

**Ю.П. Макушев,
А.П. Жигadlo,
Л.Ю. Волкова**



ХИММОТОЛОГИЯ



ОМСК – 2019

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Сибирский государственный автомобильно-дорожный
университет (СибАДИ)»

Ю.П. Макушев, А.П. Жигadlo, Л.Ю. Волкова

ХИММОТОЛОГИЯ

Учебное пособие

2-е издание, переработанное и дополненное

Омск
СибАДИ
2019

УДК 656.1(075)
ББК 30.82.73
М15

Согласно 436-ФЗ от 29.12.2010 «О защите детей от информации, причиняющей вред их здоровью и развитию» данная продукция маркировке не подлежит.

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. В.В. Шалай (ОмГТУ);
д-р техн. наук, проф. Н.Г. Певнев (СибАДИ)

Работа утверждена редакционно-издательским советом СибАДИ в качестве учебного пособия.

Макушев, Юрий Петрович.

М15 Химмотология : учебное пособие / Ю. П. Макушев, А. П. Жигadlo, Л.Ю. Волкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Омск : СибАДИ, 2019. – 156 с.
ISBN 278-5-00113-123-6.

Приведены материалы по дисциплинам «Химмотология», «Эксплуатационные материалы», «Технология использования топлив и масел». Изложены физические свойства жидкостей и газов, приведена технология получения моторных топлив, смазочных материалов. Рассмотрены особенности сгорания бензинового и дизельного топлива в цилиндрах двигателей.

Показано отрицательное влияние нефтепродуктов на человека и окружающую среду. Приведено нормирование расхода топлив и смазочных материалов для автомобилей. Рассмотрены причины потерь нефтепродуктов, предложены способы их снижения.

Предназначено для бакалавров, магистров всех форм обучения направления подготовки «Энергетическое машиностроение» профиля «Двигатели внутреннего сгорания» и может быть полезно обучающимся других технических специальностей, инженерам и аспирантам.

Подготовлено на кафедре «Тепловые двигатели и автотракторное электрооборудование».

УДК 656.1(075)
ББК 30.82.73

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 курсов «Химмотология», «Эксплуатационные материалы», «Технология использования топлив и масел». Целью данного пособия является формирование знаний у студентов технических специальностей в области теории и практики рационального использования моторных топлив, смазочных материалов, охлаждающих и специальных жидкостей.

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.

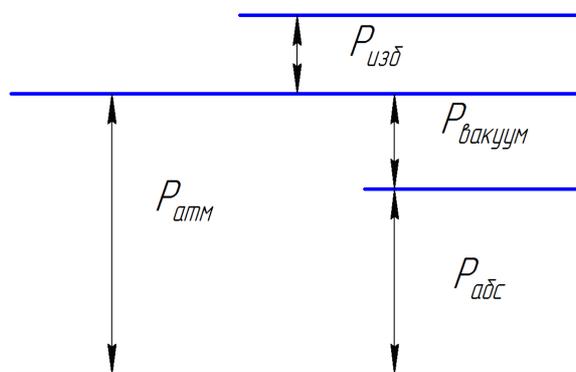


Рис. 1.1. Виды давлений

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

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

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

S – площадь соприкасающихся слоёв, м^2 ; $\Delta \vartheta / \Delta x$ – 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 ($1 \text{ Ст} = 1 \text{ см}^2/\text{с}$; $1 \text{ сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$). Эталоном 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 капиллярного 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).

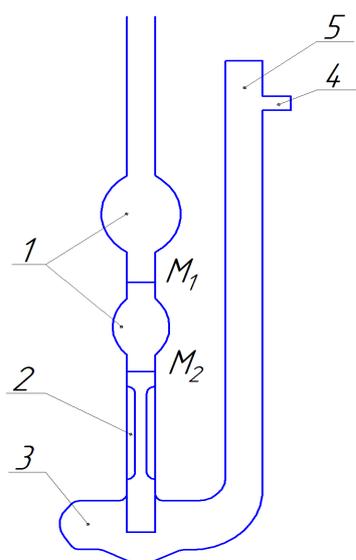


Рис. 1.2. Вискозиметр капиллярный:

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

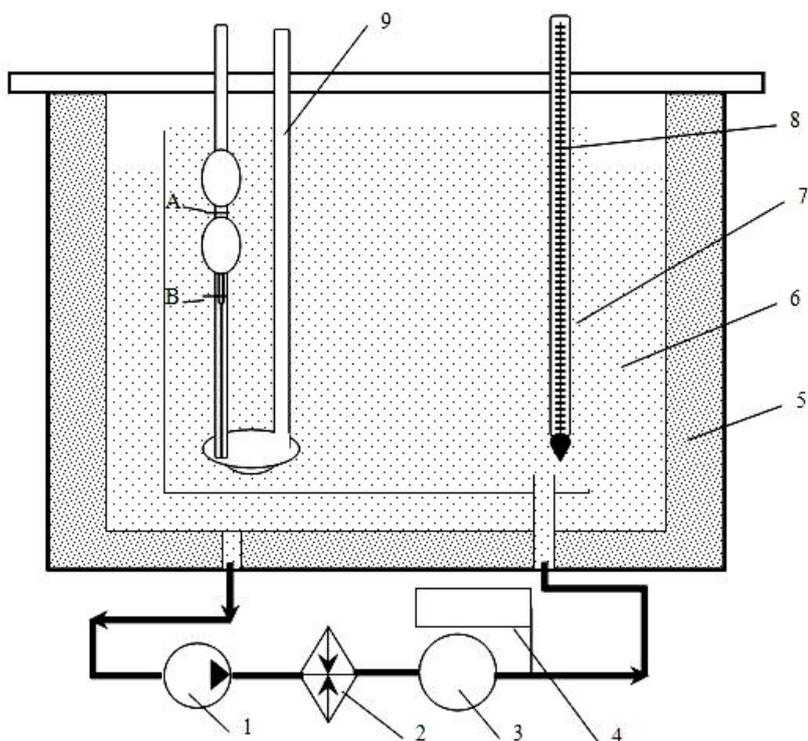


Рис. 1.3. Общий вид вискозиметра, установленного в водяном термостате:

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

Динамическую вязкость в Н·с/м² (Па·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 (м³/с) и массовый (кг/с).

$$\begin{aligned} Q &= V / t - \text{объёмный;} \\ M &= m / t - \text{массовый.} \end{aligned} \quad (1.7)$$

Сжимаемость жидкости (газа) – её способность уменьшаться в объёме при повышении давления. Оценивается коэффициентом объёмного сжатия (м²/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 $K = 2 \cdot 10^9$ Н/м², для нефтепродуктов $K = 1,35 \cdot 10^9$ Н/м².

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).

При нормальных физических условиях (температура $T = 273$ К, давление $P = 760$ мм рт. ст.) диаметр молекул газа одинаков и составляет $2 \cdot 10^{-10}$ м. Массу молекулы малых размеров определить трудно. В 1811 г. итальянский физик Авогадро (1776 – 1856) предположил, что одинаковый объем газа (любого типа) при одинаковом давлении и температуре должен содержать равное количество молекул. Опыты показывают, что 1 г атомов Н (водорода) содержит $6 \cdot 10^{23}$ атомов. В 2 г H_2 (молекула) содержится $6 \cdot 10^{23}$ молекул. Это специфичное число $6 \cdot 10^{23}$ называется числом Авогадро.

Масса молекул газа в килограммах, содержащая в объеме 22,4 л при $P = 760$ мм рт. ст. ($1 \cdot 10^5$ Па) и $T = 273$ К ($t = 0$ °С), называется **молем**.

Моль (молекулярная масса) – количество вещества в определенном объеме. Если количество молекул, равное $6 \cdot 10^{23}$, компактно упаковать, то их объем составит 22,4 л. Плотность воздуха при атмосферных условиях равна $1,29$ кг/м³. В объеме, равном 22,4 м³, его масса составит 28,9 кг ($1,29 \cdot 22,4 = 28,9$).

Один киломоль воздуха равен 28,9 кг. **Один моль** воздуха составит 0,0289 кг, или 28,9 г. **Киломоль** – количество газа, масса которого в килограммах численно равна его молекулярной массе. В воздухе по массе 23% (0,23) кислорода O_2 и 77% (0,77) азота N_2 . Молекулярная масса кислорода 32, азота 28. Молекулярная масса воздуха $M_M = 0,23 \cdot 32 + 0,77 \cdot 28 = 28,9$ кг/кмоль.

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. *Что называют удельным весом и удельным объемом?*
3. *Дайте определение давления. Что понимают под абсолютным, избыточным (манометрическим) и вакуумметрическим давлениями, единицы величины?*
4. *Что называют давлением насыщенных паров?*
5. *Кинематическая и динамическая вязкость, единицы величины. Способы измерения.*
6. *Дайте определение объемному и массовому расходу жидкости.*
7. *Что называют сжимаемостью жидкости или газа?*
8. *Что называют модем и киломодем?*
9. *Что относят к физическим, химическим, эксплуатационным и экологическим свойствам топлив?*

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. Объем 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 объеме 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 (емкость 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 топлив. 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).

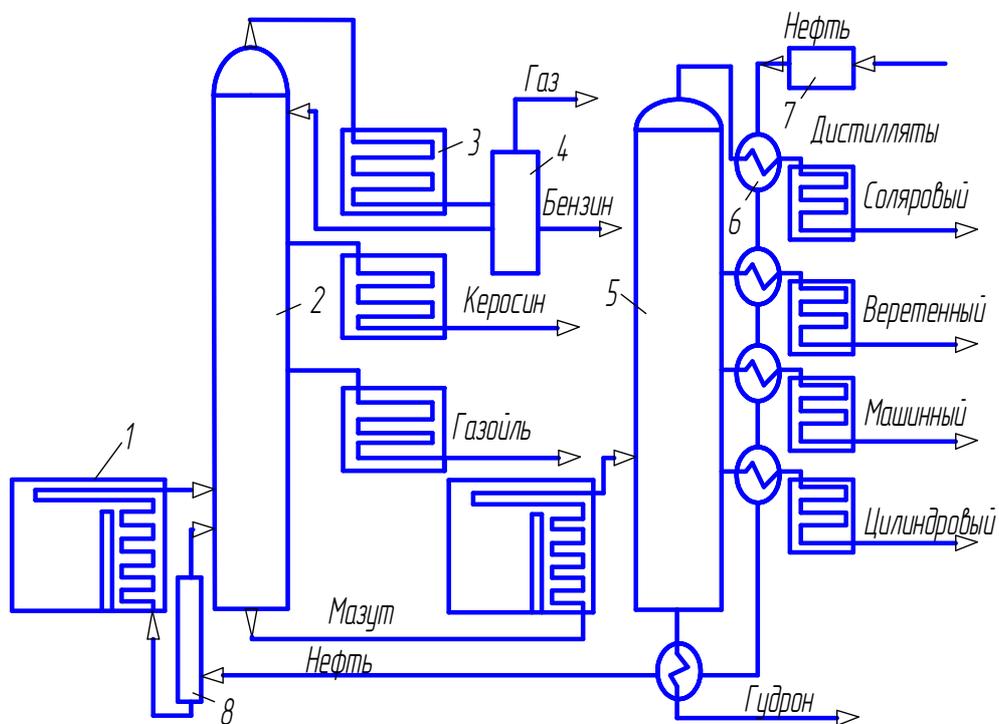


Рис. 2.1. Комплексная атмосферно-вакуумная установка переработки нефти:
 1 – трубчатая печь; 2 и 5 – ректификационные колонны; 3 – холодильник;
 4 – отделитель газа; 6 – теплообменник; 7 – насос;
 8 – испарительная колонна

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, цилиндровый). **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.

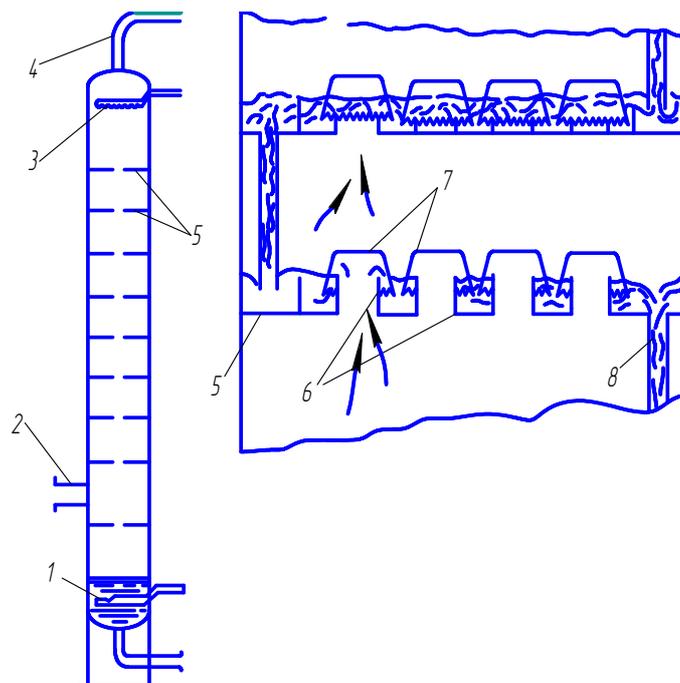


Рис. 2.2. Схема ректификационной колонны и её принцип действия:
 1 – приспособление для ввода водяного пара; 2 – труба (ввод паров нефти и её неиспарившейся части); 3 – приспособление для ввода орошения; 4 – труба для отвода легкокипящих фракций с испарившимся оросителем; 5 – металлические тарелки; 6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

3. РАСЧЕТНОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОТЫ СГОРАНИЯ ТОПЛИВА

*Т*еплотой сгорания называется количество теплоты, выделяющейся при полном сгорании единицы массы топлива, а для газообразного топлива – единицы объёма. Обозначается теплота сгорания символом Q .

Различают высшую Q_o и низшую $Q_{и}$ теплоту сгорания топлива (теплотворную способность). Под высшей теплотой сгорания понимают то количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании топлива, включая теплоту конденсации водяных паров при охлаждении продуктов сгорания.

Под низшей теплотой сгорания (или полезной) понимается количество теплоты, которое выделяется при полном сгорании топлива, но без учета теплоты конденсации водяного пара. Величина $Q_{и}$ меньше Q_o на величину скрытой теплоты парообразования воды.

Теплота, затраченная на превращение воды в пар, является потерянной, так как температура отработавших газов значительно выше $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ и часто достигает $400 - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Пар вместе с продуктами сгорания выбрасывается из выхлопной трубы в атмосферу. Можно принять, что на превращение 1 кг воды в пар затрачивается 2,5 МДж ($2,5 \cdot 10^6$ Дж).

При сгорании 1 кг углерода (С) выделяется 33, 91 МДж теплоты, а при сгорании 1 кг водорода (H) выделяется 125,6 МДж теплоты.

3.1. Процесс сгорания топлива

Сгорание топлива – это быстрая реакция окисления углеводородов кислородом. При этом образуется вспышка, молекулярные связи разрываются, накопившаяся ранее энергия выделяется в виде теплоты. При сгорании 1 кг топлива выделяется следующее количество теплоты, Дж : бензин – $44 \cdot 10^6$, дизельное топливо – $42 \cdot 10^6$, метан – $49,7 \cdot 10^6$.

Стехиометрия (греч. *stoicheion* – основа, элемент и *метрия* – измеряю) часть химии, включающая законы количественных соотношений между реагирующими веществами, вывод формул и уравнений химических реакций. В основе стехиометрии лежат законы Авогадро, Гей-Люссака и сохранения массы.

Балансовые уравнения, показывающие исходные и конечные состояния участвующих в реакциях веществ, называют **стехиометрическими**. Напомним, что атомные и молекулярные массы в граммах химических элементов, участвующих в процессе сгорания топлива, следующие [1]: H=1, (H₂=2); O=16, (O₂=32); C=12, (C₂=24); N=14, (N₂=28); S = 32, (S₂ = 64).

Конечная реакция сгорания водорода и углерода в результате окисления кислородом протекает так:



Чтобы сжечь 4 кг водорода (2 кмоль) необходимо затратить 32 кг (1 кмоль) кислорода. При этом выделяется 36 кг водяного пара. Для сгорания 1 кг водорода требуется 8 кг кислорода. Выделяется 125,6 МДж теплоты и **9 кг воды** ($4_{\text{H}} + 32_{\text{O}} = 36_{\text{H}_2\text{O}}$, или сокращая левую и правую части уравнения на 4, получим $1_{\text{H}} + 8_{\text{O}} = 9_{\text{H}_2\text{O}}$). У работающего двигателя вода в виде пара выбрасывается в атмосферу.

Чтобы сжечь 12 кг углерода, необходимо затратить 32 кг кислорода. При этом выделяется 44 кг двуокиси углерода. Для сгорания 1 кг углерода C требуется $8/3$ кислорода (2,66). Выделяется 34 МДж теплоты и 3,6 кг двуокиси углерода CO₂ ($12_{\text{C}} + 32_{\text{O}} = 44_{\text{CO}_2}$ или, сокращая левую и правую части уравнения на 12, получим выражение $1_{\text{C}} + 8/3_{\text{O}} = 44/12_{\text{CO}_2}$). Один кг углерода и водорода сгорая, выделяют 34 и 125,6 МДж теплоты. Зная процентное содержание углерода и водорода в топливе, подсчитывают его теплотворную способность.

Горение – это сложный процесс. Факел горящих углеводородов напоминает своеобразный организм, живущий до тех пор, пока в его огненной оболочке, в которую поступает газифицированное топливо и кислород воздуха, происходит правильный обмен веществ. Даже простейшие газообразные метан, этилен, пары бензина сами по себе не горят, пока не будут преобразованы до простейших составляющих в виде молекул CO и H₂. При окислении (горении) углеводородная молекула «опускается» на более низкие энергетические уровни и достигает нулевого уровня, когда полностью «разваливается» на углекислый газ CO₂ и воду H₂O.

Окисление – это реакция взаимодействия молекул углеводородного топлива с молекулами кислорода. Если температура воздуха достигает требуемого значения, то **окисление** переходит в процесс **горения**.

Теплота сгорания может быть определена сжиганием топлива в специальных приборах, которые называют калориметрами (1 кал = 4,187 Дж), а

также подсчитана по формулам, если известен элементарный состав топлива.

В табл. 3.1 представлены удельные значения теплоты сгорания различных газовых топлив для 1 м³ и 1 кг при атмосферных условиях (P = 736 мм рт. ст. = 0,98 · 10⁵ Н/м² и T = 293 К).

3.2. Расчетное определение теплоты сгорания топлив

В расчетных формулах наиболее распространенной является формула Д.И. Менделеева, основанная на том, что общая теплота сгорания равна сумме теплоты, полученной от сгорания отдельных элементов, входящих в состав топлива. Эта формула для жидких топлив имеет вид [1, 5]:

$$Q_{и} = [34 C + 125,6 H - 10,9 (O - S) - 2,5 (9H + W)] 10^6 \text{ Дж/кг}, \quad (3.2)$$

где C, H, O, S, W – содержание в рабочей массе топлива углерода, водорода, кислорода, серы, влаги в процентах (по массе). При изучении топлив и их состава различают рабочую и сухую (без влаги) массу. Общая масса всех составляющих топлива должна быть равна 100%.

Например, для бензина марки Аи-98 и наличии C = 0,85 (85%), H = 0,15 (15%), но без присутствия кислорода, серы, влаги величина низшей теплотворности равна

$$Q_{и} = [34 \cdot 0,85 + 125,6 \cdot 0,15 - 2,5 \cdot (9 \cdot 0,15)] \cdot 10^6 = \\ = (28,9 + 18,84 - 3,37) \cdot 10^6 = 44,37 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг} = 44,37 \text{ МДж/кг}. \quad (3.3)$$

Для природного газа, содержащего 95% метана CH₄ и 5% пропана C₃H₈, низшая теплотворность равна

$$Q_{и} = [35,8 \cdot 0,95 + 85,5 \cdot 0,05] \cdot 10^6 = 38,28 \cdot 10^6 \text{ Дж / м}^3. \quad (3.4)$$

Для газа произвольного состава теплоту сгорания расчетным путем можно определить по формуле, используя данные табл. 3.1 [5]:

$$Q_{и} = [35,8 \cdot \text{CH}_4 + 10,8 \text{ H}_2 + 12,6 \text{ CO} + 63,8 \text{ C}_2 \text{ H}_6 + 111,6 \text{ C}_3 \text{ H}_8 + \\ + 146 \text{ C}_5 \text{ H}_{12} + 23,4 \text{ H}_2 \text{ S}] \cdot 10^6 \text{ Дж/м}^3. \quad (3.5)$$

Следует помнить, что сумма в процентах всех составляющих газа должна быть равна 100%.

Для определения плотности упругих паров нефтепродукта ρ_y воспользуемся формулой Клапейрона – Менделеева, которая устанавливает связь между абсолютным давлением P , Н/м² (Па), абсолютной температурой T , К, объемом V , м³, массой газа m , кг, и газовой постоянной R , Дж/(кг·К):

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T. \quad (3.6)$$

Таблица 3.1

Теплота сгорания различных газов

Газ	Обозначение	Плотность паров, кг/м ³	Теплота сгорания	
			МДж/м ³	МДж/кг
Метан	СН ₄	0,71	35,8	50,0
Этан	С ₂ Н ₆	1,32	63,8	48,0
Пропан	С ₃ Н ₈	1,85	85,5	46,0
Бутан	С ₄ Н ₁₀	2,45	111,6	45,4
Этилен	С ₂ Н ₄	1,25	63,8	51,0
Бензол	С ₆ Н ₆	3,48	140,0	40,2
Пентан	С ₅ Н ₁₂	3,21	146,0	45,4
Сероводород	Н ₂ S	1,5	23,4	15,5
Окись углерода	СО	1,26	12,6	10,0
Водород	Н ₂	0,086	10,8	125,0

Один кмоль паров нефтепродукта занимает объем $V_\mu = 22,4 \text{ м}^3$. Для кмолья объемом $22,4 \text{ м}^3$ уравнение состояния газа примет вид

$$PV_\mu = m \cdot \frac{8314}{\mu} T; \quad P = \frac{m}{V_\mu} \cdot \frac{8314}{\mu} T \quad \text{или} \quad P = \rho_y \cdot \frac{8314}{\mu} T.$$

Откуда
$$\rho_y = \frac{P \cdot \mu}{8314 \cdot T}, \quad (3.7)$$

где μ – молекулярная (молярная) масса нефтепродукта, кг/кмоль;
8314 Дж/(кмоль·К) – универсальная газовая постоянная.

Для примерного определения плотности нефтепродукта для давления и температуры ($P = 736$ мм рт. ст. = $0,98 \cdot 10^5$ Н/м² и $T = 293$ К), который находится в газовом состоянии, используется выражение

$$\rho_y = \mu/22,4. \quad (3.8)$$

Например, молекулярная (молярная) масса метана CH_4 равна 16 кг/кмоль. Если данный газ сосредоточить при атмосферных условиях в объеме 22,4 м³, то его плотность будет равна 0,714 кг/м³. Зная плотность газа, можно удельную теплоту сгорания в МДж/м³ перевести в МДж/кг.

В жидкой фазе плотность метана равна 424 кг/м³. Объем метана в жидком состоянии занимает в 600 раз меньше, чем объем в газовой фазе. Это является важным фактором при транспортировке метана и использовании его в качестве топлива.

По ГОСТ Р 52087 – 2003. Газы углеводородные сжиженные топливные, согласно техническим условиям, 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.

В табл. 3.2 дан состав автомобильных газовых топлив ПА и ПБА.

Таблица 3.2

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)

3.3. Экспериментальное определение теплоты сгорания топлив

Сущность калориметрического экспериментального метода определения теплотворной способности топлива с использованием бомбы заключается в сжигании навески топлива определенной массы (примерно 1 г) в адиабатическом режиме в среде сжатого кислорода.

Калориметрическая бомба помещается в калориметрический сосуд объемом 2000 – 2500 см³, заполненный водой. Теплота, выделяющаяся при

сгорании топлива, поглощается водой. Для выравнивания температуры внутри сосуда предусматривается вертикальная мешалка, которая приводится в действие от электродвигателя. Температура воды в сосуде измеряется термометром или другим точным прибором. На рис. 3.1 показана схема установки для определения теплотворной способности топлива.

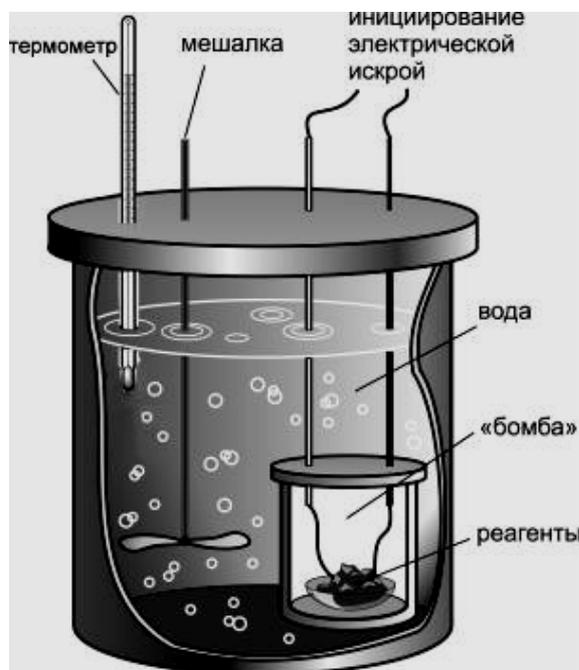


Рис. 3.1. Схема установки для определения теплотворной способности топлива

Калориметрическая бомба представляет собой стальной стакан ёмкостью 300 см^3 (рис. 3.2). На стакан плотно навинчивается крышка. В крышке имеется отверстие с запорным краном для подвода кислорода под давлением 2 МПа.



Рис. 3.2. Калориметрическая бомба в разобранном виде

В крышке прибора установлены два электрода. Один электрод выполнен из платины и соединен с массой. На нём есть устройство типа петли, в которую устанавливается тигель (горшочек). Тигель служит для помещения спрессованного брикета твердого топлива массой около 1 г или налива жидкого топлива примерно той же массы. Другой электрод изолирован от массы. К двум электродам подведено напряжение 12 В. Между электродами установлена запальная проволока, которая должна касаться поверхности топлива. При подаче напряжения и под действием тока проволока нагревается, сгорает и воспламеняет твердое или жидкое топливо.

В процессе сгорания топлива выделяется теплота. Вода массой 2 кг нагревается и перемешивается с целью обеспечения в объёме одинаковой температуры. Зная массу, теплоёмкость воды и изменение температуры при сгорании топлива, можно найти его теплотворную способность.

На практике для каждой калориметрической бомбы определяется её энергетический эквивалент W путем сжигания высокочистой бензойной кристаллической кислоты (БК), которая является эталонным топливом. Теплота сгорания $Q_{\text{БК}}$ равна 26 434 кДж/кг. Химическая формула данной кислоты $\text{C}_7\text{H}_6\text{O}_2$, она белого цвета с хорошей воспламеняемостью.

Численное значение энергетического эквивалента W определяют из выражения

$$W = m_1 \cdot Q_{\text{БК}} / \Delta T_1, \quad (3.9)$$

где m_1 – масса БК, обычно равная 1,0 г (0,001 кг); ΔT_1 – повышение температуры воды в опыте с БК (разность между наибольшим показанием термометра и температурой, при которой началось сжигание топлива, например 5,3 °С).

Для калориметрической бомбы с приведенными выше данными величина W будет равна 5 кДж / °С.

Если известно численное значение энергетического эквивалента W калориметрической бомбы, то для любого вида топлива (например, жидкого) высшую теплоту сгорания можно определить из выражения

$$Q_{\text{топ}} = W \cdot \Delta T_2 / m_2, \quad (3.10)$$

где m_2 – масса жидкого топлива, равная 0,8 г (0,0008 кг); ΔT_2 – повышение температуры воды в опыте с исследуемым топливом, например 7 °С. Величина $Q_{\text{топ}}$ с учетом формулы (3.10) будет равна

$$Q_{\text{топ}} = 5 \cdot 10^3 \cdot 7 / 0,0008 = 43\,750\,000 \text{ Дж /кг.}$$

Для более точного определения теплотворной способности данного топлива необходимо отнять от $Q_{\text{топ}}$ теплоту сгорания запальной проволоочки. Теплота сгорания стальной проволоочки равна 6690 кДж/кг. При массе стальной проволоочки 1 г теплота её сгорания составит 6,69 кДж/кг.

Для определения теплоты сгорания топлив применяют современные приборы с использованием персональных компьютеров и другой техники. На рис. 3.3 представлена установка для определения теплоты сгорания топлив. Калориметр В-08 МА-К служит для автоматического определения энергии сгорания жидких, газообразных и твердых топлив. Конструкция калориметрических бомб практически не изменилась.



Рис. 3.3. Калориметр В-08 МА - К

Контрольные вопросы и задания

1. Чем отличаются высшая и низшая теплотворные способности топлив?
2. Что представляет собой процесс сгорания топлив?
3. Запишите конечные уравнения процесса сгорания углерода и водорода.
4. Запишите уравнения для определения низшей теплотворной способности бензина и газа, состоящего из 50% пропана и бутана.
5. Как определяется плотность упругих паров нефтепродукта, находящегося в газовом состоянии?
6. Поясните методику экспериментального определения теплоты сгорания топлив.

4. ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССА СГОРАНИЯ БЕНЗИНА

*Т*ребования 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. 4.1 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 4.1

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

4.1. 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 процессе крекинга крупные молекулы расщепляются на мелкие, что позволяет повысить ОЧ. Крекинг происходит при давлении, равном $P = 2 - 5$ МПа, и температуре 450 – 500°C. 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 объясняется 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. Большое 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.

4.2. Процесс сгорания бензина

*Т*еоретическое количество воздуха, необходимое для сгорания 1 кг бензина, определяют из выражения [1]:

$$L_T = \frac{1}{0,23} \cdot \left(\frac{8}{3}C + 8H \right) = \frac{1}{0,23} \cdot \left(\frac{8}{3}0,855 + 8 \cdot 0,145 \right) \approx 15 \text{ кг}. \quad (4.1)$$

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:

$$\alpha = L_{\text{д}}/L_{\text{т}}, \text{ при } L_{\text{д}} = L_{\text{т}} \quad \alpha = 1. \quad (4.2)$$

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

В процессе испытания двигателя на стенде коэффициент избытка воздуха α определяют расчетным путем по формуле [6]:

$$\alpha = M_{\text{в}} / (15,0 \cdot G_{\text{ч}}), \quad (4.3)$$

где $M_{\text{в}}$ – 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; $G_{\text{ч}}$ – 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.)

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T, \quad (4.4)$$

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 воздуха, 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 двигателями внутреннего сгорания и токсичность отработавших газов.

На рис. 4.1 показан датчик кислорода (лямбда-зонд). Лямбда-зонд работает как гальванический элемент с твердым электродом, выполненным в виде керамики из двуокиси циркония ZrO_2 , на котором нанесено платиновое напыление, выполняющее роль электродов [5]. Один из электродов фиксирует показания атмосферного воздуха, а второй – выхлопных газов. Эффективная работа прибора возможна при достижении температуры более $300^\circ C$, когда циркониевый электролит приобретает проводимость. По этой причине датчик выполняется с подогревом. Выходное напряжение зависит от разницы количества кислорода в атмосфере и выхлопных газах.

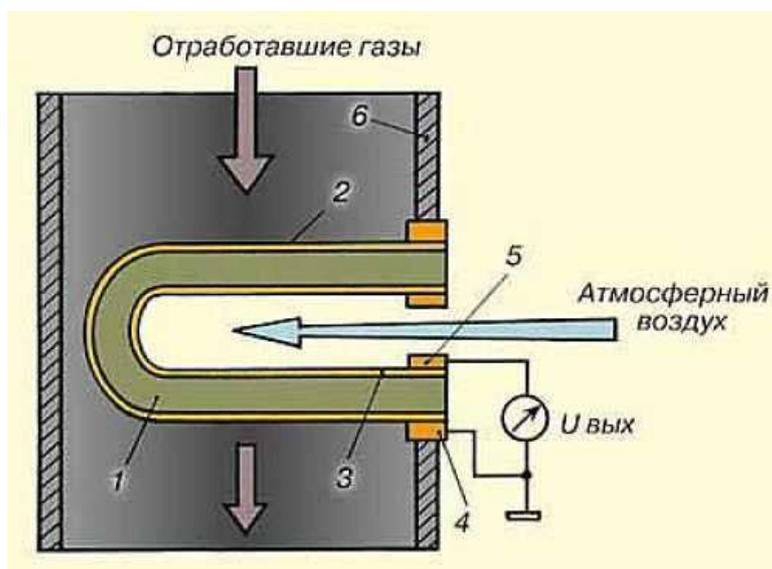


Рис. 4.1. Простейшая схема включения датчика кислорода: 1 – твердый электролит ZrO_2 ; 2, 3 – наружный и внутренний электроды; 4 – контакт заземления; 5 – «сигнальный контакт»; 6 – выхлопная труба

Так, при обогащенной смеси, когда процент кислорода в выхлопной трубе меньше, напряжение возрастает, а при обеднении – снижается (рис. 4.2). 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).

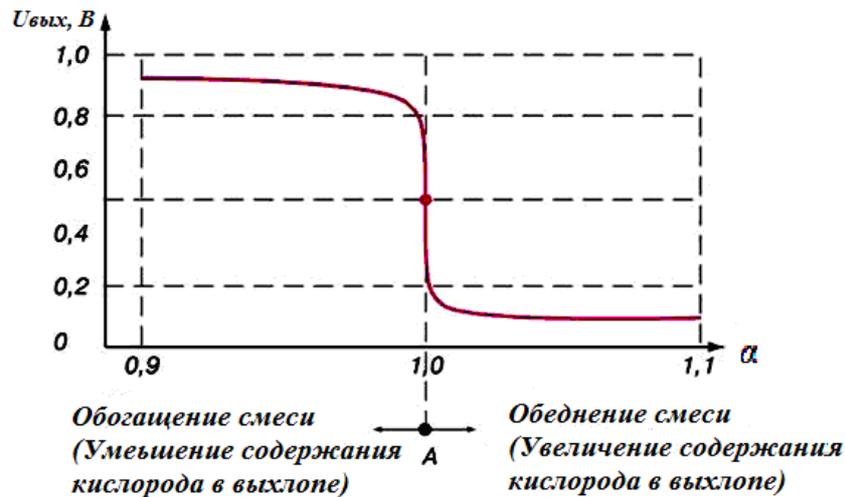


Рис. 4.2. Зависимость напряжения на выходе из датчика от коэффициента избытка воздуха

На рис. 4.3 показан разрез датчика кислорода, поясняющий его устройство.

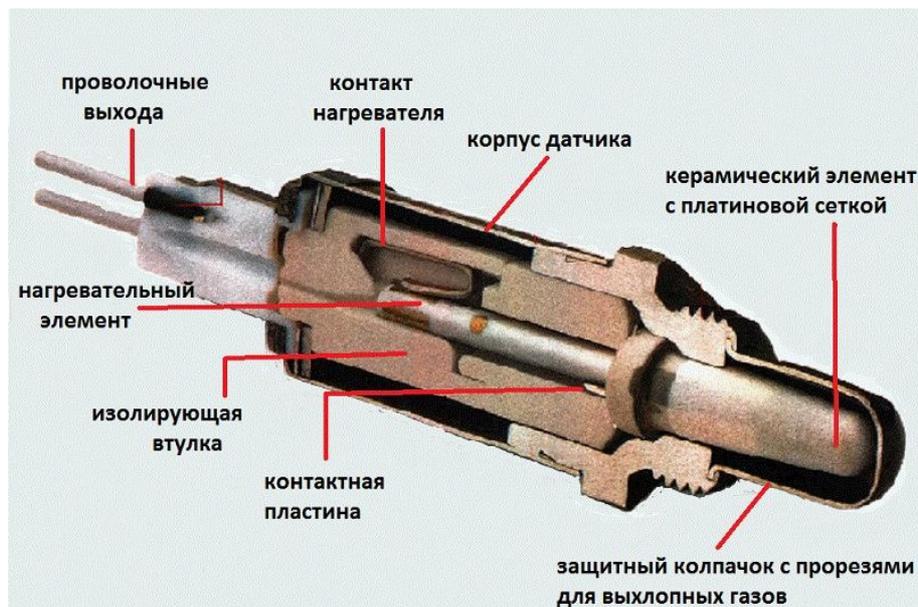


Рис. 4.3. Устройство датчика кислорода (лямбда-зонда)

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. 4.4).

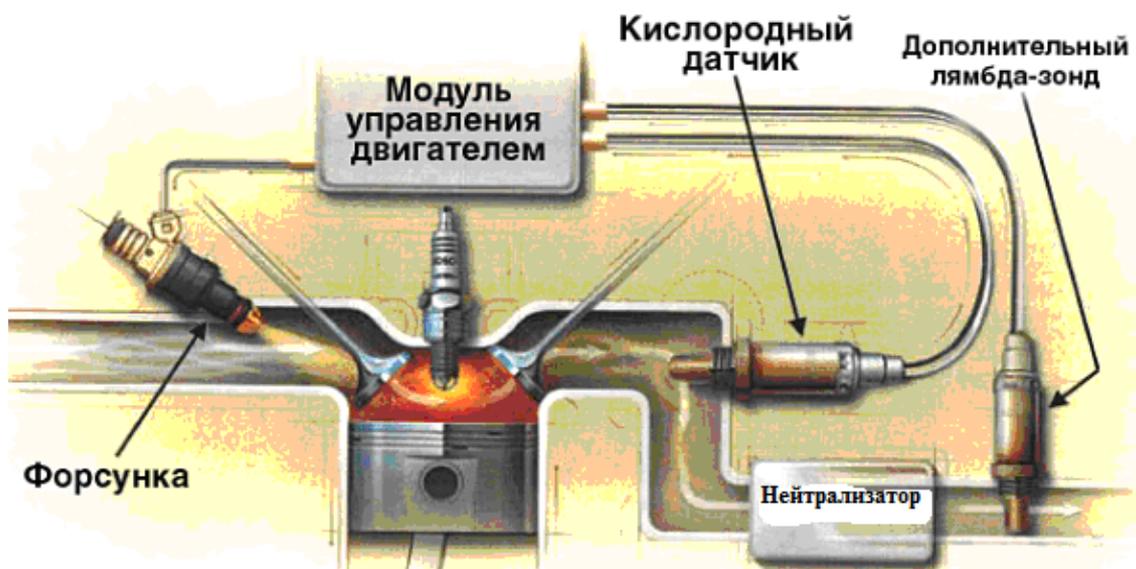


Рис. 4.4. Схема подключения двух датчиков кислорода

Процесс сгорания топлива в координатах $P - \varphi$ показан на рис. 4.5 (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 $10\,000^\circ\text{C}$), 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.

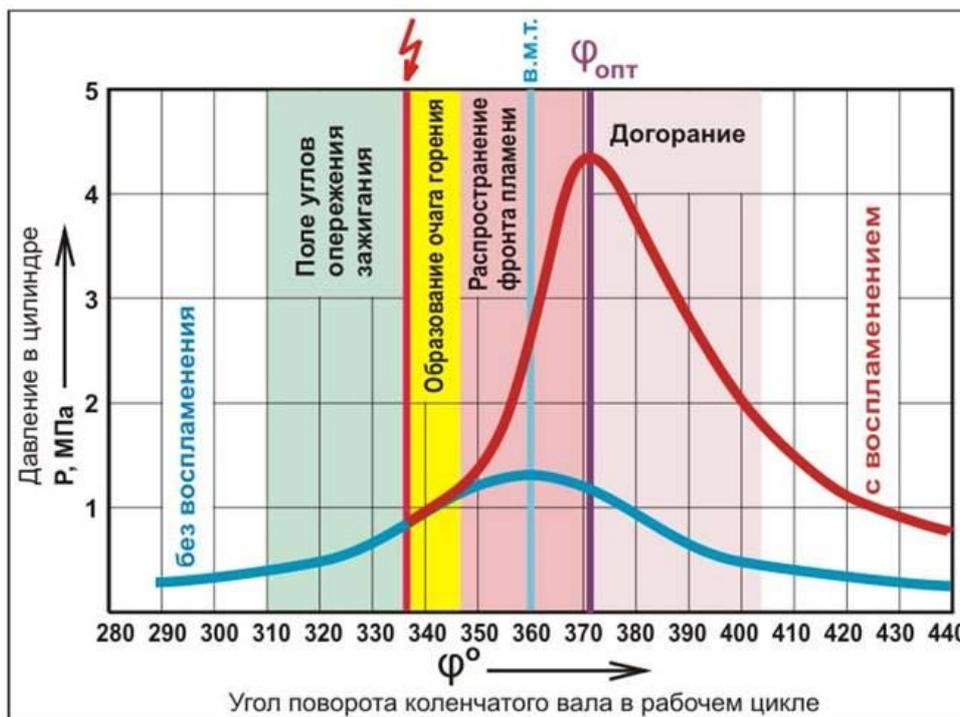


Рис. 4.5. Изменение давления газов в цилиндре бензинового двигателя

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. 4.6 показаны процессы нормального и детонационного сгорания топлива в цилиндре двигателя.

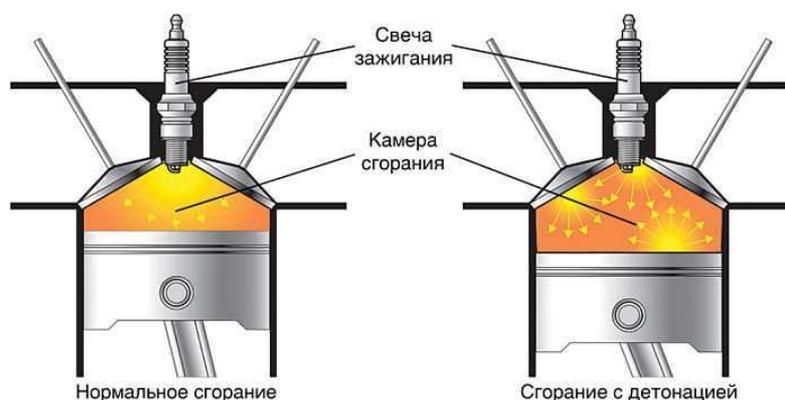


Рис. 4.6. Нормальное и детонационное сгорание топлива (бензина)

На рис. 4.7 приведены графики изменения давления в цилиндре при нормальном процессе сгорания, слабой и сильной детонации.

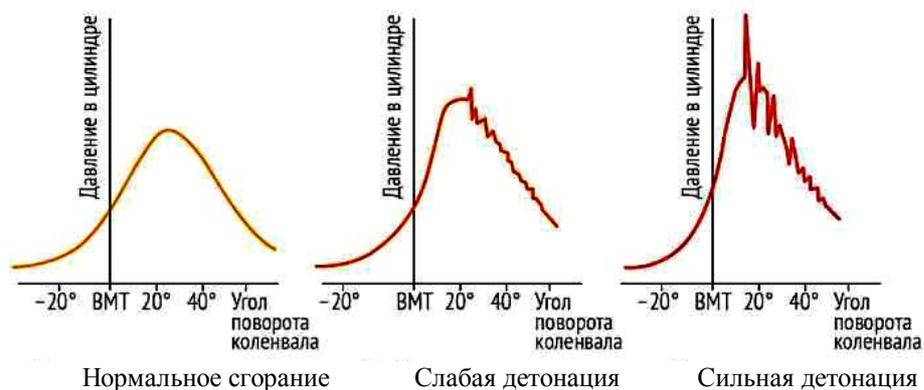


Рис. 4.7. Изменение давления в цилиндре в процессе сгорания топлива

4.3. 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 осуществляется 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. 4.8.

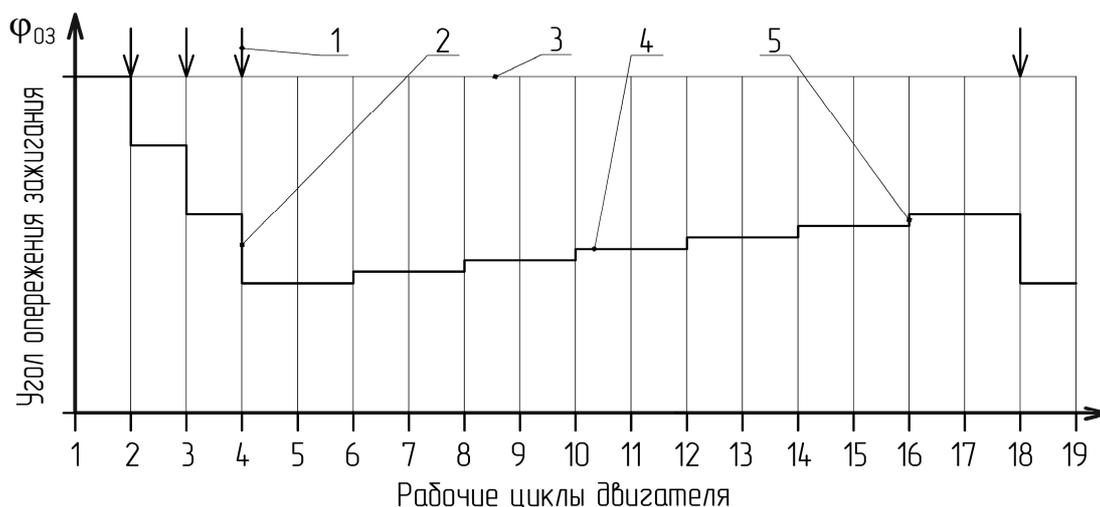


Рис. 4.8. Пример временной диаграммы работы контура обратной связи по сигналу датчика детонации в одном из цилиндров бензинового ДВС:

- 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. 4.9).

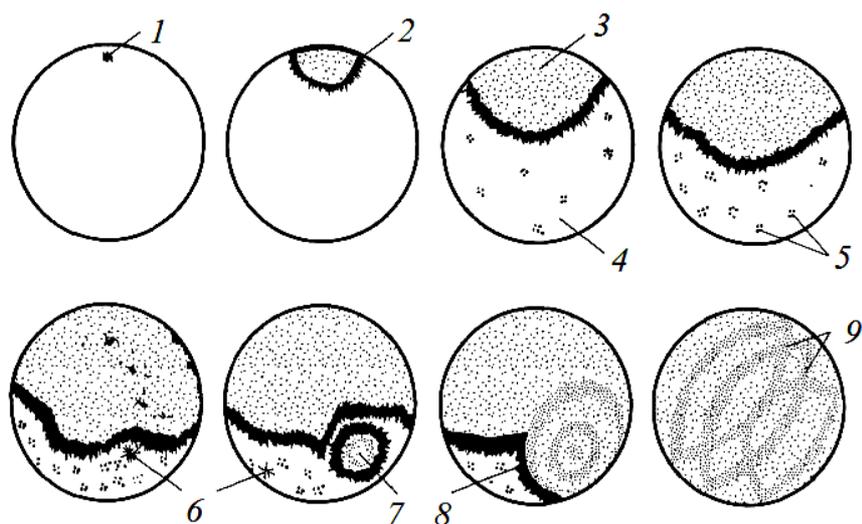


Рис. 4.9. Схема детонационного сгорания топлива:

- 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. 4.10), на обкладках которого при детонации (резонансе) появляется напряжение. При появлении детонации сигнал с датчика передается на электронный блок управления двигателем, кото-

рый 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.

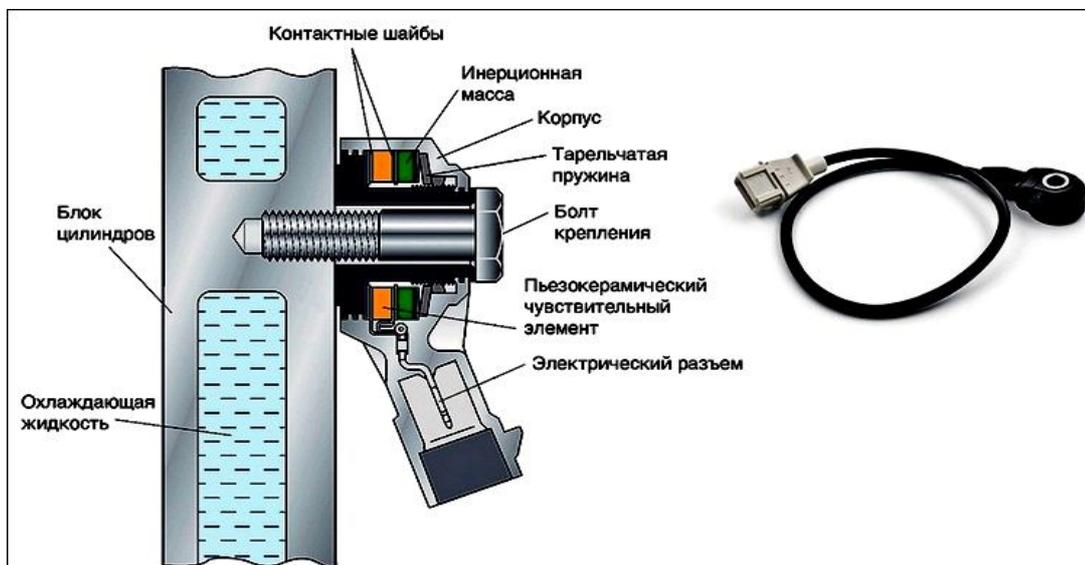


Рис. 4.10. Устройство и крепление широкополосного датчика детонации

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 приме-

нение 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 (4.1), 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. 4.5).
5. Что называют детонационным сгоранием бензина?
6. Укажите основные причины детонации.
7. Устройство и принцип работы датчика детонации.

5. ПРОЦЕСС СГОРАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА

Процесс сгорания топлива у дизеля условно разбивают на четыре фазы (рис. 5.1): 1) **индукционный период** (период задержки воспламенения, от точки 1 до точки 2); 2) **период резкого нарастания давления** (фаза быстрого сгорания, от 2 до 3); 3) **период основного горения** (от 3 до 4); 4) **период догорания** [1].

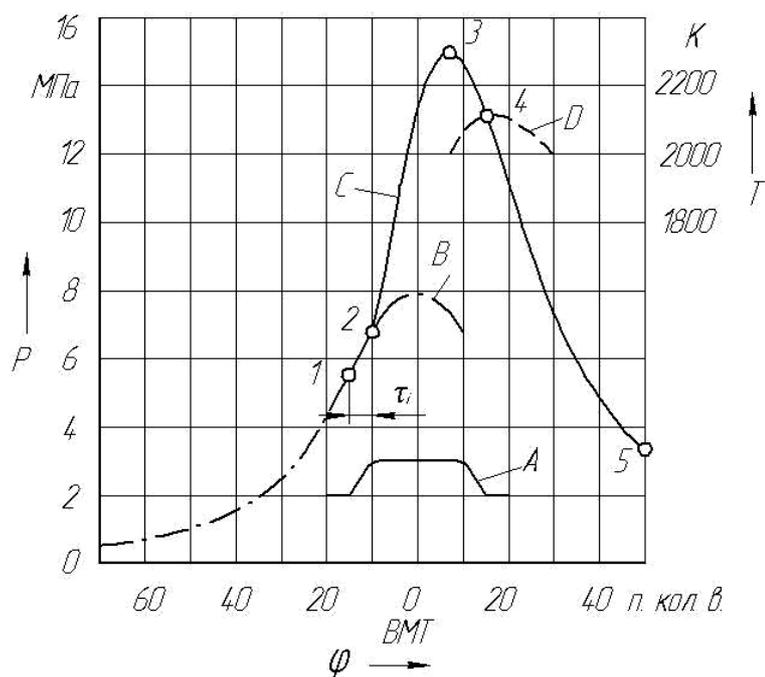


Рис. 5.1. Осциллограммы перемещения иглы А, линии сжатия В, давления С и температуры в цилиндре D:
 1 – начало подачи топлива; 1–2 – индукционный период;
 2 – отрыв линии сгорания от линии сжатия;
 2–3 – резкое нарастание давления в цилиндре;
 3 – максимальное давление в цилиндре;
 3–4 – период основного горения;
 4 – максимальная температура в цилиндре;
 4–5 – линия догорания топлива

Индукционный период начинается от момента впрыска топлива до начала горения. Период резкого нарастания давления наблюдается от начала горения до максимального значения давления в цилиндре.

Период основного горения продолжается от максимального давления до максимальной температуры в цилиндре двигателя. Процесс сго-

рания в цилиндре начинается при постоянном объеме, завершается при постоянном давлении.

Периодом задержки воспламенения называется время от начала поступления топлива в камеру сгорания (начало подъема иглы форсунки) до момента, когда в результате химических реакций количество теплоты будет достаточно для прогрева, испарения и воспламенения топлива.

Можно считать, что период индукции состоит из двух фаз. Первая фаза называется физической. В продолжительность первой фазы входит период продвижения и распыливания топливного факела в объеме КС, прогрев, испарение капель топлива, смешение паров топлива с воздухом и возникновение оптимальных условий для начала реакций. Вторую фазу назовем химической. Эта фаза связана с временем, в течение которого реакция в зоне с оптимальными условиями (необходимой температурой и давлением) приводит к появлению очага пламени (тепловой взрыв).

Чем больше скорость химической реакции, тем меньше период задержки воспламенения τ_i или интервал времени от момента впрыска топлива в нагретый воздух до момента появления пламени. Период задержки воспламенения можно приближенно определить по формуле (5.1), используя результаты исследования академика Н.Н. Семенова [9]:

$$\tau_i = \frac{B}{P^m} \cdot e^{\frac{E}{RT}}, \quad (5.1)$$

где B – постоянный множитель, зависящий от свойств топлива (цетанового числа) и состава горючей смеси, например 300 для ЦЧ = 50; P – давление в цилиндре на такте сжатия в момент начала подачи топлива, Н/м²; m – порядок реакции (1 – 3); E – энергия активации, равная $(20 - 40) \cdot 10^4$ Дж/моль, необходимая для преодоления разрыва межмолекулярных связей и замещения их новыми; R – универсальная газовая постоянная, которая равна 8,314 Дж/(моль·К); T – температура воздуха в момент подачи распыленного топлива в камеру сгорания, К; e – основание натурального логарифма (2,71).

Для $E = 38\,000$ Дж/моль, $P = 7 \cdot 10^6$ Па, $T = 700$ К, $B = 300$, $m = 1,2$. Величина τ_i определена по формуле (5.1) и равна 0,0012 с.

В табл. 5.1 показано расчетное значение τ_i при переменной величине давления в конце такта сжатия P_c (МПа), постоянном множителе $B = 300$ и при температуре $T_c = 700$ К. Значение B соответствовало цетановому числу дизельного топлива, равному 45 – 55.

Зависимость τ_i от величины P_c

P_c , МПа	5	6	7	8	9	10
τ_i , мс	0,0018	0,0015	0,0012	0,001	0,0009	0,0008

При расчете периода задержки воспламенения желательнее учитывать коэффициент избытка воздуха α и среднюю скорость движения поршня в цилиндре ($\mathcal{G} = S \cdot n / 30$).

В работе [10] предложена формула, которая учитывает дополнительное влияние на величину τ_i значения α и \mathcal{G} :

$$\tau_i = B \cdot \alpha \cdot \mathcal{G}^{-x} \cdot P^{-y} \cdot T^{-z}, \quad (5.2)$$

где $B = 1$, которое при корректировке угла опережения впрыска топлива может принимать другие значения; α – коэффициент избытка воздуха (1,6 – 2,0 для дизелей); \mathcal{G} – средняя скорость поршня, м/с; P – давление в цилиндре в момент начала подачи топлива, Н/м² (Па); T – температура воздуха в момент подачи распыленного топлива в камеру сгорания, К; коэффициенты степени $x = 0,75$, $y = 0,24$, $z = 0,27$.

Для дизеля КамАЗ-740 (8ЧН 12/13) мощностью 205 кВт при частоте вращения коленчатого вала 1900 мин⁻¹ с $P = 7 \cdot 10^6$ Па, $T = 700$ К, $\alpha = 1,8$, $\mathcal{G} = 8,2$ м/с, $x = 0,75$, $y = 0,24$, $z = 0,27$ по формуле (5.2) была определена величина $\tau_i = 0,001$ с.

Формулы (5.1) и (5.2) с достаточной для практики точностью определяют τ_i для заданных P и T . Более точные значения периода задержки воспламенения определяются экспериментальным путем.

Для дизелей с объёмным смесеобразованием и степенью сжатия 15 – 17, работающих на топливе с цетановым числом 45 – 55, давлением распыленного топлива 50 – 100 МПа, значение периода задержки воспламенения топлива τ_i равно 0,001 – 0,002 с.

Средняя жесткость процесса сгорания топлива определяется как отношение изменения давления от точки 2 (см. рис. 5.1) начала горения до точки 3 (максимальное давление в цилиндре) к углу поворота коленчатого вала от точки 2 до точки 3.

Для снятия индикаторной диаграммы рабочего процесса двигателя используют датчики различной конструкции. Широкое применение получили тензометрические датчики, наклеенные на упругую мембрану. На рис. 5.2 показана конструкция датчика для измерения давления газов в цилиндре двигателя [1].

В корпусе *1* устанавливается чувствительный элемент *2*, который от прорыва газов уплотняется медной прокладкой *3*. Чувствительный элемент *2* представляет собой две мембраны, жестко соединенные между собой штоком. Между мембранами расположена втулка *4*, которая для обеспечения сборки выполнена из двух частей (разрезана).

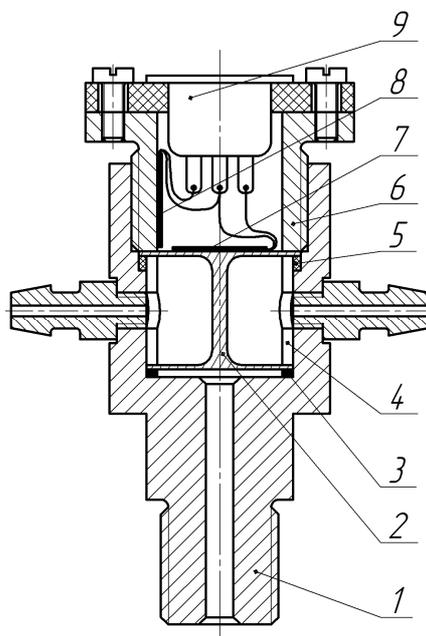


Рис. 5.2. Датчик для измерения давления газов

Втулка имеет канавку с отверстиями, через которые циркулирует вода, охлаждающая датчик. Резиновое кольцо *5* служит для уплотнения полости охлаждения датчика. Гайкой *6* чувствительный элемент прижат к корпусу датчика. Рабочий тензометр *7* наклеен на поверхность тонкой мембраны, которая при изменении давления в цилиндре прогибается, изменяя его сопротивление. Компенсационный тензометр *8* наклеен на внутреннюю поверхность гайки. Выводы тензометров припаяны к разъёму *9*, образуя полумост.

Чувствительный элемент изготовлен из стали 4Х15 с последующей термообработкой. Рабочий диаметр мембран 20 мм, толщина мембран 0,5 мм, расстояние между ними 15 мм. Датчик через отверстие с резьбой соединяется с камерой сгорания двигателя.

Полумост из проволочных тензоэлементов припаян к разъёму датчика, который при помощи экранированных проводов присоединяется к усилителю. Усилитель работает совместно с осциллографом, который фиксирует процессы изменения давления в цилиндре.

Для определения давления в цилиндре двигателя возможно применение преобразователя давления ПД-100ДИ (тензопреобразователь, датчик для замера избыточного давления) с верхним пределом измерения от 0,1 до 100 МПа (рис. 5.3 и 5.4). Датчик преобразует избыточное давление топлива в электрический сигнал постоянного тока (4 – 20 мА).



Рис. 5.3. Общий вид датчика давления серии ПД-100



Рис. 5.4. Разрез датчика ПД-100

Для обеспечения высокой экономичности и минимальной токсичности отработавших газов процесс смесеобразования и сгорания организуют по следующей схеме [1]. За период задержки воспламенения передний фронт распыленного топлива должен пройти путь от сопловых отверстий форсунки (с учетом поворота факела) до стенок камеры сгорания (не касаясь их). За период основного горения (он заканчивается в момент достижения максимальной температуры газов в цилиндре) топливные факелы, например четыре, должны быть повернуты на угол между сопловыми отверстиями. Поворот факелов обеспечивается при помощи винтовых или тангенциальных каналов, по которым воздушный поток поступает в цилиндры двигателя. Важное влияние на экономичность и токсичность дизеля оказывает правильный выбор топливной аппаратуры и агрегатов наддува [8].

Согласно требованиям стандарта ЕВРО-5 (2008) удельные выбросы четырех основных компонентов отработавших газов дизелей в г/(кВт·ч) не должны превышать: углеводороды – 0,25; окиси азота – 2; окиси углерода – 1,5; сажа (твердые частицы) – 0,02. У двигателей, находящихся в эксплуатации, токсичность отработавших газов может превышать допустимые значения в 5 – 10 раз. Токсичность газов может возрастать при износе цилиндропоршневой группы, неправильной регулировке топливной аппаратуры, плохом качестве топлива.

В табл. 5.2 приведены значения концентрации вредных веществ в отработавших газах дизельных двигателей, находящихся в эксплуатации, и допустимые нормы стандарта ЕВРО [1, 11].

Углеводороды вызывают головокружение, расстройства дыхания и сердечной деятельности. **Оксись углерода** поражает центральную нервную систему, вызывает потерю сознания и может привести к смертельному исходу. **Оксиды азота** провоцируют отек легких. **Сажа**, твердые частицы способствуют зарождению опухолей.

Таблица 5.2

**Требования стандарта ЕВРО
к концентрации вредных веществ в ОГ**

Компоненты	Концентрация вредных веществ в ОГ, г/(кВт·ч)	ЕВРО-3 2000 г.	ЕВРО-4 2005 г.	ЕВРО -5 2008 г.
Оксид углерода	1,5–12,0	2,1	1,5	1,5
Углеводороды	1,3–8,0	0,6	0,46	0,25
Оксиды азота	10–30	5,0	3,5	2,0
Сажа	0,25– 2,0	0,10	0,02	0,02

Уменьшение выбросов вредных веществ с отработавшими газами может быть достигнуто внедрением регулярного контроля токсичности, использованием малотоксичных и экономичных регулировок, установкой нейтрализаторов в выпускную систему двигателя, которые бывают с пламенным дожиганием вредных веществ, каталитическими, жидкостными и фильтрующими.

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните фазы сгорания на индикаторной диаграмме (изменение давления в цилиндре) дизельного двигателя.
2. Что собой представляет период задержки воспламенения, жесткость процесса сгорания?
3. Как должен быть согласован впрыск топлива в камеру сгорания с периодом задержки его самовоспламенения?
4. Поясните, с какой целью входящий воздушный поток должен повернуть топливные факелы на угол между сопловыми отверстиями за период времени основного горения топлива.
5. Каковы устройство и принцип работы тензометрического датчика давления?
6. Назовите требования стандарта ЕВРО к содержанию вредных веществ в отработавших газах.

6. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ТРЕБОВАНИЯ К БЕНЗИНАМ И ДИЗЕЛЬНЫМ ТОПЛИВАМ

6.1. 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°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. 6.1 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. 6.1. Анализатор содержания серы
в нефтепродуктах АСЭ-2

При сгорании топлива его химическая энергия переходит в тепловую и далее, при использовании специальных устройств (КШМ) – в механи-

ческую. 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.

6.1.1. 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. 6.2 [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. 6. 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. 6.3 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. 6.3. Октанометр типа ПЭ-7300

Разность октановых чисел, определенных по исследовательскому методу и моторному ($\text{ОЧ}_И - \text{ОЧ}_М$), 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. 6.1.

Таблица 6.1

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 см³) в объеме кислорода при давлении 0,7 МПа, температуре 100 °С 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.

6.1.2. 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. 6.4 представлены графики разгонки бензина и дизельного топлива.

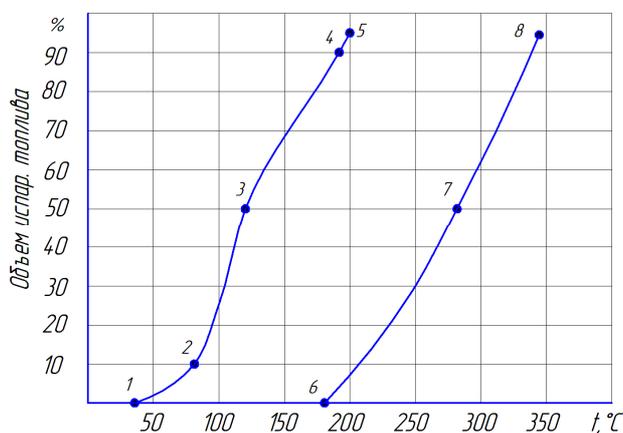


Рис. 6.4. Графики разгонки бензина и дизельного топлива

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

$$t_{\text{в}} = 0,5 \cdot t_{10\%} - 50. \quad (6.1)$$

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 возможно применение всесезонного моторного масла М-3з/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. 6.2).

Таблица 6.2

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 [12] 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.

6.2. 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.

6.2.1. 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. 6.5). Частота вращения вала двигателя $n = 900 \text{ мин}^{-1}$, угол опережения впрыска топлива $\varphi = 13^\circ$.



Рис. 6.5. 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 пе-

риод 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. Подобранная 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 испытываемого 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:

$$\text{ЦЧ} = 60 - 0,5 \text{ ОЧ}_и. \quad (6.2)$$

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

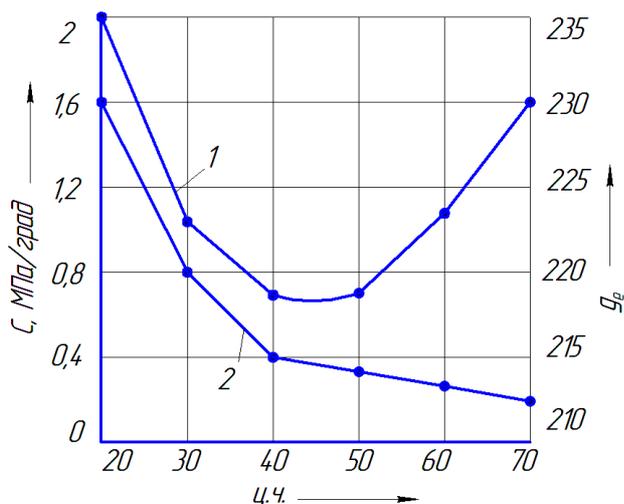


Рис. 6.6. Зависимость жесткости процесса сгорания (кривая 2) и удельного расхода топлива (кривая 1) от значения цетанового числа (ЦЧ)

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. Объёмный (КамАЗ) – распыленное топливо подаётся в объём камеры сгорания, жёсткость сгорания достигает 0,6 – 1 МПа/град.

2. Плёночный («Икарус») – топливо подаётся на горячую стенку, испаряется и плавно сгорает. Жёсткость 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 подаётся на стенку, а часть – в объём. Жёсткость достигает 0,4 – 0,6 МПа/град.

Жёсткость процесса сгорания определяется по индикаторной диаграмме на участке резкого повышения давления (см. рис. 5.1). От жесткости сгорания зависят экономичность двигателя, вибрации и стуки. Жёсткость 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 повышении давления до 0,6 – 0,9 МПа – жестко, а при повышении давления более 0,9 МПа – очень жестко.

6.2.2. Характеристики дизельных топлив

Основные показатели дизельных топлив (ГОСТ 305 – 82) приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Характеристики дизельных топлив

Показатель	Л	З	А
1	2	3	4
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

1	2	3	4
Температура помутнения, °С, не выше, для климатической зоны: умеренной холодной	минус 5 –	минус 25 минус 35	– –
Температура застывания, °С, не выше, для климатической зоны: умеренной холодной	минус 10 –	минус 35 минус 45	– минус 55
Массовая доля серы, %, не более : в топливе вида I в топливе вида II	0,2 0,5	0,2 0,5	0,2 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 см³ 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 коэффици-

енте 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. 6.7), установленный на прочный горизонтальный стол, осторожно наливают испытуемый нефтепродукт, температура которого не должна отличаться от температуры окружающей среды более чем на $\pm 1^\circ\text{C}$. 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.

Температуру нефтепродукта определяют по термометру нефтенсимиетра 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°C , определяется по формуле

$$\rho_{20} = \rho_t + \kappa (t - 20), \quad (6.3)$$

где ρ_{20} и ρ_t – плотность нефтепродукта при 20°C и при температуре измерения; κ – температурная поправка плотности; t – температура испытаний, $^\circ\text{C}$.

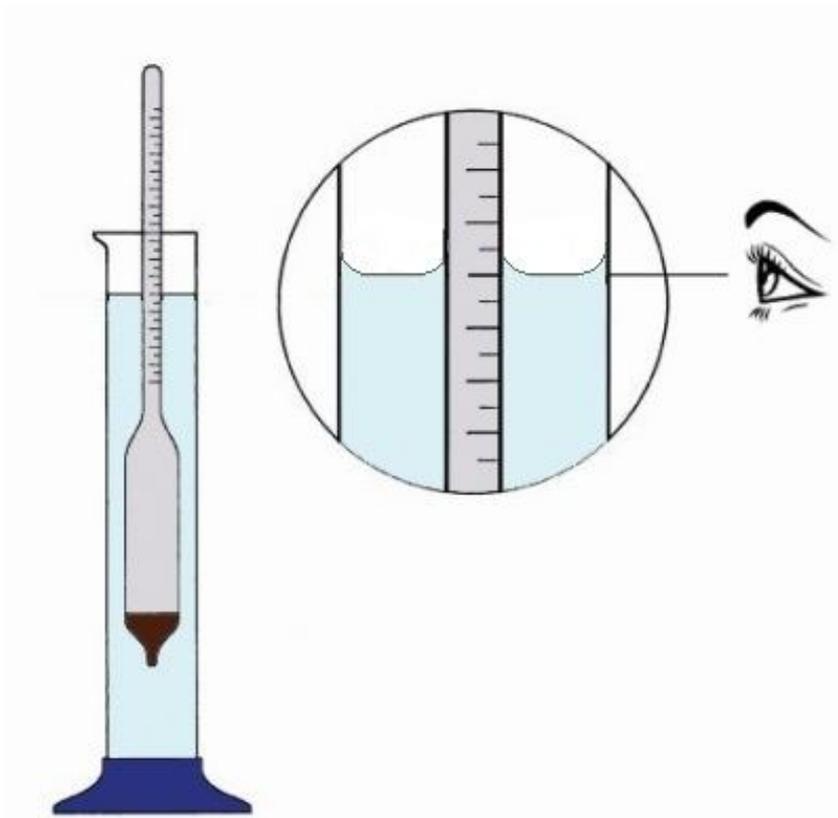


Рис. 6.7. Определение плотности жидкости при помощи ареометра

Среднее значение температурных поправок на плотность нефтепродуктов приведено в табл. 6.4.

Таблица 6.4

**Температурные поправки
к плотности нефтепродуктов**

Плотность топлива ρ_{20} , кг/м ³	Поправка «к»
1	2
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

1	2
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.

Национальный стандарт РФ «Топливо дизельное ЕВРО», ГОСТ 52368 – 2005 [13] предъявляет более жесткие требования к содержанию в топливах примесей, например серы.

В условном обозначении топлива указывают его сорт (А, В, С, D, Е, F) в зависимости от значений предельной температуры фильтруемости (для класса и температуры помутнения), класс (0, 1, 2, 3, 4) и вид топлива в зависимости от содержания серы (I, II, III).

Пример: «Топливо дизельное ЕВРО по ГОСТ Р 52368 – 2005, сорт А, вид I». Сорт А имеет предельную температуру фильтруемости (помутнения) 5 °С. Топливо летнее, вид I, серы не более 0,35 г на 1 кг топлива.

По физико-химическим и эксплуатационным показателям топливо должно соответствовать требованиям, указанным в табл. 6.5.

Таблица 6.5

Требования к дизельным топливам

Показатель	Значение
1. Цетановое число, не менее	51,0
2. Плотность при 15 °С, кг/м ³	820 – 845
3. Содержание серы, мг/кг, не более, для топлива:	
<i>вид I</i>	350,0
<i>вид II</i>	50,0
<i>вид III</i>	10,0
4. Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже	55
5. Зольность, % (по массе), не более	0,01
6. Содержание воды, мг/кг, не более	200
7. Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	2,0 – 4,5

Топливо для умеренных климатических условий должно соответствовать требованиям, указанным в табл. 6.6.

Под предельной температурой фильтруемости топлива, например для сорта «С» – минус 5 °С, понимается температура, при которой оно теряет подвижность и не проходит через фильтр.

Таблица 6.6

Требования к топливу для умеренного климата

Показатель	Значение для сорта					
	A	B	C	D	E	F
Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	5	0	-5	-10	-15	-20

Топливо для холодного и арктического климата должно соответствовать требованиям, указанным в табл. 6.7.

Таблица 6.7

Требования к топливу для холодного и арктического климата

Показатель	Значение для класса				
	0	1	2	3	4
1. Предельная температура фильтруемости, °С, не выше	-20	-26	-32	-38	-44
2. Температура помутнения, °С, не выше	-10	-16	-22	-28	-34
3. Плотность при 15 °С, кг/м ³	800–845	800–845	800–840	800–840	800–840
4. Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	1,5–4,0	1,5–4,0	1,5–4,0	1,4–4,0	1,2–4,0
5. Цетановое число, не менее	49,0	49,0	48,0	47,0	47,0
6. Фракционный состав: до температуры 180 °С, % (по объему), не более	10	10	10	10	10
до температуры 340 °С, % (по объему), не менее	95	95	95	95	95

Топливо должно соответствовать требованиям настоящего стандарта и изготавливаться по технологии, утвержденной в установленном порядке.

Предельная температура фильтруемости (на холодном фильтре) [1] – это температура, при которой данный объем топлива не протекает через проволочную сетку (фильтрующую установку) в течение определенного времени (более 60 с). Топливо полностью не стекает обратно через фильтр в измерительный сосуд.

При данной температуре в дизельном топливе выделяются растворенные парафины (температура помутнения) и оно теряет прозрачность и подвижность.

6.2.3. Топлива для судовых дизелей

На рис. 6.8 показано морское судно в движении.



Рис. 6.8. Общий вид морского транспорта

Судовым называют особый вид дизельного топлива, который используется в энергетических установках судов морского и речного транспорта. До недавних пор существовало более десяти его марок. В настоящее время созданы унифицированные виды: судовое высоковязкое и маловязкое топлива. Они значительно отличаются по свойствам и имеют разную область применения. По сравнению с дизельным топливом в них выше содержание серы, но меньше допустимое количество воды.

По способу получения судовое маловязкое топливо является средним дистиллятным. Его компоненты – прямогонные дистилляты и продукты вторичной перегонки – газойли. Маловязкое топливо используют для дизельных двигателей судов водного и морского транспорта, которые классифицируются как среднеоборотные и высокооборотные, а также для га-

зовых турбин судов. Так как вязкость его низкая, можно подавать данный вид топлива без предварительного подогрева. Оно отличается более низкой температурой замерзания, чем дизельное топливо, имеет сложный состав и специальные присадки.

Высоковязкое топливо подразделяется на три марки: легкое, тяжелое и сверхтяжелое. К тяжелым топливам относятся флотские мазуты. Их сжигают в топках энергетических установок судов, но данный вид горючего отличается от обычных топочных мазутов. Судовое тяжелое топливо имеет меньшую вязкость, более высокую чистоту по содержанию твердых примесей и воды и, следовательно, у него ниже температура застывания.

Для работы судовых дизелей иногда используют флотские мазуты двух марок, которые отличаются вязкостью и допустимым процентом содержания серы. У флотского мазута Ф-5 вязкость при 50 °С равна 37 сСт, а у мазута Ф-12 – 90 сСт. Сера, соответственно, допускается не более 2,0 и 0,6%.

Для получения флотских мазутов используют процесс прямой перегонки нефти, в составе Ф-5 могут использоваться до пятой части добавки продукта вторичной перегонки – керосиновой и газойлевой фракций – либо до 40% добавки дизельного топлива и специальных присадок.

В настоящее время на рынок судового топлива значительное влияние оказывают международные природоохранные организации. Согласно требованиям Международной морской организации действуют ограничения на содержание серы. В зависимости от количества данного элемента существует три вида с массовой долей менее 0,5, 1,0 и 1,5%. Определены зоны в Мировом океане, в пределах которых разрешено сжигание только данного вида топлива.

В табл. 6.8 приведены основные характеристики судовых топлив.

Таблица 6.8

Основные характеристики топлив судовых двигателей

Показатель	Маловязкое	Высоковязкое	
		легкое	тяжёлое
1. Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с, не более	11	–	–
2. Условная вязкость при 20 °С, не более	–	20	40
3. Содержание серы, %, не более	0,5	1,0	1,5
4. Зольность, %, не более	0,02	0,12	0,8
5. Содержание механических примесей, %, не более	0,02	0,1	0,12

Общие указания к выбору и применению топлив

1. Для судовых дизелей должны применяться только те сорта топлива и масла, характеристики которых соответствуют требованиям заводских инструкций по эксплуатации. Эксплуатация дизелей на сортах топлива и масла, заменяющих рекомендуемые заводской инструкцией, может быть допущена только по распоряжению судовладельца на базе положительных результатов эксплуатационных испытаний.

2. Суда с мощностью главной силовой установки более 370 кВт должны иметь переносную экспресс-лабораторию для выполнения анализов топлива и масел. Остальные суда должны снабжаться соответствующими быстродействующими индикаторами.

3. Приемка топлива и масла без сертификатов, характеризующих их качество, категорически запрещается. Срок давности лабораторного анализа на топливо и масло не должен превышать 6 месяцев.

4. При приемке топлива и масла должны быть приняты необходимые меры по предотвращению загрязнения окружающей среды в соответствии с требованиями Международной конвенции по предотвращению загрязнения моря нефтью и других нормативных документов, действующих в данной области.

5. В зависимости от типа дизеля, его мощности, наличия соответствующей системы топливоподготовки и результатов испытаний дизеля рекомендуется применять следующие виды топлива:

– для малооборотных дизелей (до 200 мин^{-1}) – маловязкие топлива типа дизельных дистиллятных (ГОСТ 305–82), средневязкие топлива типа ДТ и высоковязкие топлива типа ДМ (ГОСТ 1667–68), мазут флотский Ф-5 и Ф-12 (ГОСТ 10585–75);

– для среднеоборотных дизелей (до 1000 мин^{-1}) – маловязкие топлива типа дизельных дистиллятных (ГОСТ 305–82) и средневязкие топлива типа ДТ (ГОСТ 1667–68);

– для высокооборотных дизелей (свыше 1000 мин^{-1}) – только маловязкие топлива типа дизельных дистиллятных (ГОСТ 305–82).

6. Для малооборотных дизелей допускается использовать высокосернистые топлива с повышенной исходной вязкостью как отечественных, так и иностранных сортов, соответствующие по своим свойствам мазутам, а также моторные топлива с повышенным содержанием серы. В этом случае суда должны иметь:

– специальные системы подготовки топлива, включающие подогрев, отстой, сепарацию, гомогенизацию;

– системы легкого (дизельного) топлива для пуска дизеля;

- специальную топливную аппаратуру;
- специальные сорта цилиндрических масел.

Согласно **ГОСТ 305-2013** [14] 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 температуре 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. 6.9.

Таблица 6.9

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. *Испаряемость бензинов, связь с давлением насыщенных паров.*
6. *Что называют цетановым числом дизельного топлива, методика его определения?*
7. *Что представляют эталонные топлива цетан и α – метилнафталин?*
8. *Какая связь между цетановым и октановым числом?*
9. *Как влияет цетановое число на жесткость процесса сгорания и экономичность?*
10. *Каковы характеристики дизельных топлив (цетановое число, температура вспышки, помутнения и замерзания)?*
11. *Что называется коэффициентом фильтруемости и кислотным числом?*
12. *Перечислите маркировку дизельных топлив.*
13. *Почему зимнее дизельное топливо можно использовать летом, а летнее нельзя применять зимой?*
14. *В чем главное отличие маловязких и высоковязких топлив для судовых дизелей?*

7. СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ НА ГАЗООБРАЗНОМ ТОПЛИВЕ

*Ш*ирокое 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

*А*втомобильная 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 [15, 16].

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.

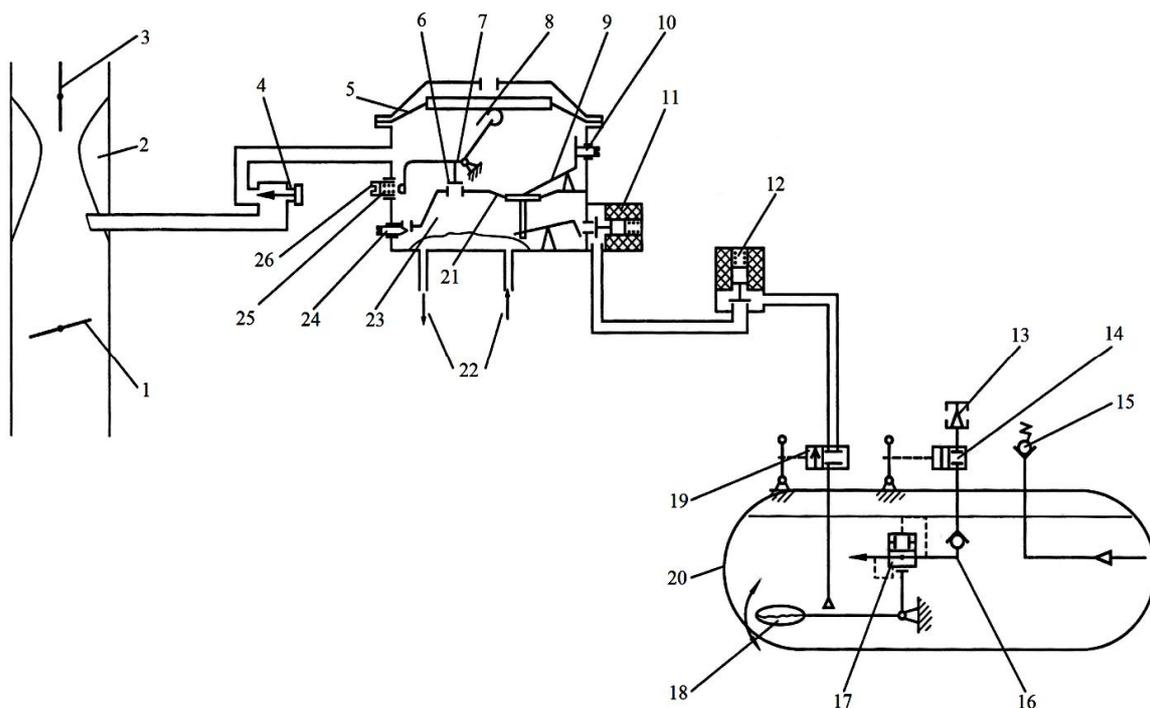


Рис. 7.1. Принципиальная схема питания двигателя на сжиженном газе:

- 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).

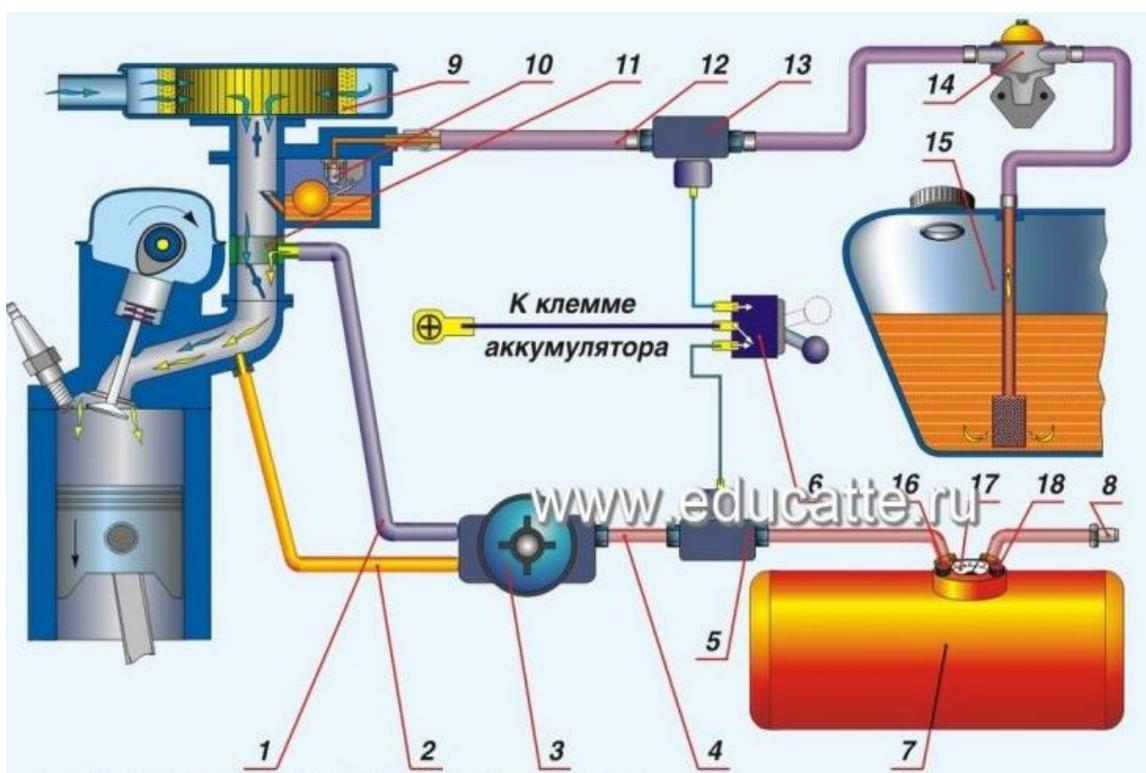


Рис. 7.2. Система питания двигателя на сжиженном газе и бензине с механическим управлением:

- 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 $0,3 - 0,5 \text{ МПа}$.

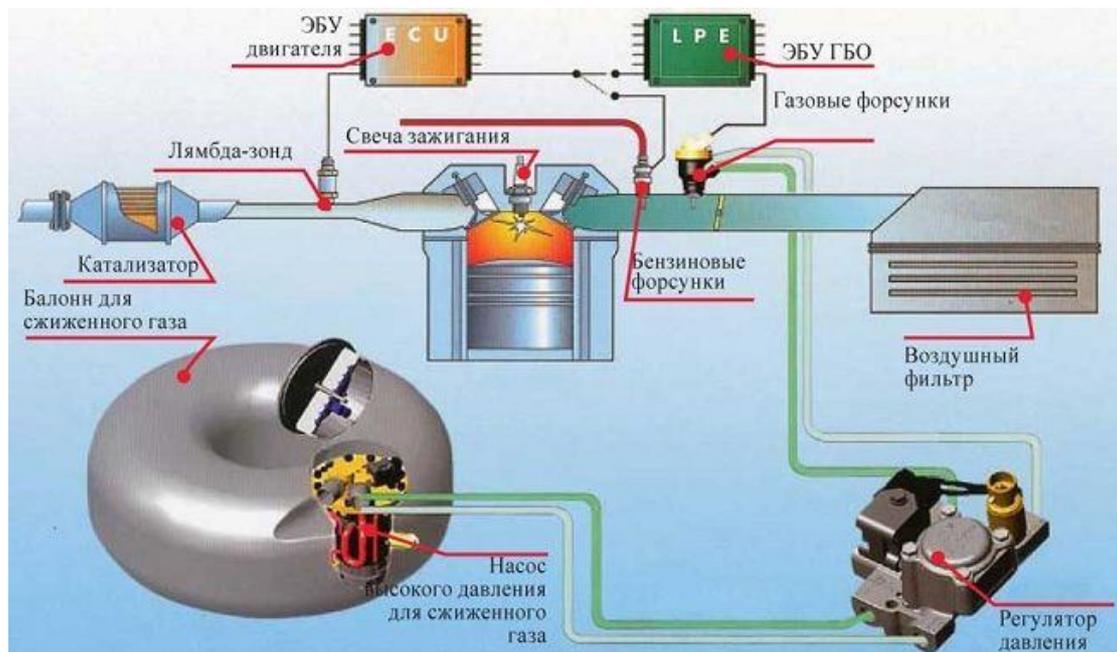


Рис. 7.3. Система питания двигателя на сжиженном газе и бензине с электронным управлением

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.

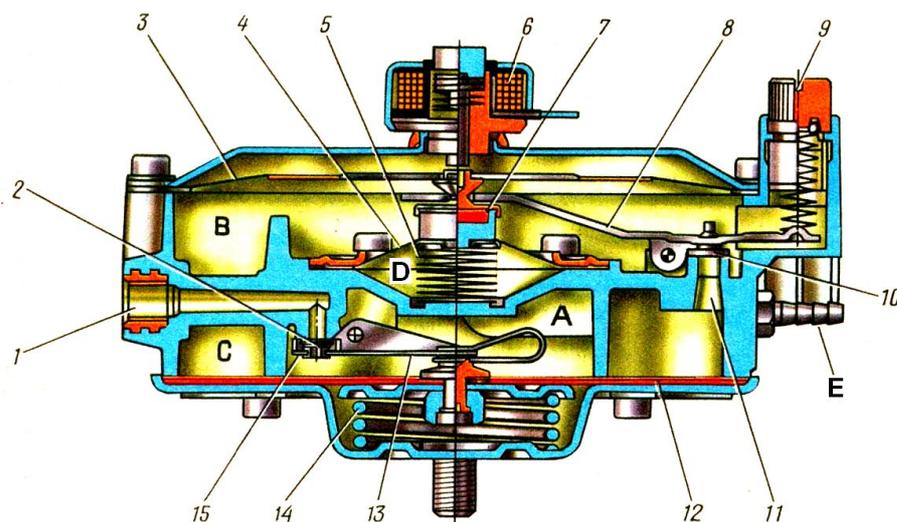


Рис. 7.4. Редуктор – испаритель «Ловато» (Италия):

- 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 устанавливают частоту вращения коленчатого вала двигателя на режиме холостого хода при работе на газе.

7.3. Расчёт газового редуктора

Рассмотрим устройство и расчет газового редуктора (рис. 7.5), техническая характеристика которого дана в табл. 7.3.

Редуктор объединяет в одной сборной единице (узле) первую и вторую ступени редуцирования, разгрузочное устройство, сетчатый газовый фильтр, дозирующее устройство и датчик давления газа. Сетчатый газовый фильтр 4 устанавливается на входе газа в первую ступень 5 редуктора, где давление газа снижается до 0,1 – 0,20 МПа. Давление газа в первой ступени контролируется дистанционным электрическим манометром, который состоит из датчика 3 и указателя в кабине водителя.

Во второй ступени редуктора давление газа снижается до близкого к атмосферному (от + 100 до – 250 Па). Внутри полости второй ступени размещено разгрузочное устройство 2 пневматического типа, соединенное с впускным трубопроводом двигателя. Усилие конической пружины устройства, действующее на мембрану второй ступени редуктора, нейтрализуется при создании в нём разрежения 0,8 – 1,0 кПа.

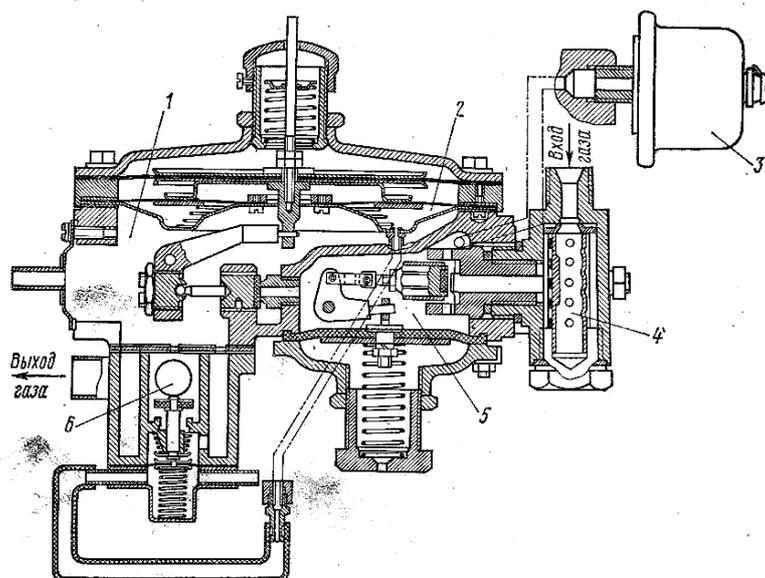


Рис. 7.5. Газовый редуктор:
 1, 5 – вторая и первая ступень; 2 – разгрузочное устройство;
 3 – датчик манометра; 4 – сетчатый фильтр;
 6 – дозирующее экономайзерное устройство

Таблица 7.3

Техническая характеристика газового редуктора

1. Тип клапанов	Плоские	
2. Диаметр отверстия седла клапана, мм	3 мм	
3. Материал уплотнения клапана	Маслобензостойкая резина	
4. Материал диафрагмы	Прорезиненная маслобензостойкая ткань	
5. Номер ступени	Первая ступень	Вторая ступень
6. Толщина диафрагмы, мм	2,0	0,35
7. Рабочий диаметр диафрагмы, мм	75	150
8. Передаточное число рычажной передачи	1,0	3,47
9. Габаритные размеры, мм диаметр, высота	185; 225	
10. Масса, кг	5,15	

Из второй ступени редуктора газ поступает в дозирующее устройство 6, откуда через дозирующие шайбы и выходной патрубок направляется в смеситель. Дозирующие шайбы подобраны для каждого типа двигателя исходя из получения максимальной мощности при полном открытии дроссельных заслонок (регулировка мощности) и наилучшей топливной экономичности при работе двигателя на частичных нагрузках (экономичная регулировка). Проходные сечения дозирующих шайб зависят также от вида применяемого топлива.

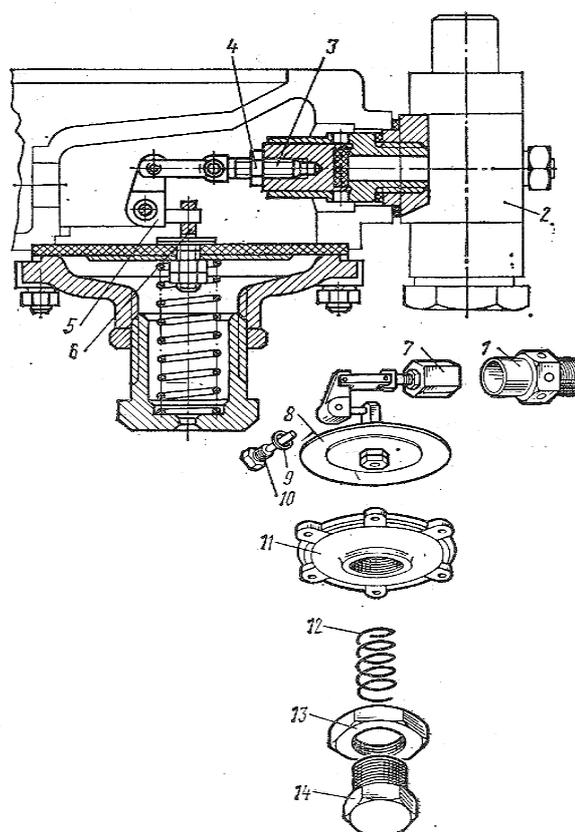
При разборке первой ступени (рис. 7.6) придерживаются такой последовательности. Ослабляют контргайку 13, вывёртывают болт 14 пружины высокого давления и вынимают пружину 12, отвёртывают гайку и снимают нижнюю крышку 11 редуктора. Разъединяют шток мембраны первой ступени с рычажком 5, снимают мембрану 8, вывёртывают ось 10 и вынимают рычажок вместе с клапаном 7, отвёртывают две гайки, снимают фильтр 2 вместе с седлом 1 клапана.

Давление газа (избыточное) в газовом баллоне 1,6 МПа (16 атм) и снижается в первой ступени до 0,1 – 0,2 МПа, во второй – до 0,01 – 0,02 МПа.

Рис. 7.6. Первая ступень редуктора

(в сборе) и её детали:

- 1 – седло клапана;
- 2 – фильтр;
- 3 – регулировочный винт;
- 4, 13 – контргайки;
- 5 – рычажок; 6 – шток;
- 7 – клапан в сборе;
- 8 – мембрана в сборе;
- 9 – прокладка;
- 10 – ось рычажка;
- 11 – крышка; 12 – пружина;
- 14 – седло пружины (регулировочный болт)



Расчёт первой ступени газового редуктора

Определим силу, которая необходима для удерживания плоского клапана в закрытом состоянии при давлении на входе 1,6 МПа, при диаметре отверстия седла клапана 3 мм.

При равенстве плеч рычагов и рабочем диаметре диафрагмы первой ступени редуктора $D_{м1} = 75$ мм определим, какое усилие на мембране необходимо создать, чтобы клапан закрылся при давлении в камере $P_k = 0,1$ МПа.

Выбрав жесткость пружины (например, 70 Н/мм), определим величину предварительного сжатия пружины, чтобы сила пружины была равна силе на мембране при избыточном давлении 0,1 МПа.

1. Определим силу, которая удерживает плоский клапан при перепаде давления на входе $\Delta P = 16 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$.

$$F_1 = \Delta P \cdot S_0 = \Delta P \cdot \pi \cdot D_0^2 / 4 = 16 \cdot 10^5 \cdot 3,14 \cdot 0,003^2 / 4 = 11,25 \text{ Н.} \quad (7.1)$$

2. Определим площадь мембраны 8 первой ступени редуктора

$$S_{M1} = \pi \cdot D_{M1}^2 / 4 = 3,14 \cdot 0,075^2 / 4 = 0,0044 \text{ м}^2. \quad (7.2)$$

3. Определим усилие на мембране 8 от давления $P_k = 0,1 \text{ МПа}$.

$$F_2 = P_k \cdot S_{M1} = 0,1 \cdot 10^6 \cdot 0,0044 = 440 \text{ Н.} \quad (7.3)$$

4. Установим цилиндрическую пружину 12 с жесткостью, которая равна $C = 70 \text{ Н/мм}$. Определим необходимую величину сжатия пружины, чтобы её усилие было равно 440 Н:

$$\Delta x = F_2 / C = 440 / 70 = 6,2 \text{ мм.} \quad (7.4)$$

Таким образом, когда давление в первой камере редуктора превысит 0,1 МПа, то усилие на мембране станет больше усилия на пружине. Начнется прогиб мембраны, она потянет за собой шток 6 (см. рис. 7.6), рычажок 5 повернется и клапан 7 прижмется к седлу 1 (поступление газа в редуктор прекратится).

Расчет второй ступени редуктора выполняется аналогично. Давление на входе во вторую ступень редуктора выбираем равным $P_k = 0,1 \text{ МПа}$, а на выходе из редуктора $P_{\text{вых}} = 0,01 \text{ МПа}$.

Контрольные вопросы и задания

1. Поясните принцип работы системы питания двигателя на сжиженном газе.
2. Как работает система питания на газе с механическим или электронным управлением?
3. Как устроен и работает двухступенчатый газовый редуктор?
4. Назовите преимущества и недостатки работы двигателя на газе.
5. Какова последовательность расчета газового редуктора?

8. 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.

8.1. 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) [17].

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 лет-

нее средней вязкостью 10 сСт для высокофорсированных бензиновых двигателей, M-3₃Г₂ – зимнее, M-3₃/10-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. 8.1). 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 8.1

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. 8.1 показано перетекание зимнего и всесезонного моторных масел с различным классом вязкости в мерную ёмкость за определенное время при температуре – 20 °С. Наибольшей текучестью обладает зимнее масло OW-30. Движение всесезонных масел 10W-40 и 15W-40 прекращается ввиду повышения их вязкости при низкой температуре.

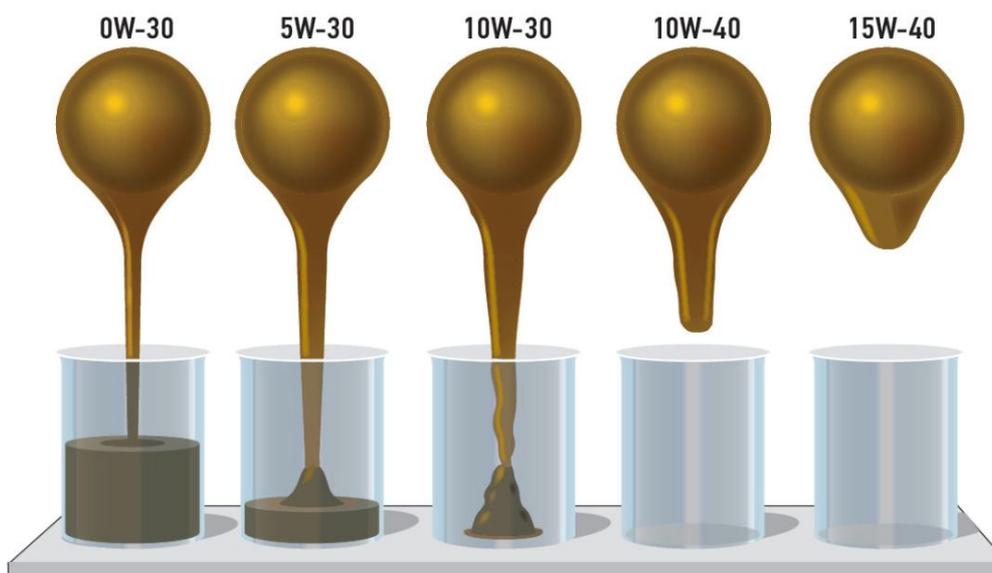


Рис. 8.1. Влияние вязкости моторного масла на характер его движения при температуре $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$

В табл. 8.2 приведены условные обозначения моторных масел по американскому стандарту API и стандарту РФ (ГОСТ 17479.1 – 85).

Таблица 8.2

Группы масел

Россия	A	B ₁	B ₂	B ₁	B 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. 8.3.

Таблица 8.3

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

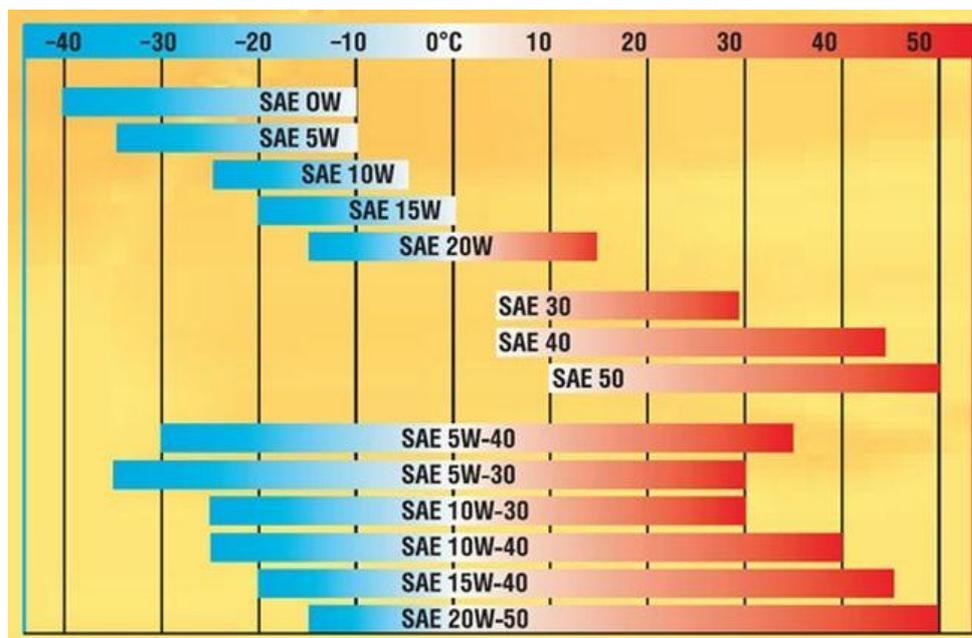


Рис. 8.2. Диаграмма для выбора моторных масел SAE в зависимости от температуры окружающей среды

8.2. Производство моторных масел

*М*азут 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 дистилляты** (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**.

Дистиллятом называют неочищенную нефтяную фракцию, полученную перегонкой. Полученное масло, например, SAE–5W (М-3₃) 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.

8.3. 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 хе-

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

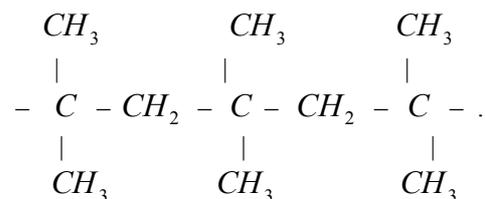
Для изготовления депрессорных присадок используют продукты полимеризации некоторых углеводородов и кислородосодержащих соединений (полиметакрилаты, полиакриламиды). Такие присадки обладают моющими и антикоррозионными свойствами. Добавление 0,5% депрессорной присадки снижает температуру застывания масла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

8.4. 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 C₄H₈ 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» [18] 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

$$ИВ = \frac{v_2 - v_1}{v_2 - v_3} \cdot 100, \quad (8.1)$$

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

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

Величина ИВ может быть определена по номограмме (рис. 8.3).

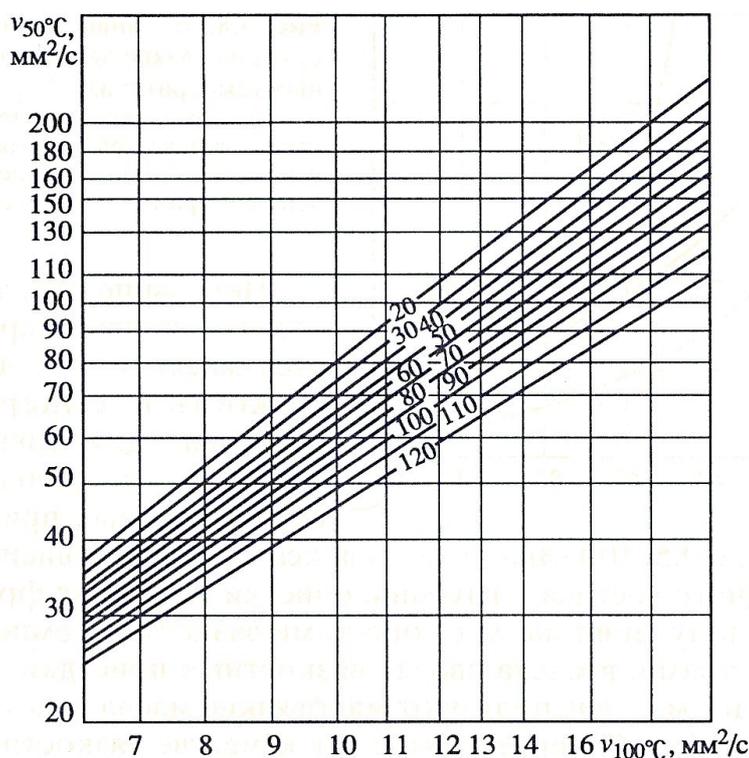


Рис. 8.3. Номограмма для определения индекса вязкости моторного масла

Для этого нужно знать вязкость исследуемого масла при 50 и 100 °С. Для моторного масла М-4з/10-Г₁ вязкость при 50 и 100 °С составила 45 и

10 сСт. Чтобы определить ИВ моторного масла по номограмме, необходимо восстановить перпендикуляры от известных значений вязкости при 50 и 100 °С, и точка пересечения с наклонной прямой на номограмме покажет ИВ для данного масла. Для нашего примера индекс вязкости ИВ = 120.

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 °С), высокую термическую стабильность при практическом отсутствии образования отложений и потерь на испарение, хорошие смазочные свойства.

8.5. Масла моторные для судовых дизелей

М-20 Г₂ СД. Масло моторное М-20 Г₂ СД [19] предназначено для судовых дизелей (СД) различной мощности, а также дизелей и дизель-генераторов общего назначения (ГОСТ Р51907 – 2002). По классу вязкости данное моторное масло соответствует SAE-50, а по эксплуатационным свойствам – примерно группе СС классификации моторных масел по API.

Физико-химические и эксплуатационные показатели моторного масла М-20 Г₂ СД приведены в табл. 8.4.

Физико-химические и эксплуатационные показатели масла

Показатель	Норма
1. Вязкость кинематическая при 100 °С, мм ² /с, не менее	19,0
2. Индекс вязкости моторного масла, не менее	90
3. Щелочное число, мг КОН на 1 г моторного масла, не менее	9,0
4. Сульфатная зольность, %, не более	1,5
5. Массовая доля воды, %, не более	Следы
6. Массовая доля механических примесей, %, не более	0,015
7. Температура вспышки, определяемая в открытом тигле, °С, не ниже	230
8. Температура застывания °С, не выше	- 15
9. Стабильность на пластинках свинца, г/м ² , не более	Отсутствие
10. Плотность, кг/м ³ , не более (при 20 °С)	905
11. Массовая доля активных элементов, %, не менее	Кальция 0,28, цинка 0,06
12. Стабильность по индукционному периоду осадкообразования в течение 60 ч	Выдерживает

Щелочным числом называют количество в мг КОН, необходимое для нейтрализации кислот, содержащихся в одном г масла. Кислотные и сернистые соединения разрушают цветные металлы (вкладыши). При взаимодействии серной кислоты с едким калием ее нейтрализация протекает следующим образом (образуется соль и вода):



В процессе эксплуатации двигателя щелочное число (мг КОН на 1 г) моторного масла уменьшается. Если анализ моторного масла в процессе диагностирования показал, что щелочное число снизилось на 50% и менее, то требуется замена масла.

Рекомендовано к производству и применению по результатам испытаний на двигателях завода «Звезда» (ЧН 16/17, ЧН 18/20), проведенных в 1999–2000 гг., в качестве основного сорта моторное масло М-20Г₂СД. В 2003 г. расширена область применения моторного масла на дизели ДПН 23/2х30, ЧН 40/46 производства ОАО «Русский дизель», а также дизели ОАО «Барнаултрансмаш» типа ЧН15/18. На основании положительных результатов испытаний на дизелях ОАО «Барнаултрансмаш» масло моторное М-20Г₂СД допущено к применению на наземной технике.

Масло М-20Г₂СД применяется взамен как ранее применяемых масел МС-20п, М-20сп, М-20БП, М-20В₂Ф, так и современных масел

М-20В₂СМ и М-20Г₂ на всех типах выпускаемых указанными предприятиями дизелей.

Масло должно изготавливаться в соответствии с требованиями настоящего стандарта по технологии, из сырья и компонентов, используемых при изготовлении образцов, прошедших испытания с положительными результатами и допущенных к применению в установленном порядке.

М-14Г₂ЦС – минеральное моторное масло с композицией высококачественных присадок. Предназначено для циркуляционных систем смазывания главных и вспомогательных дизелей судов морского транспортного, промыслового и речного флотов. Может также использоваться для смазывания ряда судовых механизмов и агрегатов, где необходимо масло соответствующей вязкости (редукторы, компрессоры, воздуходувки). Изготавливается на основе минеральных базовых масел с добавлением эффективной композиции присадок. Базовые масла собственного производства и жесткий контроль качества гарантируют стабильно высокий уровень эксплуатационных характеристик.

Обладает хорошей влагостойкостью, обеспечивает легкое отделение воды при сепарации, обладает хорошими диспергирующими свойствами даже при использовании топлив с повышенным содержанием серы (до 1%), стабильно при высоких температурах, имеет высокий уровень антиокислительных, антикоррозионных и противоизносных присадок. Соответствует требованиям API СС.

Вязкость кинематическая при 100 °С равна 14,2 мм²/с. Индекс вязкости равен 92. Температура вспышки в открытом тигле 238 °С. Температура застывания равна – 16 °С. Щелочное число соответствует 9,28 мг КОН /г. Плотность при 20 °С достигает 0,897 г/см³.

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 и по номограмме?
5. Какой индекс вязкости должно иметь моторное масло при эксплуатации двигателя?
6. Укажите марки моторных масел, применяемые в дизелях судов морского транспортного флота.

9. ТРАНСМИССИОННЫЕ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАСЛА

9.1. 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 $150 \text{ Па} \cdot \text{с}$ 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 другую функцию – изменение и передачу крутящего момента (гидромуфты, гидротрансформато-

ры). 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 [20] производятся трансмиссионные масла пяти групп (табл. 9.1).

Таблица 9.1

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 (ТМ) делятся на 4 основных класса по величине кинематической вязкости (табл. 9.2).

Таблица 9.2

Классы вязкости

Класс вязкости	ν , мм ² /с, при 100 °С	t_{max} , °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. 9.3).

Таблица 9.3

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. 9.4) могут иметь следующие марки.

Таблица 9.4

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. 9.5), летние и всесезонные, которые обозначают: для эксплуатации в зимнее время числовым значением с буквой «з» (например, 9з); для эксплуатации в летнее время только числовым 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 9.5

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%).

9.2. 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. 9.1; 18 – класс вязкости летнего трансмиссионного масла в соответствии с табл. 9.3, 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. 9.1; 9з/18 – класс вязкости всесезонного трансмиссионного масла в соответствии с табл. 9.5, 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 гипоидных 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 мм²/с при 100 °С).

API GL-5, SAE-70W/90 – масло трансмиссионное, 5-й группы, всесезонное, классом вязкости 90 (вязкость 13,5 – 24 мм²/с при 100 °С).

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 общепромышленным 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.

9.3. Гидравлические масла

Гидравлические масла используются в качестве рабочих жидкостей в гидравлических системах дорожно-строительных машин, экскаваторах, подъемных кранах, станках и другой технике.

Рабочая жидкость гидравлических систем должна обладать:

- 1) хорошими смазывающими свойствами;
- 2) минимальной зависимостью вязкости от температуры в требуемом диапазоне рабочих температур (– 50 до + 80 °С);
- 3) низкой упругостью насыщенных паров и высокой температурой кипения;
- 4) нейтральностью к применяемым материалам, особенно к резиновым уплотнениям;
- 5) высоким модулем объемной упругости, малым содержанием растворенного воздуха в масле;
- 6) минимальной токсичностью и длительным сроком службы.

Гидравлическим приводом называют устройство, служащее для привода в движение машин и механизмов путем использования рабочей жидкости, находящейся под давлением. В общем случае гидропривод состоит из источника энергии (насоса), исполнительного механизма (силового цилиндра или гидромотора), а также системы управления потоком жидкости, предохранительных устройств и трубопроводов.

Обозначение гидравлических масел производится в соответствии с ГОСТ 17479.3 – 85. Масла гидравлические. Классификация и обозначение. Состоит из группы знаков, первая из которых обозначается буквами «МГ» (минеральное, гидравлическое); вторая группа знаков – цифрами и характеризует класс кинематической вязкости при + 40 °С (табл. 9.6); третья – буквами и указывает на принадлежность масла к группе по эксплуатационным свойствам (табл. 9.7).

Таблица 9.6

Класс вязкости гидравлических масел

Класс вязкости	Кинематическая вязкость при + 40 °С, мм ² /с
5	4,1 – 5,06
7	6,1 – 7,5
10	9,0 – 11,0
15	13,5 – 16,5
22	19,8 – 24,2
32	28,8 – 35,2
46	41,4 – 50,6
68	61,2 – 74,8
100	90,0 – 110,0

При эксплуатации техники используются следующие гидравлические масла:

Масло веретённое МГ-22-А применяют в различных гидравлических передачах, амортизаторах, гидроусилителях руля, для смазывания узлов и механизмов, работающих в условиях низких температур, а также в станках.

Плотность масла 886–896 кг/м³, температура застывания – 45 °С. Обеспечивает пуск механизма при температуре ниже – 35 °С. Кратковременный верхний предел температуры + 90 °С, оптимальная рабочая температура + (50 – 60) °С. Вырабатывается из низкозастывающей и очищенной нефти.

Масло гидравлическое МГ-22-Б обладает хорошими противокоррозионными и антиокислительными свойствами, содержит до 2% присадок. Обеспечивает пуск гидросистемы без предварительного прогрева при температурах выше $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Максимальная кратковременно допустимая температура масла при эксплуатации $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, оптимальная рабочая температура $+(50 - 60)\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура застывания $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Масло получают из низкозастывающей нефти с добавлением антиокислительной, антикоррозийной, противоизносной присадок.

Таблица 9.7

**Группы гидравлических масел
по эксплуатационным свойствам**

Группа масла	Состав масла	Рекомендуемая область применения
А	Минеральные масла без присадок	Гидросистемы с шестерёчными, поршневыми насосами, работающие при давлении до 15 МПа и температуре масла до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$
Б	Минеральные масла с антиокислительными и антикоррозионными присадками	Гидросистемы с насосами всех типов, работающие при давлении до 25 МПа и температуре масла в объёме более $80\text{ }^{\circ}\text{C}$
В	Минеральные масла с антиокислительными, антикоррозионными и противоизносными присадками	Гидросистемы с насосами всех типов, работающие при давлении свыше 25 МПа и температуре масла в объёме более $90\text{ }^{\circ}\text{C}$

Масло МГ-22-В для гидрообъёмных систем автомобилей производят на основе веретённого масла, в которое добавляют моющую, противоизносную, антиокислительную и противопенную присадки. Масло обеспечивает запуск систем при температурах выше $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ без специального подогрева. Максимальная кратковременно допустимая при эксплуатации температура масла $+125\text{ }^{\circ}\text{C}$, оптимальная рабочая температура $+(50 - 60)\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура застывания $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Масло гидравлическое МГ-15-В используют в средней полосе нашей страны в летний и зимний периоды в качестве рабочей жидкости для гидравлических систем автотехники при температуре масла в диапазоне от -70 до $+50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Максимальная кратковременно допустимая температура масла при эксплуатации $+90\text{ }^{\circ}\text{C}$, оптимальный температурный

режим + (35 – 40) °С, температура застывания – 60 °С. Вырабатывается масло из низкозастывающей нефти с добавлением присадок.

Масло МГ-30У получают из гидравлического масла **МГ-32В** или **МГ-46-В**, в которое добавляют 1,5% присадки ДФ-11, и применяют в объёмных гидроприводах ведущих колёс сельскохозяйственной техники. Масло имеет высокие противоизносные, противозадирные, вязкостные свойства, которые не изменяются в процессе длительной работы на максимальных нагрузочных режимах.

Хорошо зарекомендовало себя гидравлическое масло марки **АМГ-10** (ГОСТ 6794 – 53). Вязкость масла при 50 °С 10 сСт, а при – 50 °С не превышает 800 сСт. Температура застывания масла –70 °С. Пределы рабочих температур от – 60 до + 90 °С. Плотность 900 кг/м³. Данное масло широко используется в гидроприводах летательных аппаратов (авиации) и другой технике.

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 °С?
7. Какие торговые марки трансмиссионных масел вы знаете?
8. Какие марки трансмиссионных масел вы знаете для судовых машин?
9. Что такое гидравлический привод?
10. Какие требования предъявляются к гидравлическим маслам?
11. Назовите область применения и обозначение гидравлических масел.
12. Расшифруйте гидравлическое масло **МГ-22-Б**.

10. ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗКИ

10.1. 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 до $110 \text{ }^\circ\text{C}$;

М – многоцелевая, t от 30 до $130 \text{ }^\circ\text{C}$; Х – химически стойкие;

Н – низкостойкие (морозостойкие), ниже $-40 \text{ }^\circ\text{C}$;

Ж – жаростойкие (термостойкие), более $150 \text{ }^\circ\text{C}$; П – приборные.

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

З. 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. 10.1. Класс консистенции определяют при помощи прибора пенетрометра (рис. 10.1).

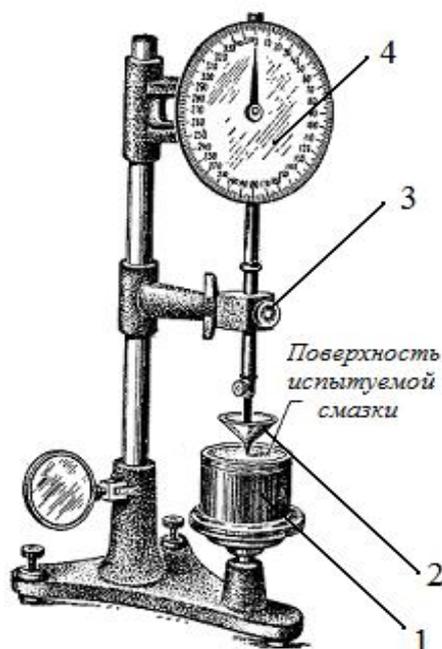


Рис. 10.1. Фото и рисунок пенетрометра:
1 – чаша, наполняемая ПС; 2 – конус массой 150 г;
3 – тормоз; 4 – шкала с делением 0,1 мм

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. 10.1).

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. 10.2), 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).

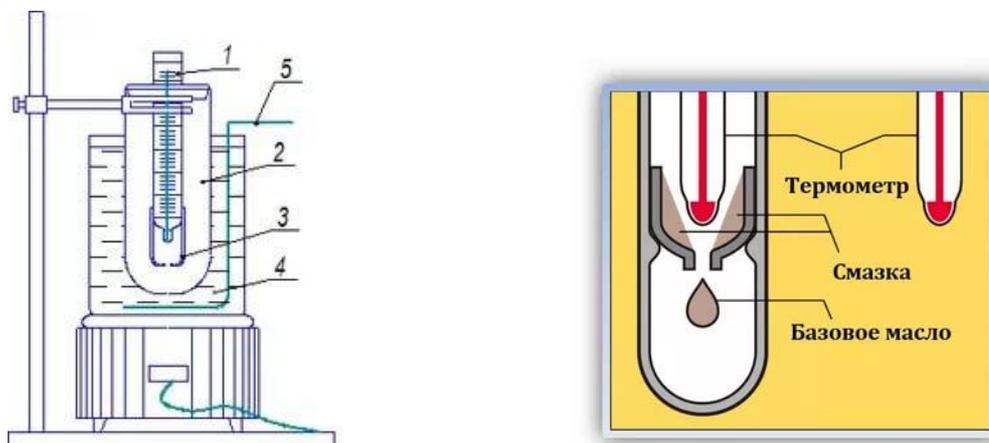


Рис. 10.2. Установка и разрез капсулы для определения температуры каплепадения: 1 – термометр; 2 – пробирка; 3 – капсуль; 4 – стакан с жидкостью; 5 – мешалка

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. 10.2.

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. 10.2 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 10.2

Характеристики пластических смазок

Тип смазки	Класс густоты	Температурный интервал применения	Коллоидная стабильность	Испаряемость	Водостойкость	Смазочные св-ва	Взаимозаменяемость
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).

10.2. Пластичные смазки для судовых двигателей

*П*ластичные смазки, предназначенные для узлов и механизмов судов, контактирующих с морской водой, должны обладать повышенной водостойкостью [21]. Для этой цели применяют пластичные смазки с содержанием алюминия. Ниже приводятся основные характеристики пластичных смазок МС-70 и МЗ для морских судов.

МС-70 (НБа-Ал-Т 5/6 - 3) по ГОСТ 9762–76 – является основной морской морозостойкой смазкой, которая готовится загущением маловязкого масла при помощи церезина, бария (Ба) и алюминия (Ал). Содержит вязкостную присадку из полиизобутилена (МС – морская смазка). В условном обозначении буква Н означает, что пластичная смазка готовится загущением маловязкого нефтяного масла. Буква Т обозначает, что смазка имеет твердые присадки. Данная смазка имеет хорошие низкотемпературные свойства, высокую водостойкость и хорошие защитные свойства. Она предназначена для механизмов, непосредственно соприкасающихся с морской водой, и для забортного оборудования морских судов. Достаточно широко смазку применяют и в наземных машинах, где требуется сочетание морозостойкости и высокой защитной способности. Смазка работоспособна в диапазоне температур от – 50 до + 60 °С. Класс густоты 3.

МЗ (НАл-Т 5/8-3) по ТУ 3.001263–76 – специализированная морозостойкая смазка, предназначенная для механизмов палубного оборудования морских судов (МЗ – морская защитная). Готовится загущением веретенного масла при помощи алюминиевого мыла и церезина, содержит противокоррозионную и вязкостную присадки. По основным свойствам она близка к смазке Лита, но превосходит её по консервационным свойствам. Применяют в узлах трения механизмов, работающих в морской воде и морской атмосфере. Смазка работоспособна в диапазоне температур от – 50 до + 80 °С. Класс густоты 3.

Контрольные вопросы и задания

1. *Что представляют собою консистентные смазки, их состав?*
2. *Каково назначение консистентных смазок?*
3. *Как классифицируются консистентные смазки?*
4. *Что относят к внешним признакам смазок?*
5. *Каким образом можно установить тип загустителя?*
6. *Что называется температурой каплепадения консистентных смазок, для каких целей используется этот параметр?*
7. *Каков порядок определения смазки по внешним признакам?*
8. *Что представляет собою прибор для определения температуры каплепадения консистентных смазок, порядок её определения?*
9. *Какова методика определения класса густоты пластичной смазки?*
10. *Что понимается под числом пенетрации?*
11. *Для какой цели пластичная смазка МС-70 (НБа-Ал -Т 5/6 - 3), предназначенная для морских судов, содержит алюминий?*

11. 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 $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- не должна кипеть при температуре $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- иметь теплоёмкость не менее $4 - 6\text{ КДж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$.

Вода применяется для охлаждения двигателя. Она доступна, не токсична, но замерзает при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 $0,5\text{ мг/л}$;

2) предельные показатели хлоридов в процессе эксплуатации не должны превышать более 200 мг/л , а жёсткость воды – $3,0\text{ мг/л}$.

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. 11.1 дано её сравнение с водой.

Таблица 11.1

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. 11.1 показаны емкости с антифризом марки А-40 и А-65.



Рис. 11.1. 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 ра-

диатора 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 $1078 - 1085 \text{ кг/м}^3$. Тосол марки А-65М получается в результате смешивания 62,4% этиленгликоля и 37,6% воды, его плотность равна $1085 - 1095 \text{ кг/м}^3$.

На рис. 11.2 приведена диаграмма, позволяющая определять температуру кристаллизации, температуру кипения в зависимости от плотности. Дистиллированная вода имеет плотность 1 г/см^3 , температуру кристаллизации (замерзания) $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Пунктиром показано, что при плотности антифриза $1,08 \text{ г/см}^3$ его температура кристаллизации будет равна $40 \text{ }^\circ\text{C}$. В данном антифризе будет примерно 54% этиленгликоля и 46% дистиллированной воды. Температура кипения $140 \text{ }^\circ\text{C}$.

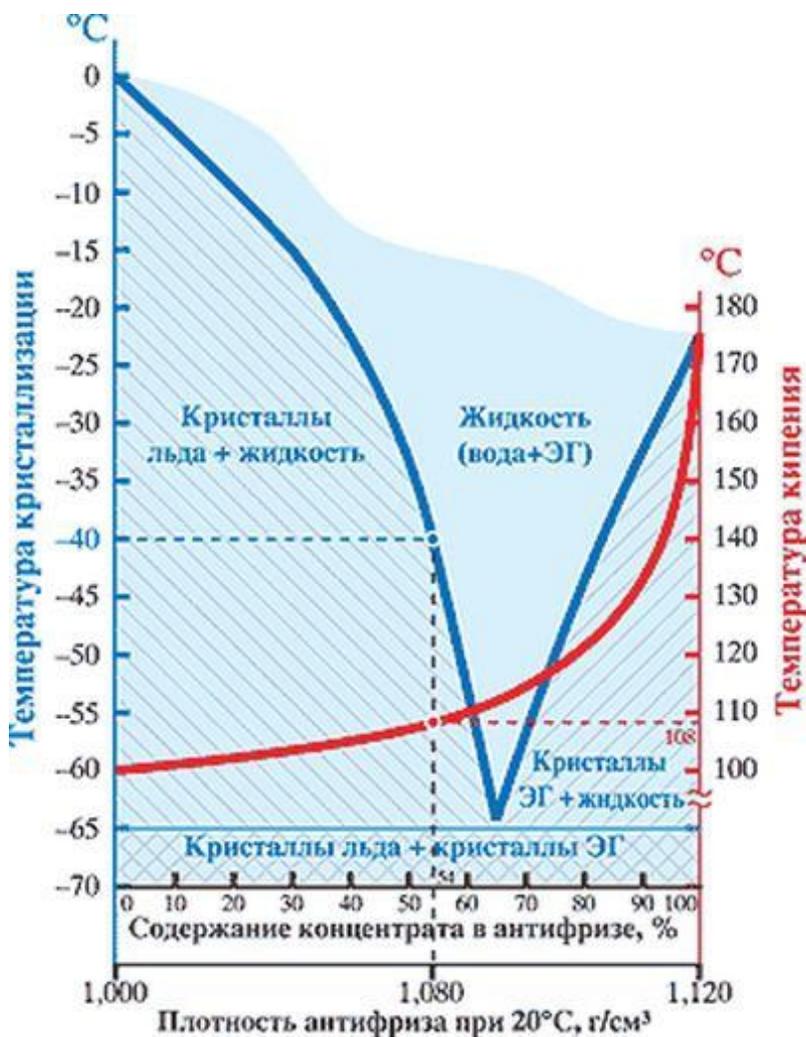
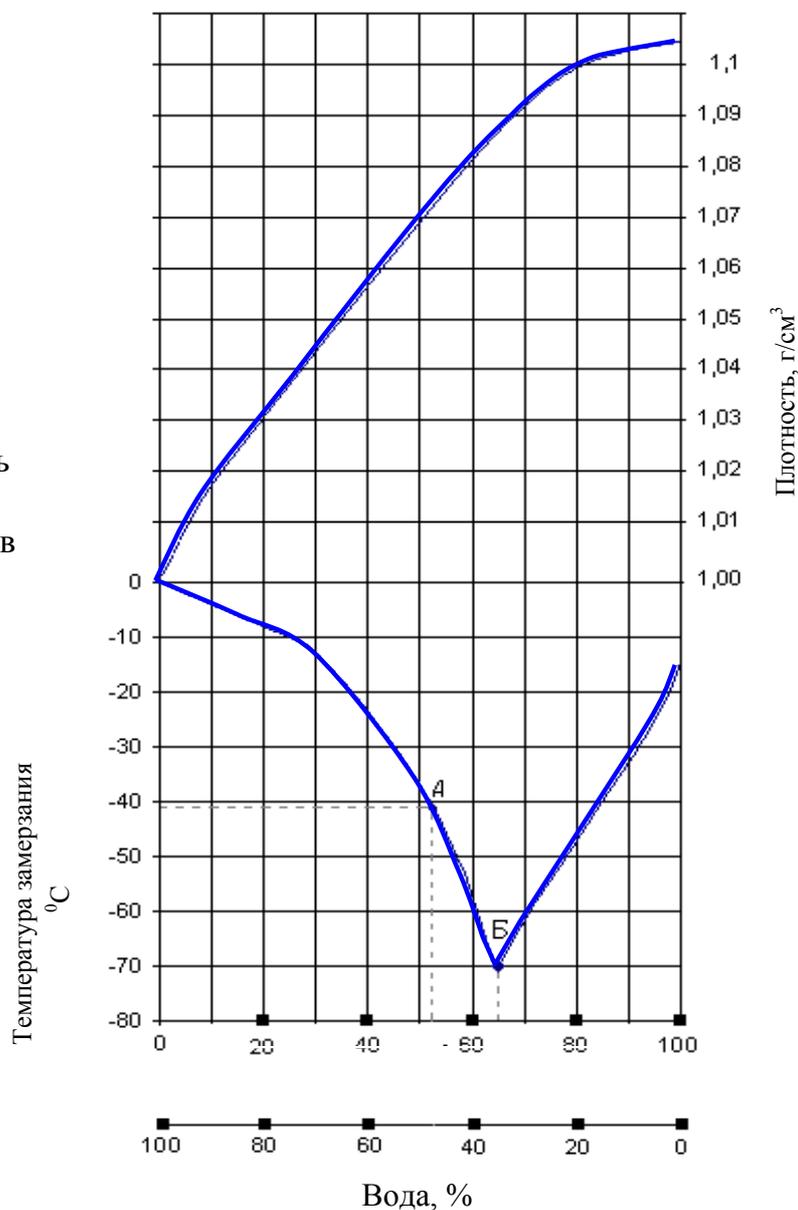


Рис. 11.2. Диаграмма зависимости температуры кристаллизации, кипения от плотности охлаждающей жидкости

На рис. 11.3 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. 11.3. 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».

12. СПЕЦИАЛЬНЫЕ ЖИДКОСТИ

12.1. Жидкости для тормозных систем

На рис. 12.1 приведена схема гидропривода тормозной системы.

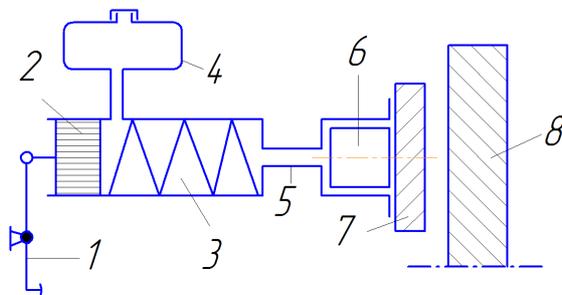


Рис. 12.1. Схема тормозной системы:
1 – педаль; 2 – поршень; 3 – цилиндр;
4 – бачок с тормозной жидкостью;
5 – трубопровод; 6 – рабочий поршень;
7 – тормозная колодка;
8 – диск колеса

При помощи педали 1 поршень 2 перемещается вправо, закрывая отверстие бачка 4, давление в цилиндре 3 повышается, достигая 10 МПа (100 атм). По трубопроводу 5 жидкость под давлением передается на рабочий поршень 6, который прижимает тормозную колодку 7 к диску колеса 8. Усилие торможения определяется по формуле

$$F_{\text{тор}} = p \cdot S, \quad (12.1)$$

где p – давление в цилиндре, Н/м²; S – площадь рабочего поршня, м².

Момент торможения

$$M_{\text{тор}} = F_{\text{тор}} \cdot R, \quad (12.2)$$

где R – средний радиус в зоне трения колодки и диска.

Тормозные жидкости должны:

1. Иметь необходимый уровень вязкости и индекс вязкости.
2. Иметь незначительную сжимаемость.
3. Не разрушать резиновые уплотнения.
4. Иметь высокую температуру кипения (200 – 250 °С).

5. Не изменять свои свойства в течение длительного срока (3 года).

На первых автомобилях применяли тормозную жидкость БСК. Она состояла из 50% бутилового спирта и 50% касторового масла. Данная жидкость обладает хорошими смазывающими свойствами, не разрушает резиновые уплотнения, но имеет низкую температуру замерзания, равную – 20 °С. Позднее появилась жидкость, выполненная на основе двухатомных спиртов $\text{CH}_2\text{OH} - \text{CH}_2\text{OH}$ (гликолевая смесь).

В настоящее время в основном применяют 3 вида тормозных жидкостей (табл. 12.1).

Таблица 12.1

Характеристика тормозных жидкостей

Показатель	«Нева» (СПб)	«Томь» (Кемерово)	«Роса» (Владимир)
Цвет	Желтый	Желтый	От желтого до коричневого
Кинематическая вязкость, мм ² /с:			
при +50 °С	5	5	5
при +100 °С	2	2	2
при – 40 °С	1500	1500	1700
Температура кипения, °С	+200	+215	+260
Область применения	Для всех автомобилей		

На рис. 12.2 показан бачок с тормозной жидкостью и его заправка.

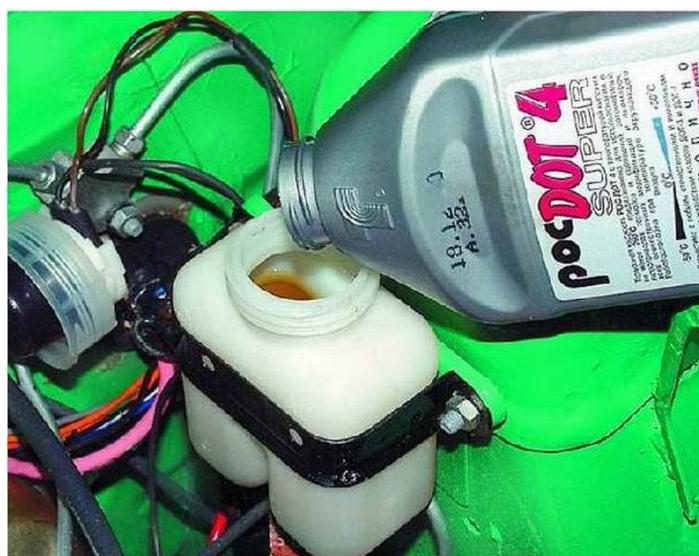


Рис. 12.2. Заполнение бачка тормозной жидкостью

«Нева» – тормозная жидкость на основе 51–59% этилкарбитола, 31–34% диолов, 5% эфиров и 13,5% смесей гликолей и полигликолей, а так-

же имеет вязкостные и противокоррозионные присадки. Имеет цвет от светло-жёлтого до жёлтого. Она рекомендуется для легковых автомобилей с температурой окружающей среды от + 50 до – 50 °С. Плотность при + 20 °С составляет 1012 – 1015 кг/м³. Жидкость огнеопасна, при попадании на кожу вызывает дерматит.

«*Томь*» – состоит из этилкарбитола, боратов, загущающих, антикоррозионных и противоизносных присадок. Имеет цвет от светло-жёлтого до жёлтого, применяется при температуре + 50 до – 50 °С. При температуре окружающего воздуха ниже – 40 °С допускается добавка до 20% этилового спирта.

«*Роса*» – тормозная жидкость на основе боросодержащих олигомеров алкиленоксидов, в которую введены антиокислительная и антикоррозионная присадки. Применяется при температуре окружающей среды в диапазоне от + 50 до – 50 °С. Цвет от светло-жёлтого до светлокоричневого. Жидкость «Роса DOT-4» превосходит тормозную жидкость «Роса» по эксплуатационным свойствам.

При обозначении тормозных жидкостей встречается слово DOT. Оно расшифровывается как департамент транспорта США. Данный департамент разрабатывает требования к характеристикам тормозных жидкостей. Так, DOT-3 является традиционной тормозной жидкостью и используется в большинстве транспортных средств. Тормозную жидкость DOT-4 применяют в большинстве серийных автомобилей. DOT-5 считается лучшей тормозной жидкостью, она в отличие от тормозных жидкостей DOT-3 и DOT-4 не поглощает влагу. Но DOT-5 нельзя смешивать с DOT-3 и DOT-4.

В процессе эксплуатации тормозных жидкостей температура кипения снижается, что может привести к образованию паровых пробок и выходу из строя тормозной системы. Предельная температура кипения может достичь у «Невы» – через год эксплуатации, у «Томи» – через 2 года, у «Росы» – через 3 года.

12.2. Жидкости для амортизаторов

*А*мортизатор (от фр. *смягчать*) применяют для гашения колебаний при движении автомобиля. В качестве жидкости используют маловязкие масла (трансформаторное, турбинное и веретенное).

Температура амортизаторных жидкостей может изменяться в широких пределах, например, $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ в северных районах, до $+(120 - 140)\text{ }^{\circ}\text{C}$ при работе. Давление жидкости в амортизаторах достигает $8 - 12\text{ МПа}$. Основное требование к амортизаторным жидкостям – оптимальная вязкость с минимальными изменениями во всём рабочем диапазоне температур.

На рис. 12.3 показан общий вид амортизатора автомобиля. Амортизатор имеет пружину, шток с поршнем, цилиндр и уплотнения. Для перетекания жидкости из одной полости в другую в поршне выполнены сквозные отверстия определенного диаметра.



Рис. 12.3. Общий вид амортизатора

МГП-10 (масло гидравлическое с присадками, вязкостью 10 сСт при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) – смесь маловязкого трансформаторного масла и синтетической полиэтилсилоксановой жидкости. Для улучшения эксплуатационных свойств используется кашалотовый жир, полимерная депрессорная, а также антиокислительная и антипенная присадки. Застывает жидкость при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

АЖ-12Т (амортизационная жидкость, 12 сСт при $50\text{ }^{\circ}\text{C}$) – фракция трансформаторного масла, загущена полиэтилсилоксановой жидкостью с добавлением противоизносной и антиокислительной присадок. Температура застывания – $55\text{ }^{\circ}\text{C}$, что обеспечивает мягкую работу амортизаторов в любое время года. Это прозрачная жидкость от светло-жёлтого до светло-коричневого цвета.

12.3. Пусковые жидкости

Для облегчения пуска двигателя при температурах ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ применяют жидкости, состав которых приведен в табл. 12.2.

Используют пусковые жидкости для бензиновых и дизельных ДВС. В состав жидкости «Арктика» для бензиновых двигателей входит не более 2,5% смазочного масла, что обусловливается недопустимостью попадания его на электроды свечей, которые при большом количестве масла становятся неработоспособными.

Таблица 12.2

Состав пусковых жидкостей

Компонент	«Арктика» (бензиновый),%	«Холод Д - 40» (дизель),%
Диэтиловый эфир, $\text{C}_2\text{H}_5 - \text{O} - \text{C}_2\text{H}_5$	54–56	58 –62
Газовый бензин	38–43	13 – 17
Турбинное масло	1,5 – 2,5	9 –11
Изопропилнитрат, $(\text{CH}_3)_2 \text{CH} - \text{O} - \text{NO}_2$	2–4	13 – 17

Диэтиловый эфир хорошо воспламеняется при низких температурах, а изопропилнитрат ускоряет самовоспламенение.

Пусковые жидкости выпускаются в ампулах по 20 см^3 . Пусковые жидкости должны иметь хорошую испаряемость при низкой температуре, быструю воспламеняемость от искры или самовоспламеняться от сжатия, высокие антикоррозийные и противоизносные свойства, низкую температуру застывания, стабильность при длительном хранении. Последовательность воспламенения пусковой жидкости – диметиловый эфир, газовый бензин, изопропилнитрат, топливо.

Пусковая жидкость в распыленном виде вводится во впускную трубу двигателя. В состав пусковой жидкости в качестве основного компонента входит эфир (этиловый или диэтиловый), обладающий хорошей испаряемостью в смеси с маловязким маслом для двигателей, веретенным маслом или другими маслами. Пусковые жидкости вводятся при помощи пускового устройства.

Для подачи пусковой жидкости используют специальную систему с механическим или электрическим приводом (рис. 12.4).

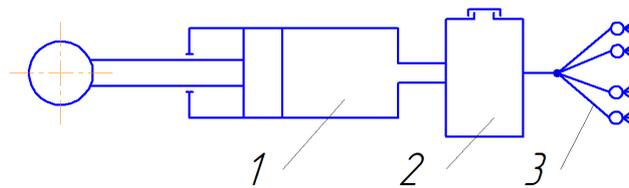


Рис. 12.4. Схема пусковой системы:

- 1 – насос для подачи воздуха;
- 2 – эмульсатор (жидкость + воздух);
- 3 – форсунки, через которые подаётся пусковая жидкость

Для быстрого запуска двигателя при отрицательных температурах возможно применение аэрозолей. Пусковую жидкость в распыленном виде подают на вход во впускную систему двигателя. Она захватывается воздушным потоком и вместе с топливом поступает в камеру сгорания двигателя и ускоряет его запуск (рис. 12.5).



Рис. 12.5. Баллончик с пусковой жидкостью и его применение при запуске двигателя

Контрольные вопросы и задания

1. Как работает тормозная система автомобиля?
2. Дайте характеристику тормозным жидкостям, которые применяются в современных автомобилях.
3. Каковы требования к амортизационным жидкостям, перечислите их марки.
4. Перечислите состав пусковых жидкостей «Арктика» и «Холод».
5. Как работает устройство для подачи пусковой жидкости в камеру сгорания двигателя?

13. 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 гл. 7.

13.1. 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 NH₃. Его можно рассматривать как энергоноситель, обеспечивающий при его термическом разложении в камере сгорания получение водорода:



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. 13.1. Вместо водорода можно подавать газ с большим содержанием водорода, например метан, а вместо кислорода – воздух.

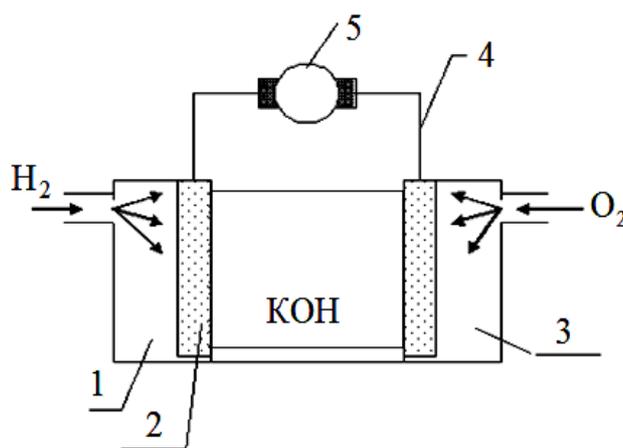
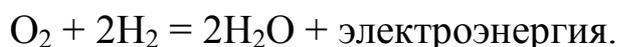


Рис. 13.1. Принципиальная схема топливного элемента

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.

13.2. 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 двигатели, 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/м³ (для сравнения у бензина 100 мг/м³). Попадание в организм свыше 10 мл метанола может окончиться тяжёлым отравлением. Смертельная доза 30 мл. При длительном контакте с метанолом возможно хроническое отравление, сопровождаю-

шееся 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. 13.1.

Таблица 13.1

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. 13.2 представлено строение молекул метилового и этилового спиртов.

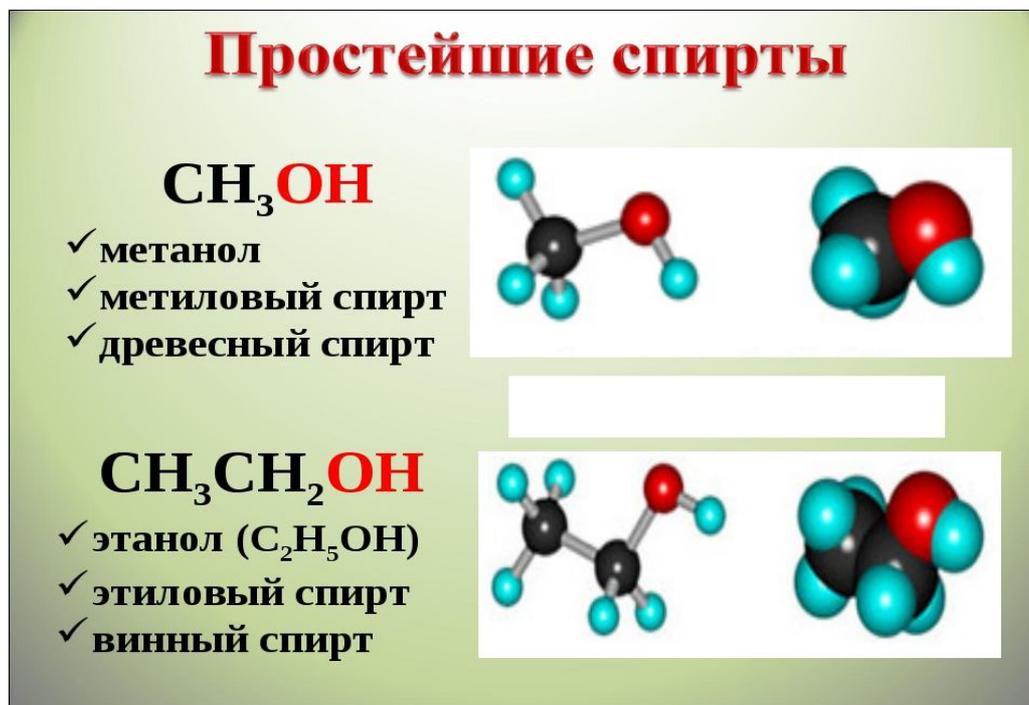


Рис. 13.2. Строение молекул метилового и этилового спирта

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 л этанола, или 60% мирового объема производства, а США – 8 млрд.

Как отличить метиловый спирт (яд) от этилового (винный спирт)? **Это вопрос жизни и смерти.** Плотность (см. табл. 13.1) у них 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.

13.3. 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. 13.2 приведены сравнительные физико-химические показатели рапсового масла и зимнего дизельного топлива.

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

13.4. 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. Использование 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. *Укажите 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.*

14. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ И ТОПЛИВ ДЛЯ АВТОМОБИЛЕЙ

14.1. Нормирование расхода моторного масла

Экономия моторного масла в двигателе можно достичь сокращением расхода «на угар», предотвращением порчи и загрязнения масел.

При заправке необходимо следить, чтобы совместно с маслом не поступали грязь и вода. Для этого следует очищать пробки заливных отверстий от грязи, пользоваться чистыми заправочными средствами.

Расход масел при эксплуатации составляет от расхода топлива для бензинового двигателя не более 3%, для дизеля – 5%.

На новом обкатанном двигателе расход масла минимальный. По мере износа двигателя, и прежде всего гильз цилиндров, поршневых колец, поршневых канавок, подшипников и шеек коленчатого вала, расход масел увеличивается.

Для снижения токсичности отработавших газов часть их снова направляют в цилиндры (рециркуляция газов), в таких системах расход масла на угар увеличивается.

К такому же результату может привести выход из строя направляющих и сальников клапанов, пригорание и залегание поршневых колец. Существенное влияние на расход масел оказывают чистота отверстий в поршне для отвода масла и состояние вентиляции картера. Если отводящие отверстия в поршне забиты отложениями, масло хуже удаляется со стенок цилиндра и значительная часть его сгорает. Одновременно идёт более быстрое загрязнение масла в картере продуктами сгорания.

Повышение теплового режима двигателя приводит к увеличенному «угару» масла. При этом также идёт более интенсивное окисление масла и ухудшение его качества.

Существенное влияние на расход масла оказывает его уровень в поддоне картера: при уровне выше нормы помимо прямого перерасхода происходит ухудшение качества масла; при недостатке – трущиеся детали быстрее изнашиваются, а масло быстрее загрязняется.

Угар масла определяют так: заливают необходимое количество масла, автомобиль проходит определенный путь, сливают масло и определяют разницу. Это и есть угар. Угар масла происходит в основном из-за его сгорания в цилиндре двигателя (90%), испарения (легкие фракции), уте-

чек и выброса через систему вентиляции. Угар зависит от состояния цилиндропоршневой группы (износа цилиндра, колец, втулки и стержня клапанов), вязкости масла, режима и условий работы двигателя.

Расход масла на угар определяют по формуле

$$G_M = k \cdot G_T, \quad (14.1)$$

где G_T – расход топлива; k – нормативный коэффициент.

Для лучших автомобилей $k = 0,001 - 0,003$. Для автомобиля «Жигули» $k = 0,008$, а фактически $k = 0,003 - 0,005$.

Обычно смену масла производят через 10 000 км, а для более качественных масел – через 20 000 км пробега. Выбраковку масла желательно производить по анализу его фактического состояния. На его состояние влияют вязкость, наличие воды, температура вспышки, щелочное число, наличие механических примесей. Чем выше температура вспышки масла, тем меньше в нем легких фракций, тем меньше угар моторного масла.

В табл. 14.1 даны предельные значения для выбраковки масла.

Таблица 14.1

Критерии выбраковки моторных масел

Показатель	Бензиновый двигатель	Дизель
1. Изменение вязкости, %:		
рост	35%	35%
снижение	25%	25%
2. Снижение температуры вспышки, не менее 190 °С	20%	20%
3. Содержание воды, не более, %	< 0,1	< 0,1
4. Щелочное число, мг КОН /г (6 – 8 мг/г)	Уменьшение до 50%	Уменьшение до 50%

Признаки старения масла

В процессе работы моторного масла в двигателе внутреннего сгорания его свойства изменяются, оно стареет по следующим причинам:

1. Срабатываются присадки, например, моющие способствуют потемнению масла, загущающие присадки разрываются на более мелкие молекулы, вязкость масла уменьшается.

2. Уменьшается индекс вязкости, ухудшается его работа при отрицательных температурах.

3. Масло окисляется, молекулы масла соединяются с кислородом O_2 воздуха, темнеют с образованием смолистых веществ.

4. Загрязняется механическими примесями и продуктами сгорания топлива и частицами износа двигателя.

5. Образуется вода, способствующая коррозии и разрушению присадок.

Норма расхода моторных и трансмиссионных масел устанавливается на 100 л общего расхода топлива. Расход масел снижается на 50% для новых автомобилей до трех лет эксплуатации. Норма расхода увеличивается на 20%, если автомобиль эксплуатировался более 8 лет. В табл. 14.2 приведены нормы масел и смазок для автомобилей.

Таблица 14.2

Норма расхода эксплуатационных материалов

Марка	Моторное масло, кг	Трансмиссионное масло, кг	Специальное масло, кг	Пластичные смазки, кг
ВАЗ	0,6	0,1	0,03	0,1
ЗИЛ	2,2	0,3	0,1	0,2
КамАЗ	2,8	0,4	0,15	0,35

14.2. Нормирование расхода топлива

На автомобильном транспорте применяют следующие виды **норм расхода топлива** [1, 22]:

1) **линейные** – определяют расход топлива в процессе передвижения автомобиля или автомобиля с грузом;

2) **на работу спецоборудования** (печь отопления в автобусе 3 л/ч);

3) **на единицу выполненной работы** (спецмашины, например работа по разбросу песка на базе автомобиля КамАЗ –5320 – 6 л/ч).

Линейные нормы расхода устанавливают для каждой марки автомобиля и подразделяют на два основных вида: базовая норма на 100 км пробега автомобиля в литрах; норма на 100 т·км транспортной работы, учитывающая дополнительный расход топлива при движении автомобиля с грузом.

На рис. 14.1 и 14.2 показан общий вид легкового и грузового автомобилей.



Рис. 14.1. Автомобиль Лада – Калина, мощность двигателя 72 кВт



Рис. 14.2. Самосвал КамАЗ - 6520 грузоподъемностью 20 т,
мощность двигателя 235 кВт

В табл. 14.3 приведены линейные нормы расхода бензина на 100 км пробега для некоторых отечественных и зарубежных легковых автомобилей [22].

Нормы расхода топлива на 100 км пробега

Тип автомобиля	Линейная норма, л/100 км
ВАЗ- 2106, (4L – 1,45)	9
ВАЗ- 11183, Лада –Калина (4L – 1,6)	8,4
УАЗ – 31514, (ЗМЗ – 40210, 4L – 2,44)	15,5
ГАЗ – 3102,(Toyota, (4L – 2,7)	11,2
Audi A6, (4L – 1,98)	9,4
BMW 316 i, (4L – 1,6)	7,7
BMW 725 TDS, (6L – 2,5)	10,1

Для легковых автомобилей нормируемое значение расхода топлива с учетом пробега и условий эксплуатации определяется по формуле

$$Q_{л} = 0,01 \cdot H_{л} \cdot S \cdot (1 + 0,01 \cdot D), \quad (14.2)$$

где $Q_{л}$ – нормируемый расход топлива, л; $H_{л}$ – линейная норма расхода, л/100 км; S – пробег автомобиля, км; D – поправочный коэффициент, %, учитывающий условия эксплуатации.

Значение коэффициента D в зависимости от работы автомобиля в городах с численностью населения до 0,25 млн – 10%; от 0,25 до 1,0 млн – до 15%; от 1,0 – до 3,0 млн – до 20%; более 5,0 млн – до 35%.

Если автомобиль эксплуатируется в зимнее время: центральные районы – до 10%; северные – до 15%; Крайний Север – до 20%.

Работа в тяжелых дорожных условиях – до 20%, работа автомобиля в качестве автобуса с высадкой пассажиров – до 10%.

Для отечественных и зарубежных грузовых автомобилей линейная норма расхода топлива и нормы расхода на перевозку груза приведены в табл. 14.4.

Расход топлива при транспортировке груза находят по формуле

$$Q_{т} = Q_{л} + 0,01 \cdot H_{т} \cdot M_{г} \cdot S_{г} \cdot (1 + 0,01 \cdot D), \quad (14.3)$$

где $Q_{л}$ – линейный расход топлива на пробег автомобиля с учетом условий эксплуатации [см. формулу (14.2)], л; $H_{т}$ – норма расхода топлива на перевозку груза (1,3 л дизели, 2 л бензиновые двигатели на 100 т · км); $M_{г}$ – масса груза, т; $S_{г}$ – пробег автомобиля с грузом, км.

Для специальных машин дополнительно учитывают норму на работу. Например, для разбрасывателя песка КО-105 на базе КамАЗ –5320 линейная норма на пробег составляет 25 л/100 км (проезд до места работы),

а норма на работу – 31 л/100 км (расход на передвижение и выполнение работы по разбросу песка).

Таблица 14.4

Норма расхода топлива для грузовых автомобилей

Тип автомобиля	Линейная норма, л/100 км	Норма на перевоз груза, л/100 т·км
КамАЗ - 4310	31	1,3
КамАЗ –5320	25	1,3
КамАЗ –532132	26,3	1,3
КамАЗ – 6520 (самосвал)	45,5	1,3
ЗИЛ – 534330 (ЯМЗ 236А)	20,5	1,3
«Урал – 355»	30	1,3
МАЗ – 53362 (ЯМЗ -238)	23,5	1,3
Mercedes Benz 813 D, (4L – 2,3)	14,1	1,3
Volvo F10, (L6 – 9,6)	20,9	1,3
Ford Transit 350, (4L – 2,4)	10,2	1,3

Контрольные вопросы и задания

1. Что называют угаром масла, от чего он зависит, нормы угара масла?
2. Каковы признаки старения моторного масла?
3. Что называют линейной нормой расхода топлива, укажите его значение для легковых автомобилей.
4. Как определяется линейный расход топлива, расход топлива на работу спецоборудования?
5. Как определяется для спецмашин линейная норма расхода топлива на передвижение до места работы и норма на выполненную работу?

15. ВЛИЯНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ НА ЧЕЛОВЕКА И ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

15.1. Экологическая безопасность

К экологической безопасности относят свойства нефтепродуктов оказывать влияние на окружающую среду, например загрязнение воздуха отработавшими газами двигателей, пожароопасность и взрывоопасность.

Нефть – это черное золото, и государство, владеющее большими запасами нефти и газа, по праву считается богатым. Однако в результате добычи большого количества нефти, ее переработки и использования нефтепродуктов в технике человечество стало ощущать негативные влияния, которые проявляются в следующих областях [1]:

Изменение химического состава атмосферы и ее потепление. Загрязнение почвы и воды нефтепродуктами. Токсическое последствие воздействия топлив на людей при непосредственном контакте. Загрязнение воздуха городов токсичными веществами, содержащимися в отработавших газах двигателей. Пожарная и взрывная опасность топлив.

Двигатели внутреннего сгорания являются основными потребителями углеводородного топлива, при сгорании которого расходуется кислород и выделяется двуокись углерода CO_2 . В результате концентрация этого вещества в атмосфере Земли постоянно возрастает, что может привести к изменению соотношения между поглощённой и отражённой Землёй энергией Солнца и вызвать глобальные изменения климата и катастрофы.

Попадание нефтепродуктов на почву вызывает изменение её структуры, химического и микробиологического состава, что приводит к гибели растений. Восстановление производительной способности загрязнённой почвы проходит очень медленно, например, урожайность и качество сельскохозяйственных земель восстанавливаются через 10 лет.

При попадании нефтепродуктов в воду они растекаются, образуя плёнку. Небольшие количества нефтепродуктов покрывают громадные площади воды, например, 1 т нефти покрывает плёнкой 10 км^2 водной поверхности. Эта плёнка нарушает условия теплообмена водного бассейна с атмосферой, что влияет на климат планеты, вызывает загрязнение и гибель водной растительности и живых организмов.

Большинство нефтепродуктов легко проникает в организм даже через неповреждённую кожу, вызывая нарушение обменных процессов.

Основное токсичное воздействие оказывают пары топлив, поэтому дизельные топлива менее токсичны, чем бензины.

В процессе сгорания топлива в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания образуются токсичные (вредные) вещества:

- окись углерода CO (угарный газ);
- оксиды азота NO, NO₂, N₂O₄, N₂O₅, NO_x;
- несгоревшие углеводороды и продукты их термического разложения C_nH_m;
- сажа; оксиды серы SO₂, SO₃; альдегиды.

Окись углерода является продуктом неполного окисления углерода.

Он образуется в основном при горении с недостатком воздуха ($\alpha < 1$). Длительное пребывание в среде с концентрацией CO до 650 мг/м³ вызывает потерю сознания. Пребывание в среде с концентрацией более 2000 мг/м³ приводит к острым отравлениям и возможному смертельному исходу.

Содержащиеся в отработавших газах *углеводороды* C_nH_m (топливо) представляют собой смесь многих химических соединений. Их содержание в отработавших газах вызывает злокачественные опухоли и изменяет наследственность человека.

Альдегиды и другие продукты неполного окисления топлива образуются при нарушении процессов сгорания смеси, связанных с прекращением реакции горения на этапе образования промежуточных продуктов. Это может происходить в зонах камеры сгорания с обеднённой или обогащённой рабочей смесью, на режимах запуска или прогрева двигателя.

Сажа является продуктом пиролиза и крекинга топлива. Этот процесс происходит в результате высокотемпературного нагрева топлива при недостатке кислорода.

Образование **оксидов азота** NO_x непосредственно не связано с реакциями горения топлива и обусловлено процессами диссоциации и цепных реакций кислорода и азота в условиях высоких температур и давлений, при которых молекулы азота и кислорода разлагаются на атомы.

Оксиды серы SO₂ и SO₃ появляются в отработавших газах из-за применения топлив, недостаточно очищенных от соединений серы, которые содержались в нефти. Оксиды серы оказывают вредное влияние на живые организмы, замедляют и даже прекращают рост растительности, увеличивают заболеваемость и сокращают продолжительность жизни человека. Оксиды серы при соединении с влагой образуют серную и сернистую кислоты, вызывающие повышение кислотности атмосферы и водоёмов, интенсивную коррозию металлических конструкций.

В среднем современный автомобиль в течение года эксплуатации выделяет в окружающую среду до 1000 кг окислов углерода, более 100 кг углеводородов и 40 кг оксидов азота. Более 80% токсичных веществ, загрязняющих атмосферу городов, выделяют двигатели внутреннего сгорания.

Для снижения токсичности отработавших газов применяют нейтрализаторы и дожигатели, в которых продукты неполного сгорания дожигаются в присутствии катализатора или без него.

15.2. Пожарная и взрывная опасность нефтепродуктов

Пожарная опасность топлива определяется его огнеопасностью и взрывоопасностью. Пожарная опасность характеризуется следующими показателями качества: температурой вспышки, температурой воспламенения и самовоспламенения, предельной концентрацией смеси паров топлива с воздухом, в пределах которой смесь взрывоопасна (верхний и нижний пределы).

Температура вспышки нефтепродукта – это минимальная температура, при нагревании до которой над поверхностью образуются смесь его паров и воздуха, способная вспыхивать при поднесении открытого пламени (например, огня спички). Она зависит от фракционного состава топлива. Эта температура тем ниже, чем больше в топливе низкокипящих углеводородов и выше давление насыщенных паров. В табл. 15.1 представлены температуры вспышек различных эксплуатационных материалов. Следует отметить, что любой вид жидкого топлива способен гореть, если он превращен из жидкой фазы в газообразную фазу (путем нагрева) и перемешан с воздухом (кислородом).

Температура воспламенения (горения) – это минимальная температура топлива, при которой горючая смесь топлива с воздухом вспыхивает от постороннего источника пламени и продолжает гореть вследствие испарения топлива. Температура воспламенения больше температуры вспышки на 5 – 10 °С.

Температура самовоспламенения – это температура, при которой пары нагретого топлива, смешанные с воздухом, воспламеняются самостоятельно без постороннего источника пламени. Примерно можно считать, что температура самовоспламенения для дизельных топлив, бензинов и газов соответственно 250 – 300; 400 – 500; 600 – 700 °С.

Температура вспышки нефтепродуктов

Эксплуатационные материалы	Температура вспышки в открытом тигле, °С
1. Бензин	– 50
2. Дизельное топливо	+ 30 – 40
3. Масло моторное	+ 190 – 240
4. Мазут	+ 80 – 100

Температура вспышки и воспламенения характеризует пожарную опасность топлива, а **температура самовоспламенения** – способность топлива **самостоятельно** воспламеняться в цилиндре дизеля и использоваться в качестве топлива.

В стандартах **температуру вспышки** нормируют для ограничения в нефтепродуктах количества фракций с более высоким давлением насыщенных паров. Этот показатель служит в основном для оценки пожарной опасности и потерь на испарение, что весьма важно для правильной организации применения и хранения нефтепродуктов.

Верхний и нижний пределы воспламенения газов, паров топлива в воздухе – значения граничных концентраций в области воспламенения. Значения этих пределов используют при расчёте предельно допустимой взрывоопасной концентрации паров топлива и газов в воздухе при работе с применением огня или искрообразующего инструмента.

В табл. 15.2 приведены показатели пожарной и взрывной опасности бензина, дизельного топлива и моторного масла и сжиженного газового топлива.

Показатели пожарной и взрывной опасности нефтепродуктов

Нефтепродукты	Температура самовоспламенения, °С	Температурный предел взрываемости насыщенных паров в воздухе, °С		Объемная доля предела взрывающихся паров в воздухе, %.	
		верхний	нижний	верхнего	нижнего
Бензины	+ (300 – 480)	– 5	– 40	5,3	0,75
Дизельное топливо зимнее	+ 240	+ 120	+ 70	–	0,61
Масло моторное	+ 340	+ 190	+ 150	–	–
Пары сжиженных газов	–	–	–	2,0	9,5

Бензин – наиболее опасное жидкое топливо в плане пожарной опасности. Его пары могут вспыхнуть от пламени даже при температуре 50 °С. По этой причине температура вспышки бензина не регламентируется ГОСТом.

В табл. 15.3 приведены физико-химические свойства газообразных топлив [1], влияющих на взрывную и пожарную опасность (параметры бензина Аи-80 даны для сравнения).

По относительной плотности газовой фазы по воздуху можно судить о местах скопления газов при их утечках и взрывоопасности. Из анализа табл. 15.3 следует, что при утечке метана он будет перемещаться вверх, так как он легче воздуха, а этан, пропан и бутан будут скапливаться внизу.

Критическая температура представляет собой температуру, при которой плотности жидкости и ее насыщенных паров становятся равными и граница раздела между ними исчезает.

Давление насыщенных паров при критической температуре называется **критическим**.

При температуре выше критической вещество может находиться только **в газообразном состоянии** независимо от внешнего давления.

Так при критической температуре пропана (+ 97 °С) и бутана (+153°С) они при небольшом давлении переводятся в жидкое состояние. К примеру, при температуре + 20 °С пропан становится жидким при избыточном давлении 0,7 МПа, а бутан – при 0,1 МПа. Поэтому газовая смесь из пропан-бутана хранится в жидком состоянии при давлении до 1,6 МПа при диапазоне температур от + 40 до – 40 °С.

Таблица 15.3

Свойства газообразных топлив и бензина

Параметры	Метан	Этан	Пропан	Бутан	Бензин
1	2	3	4	5	6
1. Молекулярная формула	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	C ₄ H ₁₀	Смесь
2. Относительная плотность газовой фазы по воздуху	0,55	1,05	1,56	2,1	3,78
3. Критическое давление (абсолютное), МПа	4,58	4,88	4,2	3,6	–

1	2	3	4	5	6
4. Температура кипения при давлении 100 кПа, °С	минус 162	минус 88	минус 42	минус 1	плюс 35 -200
5. Температура самовоспламенения, °С	680 – 750	508 -605	510 -580	475 –510	470 –530
6. Критическая температура, °С	минус 42	плюс 32	плюс 97	плюс 153	–
7. Плотность жидкой фазы, кг/м ³ , при 20 °С	–	540	580	600	735
8. Пределы воспламенения объемные, %: нижний верхний	5,0 15,0	3,2 12,5	2,1 9,5	1,9 8,5	1,5 6,0
9. Коэффициент избытка воздуха, соответствующий верхнему и нижнему пределам воспламеняемости	2,0 0,65	1,82 0,42	1,7 0,4	1,67 0,3	1,18 0,29

По температуре самовоспламенения судят о возможности воспламенения смеси топлива с воздухом в камере сгорания двигателя. При температуре самовоспламенения топлива более 500 °С его целесообразно применять в двигателях с воспламенением горючей смеси от электрической искры. В газодизельном варианте смесь газа с воздухом можно воспламенить запальной порцией дизельного топлива (15 – 20 мм³ за цикл).

Пределы воспламенения газов характеризуют граничные значения содержания газа (в процентах по объему) в воздухе, при которых еще возможно воспламенение горючей смеси. На воспламеняемость газовой смеси оказывают влияние температура, давление и турбулентность. Обедненные и обогащенные газовые смеси не воспламеняются.

Нижний предел воспламенения сжатого природного газа в смеси с воздухом составляет 5% от объёма. У пропана он составляет 2,1%, у бутана – 1,9%. Таким образом, сжатый природный газ менее взрывоопасен. Для того чтобы он спровоцировал взрыв, его должно накопиться в 2,5 раза больше, чем сжиженного нефтяного газа.

Знание этих пределов важно для организации рабочего процесса и регулирования подачи топлива в двигателях, а также для определения взрывной и пожарной опасности концентраций в местах хранения и технического обслуживания автомобилей.

Температурный предел воспламенения – температура вещества, при которой его насыщенные пары, смешанные с воздухом, образуют концентрации, соответствующие пределам воспламенения.

Нижний предел взрываемости – минимальная концентрация газа и паров топлива в воздухе, при которой возможен взрыв.

Верхний предел взрываемости – концентрация газа и паров топлива в воздухе, выше которых взрыва не происходит.

Возникновение в топливовоздушной смеси **взрывоопасной** концентрации тем вероятнее, чем выше давление насыщенных паров и ниже температура начала кипения. Поэтому взрывоопасность бензина намного выше, чем дизельного топлива. Можно считать правилом, что горение в ёмкостях бензина или керосина обязательно сопровождается взрывом. Почти все топливные и смазывающие материалы являются взрывоопасными и пожароопасными.

Если три одинаковые герметичные емкости равной толщиной стенок частично наполнить дизельным топливом, высокооктановым бензином, газом метаном и бросить в горящий костер, то вначале **самовоспламенится** (взорвется) дизельное топливо, затем бензин и газ. Это объясняется тем, что самую низкую температуру самовоспламенения (300 °С) имеет дизельное топливо, затем бензин (450 °С) и далее газ (650 °С). Но при поднесении открытого пламени смесь газа с воздухом наиболее опасна с точки зрения пожарной опасности, затем пары бензина с воздухом и далее пары дизельного топлива с воздухом.

Контрольные вопросы и задания

1. В чём заключаются экологические свойства топливных и смазывающих материалов?
2. Какие токсичные вещества входят в состав отработавших газов?
3. Какие вы знаете показатели пожарной и взрывной опасности нефтепродуктов?
4. Бензин или дизельное топливо имеет большую температуру самовоспламенения?
5. Что называют температурой вспышки, горения и самовоспламенения?
6. Как воздействуют топливные и смазывающие материалы на окружающую природу и человека?

16. ХРАНЕНИЕ НЕФТЕПРОДУКТОВ И СНИЖЕНИЕ ИХ ПОТЕРЬ

16.1. Потери нефтепродуктов от испарения

Экономия топлива заключается в сокращении потерь при перевозке, перекачке, хранении на складах, при заправке техники топливом.

Потери нефтепродуктов могут быть *количественные и качественные*. Количественные потери увеличивают расход нефтепродуктов, повышают стоимость эксплуатации машин, качественные – изменяют физико-химические свойства нефтепродуктов.

Количественные потери наблюдаются при разливе, разбрызгивании и утечках нефтепродуктов, через краны, фланцевые и муфтовые соединения на всех этапах транспортировки, хранения, заправки и применения.

Нефтепродукты в зависимости от испарения, обуславливающих их естественную убыль, распределены на семь групп. К первой группе относят растворители, далее бензины авиационные и автомобильные, керосины, дизельные топлива, масла, мазуты, битумы.

Потери нефтепродуктов от испарения происходят при хранении, отпуске и приёме, перевозках, заправках и других операциях, и они составляют до 75% от общих потерь. В резервуарах, заполненных нефтепродуктами, происходят сложные процессы испарения и смешения с воздухом.

Потери нефтепродуктов зависят от давления насыщенных паров, при котором жидкость и газ находятся в термодинамическом равновесии (газ не конденсируется, жидкость не испаряется). Давление насыщенных паров – это давление над поверхностью жидкости, при котором при данной температуре она начинает кипеть или переходить из жидкого состояния в газообразное. При малых значениях давления насыщенных паров потери топлива от испарения снижаются. При отрицательной температуре окружающей среды давление насыщенных паров уменьшается. В табл. 16.1 приведены значения давления насыщенных паров для газообразных и жидких углеводородов в зависимости от температуры.

При нормальных атмосферных условиях пропан и бутан – это газы, а циклопентан, гексан, бензин – жидкости. Если в углеводородной молекуле до 4 атомов углерода – это газ, а 5 и более – жидкость. Газы при повышении давления выше значений, указанных в табл. 16.1, превращаются в жидкость, а жидкости (циклопентан, гексан, бензин) при снижении давления превращаются в газ.

Пропан-бутановую смесь хранят в жидком состоянии в баллонах под давлением 1,6 МПа. При снижении давления жидкая смесь переходит в газообразное состояние. Газ поступает в камеру сгорания, например, двигателя внутреннего сгорания и, смешиваясь с воздухом, образует горючую смесь. Смесь воспламеняется от искры, сгорает с повышением температуры и давления, совершая работу.

Таблица 16.1

Давление насыщенных паров

Температура, °С	Давление, МПа				
	Пропан C ₃ H ₈	Бутан C ₄ H ₁₀	Циклопентан C ₅ H ₁₀	Гексан C ₆ H ₁₄	Бензин Аи-80
+ 40	1,6	0,4	0,11	0,037	0,065
+ 20	1,0	0,2	0,055	0,016	0,04
0	0,6	0,1	0,023	0,003	0,02
- 20	0,3	0,05	–	–	0,006
- 40	0,2	0,025	–	–	0,0

Потери жидкого топлива неизбежны при так называемых «дыханиях» резервуаров [23]. Различают малые «дыхания», наблюдаемые из-за разности температур дня и ночи, и большие «дыхания», например при наполнении резервуаров нефтепродуктами.

В резервуаре, имеющем некоторое количество продукта, газовое пространство заполнено паровоздушной смесью. Количество нефтепродукта (массовое) в этой паровоздушной смеси равно [1]:

$$M = \rho_n \cdot V, \quad (16.1)$$

где ρ_n – плотность паров нефтепродукта (0,3 – 0,7 кг/м³);
 V – объём газового пространства, м³.

Всякое выталкивание паровоздушной смеси из газового пространства резервуара в атмосферу сопровождается потерями нефтепродукта. Они происходят по следующим причинам:

1. **Потери от вентиляции газового пространства.** Если в крыше резервуара имеются в двух местах отверстия, расположенные на некотором расстоянии H по вертикали, то более тяжелые бензиновые пары будут выходить через нижнее отверстие, а атмосферный воздух будет входить через верхнее отверстие. Установится естественная циркуляция воздуха и бензиновых паров в резервуаре, образуются так называемые газовые сифоны.

Объёмная потеря газа в единицу времени (м³/с) в результате работы газового сифона определится уравнением

$$Q = \mu \cdot F \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta P}{\rho_c}}, \quad (16.2)$$

где μ – коэффициент расхода отверстия; F – площадь отверстия, м²; ΔP – перепад давления, Н/м², под действием которого происходит истечение

$$\Delta P = H \cdot (\rho_c - \rho_g) \cdot g, \quad (16.3)$$

здесь H – высота между отверстиями, м; ρ_c и ρ_g – плотность соответственно паровоздушной смеси и воздуха (например, 1,6 и 1,2 кг/м³); g – ускорение свободного падения.

Потери от вентиляции могут происходить через открытые люки резервуаров путем простого выдувания бензиновых паров ветром. Поэтому люки необходимо тщательно герметизировать.

2. Потери от больших «дыханий» – это вытеснение паров нефтепродуктов из газового пространства закачиваемым нефтепродуктом. Нефтепродукт, поступая в резервуар, сжимает паровоздушную смесь до давления, на которое отрегулирован дыхательный клапан. Как только давление станет равным расчетному давлению дыхательного клапана (2000 Па), из резервуара будут выходить пары нефтепродукта, начнется большое «дыхание» («выдох»). Применение дыхательных клапанов, которые поддерживают избыточное давление испарившегося нефтепродукта, снижают потери. Часть испарившихся фракций переходит в жидкое состояние и возвращается в первоначальное состояние.

При откачке нефтепродукта из резервуара происходит обратное явление: как только вакуум в резервуаре станет равным вакууму, на который установлен дыхательный клапан, в газовое пространство начнет входить атмосферный воздух – происходит «вдох».

3. Потери от «обратного выдоха». Вошедший в резервуар воздух начнет насыщаться парами нефтепродукта. Количество газов в резервуаре будет увеличиваться; поэтому по окончании «вдоха» спустя некоторое время из резервуара может произойти «обратный выдох» – выход насыщенной газовой смеси.

4. Потери от насыщения газового пространства. Если в пустой резервуар, содержащий только воздух, залить небольшое количество нефтепродукта, последний начнет испаряться и насыщать газовое пространство. При атмосферных условиях и молекулярной массе бензина, равной 110 кг/кмоль, в объеме 22,4 м³ плотность полностью испарившегося бензина составит 4,9 кг/м³.

5. *Потери от малых «дыханий»* происходят в результате:

5.1. Повышения температуры газового пространства в дневное время (при нагреве солнечными лучами). Паровоздушная смесь стремится расшириться, концентрация паров нефтепродукта повышается, давление растет. Когда давление в резервуаре станет равным давлению открытия дыхательного клапана, он откроется и из резервуара начинает выходить паровоздушная смесь – происходит «выдох». В ночное время из-за снижения температуры часть паров конденсируется, паровоздушная смесь сжимается, в газовом пространстве создается вакуум, дыхательный клапан открывается и в резервуар входит атмосферный воздух – происходит «вдох».

5.2. Снижения атмосферного давления. При этом разность давлений в газовом пространстве резервуара и атмосферного может превысить перепад давлений, на который установлен дыхательный клапан, он откроется и произойдет «выдох» (барометрические малые «дыхания»). При повышении атмосферного давления может произойти «вдох».

Потери топлива при «малых дыханиях» зависят от объема залитого топлива V_T , изменения температуры Δt и коэффициента объемного расширения β при изменении температуры на 1 °С. При повышении температуры объем нефтепродукта увеличивается и определяется по формуле

$$\Delta V = V_T \cdot (1 + \beta \cdot \Delta t). \quad (16.4)$$

В результате увеличения объема топлива на величину ΔV пары топлива, находящиеся в резервуаре, вытесняются в атмосферу, способствуя потерям нефтепродукта. В табл. 16.2 приведены значения коэффициента объемного расширения β при изменении температуры на 1 °С нефтепродуктов в зависимости от плотности при 20 °С.

Таблица 16.2

**Зависимость коэффициента
объемного расширения от плотности**

Плотность	β	Плотность	β
0,72 – 0,74	0,001183	0,86 – 0,88	0,000782
0,74 – 0,76	0,001118	0,88 – 0,90	0,000734
0,76 – 0,78	0,001054	0,90 – 0,92	0,000688
0,78 – 0,80	0,000995	0,92 – 0,94	0,000645
0,80 – 0,82	0,000937	0,94 – 0,96	0,000604
0,82 – 0,84	0,000882	0,96 – 0,98	0,000564

Снижение потерь от малых дыханий достигается уменьшением колебания температуры газового пространства. Средняя температура парового пространства в резервуаре выше температуры наружного воздуха на 2 – 8 °С для вертикальных и на 1– 10 °С для горизонтальных резервуаров. Потери топлива от «больших дыханий» (при заполнении резервуара топливом) с 1 м³ вытесняемой паровоздушной смеси могут составить летом до 0,7 кг, зимой – 0,4 кг.

Уменьшить потери от испарения при больших «дыханиях» резервуара можно проведением следующих мероприятий:

1. Уменьшением различных перекачек нефти внутри нефтебазы.
2. Заполнением резервуара снизу под уровень находящегося в резервуаре продукта, что снижает на 30 – 50% потери по сравнению с наливом открытой струёй сверху.
3. Установкой на крыше резервуаров возвращающих адсорберов, в которые улавливается паровоздушная смесь.
4. Установкой газовых труб, с помощью которых соединяют между собой резервуары, предназначенные для хранения одного сорта нефтепродуктов (при заполнении одного резервуара паровоздушная смесь будет вытесняться в другой, а не теряться в атмосфере).
5. Запрещением проветривать резервуар перед заполнением.

В качестве примера рассмотрим расчет потерь бензина при различных способах налива цистерны АЦ – 8,5–255Б [24]. Эксплуатационный закачиваемый объём цистерны $V_{ЗАК}$ составляет 8,5 м³ при диаметре $D = 1,22$ м.

Давление насыщенных паров бензина $P_H = 32\ 857$ Па (33 кПа), температура бензина 295 К, температура начала кипения 319 К, расход топлива при наливе $Q = 40$ м³/ч. Налив ведется при атмосферном давлении, равном давлению в газовом пространстве цистерны $P_0 = P_r = 10\ 1320$ Па. Решение. **Продолжительность налива цистерны равна** $V_{ЗАК}/Q$:

$$\tau_H = \frac{8,5}{40} = 0,213 \text{ ч.} \quad (16.5)$$

Легкие фракции бензина из жидкого состояния переходят в газообразное, повышая его потери при хранении, сливе, наливе. При 25 °С в объёме, равном 1 м³, может находиться до 0,7 кг испарившегося бензина.

Для определения плотности паров бензина ρ_v воспользуемся формулой Клапейрона – Менделеева (уравнение состояния газа)

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T, \quad (16.6)$$

где P – абсолютное давление, Н/м²; T – абсолютная температура, К; V – объём, м³; m – масса газа, кг; R – газовая постоянная, Дж/(кг · К).

Один кмоль паров бензина занимает объём, равный $V_\mu = 22,4$ м³. Для кмоль объёмом 22,4 м³ уравнение состояния газа примет вид

$$PV_\mu = m \cdot \frac{8314}{\mu} T. \quad \text{Откуда} \quad \rho_y = \frac{P \cdot \mu}{8314 \cdot T}, \quad (16.7)$$

где μ – молекулярная масса легких фракций бензина (72 кг/кмоль); 8314 Дж/(кмоль К) – универсальная газовая постоянная.

К легким фракциям бензина можно отнести пентан (C₅H₁₂) с молекулярной массой 72 кг/кмоль и температурой начала кипения 36 °С.

2. **Плотность полностью испарившегося бензина**, находящегося в воздухе, при температуре налива определим по формуле

$$\rho_y = \frac{10 \cdot 1320 \cdot 72}{8314 \cdot 295} = 3 \text{ кг/м}^3.$$

При молекулярной массе бензина 120 кг/кмоль плотность его газовой фазы составит 5 кг/м³.

3. **Потери нефтепродукта** (бензина) при заполнении транспортной ёмкости определим по формуле

$$M_T = k_T \cdot V_{\text{зак}} \cdot \rho_y \cdot (P_H / P_G). \quad (16.8)$$

Величина коэффициента потерь топлива k_T , при заполнении цистерны сверху открытой струёй, зависит от времени заполнения, способа налива и определится выражением

$$k_T = (0,7 + \sqrt[3]{\tau_n})^{-1} = (0,7 + \sqrt[3]{0,213})^{-1} = 0,771; \quad (16.9)$$

$$M_T = 0,771 \cdot 8,5 \cdot 3 \cdot \frac{32 \cdot 857}{101 \cdot 320} = 6,30 \text{ кг}.$$

Плотность испарившегося топлива будет равна $6,3 / 8,5 = 0,74$ кг/м³. При наливе бензина сверху или снизу закрытой струёй

$$k_T = 0,85 \cdot \alpha_T \cdot \sqrt{\tau_H},$$

где α_T – коэффициент, учитывающий высоту H_E (равную диаметру) наливаемой ёмкости [24]:

$$\alpha_T = \begin{cases} 1 & \text{при } H_E \leq 1 \text{ м;} \\ 1/H_E & \text{при } H_E > 1 \text{ м,} \end{cases}$$

$$\alpha_T = \frac{1}{1,22} = 0,82; \quad k_T = 0,85 \cdot 0,82 \cdot \sqrt{0,213} = 0,322;$$

$$M_T = 0,322 \cdot 8,5 \cdot 3 \cdot \frac{32\ 857}{101\ 320} = 2,60 \text{ кг.} \quad (16.10)$$

Плотность испарившегося топлива будет равна $2,6 / 8,5 = 0,3 \text{ кг/м}^3$.

Из результатов расчёта видно, что по сравнению с наливом открытой струёй налив бензина под уровень (закрытой струёй) в рассматриваемом случае позволяет **сократить потери в 2,4 раза**.

Рекомендуется также проводить ряд других мероприятий для уменьшения потерь нефтепродуктов от испарения: хранение легкоиспаряющихся жидкостей в подземных резервуарах, в вертикальных наземных резервуарах, окрашенных в светлые цвета, отражающие солнечные лучи и обеспечивающие меньшее нагревание нефтепродукта.

Потери увеличиваются при большой поверхности испарения. Поэтому для уменьшения потерь выгоднее хранить нефтепродукт в большей ёмкости, чем в нескольких малых ёмкостях. Конструкция резервуара должна быть такой, чтобы при допустимой высоте налива свободная поверхность, граничащая с воздушной средой, была минимальной. Верхняя часть вертикального резервуара должна быть сходящей.

Качественные потери нефтепродуктов происходят при длительном хранении в результате внутренних химических превращений, от загрязнения и обводнения или их смешивании.

При хранении топлив при высокой температуре осуществляется интенсивное окисление с образованием смол. Окисление происходит под действием кислорода, которого в воздухе 21% по объёму. При повышении температуры на $10 \text{ }^\circ\text{C}$ скорость окисления увеличивается в 3 раза.

В результате окисления октановые числа бензинов снижаются, уменьшается и теплотворная способность. Например, бензол C_6H_6 до окисления имел теплотворную способность 43 МДж/кг, а после окисления кислородом (20%) превратился в фенол $\text{C}_6\text{H}_6\text{O}$ с теплотворной спо-

способностью 32 МДж/кг [25]. Чем больше окислено топливо, тем меньше в нём запаса теплоты.

На рис. 16.1 показано изменение теплотворной способности Q_H бензола в результате его окисления. Теплотворная способность – это количество теплоты в Дж, выделяющейся при полном сгорании одного килограмма топлива.

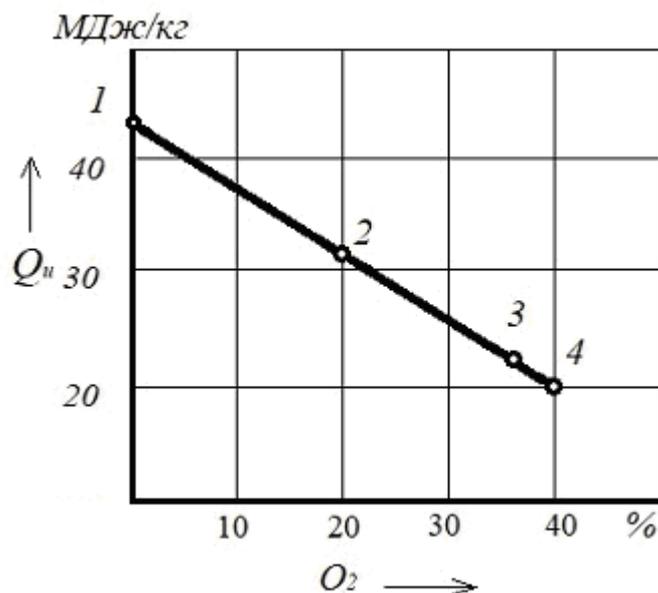


Рис. 16.1. Изменение теплотворной способности бензола C_6H_6 (точка 1) в зависимости от степени окисления:
 2 – фенол C_6H_6O ; 3 – гидрохинон $C_6H_6O_2$;
 4 – пирогаллол – $C_6H_6O_3$

Если бензин хранится в наземных резервуарах, то для уменьшения нагрева их окрашивают в белый цвет. Он отражает солнечные лучи от поверхности резервуара, и нагрев уменьшается. Черный цвет «притягивает» солнечные лучи, увеличивая нагрев.

В табл. 16.3 показано влияние цвета, применяемого при окраске резервуаров, на образование смолистых веществ (для различных сроков хранения нефтепродукта).

Таблица 16.3

Влияние цвета окраски резервуаров на образование смолистых веществ в топливе при его хранении, в мг на 100 см³

Срок хранения нефтепродукта	Белый цвет	Черный цвет
Начало эксперимента	4	4
Срок хранения 2 месяца	5	6
Срок хранения 6 месяцев	10	25
Срок хранения 12 месяцев	20	60

От степени заполнения резервуара зависит содержание смол в топливе. Например, при полном заполнении резервуара и 25% заполнении содержание смол за 10 месяцев хранения увеличилось соответственно в 4 и 20 раз. Увеличение содержания смол приводит к образованию нагара в цилиндрах двигателя.

Цвет резервуара влияет на потери бензина от нагрева лучами солнечного света и испарения. В табл. 16.4 указаны потери бензина за год хранения в зависимости от цвета резервуара.

Таблица 16.4

Потери бензина в зависимости от цвета резервуара

Цвет резервуара	Коэффициент отражения	Потери, %	Цвет резервуара	Коэффициент отражения	Потери, %
Черный	–	1,24	Голубой	0,85	0,56
Серый	0,47	1,03	Светло - кремевый	0,88	0,45
Алюминиевый	0,67	0,83	Белый	0,90	0,42

Срок хранения бензина зависит от индукционного периода, который представляет промежуток времени в минутах, в течение которого испытываемый бензин объёмом 100 см³, находящийся в замкнутой системе в среде кислорода при давлении 0,7 МПа и температуре 100 °С, не подвергается окислению. Окисление начинается при снижении давления (масса кислорода уменьшается), контролируемого по манометру. По ГОСТ Р1105 – 97 индукционный период должен быть не менее 360 мин, что соответствует сроку хранения бензина до 6 месяцев. Допустимые сроки хранения нефтепродуктов приведены в табл. 16.5.

Таблица 16.5

Сроки хранения эксплуатационных материалов в центральной климатической зоне

Виды эксплуатационных материалов	Сроки хранения
Бензин – наземный резервуар	1 год
Бензин – заглубленный резервуар	1,5 года
Дизельное топливо	3 года
Масла всех типов, антифризы, тормозные жидкости	3 года
Пластичные смазки (Литол – 24)	5 лет

Срок хранения бензинов в южных районах снижается в 2 раза. Бензин нужно хранить в ёмкостях, залитых топливом до требуемого уровня. С одного квадратного метра поверхности можно потерять за месяц хранения следующее количество топлива:

Бензин: наземное хранение2 кг;
 заглубленное хранение0,5 кг;
 Дизельное топливо0,01 кг;
 Масла0,06 кг;
 Смазки.....0,005 кг.

В табл. 16.6 указаны потери бензина за год в зависимости от степени заполнения резервуара.

Таблица 16.6

Влияние степени заполнения резервуара на потери бензина за год

Степень заполнения, %	Потери, % , в климатической зоне		Степень заполнения, %	Потери, % , в климатической зоне	
	средней	южной		средней	южной
90	0,3	0,4	60	1,6	2,3
80	0,6	0,9	40	3,6	5,2
70	1,0	1,5	20	9,6	13,9

16.2. Способы снижения потерь нефтепродуктов

16.2.1. Газовая обвязка резервуаров

*Д*ля дополнительного снижения потерь нефтепродуктов от испарения производят газовую обвязку резервуаров. Газовую обвязку целесообразнее выполнять с применением сборника конденсата (рис. 16.2). В этом случае необходимо, чтобы операция заполнения одних резервуаров совпадала по времени с опорожнением других. Паровоздушная смесь из заполняемых резервуаров не вытесняется в атмосферу, а поступает в опорожняемые резервуары [23]. Часть паровоздушной смеси конденсируется в сборнике δ .

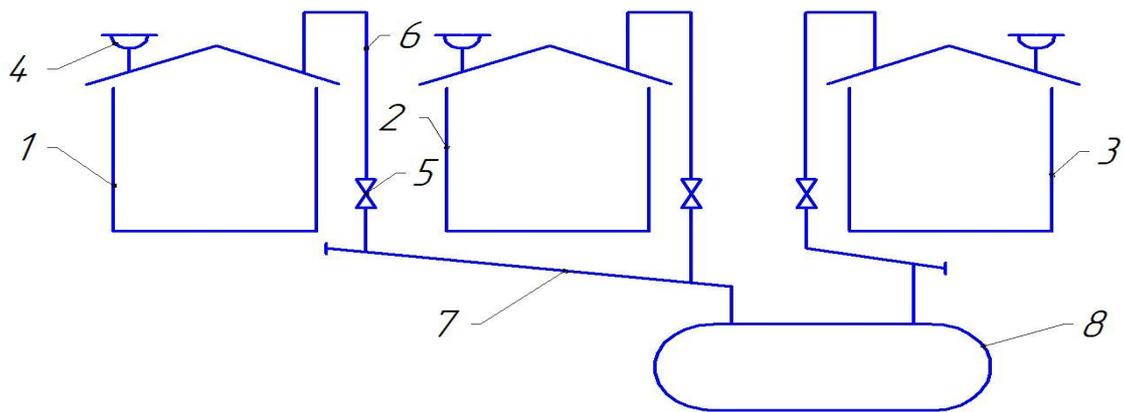


Рис. 16.2. Схема газовой обвязки со сборником конденсата:

- 1, 2, 3 – резервуары с одинаковыми нефтепродуктами;
- 4 – дыхательный клапан; 5 – задвижка; 6 – отвод;
- 7 – коллектор; 8 – сборник конденсата

Уравнительная система газа отличается от газовой обвязки наличием сборника конденсата и газгольдера (рис. 16.3). Он служит для того, чтобы аккумулировать (накапливать) часть паровоздушной смеси при несовпадении операций закачки – выкачки. Благодаря этому сокращаются потери нефтепродуктов по сравнению с газовой обвязкой, изображенной на рис. 16.2. Газгольдер 8 (англ. *держатель газа*) – стационарное стальное сооружение для приёма и хранения газовых фракций нефтепродукта. Конструкция газгольдера может быть резиноканевой или синтетической.

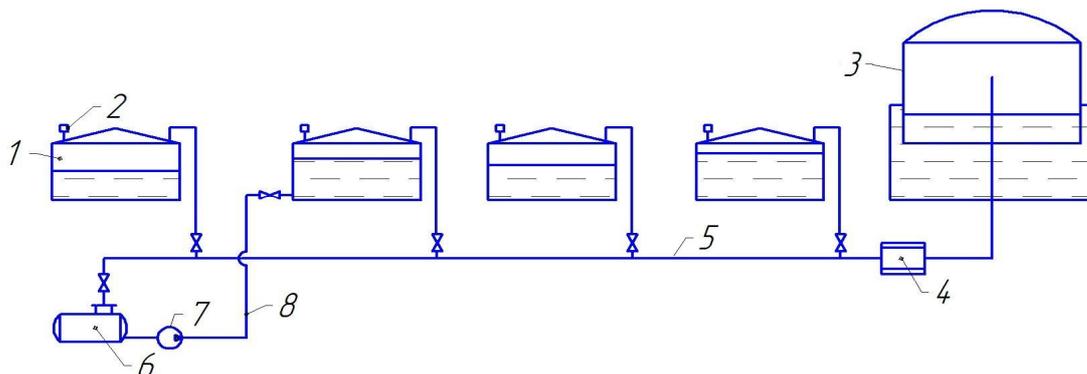


Рис. 16.3. Уравнительная система парка резервуаров:

- 1 – резервуар; 2 – дыхательный клапан; 3 – газгольдер;
- 4 – регулятор давления; 5 – сборный газопровод; 6 – сборник конденсата;
- 7 – насос для откачки конденсата; 8 – трубопровод для отвода конденсата

На рис. 16.4 показана система, которая накапливает паровоздушную смесь в мягких резервуарах-газгольдерах. При помощи компрессора газообразная фаза преобразуется в жидкость и направляется в сборник кон-

денсата. При помощи насоса конденсат откачивается в резервуар. В данной системе пары топлива не загрязняют окружающую среду, а полностью возвращаются в резервуар.



Рис. 16.4. Схема преобразования паровоздушной смеси в жидкость и ее возврат в резервуар

Для снижения потерь нефтепродуктов от испарения применяют плавающие понтоны, которые закрывают более 95% поверхности («зеркала») нефтепродукта. Понтоны бывают металлические и синтетические.

Важным узлом понтона является уплотнительный затвор между ковром понтона и стенкой резервуара. Конструкция уплотнения может быть мягкой и жесткой. Мягкие затворы изготавливают в виде оболочек с наполнителями (жидкость, воздух), пористого эластичного материала или резиноканевых материалов (рис. 16.5).

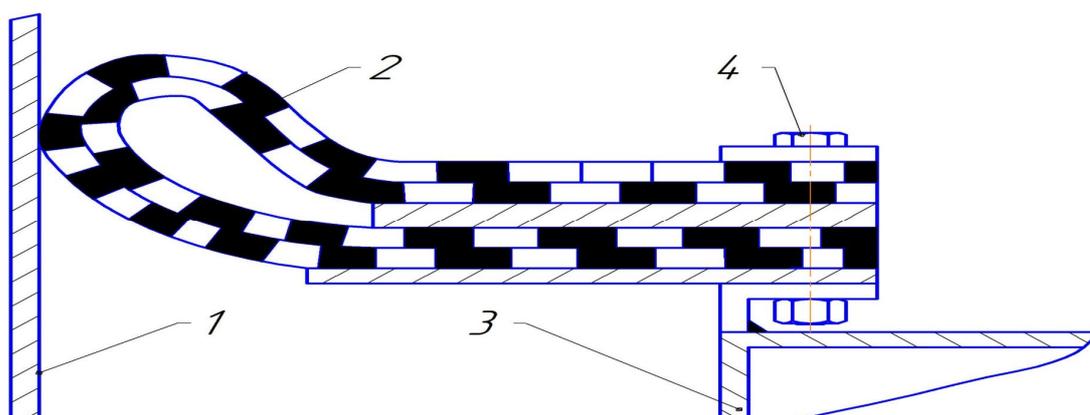


Рис. 16.5. Схема мягкого затвора петлевого типа:
 1 – стенка резервуара; 2 – гибкий уплотнительный элемент;
 3 – корпус понтона; 4 – детали крепления

16.2.2. Дыхательные клапаны резервуаров

Для снижения потерь топлива от испарения в резервуарах и поддержания допустимого давления устанавливают дыхательные клапаны, которые открываются при избыточном давлении 0,01 – 0,02 МПа в резервуарах ёмкостью до 40 м³ (автомобильные цистерны) и 0,001 – 0,002 МПа в стационарных резервуарах ёмкостью до 100 000 м³.

Конструктивные параметры механических дыхательных клапанов выбирают расчетным путем, уточняют в процессе доводки и регулировки.

Суммарная пропускная способность (м³/ч) для дыхательного клапана в процессе «выдоха» определяется выражением [23]:

$$Q = 2,71 \cdot Q_3 + k_1 \cdot V_P, \quad (16.11)$$

где Q_3 – расход закачиваемого нефтепродукта, м³/ч; $k_1 = 0,026 \text{ ч}^{-1}$ – поправка на изменение объёма паров нефтепродукта в резервуаре от повышения температуры окружающего воздуха; V_P – объём резервуара, м³.

При откачке нефтепродукта из резервуара или снижении температуры окружающего воздуха давление в резервуаре становится меньше атмосферного и резервуар сжимается. Для устранения этого отрицательного явления в дыхательных клапанах устанавливают клапан, который открывается при разрежении, например 200 Па.

Суммарную пропускную способность клапана вакуумметрического давления (м³/ч) находят из выражения

$$Q_B = Q_{OT} + k_2 \cdot V_P, \quad (16.12)$$

где Q_{OT} – расход откачиваемого нефтепродукта, м³/ч; $k_2 = 0,22 \text{ ч}^{-1}$ – поправка на изменение объёма паров нефтепродукта в резервуаре от понижения температуры окружающего воздуха.

Окончательный расчет дыхательного клапана завершается определением его проходного сечения F по формуле

$$F = Q/\vartheta, \quad (16.13)$$

где ϑ – допустимая скорость паров нефтепродукта или воздуха при «выдохе» или «вдохе» резервуара (1 – 2 м/с).

Определив площадь проходного сечения, находим его характерный диаметр из выражения

$$D_x = \sqrt{4F / \pi} . \quad (16.14)$$

В табл. 16.7 приведены характеристики дыхательных клапанов, применяемых в резервуарах. Давление открытия прямого клапана, работающего на «выдох», составляет 2000 Па, обратного – 200 Па.

Таблица 16.7

Техническая характеристика дыхательных клапанов

Дыхательный клапан	Характерный диаметр, мм	Пропускная способность, м ³ /ч	Типы резервуаров
КД-100	100	50	РВС-100, 200, 300
КД-150	150	100	РВС-400, 700, 1000
КД-250	250	300	РВС-5000
НКДМ-350	350	3000	РВС-10000

При необходимости на резервуар устанавливают несколько дыхательных клапанов и предохранительные клапаны, давление открытия которых на 10% выше дыхательных.

Резервуары типа РВС (резервуары вертикальные стальные) сооружаются объемом от 100 до 100 000 м³. Объем резервуаров может быть 100, 200, 300, 400, 700, 1000, 2000, 3000, 5000, 10 000, 15 000, 20 000, 30 000, 40 000, 50 000, 100 000 м³.

Непримерзающий мембранный дыхательный клапан [23] типа НКДМ (рис. 16.6) содержит соединительный патрубок 1 с седлом 2, тарелку 3 с нижней мембраной 4, зажатой между фланцами нижней 5 и верхней 6 частей корпуса, верхнюю мембрану 8 с дисками 9 и регулирующими грузами 10. Мембрана 8 закреплена в крышке 11, в которой имеются отверстия для сообщения камер под крышкой с атмосферой при помощи трубки 12. Диски 9 и тарелки 3 соединены цепочками 14. Мембранная камера через импульсную трубку 15 сообщается с газовым пространством резервуара. В нижней части корпуса размещён кольцевой огневой предохранитель 16. Для удобства обслуживания клапан имеет боковой люк 7. Амортизирующая пружина 13 предназначена для устранения колебаний затвора.

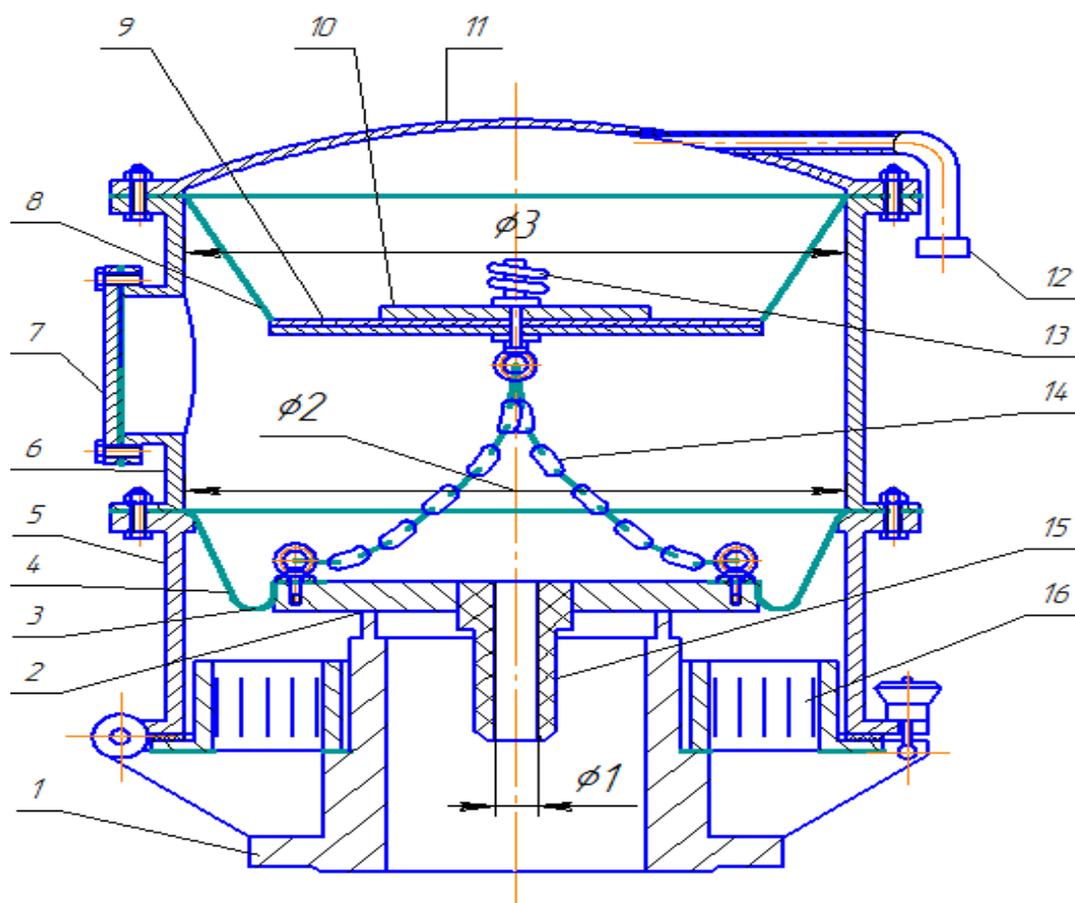


Рис. 16.6. Дыхательный клапан типа НДКМ - 350:

- 1 – соединительный патрубок; 2 – седло; 3 – тарелка; 4 – мембрана;
 5 – нижняя часть корпуса; 6 – верхняя часть корпуса; 7 – боковой люк;
 8 – верхняя мембрана; 9 – диски; 10 – регулировочные грузы;
 11 – крышка; 12 – трубка; 13 – амортизирующая пружина;
 14 – цепочки для соединения дисков; 15 – импульсная трубка;
 16 – огневой предохранитель в виде сетки

Мембрану изготавливают из бензостойкой прорезиненной ткани. Площадь нижней мембраны 4 меньше верхней 8 на величину площади отверстия импульсной трубки 15. Непримерзаемость тарелки к седлу обеспечивается покрытием соприкасающихся поверхностей фторопластовой плёнкой. Дыхательные клапаны устанавливают на резервуарах большой ёмкостью.

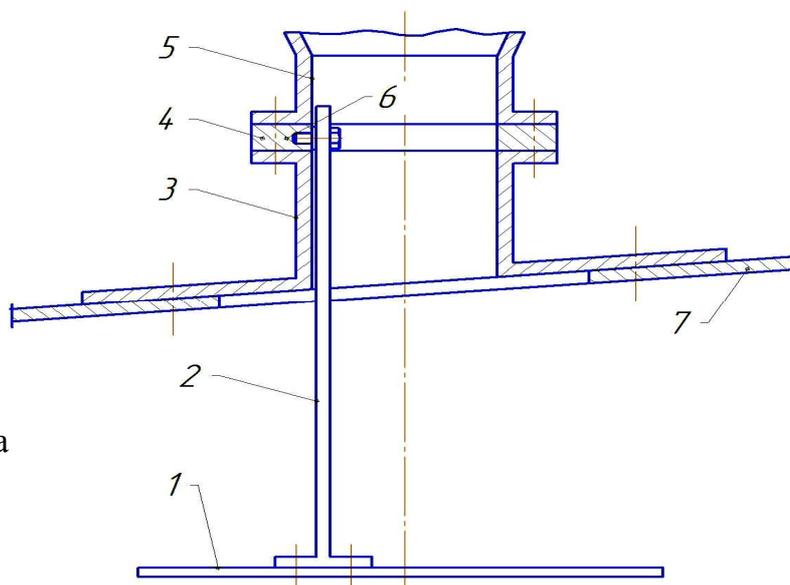
Клапан работает следующим образом. При создании в резервуаре и в межмембранной камере разрежения 200 Па, соответствующего пределу срабатывания клапана, тарелка 3 поднимается и в газовое пространство поступает атмосферный воздух. При достижении избыточного давления в резервуаре 2000 Па сила давления на верхнюю мембрану станет выше, чем на нижнюю мембрану. Если разность сил превышает вес та-

релки 3 и диска 9 с грузом 10, то верхняя мембрана, прогибаясь вверх, увлечет за собой тарелку 3, открывая путь смеси в атмосферу.

16.2.3. Диски-отражатели и хлопуши

Для эффективной работы дыхательных клапанов они оборудуются дисками-отражателями (рис. 16.7). В процессе «вдоха» вертикальное движение воздушного потока переходит в горизонтальное. Вошедший воздух оттесняет пары нефтепродукта вниз, а сам занимает положение под кровлей [23, 26]. Эффективность дисков – отражателей ограничивается временем, равным 20 – 30 ч с момента выкачки и закачки нефтепродукта. При увеличении указанного интервала в результате диффузии пары нефтепродуктов перемешиваются с воздухом, заполняя пространство резервуара, что приводит к потерям нефтепродукта при очередном его заполнении.

Рис. 16.7. Диск-отражатель:
1 – диск; 2 – стойка;
3 – монтажный патрубкок;
4 – фланец;
5 – дыхательный клапан;
6 – болт для крепления стойки к фланцу; 7 – крыша резервуара



Утечки светлых нефтепродуктов можно дополнительно снизить за счет применения хлопушек. Хлопуши (хлопушки) устанавливаются внутри вертикальных резервуаров на приёмо-раздаточном патрубке и служат для налива и слива нефтепродуктов, и для дополнительной защиты от воз-

можных утечек нефтепродукта из резервуара при неисправности запорной арматуры. Хлопуша имеет корпус с наклонным срезом (рис. 16.8) и плотно прилегающей к нему крышкой, соединенной с корпусом рычажным механизмом. При наполнении резервуара струя нефтепродукта, обладая энергией скорости и давлением, приподнимает крышку хлопуши. При остановке перекачки крышка хлопушки под действием собственного веса опускается на свое место, плотно закрывая трубу.

При выдаче нефтепродукта из резервуара крышка хлопуши открывается принудительно при помощи вращающегося барабана с намотанным на него тросом.

Крышка хлопуши изготавливается из искробезопасного материала (алюминиевого сплава). Хлопуши с условным проходом 80 мм изготавливаются без перепуска нефтепродукта в полость между задвижкой и крышкой. Хлопуши с условным проходом более 80 мм изготавливают с перепуском нефтепродукта, что позволяет снизить усилие открытия крышки хлопуши.



Рис. 16.8. Общий вид хлопуши

Таким образом, потери нефтепродуктов можно уменьшить при использовании подземного хранения, окраски в белый цвет наземных резервуаров, использования понтонов, применения дыхательных клапанов, дисков-отражателей, полным (допустимым) заполнением резервуаров, высокой герметичностью резервуаров, дыхательных и предохранитель-

ных клапанов, устранением утечек топлива, применением газгольдеров и хлопушек.

Контрольные вопросы и задания

1. *Что такое количественные и качественные потери нефтепродуктов?*
2. *Какими способами уменьшают потери топлива при испарении?*
3. *Что называют «малым» и «большим дыханием» ёмкости, заполненной топливом?*
4. *Что называют коэффициентом объёмного расширения?*
5. *В какой цвет окрашивают ёмкости при наружном хранении топлив?*
6. *Укажите сроки хранения нефтепродуктов.*
7. *Как влияет цвет и уровень наполнения резервуаров на потери топлива при хранении?*
8. *Как определить потери топлива при различных способах налива?*
9. *В какой последовательности по потерям от испарения располагаются нефтепродукты?*
10. *Назовите способы уменьшения потерь нефтепродуктов от испарения в резервуарах.*
11. *Укажите назначение и принцип действия понтонов, дыхательных клапанов и хлопушек.*
12. *С какой целью применяют диски-отражатели?*
13. *Назовите схемы газовых обвязок резервуаров и их назначение.*

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ СТУДЕНТОВ ЗАОЧНОЙ ФОРМЫ ОБУЧЕНИЯ

В процессе изучения дисциплины «Эксплуатационные материалы» или «Химмотология» для лучшего усвоения материала студент заочной формы обучения технических специальностей должен выполнить контрольную работу.

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 последняя цифра зачётной книжки 15, студент отвечает на 1-й вопрос группы 1 и 2 и 5-й вопрос группы 3 и 4 (0 – это 10 вопрос).

Ответы на вопросы должны быть полными, содержать необходимые схемы, рисунки, таблицы, формулы и составляться по материалам не только одного учебника или 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.

Вопросы для выполнения контрольной работы

Группа 1

1. Алканы, их влияние на эксплуатационные свойства топлив.
2. Цикланы, их влияние на эксплуатационные свойства топлив.
3. Ароматические углеводороды, их влияние на эксплуатационные свойства топлив.
4. Строение углеводородов, изомерия углеводородов, предельные и непредельные углеводороды, их физические и химические свойства.
5. Свойства и состав нефти.
6. Прямая перегонка нефти.
7. Низкозамерзающие охлаждающие жидкости.
8. Способы очистки нефтепродуктов.
9. Свойства топливосмазочных материалов и методы их оценки.
10. Способы получения моторных и трансмиссионных масел.

Группа 2

1. Химмотология, требования к двигателям, топливам и смазочным материалам.
2. Эксплуатационные требования к топливам.
3. Нормативные показатели качества бензинов, характеризующие их эксплуатационные свойства.
4. Нормативные показатели качества дизельных топлив, характеризующие их эксплуатационные свойства.
5. Ассортимент и отечественная маркировка бензинов.
6. Процесс сгорания бензинов, токсичность выхлопных газов.
7. Альтернативные топлива, краткая характеристика (сжиженные газы, водород, спирты, рапсовое масло).
8. Физические свойства жидкостей и газов.
9. Производство моторных масел, присадки к маслам, определение индекса вязкости.
10. Октановое число бензинов, цетановое число дизельных топлив. Методы определения.

Группа 3

1. Способы снижения потерь топлива при его хранении.
2. Охлаждающие жидкости.
3. Классификация, требования к эксплуатационным свойствам и состав смазочных масел (моторных и трансмиссионных).
4. Процесс сгорания дизельных топлив, токсичность выхлопных газов.
5. Ассортимент, требования и отечественная классификация моторных масел.
6. Классификация моторных масел по SAE и API.
7. Давление насыщенных паров, испаряемость топлив.
8. Требования к качеству и эксплуатационные свойства трансмиссионных масел.
9. Ассортимент и отечественная классификация трансмиссионных масел.
10. Классификация трансмиссионных масел по SAE и API.

Группа 4

1. Масла для гидромеханических передач автомобилей, назначение, условия работы, требования, ассортимент.

2. Масла для гидравлических систем автомобилей, назначение, условия работы, требования, ассортимент, маркировка.
3. Область применения, состав, требования к качеству пластичных смазок.
4. Пусковые жидкости, жидкости для амортизаторов, жидкости для тормозных систем.
5. Классификация и маркировка пластичных смазок.
6. Методика определения октанового числа бензинов.
7. Токсичность выхлопных газов, требования стандарта ЕВРО, способы снижения токсичности.
8. Пожарная опасность и взрывоопасность нефтепродуктов.
9. Влияние нефтепродуктов на человека и окружающую среду.
10. Хранение нефтепродуктов и их потери. Экономия эксплуатационных материалов.

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:10.12.2017).
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. 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:10.12.2017).
6. 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/ulltext/esd1033.pdf>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу:18.05.2018).
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. Системы подачи топлива и воздуха дизелей : учебное пособие / Ю.П. Макушев, А.П. Жигадло, Л.Ю. Волкова. – Омск : СибАДИ, 2017. – 208 с.
9. Семенов, Н.Н. Развитие теории цепных реакций и теплового воспламенения / Н.Н. Семенов. – М. : Знание, 1969. – 95 с.
10. Гаврилов, А.А. Продолжительность задержки воспламенения топливо - воздушной смеси в поршневых двигателях / А.А. Гаврилов, А.Н. Гоц. : ФГБОУ ВПО Владимирский гос. ун-т им. Столетовых // Научный журнал.– № 6 (часть 4). – 2014. – С. 703 – 708.
11. ГОСТ Р 51249 – 99. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Выбросы вредных веществ с отработанными газами. Нормы и методы определений. – Введ. 1999 - 03–03. – М. : Госстандарт России : Издательство стандартов, 1999. –18 с.
12. ГОСТ 32513 – 2013. Топлива моторные. Бензины неэтилированные. Технические условия. – Введ. 2015 - 01 – 01. – М. : Межгосударственный стандарт, 2015. –7 с.
13. ГОСТ 52368 – 2005. Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия. – Введ. 2006 - 07 – 01. – М. : Национальный стандарт РФ, 2006. – 8 с.
14. ГОСТ 305 – 2013. Топлива дизельные. Технические условия. – Введ. 2013 – 01 – 01. – М. : Межгосударственный стандарт. Принят межгосударственным Советом по стандартизации, метрологии, сертификации, 2013. – 17 с.

15. Макушев, Ю.П. Автомобильные эксплуатационные материалы : учебное пособие / Ю.П. Макушев. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2006. – 59 с.
16. 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.
17. ГОСТ 1797.1 – 2015. Масла моторные. Классификация и обозначение. – Введ. 2017 - 01 – 01. – М. : Межгосударственный стандарт : Стандартиформ, 2016. – 8 с.
18. ГОСТ 25371 – 97. Нефтепродукты. Расчет индекса вязкости по кинематической вязкости. – Введ. 1999 -15 – 10. – М. : Межгосударственный стандарт : Стандартиформ, 2006. – 37 с.
19. ГОСТ Р 51907– 2002. Масло моторное для судовых дизелей М-20 Г₂ СД. Технические условия. – Введ. 2003 - 07 – 01. – М. : Государственный стандарт РФ : Стандартиформ, 2006. – 6 с.
20. ГОСТ 17479. 2– 2015. Масла трансмиссионные. Классификация и обозначение. – Введ. 2017 - 01 – 01. – М. : Межгосударственный стандарт : Стандартиформ, 2016. – 10 с.
21. Данилов, В.Ф. Масла, смазки и специальные жидкости : учебное пособие / В.Ф. Данилов, А.Н. Литвиненко, М.М. Асханов и др. – Елабуга : Изд-во филиала К(П) ФУ, 2013. – 216 с.
22. Нормы расхода топлив и смазочных материалов на автомобильном транспорте: руководящие документы Р 3112194 - 0366 – 03. – М., 2003.– 63 с.
23. Коршак, А.А. Нефтебазы и АЗС : учеб. пособие / А.А. Коршак, Г.Е. Корабейников, Е.М. Муфтахов. – Уфа : Дизайн полиграф сервис, 2006. – 416 с.
24. Транспорт и хранение нефти и газа в примерах и задачах : учебное пособие / под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. – СПб. : Недра, 2004. – 544 с.
25. Кнорре, Г.Ф. Что такое горение? Научно-популярное изложение физических основ / Г.Ф. Кнорре. – М. : Государственное энергетическое изд-во, 1955. – 223 с.
26. Хранение нефти и нефтепродуктов : учебное пособие. – 2-е изд., перераб. и доп. / под общ. ред. Ю.Д. Земенкова. – Тюмень : Изд - во «Вектор Бук», 2003. – 536 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Физические свойства жидкостей и газов.....	4
2. Нефть – основной источник получения топлив и смазочных материалов.....	10
3. Расчетное и экспериментальное определение теплоты сгорания топлива.....	13
3.1. Процесс сгорания топлива.....	13
3.2. Расчетное определение теплоты сгорания топлив.....	15
3.3. Экспериментальное определение теплоты сгорания топлив.....	17
4. Особенности процесса сгорания бензина.....	21
4.1. Способы повышения детонационной стойкости бензинов.....	22
4.2. Процесс сгорания бензина.....	23
4.3. Управление углом опережения зажигания топлива.....	29
5. Процесс сгорания дизельного топлива.....	34
6. Эксплуатационные требования к бензинам и дизельным топливам.....	40
6.1. Бензины.....	40
6.1.1. <i>Методика определения октанового числа</i>	41
6.1.2. <i>Испаряемость бензинов</i>	45
6.2. Дизельные топлива.....	47
6.2.1. <i>Методика определения цетанового числа дизельного топлива</i>	48
6.2.2. <i>Характеристики дизельных топлив</i>	51
6.2.3. <i>Топлива для судовых дизелей</i>	57
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
7.3. Расчет газового редуктора.....	69
8. Моторные масла.....	73
8.1. Условное обозначение моторных масел.....	73
8.2. Производство моторных масел.....	77
8.3. Присадки к моторным маслам.....	78
8.4. Определение индекса вязкости.....	81
8.5. Масла моторные для судовых дизелей.....	83
9. Трансмиссионные и гидравлические масла.....	86
9.1. Область применения и классы вязкости трансмиссионных масел.....	86
9.2. Обозначение трансмиссионных масел.....	89
9.3. Гидравлические масла.....	90

10. Пластичные смазки.....	94
10.1. Пластичные смазки для наземного транспорта.....	94
10.2. Пластичные смазки для судовых двигателей.....	98
11. Охлаждающие жидкости.....	100
12. Специальные жидкости.....	104
12.1. Жидкости для тормозных систем.....	104
12.2. Жидкости для амортизаторов.....	106
12.3. Пусковые жидкости.....	108
13. Альтернативные топлива.....	110
13.1. Применение водорода.....	110
13.2. Применение спиртов.....	112
13.3. Применение рапсового масла.....	114
13.4. Основные пути снижения расхода топлива.....	115
14. Определение расхода смазочных материалов и топлив для автомобилей.....	117
14.1. Нормирование расхода моторного масла.....	117
14.2. Нормирование расхода топлива.....	119
15. Влияние нефтепродуктов на человека и окружающую среду.....	123
15.1. Экологическая безопасность.....	123
15.2. Пожарная и взрывная опасность нефтепродуктов.....	125
16. Хранение нефтепродуктов и снижение их потерь.....	130
16.1. Потери нефтепродуктов от испарения.....	130
16.2. Способы снижения потерь нефтепродуктов.....	139
16.2.1. Газовая обвязка резервуаров.....	139
16.2.2. Дыхательные клапаны резервуаров.....	142
16.2.3. Диски-отражатели и хлопуши.....	145
Контрольные задания для студентов заочной формы обучения.....	148
Библиографический список.....	151

Учебное издание

Юрий Петрович Макушев,
Александр Петрович Жигadlo,
Лариса Юрьевна Волкова

ХИММОТОЛОГИЯ

Учебное пособие

Редактор Н.И. Косенкова
Верстка макета – Е.В. Садина

Подписано к печати _____
Формат 60x90 1/16. Бумага писчая
Оперативный способ печати
Гарнитура Times New Roman
Усл. п. л. 9,75, уч. - изд. л. 7,8
Тираж 500 экз. Заказ № _____

РИО ИПК СиБАДИ
644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

Отпечатано в отделе оперативной полиграфии ИПК СиБАДИ
644080, г. Омск, пр. Мира, 5