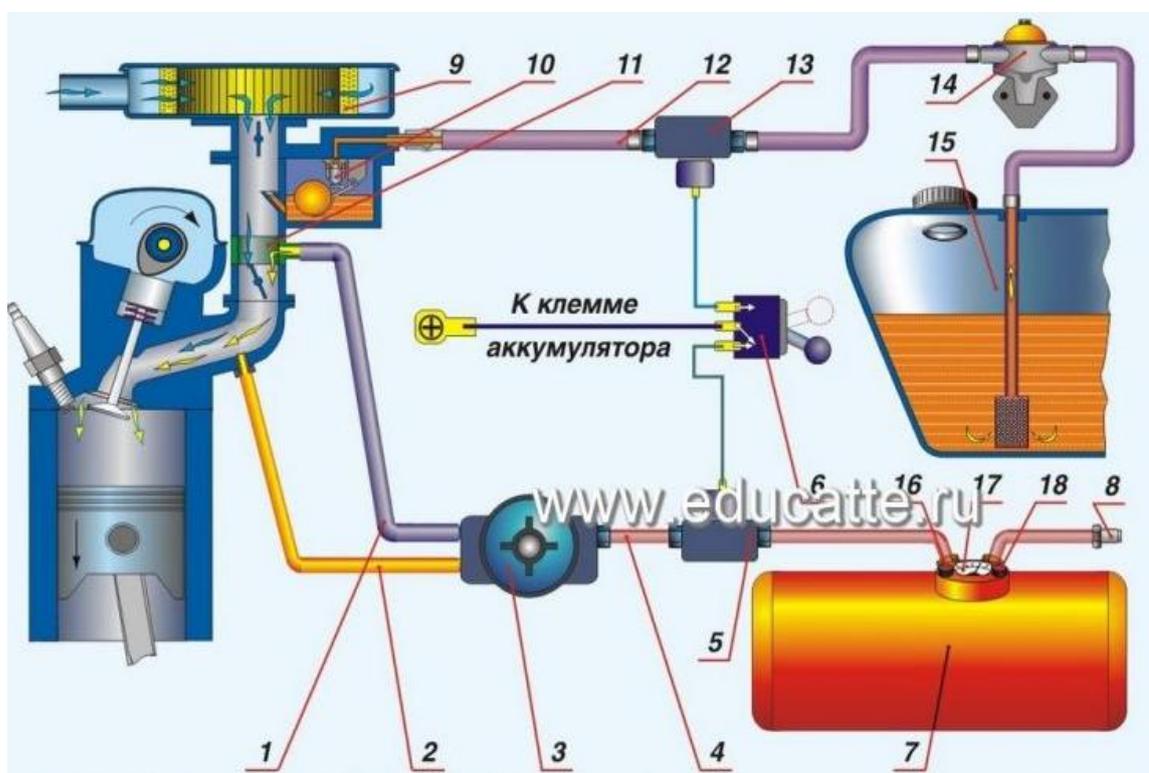


Рис. 7.2. Система питания двигателя на сжиженном газе и бензине с механическим управлением:

- 1 – трубопровод газа низкого давления; 2 – трубка подвода разрежения к редуктору; 3 – редуктор газовый; 4 – трубка высокого давления (медь); 5 – электромагнитный запорный клапан (газ); 6 – переключатель для газа или бензина; 7 – баллон газовый; 8 – штуцер для заправки газом; 9 – фильтр воздушный; 10 – карбюратор; 11 – вставка для подвода газа; 12 – бензопровод; 13 – электрический запорный клапан (бензин); 14 – бензонасос; 15 – бензобак; 16 – вентиль запорный газа (выходной); 17 – указатель уровня газа; 18 – вентиль запорный газа (входной)

Снижение мощности двигателя при переходе питания с бензина на газ объясняется следующим образом. Возьмём жидкий газ, состоящий из 100% пропана, плотностью 580 кг/м^3 с теплотворной способностью 46 МДж/кг и бензин с теплотворной способностью 44 МДж/кг , плотностью 730 кг/м^3 . Определим их теплоту сгорания для одного литра. Для жидкого пропана она будет равна $26,68 \text{ МДж/л}$ ($46 \cdot 580 / 1000$), а для бензина – 33 МДж/л . Если сжечь по 1 л сжиженного газа и бензина, то первый выделит на 20% меньше теплоты.

На рис. 7.3 показана современная система питания с электронным управлением при работе двигателя на сжиженном газе и бензине. Отличительной особенностью данной системы является то, что вместо карбюратора установлены электромагнитные форсунки, управляемые электронным блоком. К форсункам при помощи насоса подводится бензин (например, Аи-98) под давлением $0,3 - 0,5 \text{ МПа}$.

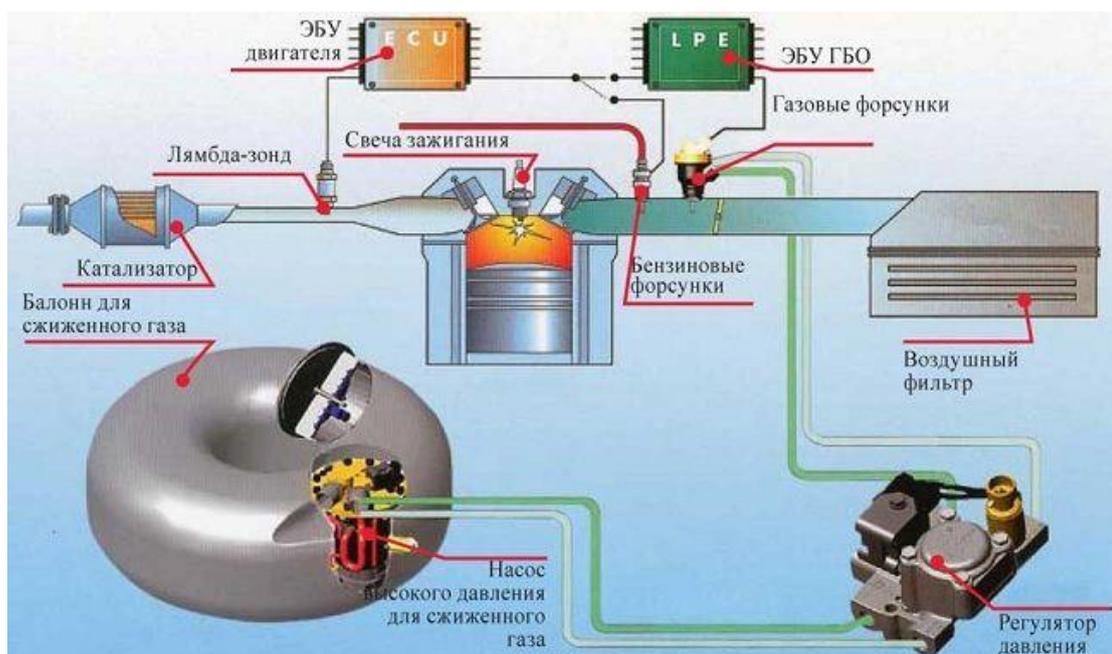


Рис. 7.3. Система питания двигателя на сжиженном газе и бензине с электронным управлением

Газ подводится при помощи форсунок, его количество зависит от нагрузочного и скоростного режима работы двигателя и регулируется электронным блоком.

Для снижения вредных веществ в отработавших газах установлен катализатор. Для контроля и корректировки состава отработавших газов установлен датчик кислорода (лямбда-зонд).

7.2. Устройство и принцип работы газового редуктора «Ловато»

Это малогабаритный редуктор (рис. 7.4), через входной канал *1* которого поступает газ в полость *A* первой ступени. Входное давление газа снижается с 1,6 до 0,05 – 0,07 МПа. Диафрагма *12* под действием давления прогибается вниз, поворачивая закрепленный шарнирно рычаг *13*. Клапан *15* перекрывает свое впускное седло *2*. По мере расхода газа давление в первой ступени *A* снижается ниже 0,05 МПа. Пружина *14* возвращает диафрагму в исходное положение, клапан *15* открывается и газ снова поступает в первую ступень *A*. Водяной контур теплообменника (полость *C* кольцеобразной формы) служит для нагрева газа и перехода его из жидкого состояния в газообразное.

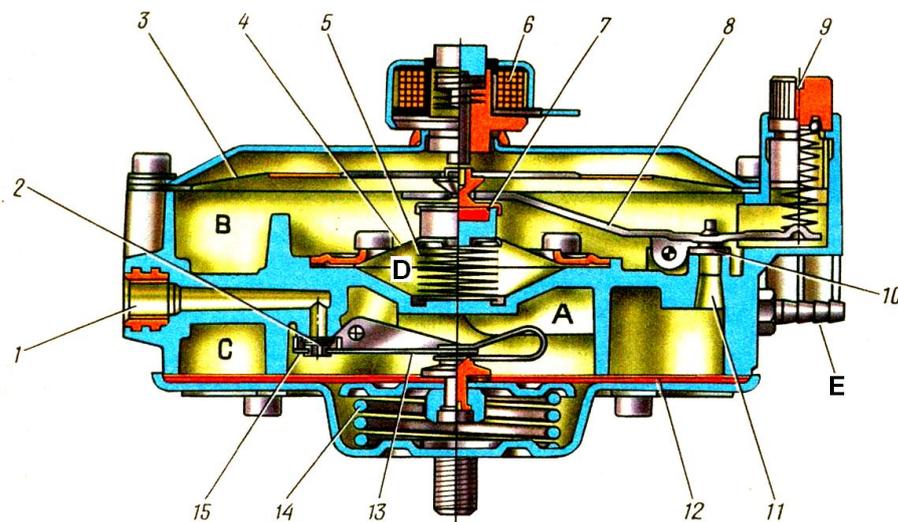


Рис. 7.4. Редуктор – испаритель «Ловато» (Италия):

1 – входной канал; *2* – впускное седло; *3* – диафрагма второй ступени; *4* – диафрагма разгрузочного устройства; *5* – пружина; *6* – электромагнитное устройство; *7* – постоянный магнит; *8* – рычаг; *9* – регулировочный винт второй ступени; *10* – канал второй ступени; *11* – канал; *12* – диафрагма первой ступени; *13* – рычаг; *14* – пружина; *15* – клапан первой ступени; *A* – полость камеры первой ступени; *B* – полость камеры второй ступени; *C* – полость теплообменника

Газ поступает по каналу *11* через клапан *10* в камеру второй ступени *B* и на смеситель. Диафрагма *3* под действием разрежения в смесителе перемещается к центру редуктора, увлекая за собой рычаг *8*. Клапан *10* открывается, регулируя подачу газа во вторую ступень *B*. Если разрежение в смесителе, а следовательно, и во второй ступени *B*

увеличивается, диафрагма 3, опускаясь, позволяет большому количеству газа пройти через клапан 10 во вторую ступень В. И наоборот, когда разрежение уменьшается, диафрагма, поднимаясь, перемещает рычаг и клапан ограничивает проход газа. Когда двигатель не работает, пружина 5, действуя на рычаг 8, обеспечивает полную герметичность клапана 10.

При запуске двигателя вступает в работу разгрузочное устройство, отличающееся от других систем наличием магнита. Диафрагма 4, управляемая разрежением от впускного коллектора двигателя или из-за дроссельного пространства карбюратора, сжимает пружину 5 до упора. На диафрагме закреплен постоянный магнит 7, притягивающий рычаг 8, который обеспечивает открытие клапана.

Это разгрузочное устройство улучшает запуск двигателя при любых погодных условиях. Клапан 10 перед пуском двигателя может быть принудительно открыт электромагнитным устройством 6, которое должно использоваться только в случае необходимости.

Винт 9 регулирует давление на коротком плече рычага 8. Им управляют частоту вращения коленчатого вала двигателя на режиме холостого хода при работе на газе.

Контрольные вопросы и задания

- 1. Поясните принцип работы системы питания двигателя на сжиженном газе.*
- 2. Как работает система питания на газе и бензине с механическим или электронным управлением?*
- 3. Как устроен и работает двухступенчатый газовый редуктор?*
- 4. Назовите преимущества и недостатки работы двигателя на газе.*
- 5. Почему при работе двигателя на газе (вместо бензина) его мощность снижается примерно на 15%?*

Лекция № 8. 8. ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗКИ

8.1. Пластичные смазки для наземного транспорта

Пластичные (консистентные) смазки – это высоковязкие мази, которые применяют для смазки узлов автомобилей (подшипников ступиц передних и задних колес, рессор, резьбовых соединений, гибких валов, шаровых опор, игольчатых подшипников) и другой техники.

Технология изготовления: в качестве загустителя используют парафин (вазелин) и мыла, которые приготавливают, используя щёлочно-земельные металлы Ca, Li, Ba. Наполнителем является масло. В основу мыла входит растительный или животный жир и щёлочи [1].

Жир + щёлочь = мыло.

Жир + едкий кальций = кальциевое мыло.

Мыло + минеральное масло = пластичная смазка (ПС).

Все солидолы (плотная смазка) выпускают на основе кальциевого мыла. Кальций (лат. *calcis* – известь). Впервые был выделен из гашеной извести. Химический элемент из группы щелочно-земельных металлов. Серебристо-белый легкий металл плотностью 1540 кг/м^3 , с температурой плавления $851 \text{ }^\circ\text{C}$. Главные минералы – кальцит, мел, известняк.

Простейшая модель «ПС» – вата, смоченная маслом. Пластичная смазка состоит из 80 – 90% маслянистой основы и 10 – 20% загустителя (мыла). Пластичные смазки часто называют *консистентными* (от лат. – *густею*).

Промышленность России выпускает следующие пластичные смазки:

1. Антифрикционные ПС – для снижения трения в деталях.
2. Защитные или консервационные – для предотвращения коррозии металлов при хранении и эксплуатации.
3. Канатные – для смазки и снижения коррозии стальных канатов.
4. Уплотнительные – для герметичности запорной арматуры.

Маркировка ПС:

1. Антифрикционные:

С – среднеплавкие, t до $70 \text{ }^\circ\text{C}$;

О – общего назначения с t плавления до $110 \text{ }^\circ\text{C}$;

М – многоцелевая, t от 30 до 130 °С; Х – химически стойкие;

Н – низкостойкие (морозостойкие), ниже – 40 °С;

Ж – жаростойкие (термостойкие), более 150 °С; П – приборные.

2. Уплотнительные: А – арматурные; Р – резьбовые; В – вакуумные.

3. К – канатные, З – защитные.

В обозначении ПС указывается тип загустителя, например: Ка – кальциевые; Ли – литиевые; На – натриевые, Ал – алюминиевые.

Рекомендованный температурный диапазон указывается дробью. Число, уменьшенное в 10 раз в числителе без знака минус, минимально допускаемая отрицательная температура, в знаменателе максимальная положительная. Затем указывается класс густоты или консистенции. Например: М-Ли 3/13 - 4 – многоцелевая смазка, приготовлена на литиевом мыле, t – 30 до + 130 °С, класс густоты – 4.

Классы консистенции пластичных смазок приведены в табл. 8.1. Класс консистенции определяют при помощи прибора пенетрометра (рис. 8.1).

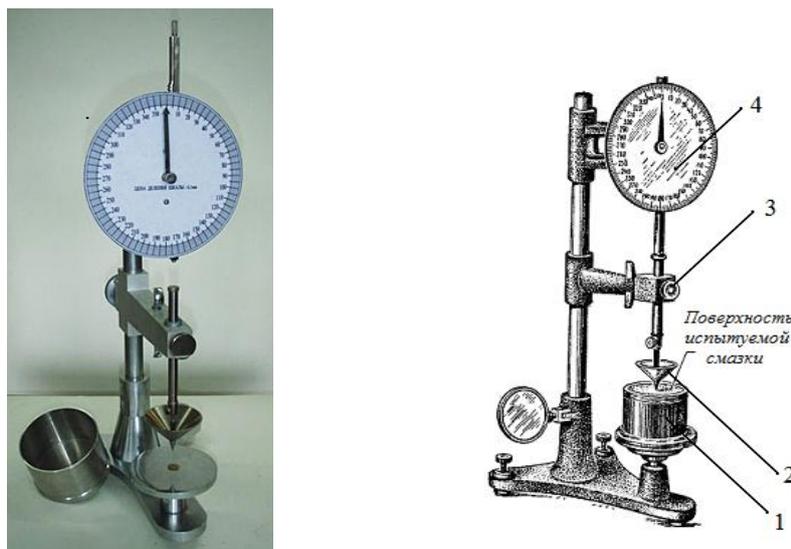


Рис. 8.1. Фото и рисунок пенетрометра:
1 – чаша, наполняемая ПС; 2 – конус массой 150 г; 3 – тормоз;
4 – шкала с делением 0,1 мм

Работа по определению класса консистенции выполняется в следующей последовательности.

Чашу с ПС нагревают до 25 °С. Конус подводят к поверхности смазки и опускают в течение времени, равном 5 с. Индикатором 4 определяют число пенетрации. Например, число пенетрации 270, класс консистенции (густоты) – 2 (см. табл. 8.1).

Классы консистенции пластичных смазок

Класс консистенции	Диапазон пенетрации, 10^{-1} мм	Густота
000	445 – 475	Очень мягкая
00	400 – 430	Очень мягкая
0	335 – 385	Мягкая
1	310 – 340	Мягкая
2	265 – 295	Вазелинообразная
3	220 – 250	Почти твердая
4	175 – 205	Твердая

Основной характеристикой ПС является температура каплепадения. В современном автомобиле с дисковыми тормозами температура передней ступицы может достигать $150\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поэтому солидолы с низкой температурой плавления не применяют, а используют «литолы».

Температуру каплепадения определяют на приборе Уббеллоде [Отто Убеллоде (1867 – 1922), Марбург, Германия]. Капсула 3 наполняется пластичной смазкой (рис. 8.2), соединяется с термометром 1 и устанавливается в пробирку 2. При падении первой капли отмечают температуру каплепадения.

Температура каплепадения должна превышать температуру трущихся деталей на $15 - 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Пластичные смазки должны быть водостойкими. Если в мензурку с водой поместить кусочек пластичной смазки и кипятить в течение часа или поместить на 24 ч в воду при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, то:

1. Пластичная смазка водостойкая, если смазка сохранила внешний вид и форму.

2. Неводостойкая смазка, если произошел полный или частичный распад куска пластичной смазки.

Основные виды пластичных смазок:

1. Кальциевые пластичные смазки.

1.1. Солидол «С» влагостойкий, синтетический, температура кипения равна $55 - 85\text{ }^{\circ}\text{C}$.

1.2. Графитная смазка УСС - А с добавлением 10% графита, применяется для смазки рессор, болтов крепления. Цвет серебристо-черный.

2. Литиевые ПС водостойкие, термостойкие, допустимая температура до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

2.1. Литол 24 – для смазки узлов трения всех типов.

2.2. ШРУС – шарнирная смазка равных угловых скоростей с противозадирной присадкой.

2.3. Смазка № 158 – синего цвета с добавлением фтолационина меди $C_{32}H_{16}N_6Cu$. Применяется в игольчатых подшипниках, в шариковых подшипниках генераторов. Эту смазку иногда называют «вечной» (до 500 тыс. км пробега автомобиля).

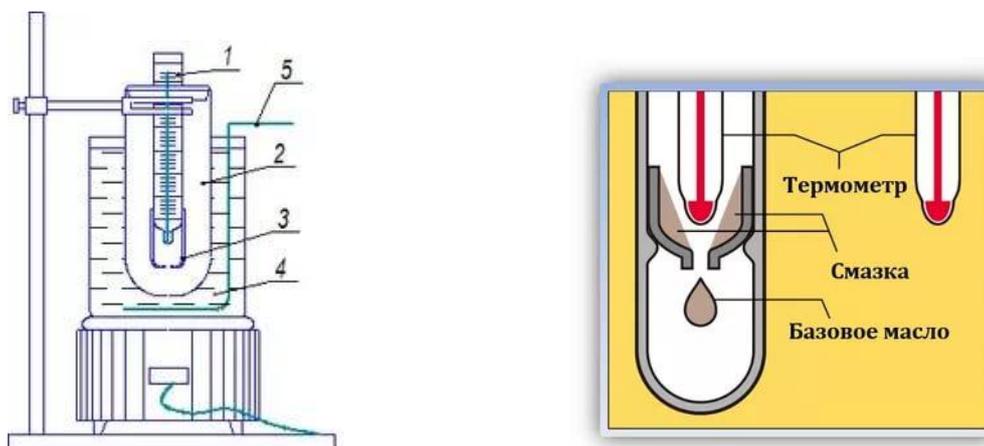


Рис. 8.2. Установка и разрез капсулы для определения температуры каплепадения: 1 – термометр; 2 – пробирка; 3 – капсуль; 4 – стакан с жидкостью; 5 – мешалка

3. Бариевые ПС.

ШРБ-4 – шарнирная смазка, загущенная бариевым мылом, которое не разрушает резину. Цвет коричневый, температура плавления 150 °С. Применяется в шарнирах, шаровых опорах.

4. Углеродистая ПС.

ВТВ – это вазелин технический волокнистый. Цвет белый, нерастворимый в электролитах, хорошо прилипает к металлу. Применяется для смазки клемм аккумуляторных батарей и консервации.

Характеристики основных пластичных смазок, применяемых на технических средствах, приведены в табл. 8.2.

Основные эксплуатационные требования к пластичным смазкам:

- коллоидная стабильность (неразделимость масла и загустителя);
- испаряемость (потеря массы при нагревании);
- водостойкость (способность противостоять размыву водой);
- смазочные свойства (способность предотвращать износ и задир трущихся поверхностей);
- прилипаемость к поверхностям трения.

Характеристики пластичных смазок приведены в табл. 8.2 и оценены по пятибалльной системе: 1 – плохо; 2 – достаточно удовлетворительно; 3 – удовлетворительно; 4 – хорошо; 5 – отлично.

Солидол «С» синтетический, Литол-24 применяются для смазки узлов трения всех типов; графитная смазка – для рессор, резьбовых соединений; Фиол-1 – для гибких тросов; ЛСЦ-15 – для петель дверей; ШРБ - 4, ШРУС - 4 – для шарниров и шаровых соединений; ВТВ – для клемм аккумуляторных батарей; № 158 – для игольчатых подшипников.

Таблица 8.2

Характеристики пластических смазок

Тип смазки	Класс густоты	Температурный интервал применения	Коллоидная стабильность	Испаряемость	Водостойкость	Смазочные св-ва	Взаимоменяемость
Солидол	2	– 20/65	5	3	4	3	Литол-24
Пресс-солидол	1	– 30/50	4	3	4	2	Фиол-1
Графитная	2	– 20/60	5	4	3	4	ШРУС-4
Литол-24	3	– 40/120	4	4	4	3	ЛСЦ-5
ШРБ-4	2	– 40/130	4	4	4	4	ШРУС-4
ШРУС-4	2	– 40/120	4	4	5	5	ШРБ-4

Современные пластичные смазки должны быть стабильными, водостойкими, с хорошими смазывающими свойствами, иметь широкий температурный диапазон применения, обладать оптимальным классом густоты (2 – 4).

Контрольные вопросы и задания

1. Что представляют собою консистентные смазки, их состав?
2. Каково назначение консистентных смазок?
3. Как классифицируются консистентные смазки?
4. Что называется температурой каплепадения консистентных смазок, для каких целей используется этот параметр?
5. Что представляет собою прибор для определения температуры каплепадения консистентных смазок, порядок её определения?
6. Методика определения класса густоты пластичной смазки.

Лекция № 9.

9. ОХЛАЖДАЮЩИЕ ЖИДКОСТИ

При работе двигателя около 20–30% теплоты необходимо отводить в систему охлаждения. Основные требования к охлаждающей жидкости [1]:

- не должна замерзать при температуре – 60 °С;
- не должна кипеть при температуре + 120 °С;
- иметь теплоёмкость не менее 4 – 6 КДж/(кг· К).

Вода применяется для охлаждения двигателя. Она доступна, не токсична, но замерзает при 0 °С.

Качество охлаждающей воды, определяемое содержанием солей сульфатов (CaSO_4 , MgSO_4), хлоридов (CaCl_2 , MgCl_2) и общей жёсткостью, оказывает влияние на процесс протекания коррозии и образования накипи и шлама. Для охлаждения судовых дизелей может использоваться пресная вода или дистиллят, получаемый в испарителях.

Предварительная обработка воды производится:

- дистилляцией, когда практически достигается полное удаление солей и механических примесей в воде;
- кипячением с целью устранения карбонатной жесткости;
- химической обработкой кислотами и щелочами с целью полного умягчения воды.

Пресная вода, предназначенная для заполнения систем охлаждения дизелей, должна удовлетворять требованиям:

- 1) нормальным качеством пресной воды, в которой значение хлоридов не превышает 50 мг/л. Жёсткость воды должна соответствовать 0,5 мг/л;
- 2) предельные показатели хлоридов в процессе эксплуатации не должны превышать более 200 мг/л, а жёсткость воды – 3,0 мг/л.

При достижении указанных предельных значений хлоридов и жесткости воды она подлежит замене.

Предотвращение охлаждаемых поверхностей блоков и втулок от коррозионного и кавитационного разрушений должно осуществляться с помощью применяемых в настоящее время эмульсионных масляных и других типов присадок отечественного и иностранного производства.

Средствами улучшения качества циркуляционной воды при замкнутой системе являются предварительная обработка, добавление антикоррозионных присадок и применение антифризов.

Для охлаждения двигателей применяют антифризы – это незамерзающие жидкости. Фризер (от англ. *замораживать*), антифризы готовят из двухатомных спиртов (этиленгликоль) $\text{CH}_2\text{OH} - \text{CH}_2\text{OH}$ или $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ и дистиллированной воды.

Гликоль (от лат. *сладкий*) – бесцветная, ядовитая жидкость. В табл. 9.1 дано её сравнение с водой.

Таблица 9.1

Характеристика воды и этиленгликоля

Показатель	Вода	Этиленгликоль
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1000	1113
Температура застывания	0 °С	– 12 °С
Температура кипения	100 °С	198 °С
Теплоёмкость при 20 °С, КДж/(кг·К)	4,18	2,42
Вязкость при 20 °С, мм ² /с	1	20

Антифризы готовят путем разбавления этиленгликоля водой. Если в этиленгликоль добавить 38% чистой воды, то температура замерзания антифриза будет – 73 °С. В практике применяют:

Тосол А (концентрированный этиленгликоль); тосол А-40 (температура замерзания не выше – 40 °С, цвет голубой);

тосол А-65М (температура замерзания не выше – 65 °С, цвет красный).

На рис. 9.1 показаны емкости с антифризом марки А-40 и А-65.



Рис. 9.1. Антифризы марки А-40 и А-65

При замерзании антифриз образует рыхлую массу, объем увеличивается на 0,2 – 0,3% ,что не приводит к разрушению блока цилиндров и радиатора системы охлаждения. Недостатки: ядовит, очень токсичен, теплоемкость меньше, чем у воды, меньше интенсивность охлаждения. Тосол марки А-40 получается путем смешивания этиленгликоля (53,7%) с дистиллированной водой (46,3%), его плотность 1078 – 1085 кг/м³. Тосол марки А-65М получается в результате смешивания 62,4% этиленгликоля и 37,6% воды, его плотность равна 1085 – 1095 кг/м³.

На рис. 9.2 приведена диаграмма, позволяющая определять температуру кристаллизации, температуру кипения в зависимости от плотности. Дистиллированная вода имеет плотность 1 г/см³, температуру кристаллизации (замерзания) 0 °С. Пунктиром показано, что при плотности антифриза 1,08 г/см³ его температура кристаллизации будет равна 40 °С. В данном антифризе будет примерно 54% этиленгликоля и 46% дистиллированной воды. Температура кипения 140 °С.

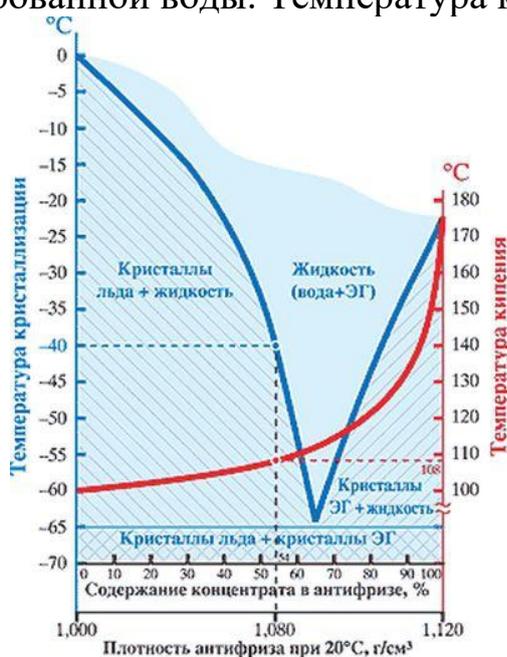


Рис. 9.2. Диаграмма зависимости температуры кристаллизации, кипения от плотности охлаждающей жидкости

На рис. 9.3 показаны изменение температуры замерзания антифриза в зависимости от содержания в нем воды и этиленгликоля и соответствующая плотность [1]. По плотности определяют марку антифриза и его температуру замерзания.

Название тосол произошло от двух слов «ТОС» – технология органического синтеза (название лаборатории, в которой получен данный антифриз), «ОЛ» – предпоследние две буквы окончания в названии этиленгликоля. С 1988 г. выпускают антифриз «Лена» трех марок: ОЖ-К, ОЖ-40, ОЖ-65.

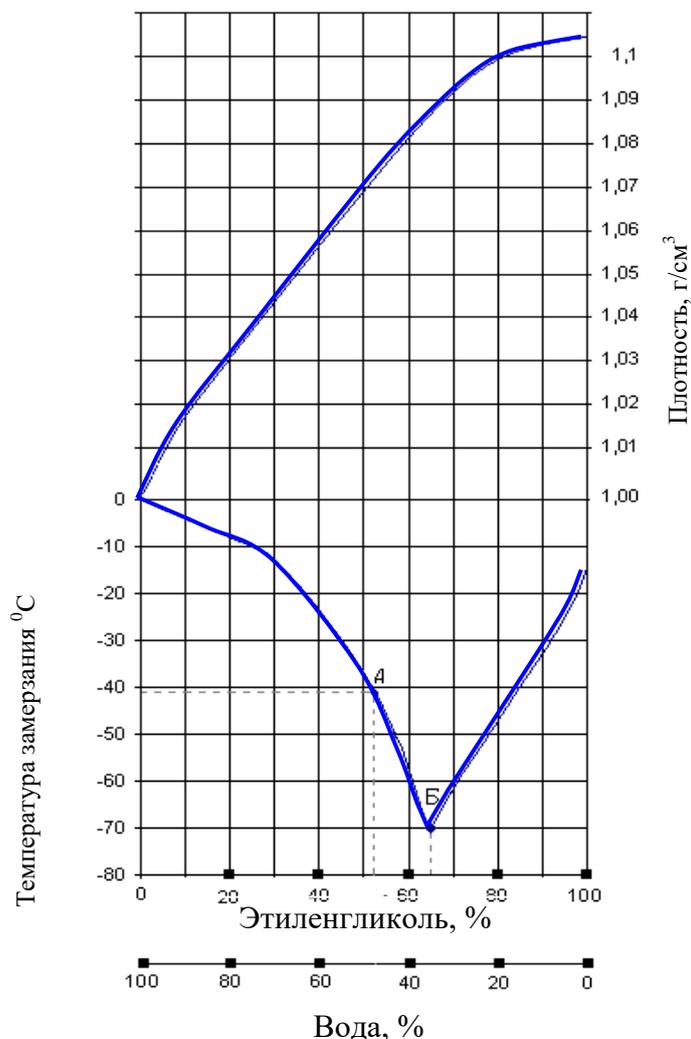


Рис. 9.3. Зависимость температуры замерзания антифризов от их плотности

Контрольные вопросы и задания

1. Почему опасно применять воду для охлаждения двигателей при отрицательных температурах?
2. Поясните, почему вода интенсивнее охлаждает двигатель, чем антифриз?
3. Что представляют собой низкотемпературные жидкости?
4. Назовите основные свойства и марки низкотемпературных жидкостей.
5. Поясните происхождение слова «тосол».

Лекция № 10.

10. АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТОПЛИВА

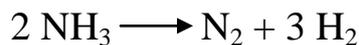
В настоящее время в России, США, Германии, Японии ведутся разработки новых топлив и внедряются альтернативные топлива (заменители) – *водород, спирты, масла*. Применение газообразных топлив рассмотрено в лекции 7.

10.1. Применение водорода

В перспективе основным видом топлива может стать **водород**. При сгорании 1 л жидкого водорода выделяется в 3 раза больше теплоты, чем от бензина. Чтобы водород стал жидким, нужно понизить его температуру до $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$. При атмосферном давлении плотность водорода составляет примерно $0,1\text{ кг/м}^3$.

Более простой путь применения водорода – это использование аммиака, он поступает в цилиндр с выделением водорода. Водород взрывоопасен и его хранение затруднено. При получении водорода его целесообразно сразу направлять в камеру сгорания двигателя и сжигать.

Аммиак NH_3 . Его можно рассматривать как энергоноситель, обеспечивающий при его термическом разложении в камере сгорания получение водорода [1,14]:



Неограниченные сырьевые ресурсы (аммиак производится из водорода и азота воздуха) и хорошо развитая промышленная база позволяют рассматривать аммиак как одно из перспективных топлив.

Благодаря высокой температуре самовоспламенения пожарная опасность аммиака относительно невелика. По содержанию энергии в единице массы аммиак уступает водороду в 7 раз и бензину в 2,5 раза. Теплота сгорания 17 МДж/кг .

Аммиак обладает высокой детонационной стойкостью: октановое число по моторному методу равняется 110, по исследовательскому методу – 130.

К недостаткам аммиака можно отнести высокую температуру самовоспламенения ($650\text{ }^{\circ}\text{C}$) по сравнению с нефтяными топливами. Вследствие этого возникает малая скорость горения и практически

невозможность применения в современных двигателях внутреннего сгорания без проведения специальных мероприятий по интенсификации его воспламенения и сгорания (повышение степени сжатия у дизеля).

В настоящее время в автомобилях стали использовать **ТОПЛИВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ**, которые позволяют получить электрическую энергию непосредственно из химической энергии без преобразования теплоты.

Если принять в качестве топлива водород, а окислителя – кислород (воздух), то топливный элемент условно можно представить в виде, как показано на рис. 10.1. Вместо водорода можно подавать газ с большим содержанием водорода, например метан, а вместо кислорода – воздух.

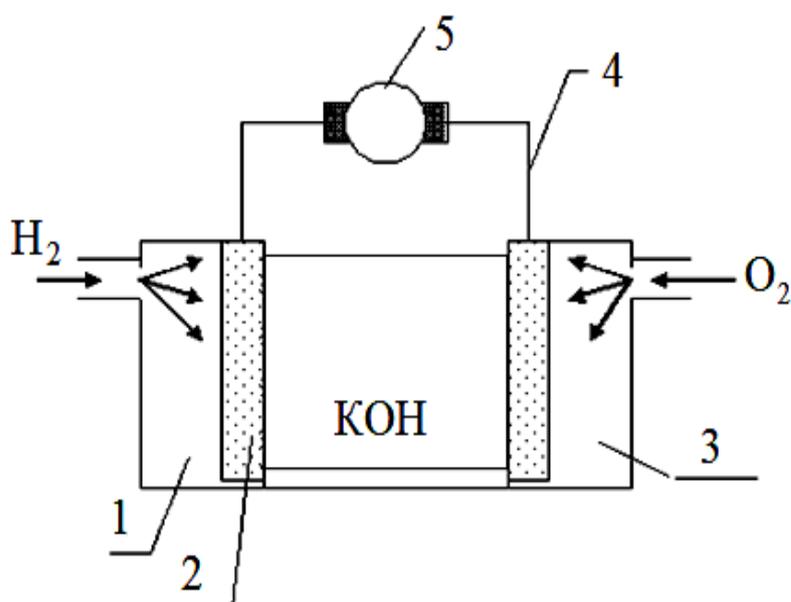
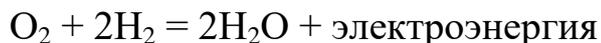


Рис. 10.1. Принципиальная схема топливного элемента

В полость 1 подается водород, который контактирует с пористым анодом 2 (сплав платины с иридием). В полость 3 подается кислород, который контактирует с пористым катодом 4, выполненным из такого же материала, что и анод 2. Между катодом и анодом находится электролит. Водород проходит через поры анода 2 и, соприкасаясь с электролитом, ионизируется. **Ионизация в газах** – отрыв от атома или молекулы газа одного или нескольких электронов. При этом электроны будут уходить во внешнюю цепь, а ионы водорода поступят в электролит. Затем электроны, пройдя внешнюю цепь (электродвигатель 5), соединяются на катоде 4 с кислородом, образуя ионы кислорода. Далее, ионы кислорода соединяются с водой электролита

и образуют гидроксильные ионы, которые после соединения с ионами водорода вновь образуют воду. В результате получим



Электроэнергия подается на электродвигатель 5, который может приводить в движение, например, колеса автомобиля.

10.2. Применение спиртов

Спирты обладают высоким октановым числом, благодаря чему их целесообразно использовать в двигателях с принудительным воспламенением. Октановое число по моторному методу у метанола равняется 90, у этанола – 88; по исследовательскому методу у метанола – 110, у этанола – 106. Стехиометрическое количество воздуха для сгорания 1 кг спирта (кг воздуха / кг топлива) у метанола – 6,5, у этанола – 9,0.

Теплота сгорания спиртов приблизительно в 2 раза меньше, чем у нефтяных топлив (у метанола – 22 000 кДж/кг, у этанола – 26 000 кДж/кг), поэтому при практически равных энергетических затратах двигателя, работающие на спирте, имеют по сравнению с бензином большие массовые расходы топлива. Спирты по сравнению с нефтяным топливом характеризуются более устойчивым сгоранием. Благодаря этому расширяется диапазон устойчивого горения на бедных смесях до значения $\alpha = 1,5 - 1,6$.

Сгорание спиртов по сравнению с бензинами характеризуется меньшими задержками воспламенения и большими скоростями горения, более низкими температурами и большей полнотой сгорания. Всё это обеспечивает меньший отвод теплоты из зоны реакции, пониженную тепловую напряжённость деталей цилиндропоршневой группы, уменьшение нагарообразования, повышенный индикаторный КПД, меньшую токсичность отработавших газов по СО и C_nH_m и оксидам азота.

При работе на спиртах токсичность отработавших газов при $\alpha = 0,98 - 1,0$ по концентрации СО соответствует бензиновым двигателям. С увеличением коэффициента избытка воздуха свыше 1,0 концентрация СО резко снижается. По мере дальнейшего обеднения смеси оксид углерода в отработавших газах практически отсутствует. Концентрация углеводородов в 10–20 раз меньше, чем в бензиновых двигателях, а оксида азота в 1,5–2,0 раза.

Препятствием для использования метанола является его высокая токсичность, так как он яд, действующий на нервно-сосудистую систему. Отравление возможно при попадании его в пищеварительный тракт, при вдыхании или попадании жидкости на кожу. Предельно допустимая концентрация паров метанола в воздухе 5 мг/м^3 (для сравнения у бензина 100 мг/м^3). Попадание в организм свыше 10 мл метанола может окончиться тяжёлым отравлением. Смертельная доза 30 мл. При длительном контакте с метанолом возможно хроническое отравление, сопровождающееся нервным расстройством. Поэтому необходима надёжная герметизация топливных баков и топливоподающей системы.

Спирты можно использовать в качестве добавки (15%) к бензинам. В этом случае достигаются такие положительные результаты:

- не нужно вносить изменения в конструкцию двигателя и регулировать его топливную аппаратуру;
- можно работать на бензине с меньшим октановым числом;
- снижается токсичность отработавших газов и расход бензина.

Основные характеристики спиртов приведены в табл. 10.1.

Таблица 10.1

Основные характеристики спиртов

Показатель	Метанол	Этанол
Плотность, кг/м^3 , 20 °С	791	789
Теплота сгорания, МДж/кг	22	26
Октановое число по моторному методу	90	88

Этиловый и метиловый спирты токсичны и ядовиты, 30 г метилового спирта может вызвать смерть (метиловый спирт CH_3OH – древесный спирт). Этиловый спирт ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) оказывает наркотическое воздействие.

На рис. 10.2 представлено строение молекул метилового и этилового спиртов.

Этиловый спирт (этанол) можно получить из сахарной свеклы, пшеницы, картофеля, сахарного тростника. Из одной тонны указанных продуктов можно получить спирта в литрах соответственно 90, 340, 167, 90.

Урожайность в тоннах с одного га составляет в среднем сахарной свеклы 15–50, пшеницы 1,5–2,5, картофеля 8–50, сахарного тростника 50–90.

Первоначально этанол применялся в смеси с бензином, а затем специальные автомобили стали работать на чистом этаноле. Основными производителями этанола является Бразилия и США. Бразилия производит в год 12 млрд (миллиардов) л этанола, или 60% мирового объема производства, а США – 8 млрд.



Рис. 10.2. Строение молекул метилового и этилового спирта

Как отличить метиловый спирт (яд) от этилового (винного спирта)? **Это вопрос жизни и смерти [14].** Плотность (см. табл. 10.1) у них практически одинакова. А вот кинематическая вязкость отличается в два раза. При 20 °С кинематическая вязкость у метанола 0,73 сСт, этанола 1,52 сСт (у воды 1 сСт). Температура кипения у метанола 65 °С, а у этанола 78 °С.

10.3. Применение рапсового масла

В последнее время в качестве топлив стали применять рапсовое масло или его добавки в дизельное топливо. Рапс – это маслянистое

растение из семейства крестоцветных. Рапс – однолетнее растение с тонким корнем, с прямым, а кверху ветвистым стеблем. Высота стебля достигает 50 –150 см. Цветки золотисто-желтые, собранные в негустые кисти. Стручки растут от стебля, почти горизонтально, семена бурые. Стручки имеют длину 5 – 10 см, ширину 3 – 4 мм. В семенах содержится до 40–50% масла. Урожай семян рапса с одного гектара составляет 10 – 20 ц.

По данным производственной и сельскохозяйственной организации ООН в 2004 г. было собрано 36 млн т семян рапса. Рапс возделывают в Мексике, США, Канаде, Индии, Китае, Украине.

Основной недостаток рапсового топлива – его большая вязкость (76 сСт при 20 °С), плохое распыливание и дымность при сгорании. Для снижения вязкости его разбавляют дизельным топливом.

В табл. 10.2 приведены сравнительные физико-химические показатели рапсового масла и зимнего дизельного топлива.

Таблица 10.2

Основные характеристики рапсового масла

Показатель	Рапсовое масло	3-0,1 минус 35
Плотность, кг/м ³ , 20 °С	917	840
Теплота сгорания, МДж/кг	37	42
Цетановое число, не менее	40	45
Кинематическая вязкость, мм ² /с, при 20 °С	76	1,8 – 5,0
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже	100	+ 35
Температура застывания, °С, не выше	– 23	– 35

10.4. Основные пути снижения расхода топлива

Совершенство конструкции двигателя и автомобиля оценивается величиной расхода топлива. Расход топлива зависит от следующих факторов:

1. Усовершенствования конструкции двигателя, методики его ремонта, регулировки, диагностики и эксплуатации.
2. Повышения качества топлив и смазочных материалов.
3. Обучения водителей экономному управлению автомобилем.

4. Уменьшения массы автомобиля (за последние 50 лет масса некоторых легковых автомобилей снижена в 2 раза).

5. Совершенствования обтекаемости автомобиля.

6. Применения специальных шин с высоким давлением.

7. Применения автоматических коробок передач или использования механических коробок передач с широким диапазоном передаточных чисел (5–10 ступеней). Применение многоступенчатых коробок позволяет автомобилю двигаться с большой скоростью, например 150 км/ч, а двигатель будет работать на средних частотах с минимальным расходом топлива.

8. Применения электронного впрыска бензина и впрыска дизельного топлива при давлении более 100 МПа. Применения электронного управления работой двигателя и автомобиля.

9. Использования воды до 30% для дизеля и 10% для бензиновых двигателей.

10. Применения энергии солнца, использования альтернативных и новых видов топлив (водорода, спирта, газа, рапсовых и других масел).

Контрольные вопросы и задания

- 1. Какая главная причина необходимости замены бензина и дизельного топлива на газ, водород, рапсовое масло?*
- 2. Дайте характеристику спиртам, их преимущества и недостатки по сравнению с бензином.*
- 3. Особенности получения водорода и его использование в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания.*
- 4. Принцип работы топливного элемента.*
- 5. Перспективы использования рапсового топлива в дизелях.*
- 6. Пути снижения расхода топлива.*

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ И ДИСТАНЦИОННОЙ ФОРМ ОБУЧЕНИЯ

В процессе изучения дисциплины «Эксплуатационные материалы» или «Химмотология» для лучшего усвоения материала студент заочной (дистанционной) формы обучения технических специальностей должен выполнить контрольную работу и ответить на контрольные вопросы по лекции с учетом варианта задания.

Выполняя контрольную работу, каждый студент отвечает на четыре вопроса. Вопросы разбиты по группам. Из каждой группы студент выбирает вопрос, номер которого совпадает с последним номером его зачётной книжки. Если последние цифры зачётной книжки 15, студент отвечает на 1-й вопрос группы под номером 1 и 2 и отвечает на 5-й вопрос группы под номером 3 и 4 (0 – это 10 вопросов).

Ответы на вопрос должны быть полными, содержать необходимые схемы, рисунки, таблицы, формулы и составляться по материалам данного конспекта лекций, но и по дополнительным современным источникам.

При оформлении контрольной работы в начале ответа на вопрос полностью без изменения записывается сам вопрос. Ответы можно оформлять при помощи компьютерных программ и от руки на листах формата А4 с соблюдением требований ЕСКД.

По последней цифре (например, 5) студент дополнительно изучает лекцию № 5 и отвечает письменно на поставленные контрольные вопросы данной лекции. Ответы в письменном виде студент отправляет на сайт Макушев Ю.П. или электронную почту makushev321@mail.ru

1. Сайт СибАДИ. СибАДИ орг. 23 учебный портал.
2. Учебный портал ФГБОУ ВО «СибАДИ».

Материалы для ответов на контрольные вопросы изложены в основном в данном лекционном курсе.

Вопросы для выполнения контрольной работы

Группа 1

1. Что называют плотностью, как она определяется и с какой целью? Укажите плотность при 20 °С воздуха, воды, бензина, дизельного топлива, моторного масла в кг/м³.
2. Дайте определение давления? Что понимают под абсолютным, избыточным (манометрическим) и вакуумметрическим давлениями, единицы величины?

3. Кинематическая и динамическая вязкость жидкого топлива, единицы величины. Способы измерения, связь между ними, если известна плотность.
4. Устройство вискозиметра и способ определения кинематической вязкости жидкости. Как зная плотность жидкости (800 кг/м^3) и кинематическую вязкость 4 сСт ($4 \text{ мм}^2/\text{с}$) определить динамическую вязкость в $\text{Па} \cdot \text{с}$ ($\text{Н/м}^2 \cdot \text{с}$).
5. Свойства и состав нефти.
6. Прямая перегонка нефти. Продукты перегонки (бензин, лигроин и так далее).
7. Что представляют собой низкотемпературные охлаждающие жидкости А-40 и А-65, их состав.
8. Способы очистки нефтепродуктов (кислотная, селективная, дать описание данных способов).
9. Какие виды топлив получают в результате прямой перегонки нефти?
10. Способы получения моторных и трансмиссионных масел.

Группа 2

1. В чем заключается принцип прямой перегонки нефти?
2. Эксплуатационные требования к бензинам и дизельным топливам.
3. Нормативные показатели качества бензинов, характеризующие их эксплуатационные свойства. Детонационная стойкость бензина, испаряемость.
4. Ассортимент и отечественная маркировка бензинов. Поясните марку бензина Аи-98.
5. Процесс сгорания бензина. Что влияет на детонационное сгорание бензина (угол опережения зажигания, частота вращения коленчатого вала и так далее).
6. Альтернативные топлива, краткая характеристика (сжиженные газы, водород, спирты, рапсовое масло).
7. Физические свойства жидкостей и газов.
8. Производство моторных масел, присадки к маслам, определение индекса вязкости.
9. Октановое число бензинов, цетановое число дизельных топлив. Методы определения.
10. Устройство и принцип работы датчика детонации и датчика кислорода.

Группа 3

1. Что называют детонационным сгоранием бензина, октановым числом бензинов?
2. Охлаждающие жидкости А-40 и А-65, при какой отрицательной температуре их применяют.
3. Классификация, маркировка, требования к эксплуатационным свойствам и состав смазочных масел (моторных и трансмиссионных).
4. Почему зимнее дизельное топливо можно использовать летом, а летнее нельзя применять зимой?
5. Ассортимент, требования, отечественная и зарубежная классификация моторных масел.

6. Классификация моторных масел по SAE и API. Температура окружающей среды минус 30⁰С, какую марку всесезонного моторного масла по SAE вы рекомендуете.

7. Укажите маркировку дизельных топлив (летних, межсезонных, зимних, арктических). Цетановое число дизельных топлив и его оптимальное значение и как оно определяется.

8. Требования к качеству и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел, маркировка. Поясните маркировку масел ТМ-5-18 и GL-5-90

9. Ассортимент и отечественная классификация моторных масел. Классификация моторных масел по SAE и API. Поясните моторное масло М10- Г1 и SAE 5W- 30.

10. Какова методика определения октанового числа бензинов по моторному и исследовательскому методам?

Группа 4

1. Дайте характеристики присадкам, улучшающим качество моторных масел (противозадирным, противоизносным, загущающим, противопенным, моющим, депрессорным).

2. Что такое индекс вязкости моторного масла, как он определяется расчетным путем?

3. Область применения, состав, требования к качеству пластичных смазок их маркировка.

4. Поясните принцип работы системы питания двигателя на сжиженном газе.

5. Классификация и маркировка пластичных смазок.

6. Почему при работе двигателя на газе (вместо бензина) его мощность снижается примерно на 15%?

7. Как устроен и работает двухступенчатый газовый редуктор «Ловато»?

8. Какая главная причина необходимости замены бензина и дизельного топлива на газ, водород, рапсовое масло? Особенности получения водорода и его использование в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания.

9. Принцип работы топливного элемента.

10. Дайте характеристику сжиженным газам (пропану и бутану).

Библиографический список

1. Химмотология : учебное пособие / Ю.П. Макушев, Л.Ю. Михайлова, А.В. Филатов. – Омск : СибАДИ, 2010. – 160 с.
2. Химмотология [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Ю.П. Макушев, Л.Ю. Волкова ; кафедра «Тепловые двигатели и автотракторное электрооборудование». – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2017. – Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/esd320.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу:).
3. Васильева, Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы : учебник для вузов / Л.С. Васильева.– М. : Наука-Пресс, 2003. – 421 с.
4. Обельницкий, А.М. Топливо, смазочные материалы и охлаждающие жидкости / А.М. Обельницкий и др. – М. : ИПО «Полиграм», 1997. – 267 с.
5. Основы научных исследований и испытаний двигателей [Электронный ресурс] : практикум / Ю.П. Макушев, В.И. Подгурский, Л.Ю. Волкова. – Омск : СибАДИ, 2019. – Режим доступа:<http://bek.sibadi.org/fulltext/esd1033.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу:).
- 6 Химмотология [Электронный ресурс] : практикум (для специалистов, магистров, бакалавров направления подготовки «Энергетическое машиностроение») / Ю. П. Макушев, Л.Ю. Волкова; СибАДИ, кафедра ТД и АТЭ. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2018. – Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/esd487.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу:).
7. Устройство, функционирование и диагностирование электронной системы управления бензинового двигателя [Электронный ресурс] : учебное пособие / Б.В. Журавский, Л.Н. Тышкевич. – Омск : СибАДИ, 2017. – Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/esd327.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 17.03.2019).
8. ГОСТ 32513 – 2013. Топлива моторные. Бензины неэтилированные. Технические условия. – Введ. 2015 - 01 – 01. – М. : Межгосударственный стандарт, 2015.–7 с.
9. ГОСТ 305 – 2013. Топлива дизельные. Технические условия. – Введ. 2013 - 01 – 01. – М. : Межгосударственный стандарт. Принят межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии, сертификации, 2013. – 17 с.
10. ГОСТ 1797.1 – 2015. Масла моторные. Классификация и обозначение. – Введ. 2017 - 01 – 01. – М. : Межгосударственный стандарт : Стандартиформ, 2016. – 8 с.
11. ГОСТ 25371 – 97. Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости. – Введ. 1999 -15 – 10. – М. : Межгосударственный стандарт : Стандартиформ, 2006. – 37 с.
12. ГОСТ 17479. 2– 2015. Масла трансмиссионные. Классификация и обозначение. – Введ. 2017 - 01 – 01. – М. : Межгосударственный стандарт : Стандартиформ, 2016. – 10 с.
13. Техническое обслуживание газобаллонных автомобилей : учебное пособие / Н.Г. Певнев, А.П. Елгин, Л.Н. Бухаров, под ред. Н.Г. Певнева. – 2-е изд., перераб. и доп. – Омск : Изд – во СибАДИ, 2010. – 202 с.
14. Химмотология : учебное пособие / Ю.П. Макушев, А.П. Жигадло, Л.Ю. Волкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Омск : СибАДИ, 2019. – 160 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	6
1. Физические свойства жидкостей и газов.....	7
2. Нефть – основной источник получения топлив и смазочных материалов....	12
3. Особенности процесса сгорания бензина	15
3.1. Способы повышения детонационной стойкости бензинов.....	15
3.2. Процесс сгорания бензина	17
3.3. Управление углом опережения зажигания топлива.....	23
4. Эксплуатационные требования к бензинам и дизельным топливам	28
4.1. Бензины.....	28
4.1.1. Методика определения октанового числа	29
4.1.2. Испаряемость бензинов	33
4.2. Дизельные топлива	35
4.2.1. Методика определения цетанового числа дизельного топлива	36
4.2.2. Характеристики дизельных топлив.....	40
5. Моторные масла.....	47
5.1. Условное обозначение моторных масел.....	47
5.2. Производство моторных масел.....	51
5.3. Присадки к моторным маслам	52
5.4. Определение индекса вязкости.....	55
6. Трансмиссионные масла	58
6.1. Область применения и классы вязкости трансмиссионных масел.....	58
6.2. Обозначение трансмиссионных масел	61
7. Системы питания двигателей внутреннего сгорания на газообразном топливе.....	63
7.1. Сжиженные газы.....	63
7.2. Устройство и принцип работы газового редуктора «Ловато»	68
8. Пластичные смазки	70
8.1. Пластичные смазки для наземного транспорта.....	70
9. Охлаждающие жидкости.....	75
10. Альтернативные топлива	79
10.1. Применение водорода.....	79
10.2. Применение спиртов.....	81
10.3. Применение рапсового масла	83
10.4. Основные пути снижения расхода топлива.....	84
Контрольные задания для студентов заочной и дистанционной форм обучения.....	86
Библиографический список	89
Оглавление.....	90