

## *Лекция 1. Топливо*

### *1. Общие сведения о топливе и роль топливно-энергетических ресурсов*

В настоящее время затраты на топливо составляют основную часть стоимости производимой многими отраслями народного хозяйства продукции. Наша страна — одна из ведущих индустриальных держав мира по производству топлива и энергии и единственная, которая развивается на базе собственных ресурсов.

Структура производства и потребления различных видов топлива зависит от экономического и научно-технического развития страны. Так, в 1955 г. в общем топливном балансе страны (в пересчете на условное топливо) удельный вес твердого топлива составлял ок. 54%, нефти—30,5, природного газа — 7,9 и прочих видов топлива — 7,7%. В 1982 г. главное место занимали наиболее прогрессивные и эффективные виды топлива и баланс характеризовался следующим процентным составом: уголь — 24,1, нефть и конденсат — 44, природный газ — 29,7 и другие виды топлива (торф, сланцы, дрова и т. д.)— 2,2%.

В результате интенсивного развития сельскохозяйственного производства, постоянного роста его материально-технической базы значительно расширяются границы использования топливно-энергетических ресурсов. При складывающейся структуре использования большую долю составляют жидкие виды топлива — дизельное, бензины, мазуты и др. С точки зрения экономии жидкого топлива, а также уменьшения загрязнения окружающей среды очень эффективно применение газового топлива. Таковым является выделяющийся при добыче нефти попутный газ, пропанобутановая смесь, получаемая при нефтепереработке, природный, а также генераторный газ — продукт сухой перегонки дерева или угля.

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

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

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

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

## 2. Назначение, классификация и свойства топлива

**Топливом** называют горючие вещества, способные при сжигании выделять тепловую энергию.

Топливо для тепловых двигателей и различных топочных устройств должно отвечать следующим основным требованиям:

- полностью испаряться и сгорать с выделением максимального количества тепла и минимального количества токсичных и коррозионно-активных продуктов и отложений;
- не вызывать затруднение при транспортировании, хранении и подаче по системам питания в любых климатических условиях;
- быть обеспеченными сырьевыми ресурсами и иметь низкую стоимость;
- добываться доступными дешевыми способами.

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

Таблица 1. Общая классификация топлива

Вид топлива	Естественное	Искусственное
Твердое	Ископаемые угли, горючие сланцы, торф, древесина, отходы с/х.	Каменноугольный кокс, древесный уголь, торфяной кокс, полукокс, брикеты, пылевидное топливо
Жидкое	Нефть	Бензин, керосин, дизельное топливо, мазут, спирт, бензол, смолы сухой перегонки твердого топлива
Газообразное	Газы природные и сопутствующие при добыче нефти и др. ископаемые	Светлые, коксовые, нефтяные. Крекинговые, доменные, генераторные, водяные, смешанные газы нефтеперерабатывающих заводов

У всех топлив, в соответствии с предъявляемыми требованиями, регламентируются следующие эксплуатационные свойства.

**1. Испаряемость** характеризует способность топлива переходить из жидкого состояния в парообразное. Это свойство формируется из таких показателей качества, как фракционный состав, давление насыщенных паров при различных температурах, поверхностное натяжение и т.д. Испаряемость определяет технико-экономические и эксплуатационные характеристики ДВС.

**2. Воспламеняемость** характеризует особенности процесса воспламенения смесей паров топлива с воздухом. Оценка этого свойства базируется на таких показателях качества, как температура вспышки, температура самовоспламенения и др. Показатель воспламеняемости имеет такое же значение, как и горючесть топлива.

**3. Горючесть** определяет эффективность процесса горения топливовоздушной смеси в камерах сгорания.

**4. Прокачиваемость** характеризует поведение топлива при перекачках его по трубопроводам и топливным системам, а также при его фильтровании. Это свойство определяет бесперебойность подачи топлива в двигатель при разных температурах эксплуатации. Прокачиваемость оценивают вязкостно-температурными свойствами, температурами помутнения и застывания, предельной фильтруемостью, содержанием воды, механических примесей и др.

**5. Склонность к образованию отложений** - это способность топлива образовывать отложения различного рода в камерах сгорания, в топливных системах, на выпускных и впускных клапанах. Имеются в виду отложения, образующиеся как при низких температурах в системах питания и смесеобразования, так и нагар, получающийся при высоких температурах в процессе сгорания топлива. Оценка этих свойств базируется на таких показателях качества топлива, как зольность, коксуемость, содержание смолистых веществ, непредельных углеводородов и т.д.

**6. Коррозионная активность и совместимость** с неметаллическими материалами характеризует способность топлива вызывать коррозионные поражения металлов, набухание, разрушение или изменение свойств резины, герметиков и других материалов. Это свойство предусматривает количественную оценку содержания в топливе коррозионно-активных веществ, испытание стойкости металлов, резины и герметиков при контакте с топливом.

**7. Защитная способность** - это способность топлива защищать от коррозии материалы при их контакте с агрессивной средой в присутствии топлива и в первую очередь защищать металлы от электрохимической коррозии<sup>3</sup> при попадании воды.

**8. Противоизносные свойства** характеризуют уменьшение изнашиваемости трущихся поверхностей в присутствии топлива. Это свойство имеет важное значение для двигателей, у которых топливные насосы и топливо-регулирующая аппаратура смазываются только самим топливом без подачи смазочного материала. Свойство оценивается показателями вязкости и само смазывающей способностью.

**9. Охлаждающая способность** определяет способность топлива поглощать и отводить тепло от нагретых поверхностей. Свойство имеет значение в тех случаях, когда топливо применяют для охлаждения масла (топливо-масляные радиаторы) или наружной обшивки летательных аппаратов при больших скоростях полёта. Оценка свойства базируется на таких показателях качества, как теплоёмкость и теплопроводность.

**10. Стабильность** характеризует сохраняемость показателей качества при хранении и транспортировке. Это свойство оценивает физическую и химическую стабильность топлива и его склонность к биологическому поражению бактериями, грибами и плесенью. Уровень этого свойства позволяет установить гарантийный срок хранения топлива в различных климатических условиях.

**11. Экологические свойства** характеризуют воздействие топлива и продуктов его сгорания на человека и окружающую среду. Оценка этого свойства базируется на показателях токсичности топлива и продуктов его сгорания и пожароопасности.

В зависимости от вида топлива и его назначения значимость того или иного эксплуатационного свойства может быть больше или меньше.

### ***3. Элементный состав топлив и тепловая характеристика***

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

Горючая часть представляет собой совокупность различных органических соединений, в которую входят углерод (С), водород (Н), кислород (О), азот (N) и сера (S).

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

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

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

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

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

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

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

Зола **A** представляет собой негорючий твердый компонент, количество которого определяют после полного сгорания топлива. Она является нежелательной и даже вредной примесью, так как в ее присутствии усиливаются абразивные износы, усложняется эксплуатация котельных установок и т. д., У топлива с высоким содержанием золы понижены теплота сгорания и загоряемость.

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

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

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

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

Элементный состав рабочего топлива выражается уравнением:

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

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

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

При определении так называемой **сухой массы топлива**, из которой путем искусственной сушки при температуре 105°C удалена влага, элементный состав выражают в виде:

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

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

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

**Органическая масса** топлива может быть представлена так:

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

#### **4. Теплота сгорания топлива и методы ее определения**

При "сгорании" горючей смеси в двигателе химическая энергия топлива превращается в тепловую и далее в механическую. Количество тепла при этом зависит от состава горючей смеси и от свойств самого топлива.

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

При **расчетном методе** важно знать элементный состав топлива. Согласно закону Г. И. Гесса, теплота сгорания топлива зависит только от начальных и конечных продуктов сгорания и не зависит от характера промежуточных реакций. Поэтому *теплота сгорания топлива равна суммарной теплоте сгорания составляющих его элементов.*

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

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

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

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

Связь между низшей и высшей теплотой выражается уравнением

$$Q_n = Q_v - 25(9H + W) \quad (6)$$

где  $25(9H + W)$  — количество теплоты, которое затрачивается на парообразование влаги, содержащейся в топливе, и удаляется с продуктами сгорания в атмосферу; 25 — коэффициент, указывающий на потерю теплоты в количестве 2512 кДж при выносе в атмосферу 1 кг пара, если влага находится в парообразном состоянии при охлаждении выпускных газов до 20

°С. Количество теплоты 2512 разделено на 100, так как значения величин  $H$  и  $W$  указаны в процентах;  $9H$  — масса влаги, образующаяся при сгорании единицы массы водорода;  $H$  и  $W$  — содержание в топливе водорода и воды, %.

При определении удельной теплоты сгорания по элементному составу используют формулы, предложенные Д.И. Менделеевым. Эти формулы показывают, что теплота сгорания топлива равна суммарной теплоте, выделяемой при сгорании его отдельных элементов. Высшая удельная теплота сгорания жидкого или твердого топлива

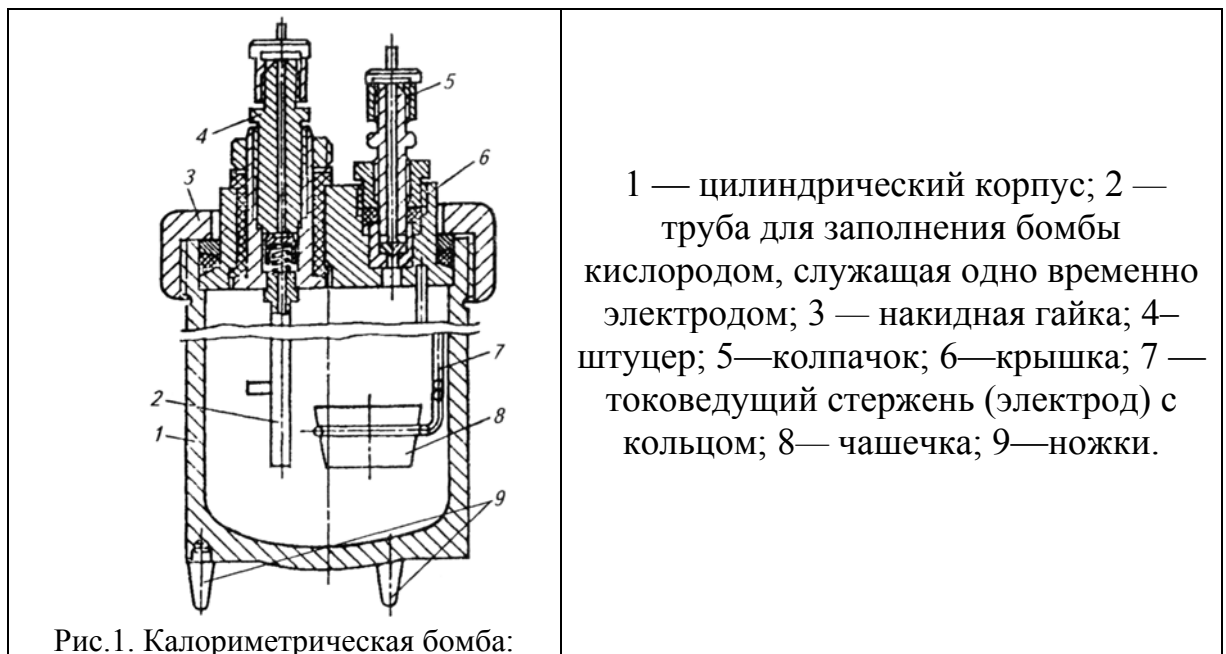
$$Q_v = 339C + 1256H - 109(O - S) \quad (7)$$

Низшая удельная теплота сгорания жидкого или твердого топлива

$$Q_n = 339C + 1030H - 109(O - S) - 25 W \quad (8)$$

В формулах (7), (8) содержание различных элементов и влаги в топливе указывают в процентах, а числа рядом с буквенными обозначениями элементов выражают теплоту сгорания этих элементов, деленную на 100.

Для определения теплоты сгорания топлива **опытным методом** используют калориметрическую установку, основными элементами которой являются бомба (рис.1) и калориметр.



Сущность метода заключается в сжигании навески испытуемого жидкого топлива в калориметрической бомбе (при постоянном объеме) в среде сжатого кислорода и определении количества теплоты, выделившейся при сгорании.

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

### 5. Условное топливо

Все топлива имеют неодинаковую теплоту сгорания, так как отличаются по составу, физическим и химическим свойствам. Для сопоставления различных топлив в качестве эталона принято "условное топливо", у которого низшая теплота сгорания для жидких и твердых топлив равна 29 307 кДж/кг, для газообразного топлива - 29 307 кДж/м<sup>3</sup> (700 ккал/кг, 700 ккал/м<sup>3</sup>).

Для расчетов (например для замены одного вида топлива на другой) используют калорийный ( $\mathcal{E}_{\text{кал}}$ ) и технический ( $\mathcal{E}_{\text{тсх}}$ ) эквиваленты.

$$\mathcal{E}_{\text{кал}} = \frac{Q_n}{29307}, \quad \mathcal{E}_{\text{тсх}} = \frac{Q_n \cdot \eta_n}{29307},$$

где  $Q_n$  - низшая теплота сгорания топлива;  $\eta_n$  - средний КПД котла (используется для расчета разных топлив, применяемых в котельных установках).

Значения калорийных эквивалентов для основных видов топлив:

Топливо	Теплота сгорания	Калорийный эквивалент
Каменный уголь	29307	1,00
Бензин	45216	1,57
Диз. топливо	42704	1,45
Газ природный	35586	1,21

### 6. Расчеты реакции горения и состав продуктов сгорания. Коэффициент избытка воздуха

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

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

Различают *гомогенное* горение, когда топливо и окислитель находятся в газообразном состоянии; *гетерогенное*, когда вступающие в реакцию



вещества находятся в различном агрегатном состоянии (например, в твердом и газообразном), и *взрывное*.

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

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

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

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

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

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

$$O = \frac{2,67C + 8H + S - O}{100} \quad (9)$$

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

$$L_{тв} = \frac{2,67C + 8H + S - O}{23,2} \quad (10)$$

Если количество воздуха выражают в объемных единицах, то уравнение (10) делят на плотность воздуха при нормальном состоянии (температура 0°C и давление 101,3 кПа), равную 1,293. Тогда теоретическое количество воздуха ( $m^3$ ) выразится так:

$$L_{те} = \frac{2,67C + 8H + S - O}{30} \quad (11)$$

Теоретически необходимое количество воздуха ( $m^3$ ) для сжигания газообразного топлива можно определить по известному объемному составу (%) газа:

$$L_{те} = \frac{0,5(CO + H_2) + \left(n + \frac{m}{4}\right)C_nH_m - O_2}{21} \quad (12)$$

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

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

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

$$\alpha_{дв} = L_{дв} / L_{те} \quad (13)$$

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

В зависимости от соотношения воздуха и топлива может быть несколько видов горючей смеси. Если полное сгорание происходит с расчетным количеством воздуха, то коэффициент избытка равен единице ( $\alpha = 1$ ), а смесь называют нормальной. Когда  $\alpha$  больше единицы ( $\alpha > 1$ ), смесь бедная, а меньше единицы ( $\alpha < 1$ ) - богатая. При значениях  $\alpha$  близких к единице смесь называют обедненной или обогащенной.

Режимная работа двигателя, как на бедных, так и на богатых смесях невыгодна. В первом случае скорость горения и температура снижаются, двигатель не развивает нужной мощности. Во втором случае образуются продукты неполного сгорания топлива, расход топлива увеличивается, а мощность падает. Для двигателей всех типов и режимов работы нужно обеспечить сгорание топлива с меньшим коэффициентом избытка воздуха.

## 7. Определение состава продуктов сгорания топлива

Характер процесса горения, как уже отмечалось, можно определять по составу продуктов сгорания топлива. В реальных двигателях обеспечить стехиометрическое сгорание практически невозможно, поэтому *в отработавших газах* в больших или меньших количествах содержатся продукты неполного сгорания, которых найдено более 200 различных соединений.

Основными компонентами, имеющими наиболее широкое распространение, являются: оксид углерода (CO), углерод (C), различные углеводороды простого и сложного строения ( $C_nH_m$ ), оксиды азота ( $NO_x$ ), водород ( $H_2$ ), оксиды серы ( $SO_2$  и  $SO_3$ ), соединения свинца (при сгорании этилированного бензина), альдегиды (RCHO). При сжигании сернистых дизельных топлив иногда образуется и сероводород ( $H_2S$ ). Продукты сгорания двигателей и других установок могут быть нетоксичными ( $O_2$ ,  $H_2$ ,  $H_2O$ ,  $CO_2$ ) и токсичными (CO,  $NO_x$ ,  $C_nH_m$ , альдегид (уксусный, формальдегид), сажа (C),  $H_2S$ ,  $SO_2$ , соединения свинца и т.д.).

Отсутствие в продуктах сгорания оксида углерода (CO) свидетельствует о полном сгорании топлива. Его наличие, а также присутствие водорода ( $H_2$ ) указывает на неполное сгорание.

Для определения состава продуктов сгорания предназначены различные методы и приборы. Широко применяются, например, химические газоанализаторы, которые позволяют в контролируемой пробе определить содержание углекислого газа  $CO_2$ , кислорода  $O_2$  и оксида углерода (II) CO.

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

Сначала определяют количество углекислого газа  $CO_2$  по его поглощению раствором едкого калия KOH в сосуде 2, затем кислорода  $O_2$  в сосуде 2', заполненном щелочным раствором пирогаллола  $C_6H_3(OH)_3$  и, наконец, оксида углерода (II) CO в сосуде 2'', содержащем аммиачный раствор однохлористой меди  $CuCl$ . Содержание азота N вычисляют по формуле:

$$N_2=100 - (CO_2 + O_2 + CO).$$

После проведения анализа подсчитывают коэффициент избытка воздуха для случаев неполного сгорания

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{3,76(O_2 - 0,5CO)}{N_2}} \quad (14)$$

и полного сгорания

$$\alpha = \frac{1}{1 - \frac{3,76O_2}{N_2}}, \quad (15)$$

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

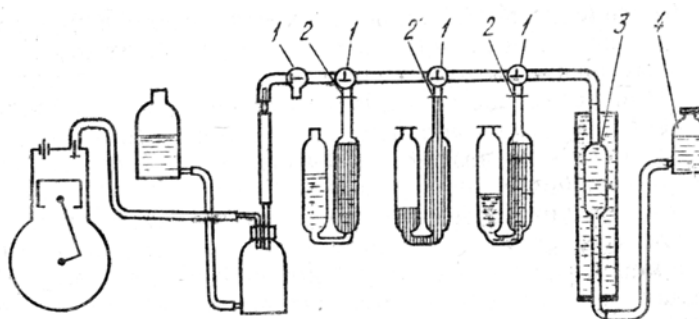


Рис. 2. Простейший газоанализатор:

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

## ***Лекция 2. Нефть. Получение автомобильного бензина из нефти***

**НЕФТЬ** - горючая маслянистая на ощупь жидкость, распространенная в осадочной оболочке земной коры с характерным запахом, коричневого, темно-коричневого, реже красного или желтого цвета; одно из важнейших для современной промышленности полезных ископаемых. Представляет из себя смесь алканов, цикланов и аренов, а также кислородных, сернистых и азотистых соединений. Различают легкую (0,65-0,87 г/см<sup>3</sup>), среднюю (0,871-0,910 г/см<sup>3</sup>) и тяжелую (0,910-1,05 г/см<sup>3</sup>) нефть. Температура застывания нефти зависит от содержания в ней твердых углеводородов и смолистых веществ и находится в пределах от +20 до -80 °С. Вязкость зависит от свойств углеводородов и количества смолистых веществ, входящих в состав нефти. Теплота сгорания 43,7-46,2 МДж/кг (10 400-11 000 ккал/кг). Элементный химический состав нефтей различных месторождений неодинаковый. Основные элементы нефти: углерод (85...87%) и водород

(12...14%). Кроме того, в нефти содержатся кислород (0,1...0,3%), сера, азот (0,02...1,7%), а также незначительное количество других элементов.

По содержанию в своем составе серы нефти классифицируют на малосернистые (до 0,5% S), сернистые (0,5-2% S) и высокосернистые (св. 2% S). Из нефти получают бензин, керосин, мазут, дизельное и другие виды топлива.

В состав нефти входят углеводороды трех классов: парафиновые, нафтеновые и ароматические. В нефтепродуктах могут содержаться, иногда в значительных количествах, непредельные углеводороды, образующиеся в процессе переработки нефти и нефтепродуктов.

**Парафиновые углеводороды** являются гомологами простейшего углеводорода метана ( $\text{CH}_4$ ). При последовательном замещении атомов водорода метана на радикал ( $\text{CH}_3$ ), называемый метальной группой, получается гомологический ряд парафиновых углеводородов. Общая формула парафиновых углеводородов  $\text{C}_n\text{H}_{2n+2}$ . Начиная с метана ( $\text{CH}_4$ ), эти углеводороды газообразные, начиная с пентана ( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ ) — жидкие, а с гексадекана ( $\text{C}_{16}\text{H}_{34}$ ) — твердые.

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

Парафиновые углеводороды, молекулы которых имеют неразветвленные цепи атомов углерода, носят название *нормальных*. Кроме *n*-парафинов, в нефтепродуктах содержатся также *изомерные* углеводороды (*и*-парафины), которые при аналогичной общей формуле обладают иным пространственным расположением атомов.

В состав дизельного топлива для обеспечения мягкой работы двигателя должны входить *n*-парафины; в бензинах высокие противодетонационные свойства определяются наличием *и*-парафинов.

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

**Нафтеновые углеводороды** имеют циклическое строение. Общая эмпирическая формула их  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$ . В молекулы нафтеновых углеводородов входят замкнутые кольца атомов углерода. Циклическое строение этих углеводородов обуславливает их высокую химическую прочность.

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

**Ароматические углеводороды** имеют общую формулу  $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$ . Наиболее важным ароматическим углеводородом является бензол ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ). Ароматические углеводороды легко вступают в реакции замещения, образуя фенол, нитробензол и др.

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

Ароматические углеводороды устойчивы к окислению, поэтому в их присутствии противодетонационные свойства карбюраторного топлива повышаются. В силу этих же причин ароматические углеводороды нежелательны в дизельном топливе, ибо они вызывают увеличение периода задержки самовоспламенения, что способствует жесткой работе дизеля.

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

Непредельные углеводороды в большинстве случаев нежелательны для моторного топлива и смазочных масел. Малая стабильность непредельных углеводородов является следствием смолообразования в топливе при хранении, особенно в крекинг-бензинах.

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

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

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

*Карбены* представляют собой продукты уплотнения асфальте -нов. Это твердые вещества с плотностью больше единицы. Они нерастворимы в бензоле.

*Карбоиды* образуются в результате уплотнения и полимеризации углеводородов при термическом разложении нефти. Они состоят в основном из углерода и небольшого количества водорода, практически нерастворимы в органических и минеральных растворителях.

*Асфальтогеновые (полинафтеновые) кислоты* — это полутвердые или твердые вещества, мало растворимые в бензине.

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

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

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

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

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

Мировые запасы нефти составляют св. 130 млрд. т.

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

Установлено, что нефть имеет органическое происхождение. Исходными веществами для образования нефти послужили продукты распада растительных и животных организмов. Они разлагались главным образом под действием бактерий, которые, отмирая, сами входили в образующийся органический остаток. Образовавшиеся в результате распада органические соединения накапливались в осадочных отложениях прибрежно-морских зон; к ним параллельно добавлялись аналогичные вещества, приносимые водными потоками с суши.

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

Наибольшие запасы нефти сосредоточены в странах Ближнего Востока: Саудовской Аравии, Кувейте, Иране и Ираке.

Считают, что современный термин “нефть” произошел от слова “нафата”, что на языке народов Малой Азии означает просачиваться. Нефть начали добывать на берегах Евфрата за 4 – 6 тыс. лет до нашей эры.

Использовалась она и в качестве лекарства. Древние египтяне использовали окисленную нефть для бальзамирования. Нефтяные битумы использовались для приготовления строительных растворов. В средние века нефть использовалась для освещения в ряде городов на Ближнем Востоке, Южной Италии. В начале XIX века в России, а в середине XIX века в Америке из нефти путем возгонки был получен керосин. Он использовался в лампах. До середины XIX века нефть добывалась в небольших количествах из глубоких колодцев вблизи естественных выходов ее на поверхность. Изобретение парового, а затем дизельного и бензинового двигателя привело к бурному развитию нефтедобывающей промышленности.

На заре развития автомобилестроения основная потребность в бензине удовлетворялась в основном продуктами прямой перегонки нефти, в результате которой происходило разделение нефти на множество различных фракций, выкипающих при различной температуре.

С развитием автоиндустрии прямая перегонка нефти не могла уже удовлетворить потребность в бензине, не смотря на то, что добыча нефти постоянно наращивалась. Для получения автомобильного топлива возникла потребность в более новых методах переработки нефти и здесь на помощь пришел такой физико-химический процесс как **крекинг**, разработанный ещё в годы первой мировой войны. Суть данного процесса заключается в расщеплении крупных молекул нефти на более мелкие молекулы. Крекинг позволяет извлечь из нефти дополнительно до 15-ти процентов бензина.

*Крекинг* разделяется по технологии на несколько видов:

- термический – происходит при температуре 450-550°C и давлении 4-6 МПа (здесь и далее по Цельсию);
- каталитический – происходит при температуре 450-500°C, давлении до 0,4 МПа, в присутствии катализаторов. Для переработки нефти с высоким содержанием сернистых и смолистых веществ применяют каталитический крекинг при 330-470°C, под давлением водорода 5-30 МПа (так называемый гидрокрекинг).

*При термическом крекинге* возможно получение бензина с октановым числом порядка 68...70, т.е. тех марок, которые в настоящее время практически не используются. Применение катализаторов при каталитическом крекинге позволило существенно увеличить выход бензина, а также значительно повысить его октановое число. В настоящее время при производстве автомобильных бензинов каталитический крекинг практически полностью вытеснил термический.

Таким образом, при перегонке парафиновых нефтей добываемых сегодня в нашей стране получается *автомобильный бензин* с очень низким октановым числом. Но, к счастью, есть процесс, позволяющий значительно поднять октановое число, а, значит, и качество *бензина*. Этот процесс называется *технический реформинг*, при котором с повышением температуры перегонки *нефти* происходит преобразование *бензина*. В результате термического реформинга низкооктановые парафиновые углеводороды превращаются в высокооктановые. В настоящее время для



производства высококачественных *бензинов* применяют каталитический реформинг. В качестве катализатора при этом используют платину. *Бензины* с высокооктановым числом получают смешиванием бензинов каталитического крекинга и каталитического реформинга с введением в смесь высокооктановых добавок и этиловой жидкости. В состав последней, в свою очередь, входит смесь тетраэтилсвинца, бромистый этил и другие компоненты. Однако их значительная токсичность заставляет в наши дни ограничивать применение *бензина* с такими антидетонационными присадками.

Но и в этом случае выход был найден: вместо тетраэтилсвинца (этилированные бензины) в бензин добавляют изопентан и алкилбензин, которые получают из природного газа. Изопентан кипит уже при температуре 28 градусов, что ограничивает его содержание в конечном продукте – бензине 15-20%. Алкилбензин по температуре кипения близок к автомобильным сортам бензина.

Из всего вышесказанного следует, что для получения высокооктановых бензинов необходимо в их состав вводить бензин, получаемый в результате очень дорогостоящих и сложных технологических процессов. Если ко всему этому добавить, что добыча *нефти* с каждым годом значительно усложняется и, более того, учитывая конъюнктуру спроса и цены на нефть на мировых рынках, становится понятной истинная стоимость такого необходимого продукта как **автомобильный бензин**.

### ***Лекция 3. Автомобильный бензин***

В настоящее время бензиновые двигатели внутреннего сгорания не уступают своего места своим ближайшим родственникам – дизелям и двигателям, работающим на газе. Поэтому есть смысл разобраться, что же представляет собой этот вид топлива, как оно сгорает, приводя в движение наши автомобили, и что мешает этому процессу.

**АВТОМОБИЛЬНЫЙ БЕНЗИН** (франц. benzine, от араб. любан джави — яванское благовоние) – почти бесцветная жидкость (если разговор идет о бензине высокого качества), замерзающая при температуре ниже -60 градусов Цельсия. Представляет собой смесь углеводородов различного строения и способная в парообразном состоянии образовывать взрывчатые смеси при достижении концентрации паров бензина в воздухе 75...125г/м<sup>3</sup>.

Рассмотрим, что же происходит с **бензином** по пути от бензобака автомобиля до камеры сгорания двигателя. По топливопроводам бензин поступает в карбюратор автомобиля. Из распылителей карбюратора *бензин* вытекает в жидком виде. На пути от распылителя, во впускном коллекторе, *бензин* испаряется так, что доля его паров в воздухе колеблется в пределах 75- 125г/м<sup>3</sup>, образуя тем самым взрывчатую смесь. Отсюда следует, что одним из основных свойств бензина является его способность испаряться. Как известно, на процесс испарения любой жидкости оказывают

значительное влияние её вязкость, плотность и коэффициент поверхностного натяжения. Самым же главным для испарения является температура кипения.

**ТЕМПЕРАТУРА КИПЕНИЯ** - температура, при которой происходит кипение жидкости, находящейся под постоянным давлением. Температура кипения любой жидкости при нормальном атмосферном давлении (1013,25 гПа, или 760 мм рт. ст.) называют нормальной температурой кипения или точкой кипения.

Бензин, как мы это уже знаем, является смесью, состоящей из нескольких фракций, поэтому он не может иметь строго определенной температуры кипения по определению. При атмосферном давлении входящие в состав автомобильного бензина легкие фракции начинают кипеть при температуре от 30 до 40 градусов, а тяжелые выкипают при значительно высоких температурах (иногда более 200 градусов).

Температура выкипания 10% бензина характеризует его **пусковые свойства**, так как при низких температурах именно эти 10% испаряются при первых вспышках в цилиндрах автомобиля. Температура пуска значительно понижается при увеличении степени сжатия в цилиндрах, при применении электронного зажигания и увеличении частоты вращения двигателя на этапе пуска. Из вышесказанного следует: чем ниже *температура кипения*, тем легче произвести запуск холодного двигателя.

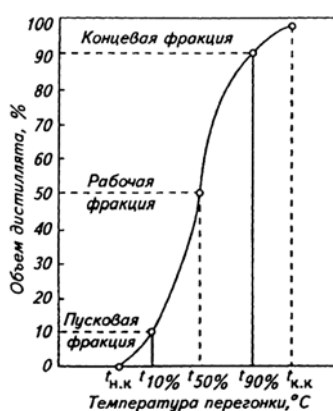


Рис.3. Кривая перегонки бензина

Если в бензине недостаточно низкокипящих фракций, то при пуске холодного двигателя часть бензина не успевает испариться и попадает в цилиндры в жидком состоянии. Горючая смесь, поступающая в цилиндры, оказывается переобедненной и не воспламеняется от электрической искры, в связи, с чем пуск двигателя иногда становится вообще невозможен. Неиспарившийся бензин, оставаясь в капельно-жидком состоянии, попадает в цилиндры двигателя и смывает с их поверхности масло, а при попадании в картер разжижает масло.

Однако слишком низкая температура кипения автомобильного бензина влечет за собой проблемы при запуске двигателя в жаркую погоду. Значительно повышается общая пожароопасность при эксплуатации автомобиля, возможно возникновение потери бензина вследствие чрезмерного его испарения по пути в цилиндры двигателя. При низкой температуре кипения наиболее легкие фракции бензина начинают испаряться и кипеть уже в бензопроводе, в бензонасосе, образуя тем самым паровые пробки, которые препятствуют поступлению бензина в карбюратор автомобиля.

Огромное значение для эксплуатационных свойств бензина имеет непосредственно интервал температур от начала кипения его наиболее легких фракций до окончания кипения наиболее тяжелых. Чем уже этот интервал, тем меньше времени затрачивается на прогрев холодного двигателя, приемистость двигателя при этом значительно возрастает.

*Температура перегонки 50 % бензина характеризует длительность прогрева, качество смесеобразования в нагретом двигателе и приемистость, а также равномерное распределение бензиновых фракций по цилиндрам.*

Чем легче фракционный состав и ниже температура перегонки 50% бензина, тем быстрее прогревается двигатель. Бензин с низкой температурой перегонки 50% быстрее испаряется во впускном трубопроводе, наполнение цилиндра горючей смесью улучшается, мощность двигателя увеличивается.

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

Согласно ГОСТ 2084-77 у товарных автомобильных бензинов летнего вида  $t_{50\%}$  должна быть не более  $115^{\circ}\text{C}$ , а зимнего вида –  $100^{\circ}\text{C}$  (для АИ-95 –  $120$  и  $105^{\circ}\text{C}$  соответственно).

И последнее, температура бензина, при которой полностью выкипают все его тяжелые фракции, оказывает значительное влияние на общий срок службы двигателя.

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

**ДЕТОНАЦИЯ** моторного топлива - это чрезмерно быстрое сгорание топливной смеси в цилиндре карбюраторного двигателя из-за накопления органических пероксидов в топливной смеси. При сильной детонации мощность двигателя падает, детали двигателя подвергаются наиболее высоким тепловым и механическим нагрузкам. В результате работы двигателя с повышенной детонацией происходит обгорание и разрушение рабочих кромок клапанов и поршней, электродов свечей. Повышенная детонация может вызвать пробой прокладки головки блока. Ударные волны, возникающие вследствие повышенной детонации, разрушают масляную пленку между поршнем и гильзой цилиндра, что приводит к повышенному износу пар трения. Все вышперечисленные процессы происходят при низкой детонационной стойкости автомобильного бензина.

Детонация возникает в конце процесса сгорания, когда большая часть смеси уже сгорела. Процесс сгорания происходит так же, как и нормальный, однако в конце сгорания на индикаторной диаграмме регистрируется колебательный характер изменения давлений. Сначала наблюдается резкий рост давления в виде острых пиков, а затем давление постепенно падает, что изображено на диаграмме рядом затухающих пиков.

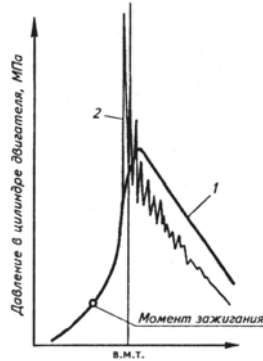


Рис. 6. Индикаторная диаграмма бензинового двигателя: 1 — нормальное сгорание; 2 — детонационное сгорание

Напротив, бензин, имеющий повышенную детонационную стойкость, слишком медленно горит. При применении таких бензинов горение в цилиндрах значительно затягивается, продукты сгорания не успевают расшириться и охладиться. Повышенная температура отработанных газов производит губительное действие на выпускные клапаны, в результате чего последние быстро прогорают.

Детонационную стойкость бензина принято выражать **октановым числом**. Октановое число определяется на одноцилиндровом двигателе специальной конструкции, обеспечивающем переменную степень сжатия при эталонных условиях работы на обедненной топливной смеси.

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

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

*Октановое число — это процентное (объемное) содержание изооктана в смеси с нормальным гептаном, которая по своим антидетонационным свойствам аналогична испытуемому топливу.*

Например, ОЧ бензина 95 означает, что бензин имеет такие же антидетонационные свойства при испытании на стандартной установке, что и смесь из 95 % изооктана и 5 % нормального гептана.

Детонационная стойкость автомобильных бензинов определяется двумя методами: моторным и исследовательским. Отличия этих методов заключается в режимах их проведения. Испытания бензина по исследовательскому методу проводят при менее напряженном режиме: смесь за карбюратором не подогревают. Напротив, при моторном методе, на входе в камеру сгорания поддерживают температуру бензиновой смеси на уровне 150 градусов. В связи с этим моторный метод наиболее точно оценивает детонационные свойства бензина на форсированном режиме, а исследовательский - при работе двигателя с частыми остановками и с ограничением мощности.

На основе детонационных свойств производится распределение автомобильных бензинов по маркам. В марке бензина указываются его октановое число, найденное по одному из вышеуказанных методов.

Пример:

- А-95: А - бензин автомобильный с *октановым числом 95*, вычисленным по моторному методу;
- АИ-98: АИ - бензин автомобильный с *октановым числом 98*, вычисленным по исследовательскому методу;

Отклонение истинного *октанового числа* используемого бензина от нормы (иногда наблюдающееся при заправке автомобиля некачественным топливом) на 3-4 единицы в любую сторону, можно компенсировать регулировкой опережения зажигания.

## **КЛАССИФИКАЦИЯ И АССОРТИМЕНТ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВ**

Обозначение марок бензинов состоит, как правило, из двух групп знаков, первая из которых обозначается буквой А или АИ (бензин автомобильный, буква И означает, что октановое число определено по исследовательскому методу, отсутствие буквы И - по моторному). Вторая группа знаков обозначается цифрами и указывает величину октанового числа в условных единицах. Бензинам, выпускаемым по техническим условиям, отраслевым нормам, может присваиваться заводская или торговая марка.

Для нужд автомобильного транспорта в России вырабатывают бензин по ГОСТ 2084-77 и ТУ 38.001165-97.

В зависимости от октанового числа ГОСТ 2084-77 предусматривает пять марок автобензинов: А-72, А-76, АИ-91, АИ-93 и АИ-95. Для первых двух марок цифры указывают октановые числа, определяемые по моторному методу, для последних - по исследовательскому. В связи с увеличением доли легкового транспорта в общем объеме автомобильного парка наблюдается заметная тенденция снижения потребности в низкооктановых бензинах и увеличения потребления высокооктановых. Бензин А-72 практически не вырабатывается из-за отсутствия техники, эксплуатируемой на нем.

Наибольшая потребность существует в бензине А-92, который вырабатывается по ТУ 38.001165-97.

Указанные ТУ предусматривают также марки бензинов А-80 и А-96 с октановыми числами по исследовательскому методу соответственно 80 и 96. Эти бензины предназначены в основном для поставки на экспорт. Бензин АИ-98 с октановым числом 98 по исследовательскому методу производится по ТУ 38.401-58-122-95 и ТУ 38.401-58-127-95. Бензины А-76, А-80, АИ-91, А-92 и А-96 допускается вырабатывать с использованием этиловой жидкости. Малоэтилированный бензин АИ-91 с содержанием свинца 0,15 г/дм<sup>3</sup> выпускается по отдельным техническим условиям (ТУ 38.401-58-86-94). При производстве бензинов АИ-95 и АИ-98 использование алкилсвщцовых антидетонаторов не допускается.

Все бензины, вырабатываемые по ГОСТ 2084-77, в зависимости от показателей испаряемости делят на летние и зимние. Зимние бензины предназначены для применения в северных и северо-восточных районах в течение всех сезонов и в остальных районах с 1 октября до 1 апреля. Летние — для применения во всех районах, кроме северных и северо-восточных, в период с 1 апреля по 1 октября; в южных районах допускается применять летний бензин в течение всех сезонов. Бензины для экспорта (ТУ 38.001165-97) и бензин АИ-98 - всесезонные. Параметры автомобильных бензинов, вырабатываемых по ГОСТ 2084-77, существенно отличаются от принятых международных норм, особенно в части экологических требований. Для повышения конкурентоспособности российских бензинов и доведения их качества до уровня европейских стандартов разработан ГОСТ Р 51105-97 «Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин. Технические условия», который введен в действие с 01.01.99. Этот стандарт не заменяет ГОСТ 2084-77, которым предусмотрен выпуск как этилированных, так и неэтилированных бензинов. В соответствии с ГОСТ Р 51105-97 вырабатываются только неэтилированные бензины (максимальное содержание свинца не более 0,01 г/даг). В зависимости от октанового числа по исследовательскому методу установлено четыре марки бензинов: «Нормаль-80», «Регуляр-91», «Премиум-95», «Супер-98». Бензин «Нормаль-80» предназначен для использования на грузовых автомобилях наряду с бензином А-76. Неэтилированный бензин «Регуляр-91» предназначен для эксплуатации автомобилей взамен этилированного А-93. Автомобильные бензины «Премиум-95» и «Супер-98» полностью отвечают европейским требованиям, конкурентоспособны на нефтяном рынке и предназначены в основном для зарубежных автомобилей, ввозимых в Россию.

На бензины всех марок вырабатываемых по ГОСТ Р 5110-97 распространяются общие требования: испытание на медной пластинке - выдерживают содержание водорастворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды - отсутствие; плотность при 20 °С - не нормируется, определение обязательно. Для городов и районов, а также предприятий, где Главным санитарным врачом запрещено применение этилированных бензинов, предназначаются только неэтилированные. Допускается

вырабатывать бензин, предназначенный для применения в южных районах, следующими показателями по фракционному составу:

- 10 % перегоняется при температуре не выше 75 °С;
- 50 % перегоняется при температуре не выше 120 °С;

Для бензинов, изготовленных с применением компонентов каталитического риформинга допускается температура конца кипения не выше 205 °С - для летнего и не выше 195 °С - для зимнего.

С целью ускорения перехода на производство неэтилированных бензинов взамен этиловой жидкости допускается использование марганцевого антидетонатора в концентрации не более 50 мг/дм<sup>3</sup> для марки «Нормаль-80» и не более 18 мг/дм<sup>3</sup> для марки «Регуляр-91». В соответствии с европейскими требованиями по ограничению содержания бензола введен показатель «объемная доля бензола» - не более 5 %. Установлена норма по показателю «плотность при 15 °С». Ужесточена норма на массовую долю серы - до 0,05 %. Для обеспечения нормальной эксплуатации автомобилей и рационального использования бензинов введено пять классов испаряемости для применения в различных климатических районах по ГОСТ 16350-80.

При производстве высокооктановых бензинов используются алкилбензин, изооктан, изопентан и толуол. Бензины АИ-95 и АИ-98 обычно получают с добавлением кислородосодержащих компонентов: метил-третбутилового эфира (МТБЭ) или его смеси с трет-буганолом, получившей название фэтерол. Введение МТБЭ в бензин позволяет повысить полноту его сгорания и равномерность распределения детонационной стойкости по фракциям. Максимально допустимая концентрация МТБЭ в бензинах составляет 15 % из-за его относительно низкой теплоты сгорания и высокой агрессивности по отношению к резинам.

Для достижения требуемого уровня детонационных свойств этилированных бензинов к ним добавляют этиловую жидкость (до 0,15 г свинца/дм бензина). К бензинам вторичных процессов, содержащим непредельные углеводороды, для их стабилизации и обеспечения требований по индукционному периоду разрешается добавлять антиокислители «Агидол-1» или «Аги-дол-12». В целях обеспечения безопасности в обращении и маркировки этилированные бензины должны быть окрашены. Бензин А-76 окрашивается в желтый цвет жирорастворимым желтым красителем К, бензин АИ-91 - в оранжево-красный цвет жирорастворимым темно-красным красителем Ж. Этилированные бензины, предназначенные для экспорта, не окрашиваются. Примерные компонентные составы основных производителей автомобильных бензинов различных стран представлены в табл. 32. Общий бензиновый фонд, млн т в год, по некоторым странам-производителям автомобильного топлива составляет: Россия - 30; США - 325; Западная Европа - 125.

С целью обеспечения Москвы и других регионов с высокой плотностью автомобильного транспорта экологически чистыми топливами разработан ряд технических условий на бензины автомобильные неэтилированные с улучшенными экологическими показателями:

«Городские» (ТУ 38.401-58-171-96), «ЯрМарка» (ТУ 38.301-25-41-97) и др. ТУ 38.401-58-171-96 распространяются на автомобильные бензины, вырабатываемые ОАО «Московский НПЗ», ТУ 38.301-25-41-97 - на бензины, вырабатываемые ОАО «Славнефть-Ярославнефтеоргсинтез». По сравнению с ГОСТ Р 51105-97 в этих технических условиях установлены более жесткие нормы по содержанию бензола, предусмотрено нормирование ароматических углеводородов и добавление моющих присадок.

#### ***Лекция 4. Эксплуатационные свойства и использование дизельных топлив***

Дизельное топливо представляет собой сложную смесь углеводородов и их производных: парафиновых от 10 до 40 %, нафтеновых от 20 до 60 %, ароматических от 14 до 30 %, со средней молекулярной массой 110-230, выкипающих в пределах 170-380 °С, температура вспышки находится в пределах 35-80 °С, застывания ниже минус 5 °С.

Дизельное топливо широко используется для работы двигателей наземного, водного транспорта, для стационарных установок, в сельском хозяйстве для тракторов и комбайнов. Одним из основных потребителей дизельного топлива является автомобильный транспорт, особенно в связи с более широким применением дизельных двигателей на грузовых автомобилях средней и малой грузоподъемности, а также на легковых.

Дизельные двигатели имеют преимущество перед бензиновыми по виду применяемого топлива. Для современных автомобилей, особенно средней и большой грузоподъемности, наиболее перспективными являются дизельные двигатели, их преимущество перед бензиновыми оценивается следующими основными показателями:

- по топливной экономичности расход дизельного топлива на 30-40 % ниже, чем у бензинового, в основном за счет более высокой степени сжатия, бензиновые  $\varepsilon = 6-9$ , дизельные  $\varepsilon = 14-20$ ;
- надежность и долговечность дизельных двигателей по литературным данным вдвое превышает этот показатель для бензинового ДВС;
- дизельное топливо менее подвержено потерям от испарения при транспортировке, хранении и применении, менее пожароопасно, поэтому снижаются расходы на эти мероприятия при эксплуатации дизельных двигателей;
- в дизельных двигателях практически отсутствует разжижение картерного масла топливом, что позволяет в 2-3 раза увеличить срок его работы по сравнению с бензиновым.

#### ***1. Эксплуатационные требования к дизельному топливу***

При равной частоте вращения коленчатого вала в быстроходных двигателях на смесеобразование и сгорание отводится в 10-15 раз меньше



времени, чем в бензиновых двигателях. Чем быстроходнее двигатель, тем меньше времени, отводимое на эти процессы.

Для того чтобы обеспечить надежную, экономичную и долговечную работу дизельного двигателя (полное сгорание, незначительное нагарообразование в цилиндро-поршневой группе и изнашивание), топливо должно отвечать следующим основным требованиям:

- обладать хорошей прокачиваемостью для бесперебойной, надежной работы топливного насоса высокого давления (т. е. не должно содержать механических примесей и воды), иметь определенный показатель фильтруемости, обладать нормальными низкотемпературными свойствами и иметь определенную вязкость;
- обеспечивать хороший распыл и хорошее смесеобразование (эти свойства зависят от вязкости и фракционного состава топлива);
- сгорание топлива должно быть полным и бездымным, обеспечивающим мягкую работу и легкий пуск двигателя (эти свойства зависят от химического состава топлива, который нормируется цетановым числом, фракционным составом и вязкостью);
- топливо не должно вызывать повышенного нагарообразования на клапанах, отложений на кольцах и поршнях, закоксовывания форсунок и зависания иглы распылителя (склонность к нагаро- и лакообразованию зависит от химического состава, способов и глубины очистки);
- не должно вызывать коррозии резервуаров, топливопроводов и деталей двигателя (эти свойства зависят от содержания в топливе сернистых соединений, органических и минеральных кислот и воды);
- при сгорании топливо должно выделять возможно большее количество тепла и быть стабильным (не менять свойства при длительном хранении).

## ***2. Вязкость, низкотемпературные свойства и фильтруемость дизельного топлива***

Вязкость топлива для быстроходных дизельных двигателей, согласно стандарту, нормируется при температуре 20 °С.

Изменение вязкости дизельного топлива при изменении температуры подчиняется следующей закономерности. При повышении температуры относительно стандартной вязкость почти не изменяется, при понижении возрастает резко.

Изменение вязкости оказывает существенное влияние на пусковые свойства, особенно в холодное время года. Чем выше значение вязкости при 20 °С, указываемой в паспорте качества, тем сильнее происходят изменения при понижении температуры. Летние сорта дизельного топлива уже при минус 5-10°С загустевают, становятся трудноподвижными. Резко возрастает сопротивление движению по трубопроводам, особенно высокого давления. Зимние сорта сохраняют подвижность до более низкой температуры (минус 25-35 °С). При значительном повышении вязкости нарушается нормальная работа топливоподающей аппаратуры, иногда подача полностью

прекращается. Надежная работа дизелей в холодное время года обеспечивается зимними и арктическими сортами топлива, которые имеют меньшее значение вязкости и небольшое её увеличение при понижении температуры. Вязкость топлива влияет не только на работу насоса высокого давления, фильтров, но также на процессы распыливания и смесеобразования. При большой вязкости при распыливании образуются крупные капли и короткая струя, поэтому требуется больше времени на испарение топлива, увеличивается период задержки самовоспламенения, возникает неполное сгорание, образуются нагароотложения, увеличивается расход топлива, резко увеличивается износ плунжерных пар. Все перечисленное заставляет ограничивать верхний предел вязкости.

При небольшой вязкости уменьшается цикловой заряд, так как возрастают утечки топлива через зазоры прецизионных пар топливного насоса и распылителя форсунки, снижается давление впрыска, а также незначительно увеличивается износ плунжерных пар. Поэтому стандартом на дизельное топливо предусмотрены верхний и нижний переделы при 20 °С от 1,5 до 6 сСт.

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

Температурой помутнения называют температуру при которой изменяется фазовый состав топлива, так как наряду с жидкой фазой появляется твердая. При этом топливо теряет свою прозрачность, мутнеет из-за выделения микроскопических кристаллов льда (если в топливе имеется вода) и в основном твердых углеводородов. Однако при помутнении текучесть топлива не меняется. Размеры кристаллов таковы, что они проходят через фильтры.

При предельной температуре фильтрации размеры кристаллов твердых углеводородов увеличиваются, и они не проходят через фильтры, т. е. текучесть топлива ухудшается.

При температуре застывания кристаллическая решетка настолько упрочняется, что топливо теряет текучесть.

Температура помутнения и предельная температура фильтрации топлива характеризуют условия его применения. Температура воздуха, при которой возможна эксплуатация дизельного топлива, должна быть на 5...10°С выше температуры помутнения для предотвращения нарушений подачи топлива в двигатель.

Низкотемпературные свойства можно улучшить, удалив из топлива часть парафиновых углеводородов, т. е. депарафинизацией. При этом можно получить топливо с заранее заданной температурой застывания. Однако следует помнить, что при депарафинизации удаляются высокоцетановые компоненты — парафиновые углеводороды, т. е. снижается ЦЧ дизельного топлива. Для сохранения ЦЧ на необходимом уровне проводят неглубокую депарафинизацию.

При производстве зимних сортов дизельного топлива используют депрессорные присадки. Добавляя эти присадки в сотых долях процента, можно снизить предельную температуру застывания на 15...20 °С. При введении депрессорных присадок температура помутнения топлива не изменяется.

Для снижения температуры застывания дизельных топлив в условиях эксплуатации допускается в виде исключения добавлять керосин. С этой целью используют низкозастывающие сорта керосина (типа реактивного топлива) в количестве до 25%.

Следует отметить, что дизельное топливо зимних сортов выпускают значительно меньше, чем летних. Потребность в зимнем дизельном топливе обеспечена менее чем на 50 %. Поэтому зимние сорта топлива следует использовать только в холодное время и не допускать их смешивания с летними топливами.

### ***3. Сгорание топлива. Мягкая и жесткая работа дизельного двигателя***

Быстроходными считаются дизели, число оборотов коленчатого вала которых равно или более 1000 об/мин. Время, отводимое на образование горючей смеси и сгорание топлива, составляет всего 15-20° поворота коленчатого вала. Следовательно, к организации, протеканию процессов смесеобразования, сгорания и качеству топлива предъявляются высокие требования.

Сложному процессу самовоспламенения в дизельных двигателях всегда предшествует отрезок времени, называемый периодом задержки воспламенения. Он охватывает промежуток времени от начала подачи топлива в цилиндр до начала его воспламенения. Рассмотрим развернутую индикаторную диаграмму дизельного двигателя, которая изображена в координатах на рис. 1, где  $P$  - давление в цилиндре,  $\varphi^\circ$  - угол поворота коленчатого вала.

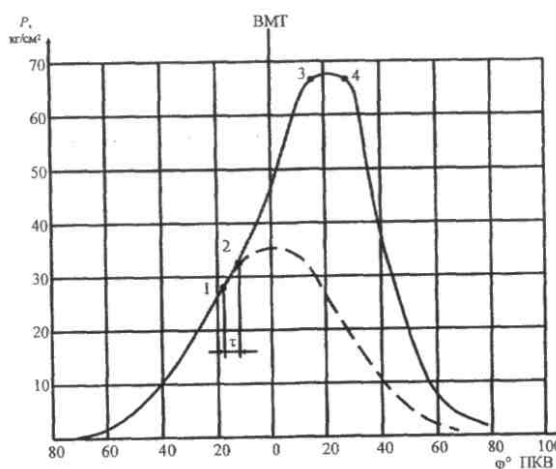


Рисунок 1– Развернутая индикаторная диаграмма дизельного двигателя

За время  $\tau$  (период задержки воспламенения) от точки 1 до точки 2 в топливе протекают сложнейшие физико-химические процессы, которые накладываются один на другой, так как подача топлива продолжается. Физические процессы: распыл топлива, перемешивание с воздухом, нагревание до температуры окружающей среды, испарение.

Химические процессы: предпламенные многостадийные реакции окисления углеводородов, образование перекисей. Перечисленные соединения накапливаются до критической концентрации, а затем распадаются с выделением атомарного кислорода, который участвует в развитии цепей каталитических процессов окисления.

При окислении углеводородов молекулы кислорода разрывают одну связь переходят в активную форму: вместо  $O = O$  образуется  $-O-O-$ . При окислении углеводородов по связи C-C образуются перекиси, по связи C-H образуются гидроперекиси. Распад перекисных соединений сопровождается выделением части энергии топлива 10-15 % и появлением слабого свечения при температуре 200-400 °С. В результате предпламенных реакций накапливается тепло, которого выделяется больше, чем отводится к стенкам камеры сгорания, и холодный процесс переходит в горячий, топливо самовоспламеняется.

Затем от точки 2 до точки 3 наступает период быстрого сгорания с интенсивным нарастанием давления, в течение которого выделяется от 55 до 70 % энергии топлива, продолжительность 10-12° поворота коленчатого вала. Следующий период от точки 3 до точки 4 продолжительностью 5-7° поворота коленчатого вала - замедленное сгорание почти при постоянном давлении, где выделяется до 25 % энергии топлива. И последний период - догорание при падении давления, который нежелателен и наблюдается при использовании топлива низкого качества или неисправности топливной аппаратуры. В этом случае наблюдается дымный выхлоп, падает мощность, увеличивается нагарообразование и расход топлива.

При сгорании топлива в дизельных двигателях образуются объемные очаги пламени по внешней оболочке струи впрыскиваемого топлива одновременно в нескольких местах. Скорость распространения пламени достигает 1000 м/с. Количество очагов пламени зависит от интенсивности протекания реакций окисления и продолжительности периода задержки воспламенения. Процесс сгорания протекает плавно, если период задержки небольшой.

Чем легче и быстрее окисляются углеводороды, входящие в состав дизельного топлива, тем больше образуется неустойчивых кислородосодержащих веществ, ниже температура воспламенения топлива и короче период задержки воспламенения, устойчивее и лучше работа двигателя. Наиболее склонны к окислению углеводороды парафинового ряда нормального строения. Труднее окисляются нефтеновые углеводороды и изомерные углеводороды парафинового класса. Наиболее стойки к окислению ароматические углеводороды. Таким образом, те углеводороды (парафиновые нормального строения), которые в бензинах вызывают

детонационное сгорание, наиболее желательны в дизельном топливе. При повышении молекулярной массы, т. е. росте числа углеродных атомов в молекуле, устойчивость к окислению уменьшается, следовательно, период задержки воспламенения сокращается.

На период задержки воспламенения оказывают влияние вязкость, фракционный состав, содержание смол и сернистых соединений в топливе, а также конструктивные особенности двигателя, давление, температура, коэффициент избытка воздуха. При увеличении вязкости испарение топлива ухудшается, период задержки воспламенения увеличивается. Увеличение температуры и давления сокращают период задержки воспламенения.

Рассмотрим в сравнении диаграмму мягкой и жесткой работы дизельного двигателя (рис. 2).

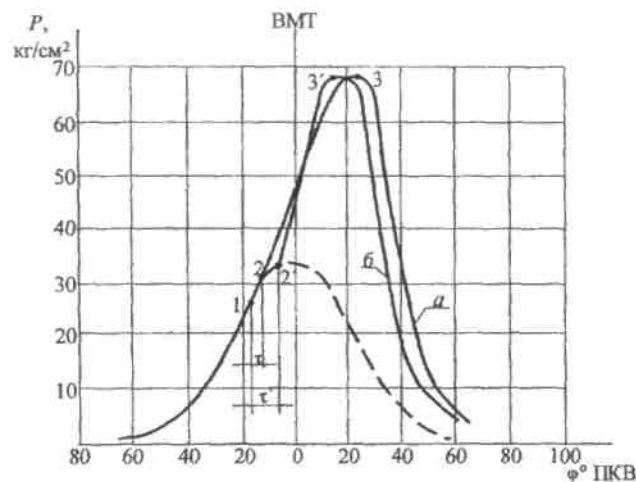


Рисунок 2 – Диаграмма мягкой и жесткой работы дизельного двигателя

Если предпламенные реакции протекают интенсивно, период задержки небольшой (рис. 2, кривая *а*), топливо воспламеняется быстро, давление от точки 2 до точки 3 нарастает плавно. В этом случае при повороте коленчатого вала на  $1^\circ$  давление увеличивается на 3-4 кг/см<sup>2</sup>, двигатель работает мягко. Продолжающее поступать топливо воспламеняется за счет имеющихся очагов самовоспламенения, и к концу второго периода сгорает основная масса циклового заряда.

Когда предпламенные реакции идут медленно, период задержки воспламенения увеличивается, очаги воспламенения образуются со значительным опозданием.

В цилиндр двигателя продолжает поступать топливо, его накапливается больше, чем при малом периоде задержки, но воспламенения не происходит. Наконец, воспламеняется сразу большая часть циклового заряда, выделяется основное количество тепловой энергии. Резко возрастает давление (кривая *б* на рис. 27). При повороте коленчатого вала на  $1^\circ$  давление возрастает на 7-8 кг/см<sup>2</sup> и более, двигатель работает жестко. Слышны характерные стуки вследствие ударных нагрузок на днище поршня, падает мощность.

Жесткость работы принято оценивать по величине нарастания давления на  $1^\circ$  поворота коленчатого вала. В зависимости от конструкции двигателя жесткая работа может возникать при разной интенсивности горения.

При нарастании давления до 0,25-0,50 МПа (2,5-5 кгс/см<sup>2</sup>) на  $1^\circ$  поворота коленчатого вала – мягкая работа, жесткая - при 0,6-0,9 МПа (6-9 кгс/см<sup>2</sup>), очень жесткая (такой режим может привести к быстрому выходу двигателя из строя) - при нарастании давления более 0,9 МПа (9 кгс/см<sup>2</sup>).

При жесткой работе поршень подвергается повышенному ударному воздействию. Это вызывает увеличенный износ деталей КШМ, снижает экономичность двигателя и приводит к другим отрицательным последствиям.

#### ***4. Оценка самовоспламеняемости топлива. Цетановое число (ЦЧ), методы его определения***

Оценкой самовоспламеняемости ДТ служит ЦЧ, определяемое по ГОСТ 3122—67 на установках ИТ9-3 и ИТ9-3М. Установки имеют одноцилиндровый четырехтактный дизель с переменной степенью сжатия от 7 до 23. При проведении испытаний угол опережения впрыскивания топлива должен быть  $13^\circ$  до в.м.т., давление впрыскивания 10,4 МПа.

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

ЦЧ дизельного топлива определяют следующим образом. Запускают двигатель на испытуемом топливе и, изменяя степень сжатия, добиваются, чтобы самовоспламенение топлива началось точно в в.м.т. Затем подбирают такую смесь цетана и альфаметилнафталлина, которая при той же степени сжатия также воспламеняется в в.м.т., т. е. обладает таким же периодом задержки самовоспламенения, как и испытуемое топливо.

ЦЧ — это процентное (объемное) содержание цетана в смеси с альфаметилнафталином, которая по самовоспламеняемости аналогична испытуемому топливу. Например, если испытуемое ДТ имеет ЦЧ 47, то по самовоспламеняемости оно эквивалентно искусственной смеси эталонных топлив, содержащей 47 % цетана и 53 % альфаметилнафталлина. ЦЧ дизельного топлива зависит от его химического состава, склонности к окислению.

Для увеличения ЦЧ дизельных топлив могут быть использованы различные присадки. Массовая доля присадки в дизельном топливе должна быть 0,1...0,3 %.

Чем ниже ЦЧ, тем выше жесткость работы дизеля. От значения ЦЧ зависят и другие показатели работы двигателя: его пуск, среднее

эффективное давление сгорания, удельный расход топлива, температура выпускных газов, отложения в двигателе, дымность и запах отработавших газов. С увеличением ЦЧ топлива облегчается пуск двигателя и увеличивается среднее давление сгорания, остальные показатели снижаются, работа двигателя в целом улучшается.

Применение топлив с ЦЧ менее 40 обычно приводит к жёсткой работе ДВС, а более 50 - к повышению удельного расхода топлива, вследствие уменьшения полноты сгорания.

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

при известных плотности  $\rho_{20}$ , кг/м<sup>3</sup> и кинематической вязкости  $\nu_{20}$ , мм<sup>2</sup>/с

$$\text{ЦЧ} = (\nu_{20} + 17,8)1587,9 / \rho_{20}; \quad (1)$$

при известном углеводородном составе

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

где  $\Pi$ ,  $Н$ ,  $А$  — содержание соответственно парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов.

### **5. Присадки к дизельному топливу**

Присадки не должны ухудшать физико-химические и эксплуатационные свойства топлив. Но при этом допустимы отклонения от нормируемых показателей, которые косвенно характеризуют качество нефтепродукта. Например, в некоторых случаях при введении в дизельное топливо металлосодержащих антидымных присадок коэффициент фильтруемости может увеличиваться. В этих случаях отклонения от показателей объясняются химической природой присадок и особенностями применяемых методик. Они особо оговариваются в технической документации на топлива и присадки.

В качестве присадок, улучшающих эксплуатационные свойства дизельного топлива, широкое распространение получили следующие: антидымные, антинагарные, антисажевые, дисперсанты, моющие, депрессанты, промоторы воспламенения, а также пусковые смеси.

**Антидымные присадки.** Дым, выбрасываемый с отработавшими газами двигателей, подразделяют на белый (голубой) и черный. Белый представляет собой несгоревшие углеводороды топлива, продукты их неполного окисления. Он характерен для холодного пуска двигателя. При повышении температуры отработавших газов он приобретает сизый оттенок, а при определенной температуре становится совсем невидимым, хотя это не означает, что продукты неполного сгорания в отработавших газах отсутствуют. Черный цвет дыма определяется присутствием сажи, которая в большом количестве образуется при неисправности топливной аппаратуры

при работе двигателя в жестком режиме. Для измерения дымности отработавших газов пользуют приборы двух типов. В приборах Боша сажа задерживается бумажным фильтром, затем фильтр сравнивается с эталоном или проверяется на светопропускание. В приборах Хартриджа определяют оптическую плотность отработавших газов, которая снижается при увеличении содержания в них сажи. Содержание сажи в отработавших газах дизелей обычно не превышает 1,1 г/м и только в отдельных случаях достигает 1,5 г/м. настоящее время в России допущены к применению металлосодержащие присадки Lubrizol-8288 и две отечественные присадки на основе соединений бария: ЭКО-1 и ЭФАП-Б; они близки по составу и эффективности.

Введение в топливо присадки не приводит к ухудшению работы форсунок, снижает дымность на 17-33 %, по токсичности соответствует дизельному топливу без присадки. Однако выбросы бария составляют 10 мг/м при снижении выбросов сажи до 300 мг/м<sup>3</sup>.

**Безольные антидымные присадки.** Ограничения на выбросы твердых частиц и металлов сделали необходимой разработку безольных антидымных присадок. Такие присадки называют инициаторами горения. Фирма Wynn Oil представила присадку W-15/590, которая состоит из органического пероксида, стабилизированного смесью таллового масла, имидазолина и карбоновой кислоты. Эксплуатационные испытания на городских автобусах при ежедневном пробеге 100-150 км показали снижение дымности ОГ на 15-60 %.

Инициатор горения в качестве катализатора может содержать небольшое (0,01-0,001 %) количество металла - марганца, меди, железа.

**Катализаторы горения.** Выступают как поллиативы между высокозольными соединениями щелочных металлов и органическими инициаторам горения. Они содержат небольшое количество металлосодержащих катализаторов: соединений меди, железа, марганца, никеля, кобальта и других металлов. Количество присадки обычно таково, чтобы содержание металла в топливе составляло тысячные доли процента. Присадки эффективны при работе на бедных смесях, причем значительно снижают выброс и NO<sub>x</sub>. Для дизельных топлив хороший эффект достигается введением соединения железа, например ферроцена в количестве 0,001-0,003 %.

**Атисажевые присадки.** Массовое применение каталитических нейтрализаторов на автомобилях позволило снизить поступление в атмосферу токсичных отработавших газов, однако повлекло за собой много проблем по обслуживанию нейтрализаторов. Нейтрализатор дожига теряет свою активность в результате отложения на катализаторе сажи и других продуктов сгорания, что приводит к необходимости его замены или регенерации. Стоимость нейтрализатора иногда достигает 10 % стоимости всего автомобиля. Установка сажевых фильтров перед нейтрализаторами усложняет обслуживание автомобиля, так как их регенерацию необходимо производить через 200-500 км пробега.



Регенерацию фильтров производят путем нагрева до температуры выгорания сажи 550-600°C. Некоторые каталитические добавки, нанесенные на поверхность фильтра, могут снизить температуру выгорания сажи до 250-400°C. К ним относятся оксиды металлов: меди, марганца, железа, никеля. Это послужило поводом для разработки антисажевых присадок добавляемых в топливо на основе металлов. Так фирма Lubrizol разработала медьсодержащую присадку, добавляемую в топливо, которая эффективна в концентрации до 0,007 % в расчете на медь. Температура выгорания сажи в её присутствии снижается до 250°C, которая сравнима с температурой отработавших газов. В России в настоящее время антисажевые присадки не применяются. Однако по мере внедрения на автомобилях сажевых фильтров, возникает потребность и в антисажевых присадках.

**Дисперсанты.** Для предотвращения коагуляции в топливе смол и других веществ и выделения их в виде гетерогенной фазы в топливо добавляют дисперсант. Дисперсанты, как правило, вводят в топливо вместе с оксидантами, тем самым повышается эффективность присадки. В качестве дисперсантов используют присадки «Дипроксамин-157» и «Днепрол».

**Моющие и антинагарные присадки.** Нагар, образующийся на стенках камеры сгорания, днище поршня, клапанах, форсунке, значительно ухудшает экологические показатели двигателя. Причиной образования нагара на деталях двигателя является в первую очередь низкое качество топлива, значительное содержание смолистых веществ, сернистых соединений, ароматических углеводородов. Добавление к топливу стабилизирующей присадки ВЭМС (ТУ 38. 40141-89), моющих присадок, способствует снижению нагарообразования в двигателе.

**Промоторы воспламенения.** Для улучшения воспламенения дизельного топлива к нему добавляют специальные присадки. В России к применению в топливах допущены изопропилнитрат (ИПН) и циклогексилнитрат (ЦГН). Эти присадки также могут входить в состав пусковых жидкостей. За рубежом используются присадки Д11-2 и Д11-3. ИПН вырабатывается Заволжским химическим заводом в соответствии с требованиями ГОСТ и ТУ как добавка к дизельным топливам. При добавлении 1 % ИПН цетановое число дизельного топлива должно повышаться не менее, чем на 10-12 единиц.

Следует помнить, что эффективность применения промоторов воспламенения существенно зависит от исходного топлива. Чем больше в топливе парафиновых углеводородов и выше начальное цетановое число, тем выше эффективность применения промоторов воспламенения.

**Депрессорные присадки.** Для улучшения низкотемпературных свойств в дизельное топливо добавляют депрессорные присадки. К применению в дизельных топливах допущены отечественные депрессоры ПДП (разработчик ВНИИНП), «Сандал» (разработчик ЭЛИНП, производитель - фирма «Сандал», Казань) и ЭДЕП-Т (ЭЛИНП).

Для продажи розничному потребителю разработана и производится фирмой «Аспект» (Москва) присадка «Аспект-Д» (ТУ 0254-010-00252288-

94), представляющая собой разбавленный раствор депрессора в углеводородном растворителе (реактивном или зимнем дизельном топливе). Особенности механизма действия депрессорных присадок таковы, что они эффективны лишь при введении в топливо до начала образования кристаллов парафинов. Рекомендуется, чтобы топливо было нагрето на 5-10 градусов выше температуры помутнения.

Применение депрессоров более выгодно и безопасно, чем разбавление топлива керосином, практикующееся до настоящего времени. Кроме того, при добавлении керосина в дизельное топливо снижаются его смазывающие свойства и наблюдается повышенный износ деталей двигателя. Добавляются присадки в топливо в небольших количествах 0,05-0,20 % (масс), при этом температура застывания снижается на 14-18 °С.

### **6. Сорты и маркировка дизельных топлив**

Дизельные топлива классифицируются по температурным диапазонам применения (по ГОСТ 305–82 – летнее, зимнее и арктическое), по величине цетанового числа, по содержанию серы (по ГОСТ 305–82 на две категории), а также по температурам вспышки (летнее) и застывания (зимнее).

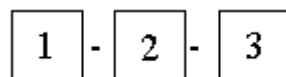


Рисунок 3. – Схема маркировки дизельных топлив по ГОСТ 305–82

1 – марка (Л – летнее (используется от 0°С и выше), З – зимнее (используется от температуры, которая выше температуры застывания на 15°С и выше), А – арктическое (-50°С и выше));

2 – содержание серы в процентах (массовых);

3 – для летнего – температура вспышки, для зимнего – температура застывания, для арктического – не указывается.

По содержанию серы дизельные топлива разделяются на 2 категории:

I – 0,2 % серы (для марок Л, З и А);

II – 0,5 % серы (для марок Л и З) и 0,4 % серы (для марки А)

Пример маркировки: Л-0,2-45 – летнее дизельное топливо, первой категории с содержанием серы 0,2 %, имеющее температуру вспышки не ниже 45°С;

З-0,5-35 – зимнее дизельное топливо, второй категории с содержанием серы 0,5%, имеющее температуру застывания не выше -35°С.

Для удовлетворения потребности в ДТ в летний период времени стандартом предусмотрено разрешение на выработку топлива в период с 1.04 по 1.09 с температурой застывания не выше 0°С без нормирования температуры помутнения:

- топливо утяжелённого фракционного состава (УФС) ТУ-38.001.355-86, конец кипения 380-390 С, температура выкипания 90 % фракции не выше 360°С, 50 % - не выше 290...300°С, вязкость при 20°С не более 8 мм /с.

- топливо расширенного фракционного состава (РФС) ТУ 38.401.652-87, выкипает в пределах 60...400°С, ЦЧ - 40 ед.

Для улучшения экологической обстановки с 1991 г. организован выпуск экологически чистого ДТ по ТУ 38.1011348-90, отличающегося низким содержанием серы: не более 0,05 % - ДТ I вида и не более 0,1 % - ДТ II вида. Оно предназначено для применения в крупных городах, курортных зонах и в др. местах с ограниченным воздухообменом. Летнее топливо выпускается двух марок, применяемых до температуры окружающего воздуха до – 5°С:

- ДЛЭЧ-В с ограничением содержания ароматических углеводородов не более 20 %, двух видов I и II;

- ДЛЭЧ с ограничения содержания ароматических углеводородов не более 10 %.

Кроме того, выпускают одну марку зимнего топлива ДЗЭЧ.

По ТУ 38.401-58-170-96 выпускают ДТ с улучшенными экологическими показателями: ДЭК-Л; ДЭК-З; ДЭК<sub>п</sub>-Л; ДЭК<sub>п</sub>-З (-15°С); ДЭК<sub>п</sub>-З (-20°С). Эти топлива отличаются от экологически чистого в основном наличием присадок: летом – антидымной, зимой – антидымной и депрессорной. Дымность и токсичность отработавших газов снижены на 30...50 %.

Для использования в районах Крайнего Севера и Арктики вырабатывается арктическое экологически чистое ДТ ТУ 38.4015.845-92, температура застывания – 55°С.

Зимнее ДТ с депрессорной присадкой марки ДЗ<sub>п</sub> по ТУ 38.101889-81 применяют при температуре окружающего воздуха –15°С и выше. Изготавливают его на основе летних ДТ с температурой помутнения –5°С, добавляя депрессорную присадку, снижающую предельную температуру фильтруемости до –15°С и температуру застывания.

ДТ с депрессорной присадкой марки ДЗ<sub>п</sub>-15/-25 ТУ 38.401-58-36-92 рекомендовано для применения при –25°С (предельная температура фильтруемости) и выше. Базовое топливо имеет температуру помутнения – 15°С.

По ТУ 38.401-58-296-2001 "Топливо дизельное автомобильное" соответствует требованиям европейских норм EN 590-2000. Установлены жесткие требования на содержание серы и на цетановое число (не менее 51). При этом нормируются четыре новых показателя качества: цетановый индекс, смазывающая способность, содержание полициклических ароматических углеводородов и окислительная стабильность. Предусмотрена дифференциация дизельных топлив по низкотемпературным свойствам. Например, для умеренного климата выпускают шесть сортов топлива с предельной температурой фильтрации от +5 до -20°С.

В районах газовых месторождений к применению допущено широкофракционное летнее, зимнее и арктическое дизельное топливо. Это топливо имеет следующие преимущества перед дизельными топливами по ГОСТ 305-82:

- лучше теплообмен и испаряемость в области низких температур;
- сравнительно равные периоды задержки воспламеняемости;
- большая скорость и меньшая длительность горения;
- меньшая дымность отработавших газов;
- меньшие индикаторные и эффективные расходы топлива;
- пониженный износ деталей цилиндро-поршневой группы.

Газоконденсатное арктическое топливо и фракция газоконденсатного дизельного топлива очень близки по качеству к реактивному топливу Т-2.

К недостаткам конденсатов следует отнести низкую температуру начала кипения, вследствие чего возникает парообразование и затруднённый запуск горячего двигателя.

## *Лекция 5. Эксплуатационные свойства и применение газообразных топлив*

### *1. Классификация газообразных топлив*

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

Значительная часть автомобилей в крупных городах уже переведена на газообразное топливо, которое имеет существенные технико-экономические и санитарно-гигиенические преимущества перед другими автомобильными топливами.

К естественным газам относятся легкие углеводороды, улавливаемые при добыче нефти, и природные газы чисто газовых месторождений.

Искусственные газы получают при переработке твердых и жидких топлив.

Газообразное топливо по теплоте сгорания условно делят на 3 группы:

• *высококалорийное, с теплотой сгорания более 20000 кДж/м<sup>3</sup> (природные газы из газовых скважин и нефтяные, получаемые из скважин попутно с нефтью и при переработке ее);*

• *среднекалорийное, с теплотой сгорания 10000...20000 кДж/м<sup>3</sup> (коксовый, светильный газы и т.п.)*

• *низкокалорийное, с теплотой сгорания до 10000 кДж/м<sup>3</sup> (доменный, генераторный газы и др.).*

В зависимости от физических свойств газы могут быть разделены на сжатые и сжиженные. Некоторые газы, обладающие низкой критической температурой, не переходят в жидкое состояние при обычной температуре даже

под действием высокого давления. Так, метан до температуры - 82°C находится в газообразном состоянии. При температуре ниже - 82°C метан под воздействием небольшого избыточного давления превращается в жидкость, а при охлаждении до минус 161°C метан сжижается уже в условиях атмосферного давления.

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

Давление насыщенных паров при критической температуре называется критическим давлением.

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

Газы, которые имеют критическую температуру ниже обычной температуры их применения, используют в основном в сжатом виде (при давлении до 20 МПа), поэтому их называют *сжатыми* газами.

*Сжиженные* - это газы, критическая температура которых выше обычной температуры их применения. Такие газы используют в сжиженном виде при повышенном давлении (до 1,5...2,0 МПа).

## **2. Требования, предъявляемые к газообразным топливам для автомобильных двигателей**

Основными требованиями, предъявляемыми к газообразным топливам являются следующие:

- они должны обладать хорошей смешиваемостью с воздухом для образования однородной горючей смеси;
- высокой калорийностью горючей смеси;
- высокой детонационной стойкостью;
- содержать минимальное количество смолистых веществ и механических примесей, способствующих нагарообразованию и загрязняющих систему питания двигателя;
- содержать минимальное количество веществ, вызывающих коррозию поверхностей деталей, окисление и разжижение масла в картере двигателя;
- образовывать минимальное количество токсичных и канцерогенных веществ в продуктах сгорания;
- сохранять стабильным состав и свойства по времени и в объеме.

В качестве газообразных топлив для автомобильных двигателей применяют:

- газ нефтяной сжиженный (ГНС) – пропан-бутановая смесь;
- компримированный (сжатый) природный газ (КПГ) – метан.

## **3. Применение сжиженных газов**

В автомобильных двигателях используют сжиженные газы, получаемые в процессе перегонки нефти.

Основные компоненты сжиженного газа – пропан  $C_3H_8$ , бутан  $C_4H_{10}$  и их смеси.

Основные преимущества сжиженных газов: высокая теплота сгорания, транспортабельность, высокие технико-экономические и санитарно-гигиенические показатели. Сжиженные газы переходят из газообразного состояния в жидкое при температуре окружающего воздуха и относительно небольших давлениях.

Для автомобильного транспорта по ГОСТ 27578—87 выпускают сжиженный газ марок ПА — пропан автомобильный и ПБА – пропан-бутан автомобильный.

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

Газ марки ПБА предназначен для всех климатических районов при температуре окружающего воздуха не ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ , а марки ПА — в зимний период для тех климатических районов, где температура воздуха ниже  $-20^{\circ}\text{C}$ . Рекомендуемый температурный интервал применения газа марки ПА от  $-20$  до  $-35^{\circ}\text{C}$ .

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

Основные компоненты сжиженного газа, обеспечивающие оптимальное давление насыщенных паров в газовом баллоне, — пропан и пропилен. Давление насыщенных паров существенно влияет на работу газовой установки автомобиля. По максимальному давлению насыщенных паров смеси определяют прочность газового баллона, а для обеспечения нормальной работы топливоподающей аппаратуры смесь должна иметь избыточное давление не менее 0,1 МПа. Изменяя компонентный состав, получают зимние и летние смеси. Так, зимняя смесь СПБТЗ содержит 75 % пропана и пропилена, а летняя смесь СПБТЛ — 60 % бутана и бутиленов.

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

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

#### ***4. Применение сжатых газов для газобаллонных автомобилей***

Для ДВС используют **природный топливный компримированный газ** (ГОСТ 27577—2000). Этот газ получают из горючего природного газа, транспортируемого по магистральным газопроводам или городским газовым

сетям. На газонаполнительной компрессорной станции проводят компримирование и удаление примесей по технологии, не предусматривающей изменения компонентного состава.

Сжатый природный газ не только может с успехом заменить жидкие моторные топлива, но и превосходит их по ряду параметров. Его основное преимущество состоит в том, что сжатый природный газ может использоваться на автомобильном транспорте без дорогостоящей технологической переработки.

Природные газы состоят из: метана  $\text{CH}_4$  (82-98%), этана  $\text{C}_2\text{H}_6$  (до 6%), пропана  $\text{C}_3\text{H}_8$  до 1,5% и бутана  $\text{C}_4\text{H}_{10}$  до 1%.

Основной компонент - метан  $\text{CH}_4$  характеризуется наивысшей критической температурой ( $-82^\circ\text{C}$ ), относится к простым углеводородам. Обладает высокой теплопроводностью, широким диапазоном воспламеняемости и низким содержанием токсичных составляющих. Ввиду высокого содержания водорода в сжатом газе происходит его более полное сгорание в цилиндрах двигателя, чем ГНС и бензина. При этом в процессе смесеобразования топливо не испаряется во впускном трубопроводе, вследствие чего оно равномернее распределяется по цилиндрам. Максимальная неравномерность распределения жидкого топлива в рабочей смеси достигает 35 % и более; при применении газообразного топлива она снижается до 20 %.

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

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

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

### ***5. Особенности применения газообразных топлив***

Использование газообразных топлив дает следующие преимущества: экономится нефть; снижается токсичность отработавших газов; улучшается

топливная экономичность двигателя (работа на более бедной горючей смеси); снижается изнашивание цилиндропоршневой группы и увеличивается срок службы моторного масла (газовоздушная смесь не смывает масляную пленку с зеркала цилиндров и не разжижает масло в картере); высокая детонационная стойкость газообразных топлив позволяет повысить степень сжатия двигателя, а следовательно, его мощность и топливную экономичность; исключается необходимость подогрева впускного трубопровода, что увеличивает наполнение цилиндров и связанную с этим мощность двигателя; улучшается равномерность распределения горючей смеси по цилиндрам; увеличивается моторесурс двигателя вследствие отсутствия нагара на деталях цилиндропоршневой группы.

Эксплуатационные качества автомобилей с газовыми двигателями, работающими на ГНС, (по сравнению с бензиновыми) оцениваются следующим образом:

пусковые качества до  $-5^{\circ}\text{C}$  равноценны. Запуск холодного двигателя на ГНС при более низких температурах затруднен;

динамические качества ухудшаются на 5-8%;

перевод бензинового двигателя на питание ГНС при неизменной степени сжатия сопровождается снижением максимальной его мощности на 5-7%;

при правильной регулировке и нормальном оптимальном режиме работы системы подачи газового топлива существенно снижается токсичность отработавших газов: по окиси углерода - в 3-4 раза, по окисям азота в 1,2-2 раза, по углеводородам в 1,2-4 раза и более;

срок смены масла увеличивается в 1,5-2 раза. Исключается процесс испарения жидкого топлива. В камеру сгорания поступает газообразное топливо, которое к концу такта сжатия тщательно перемешивается с воздухом и равномерно распределяется по цилиндрам, смывание смазки с зеркала которых исключается. Масло меньше разжижается и загрязняется;

моторесурс и надежность работы двигателей увеличиваются. Межремонтный пробег автомобилей на ГНС возрастает в 1,4-2 раза. Уменьшаются износы, улучшаются условия работы свечей зажигания, уменьшаются нагарообразование и износы деталей цилиндропоршневой группы;

хотя трудоемкость технического обслуживания и ремонта газобаллонных автомобилей возрастает на 3-5%, тем не менее эти затраты перекрываются увеличением пробега автомобилей между ремонтом двигателей.

Одним из преимуществ применения ГСН по сравнению с КПП - значительно большая концентрация тепловой энергии в единице объема; меньшее давление в баллонах хранения газа и, следовательно, меньшие масса и стоимость. (Один 50-литровый баллон, заправленный ГСН для автомобиля ВАЗ рассчитан на 500 км, а КПП - только на 100 км.)



К положительным факторам применения КПГ можно отнести следующие:

- повышается срок службы моторного масла в 1,5-2,0 раза из-за отсутствия его разжижения и уменьшения загрязнения; в результате расход масла уменьшается на 30-40% по сравнению с бензиновыми двигателями;
- увеличивается в среднем на 35-40% моторесурс двигателя вследствие отсутствия нагара на деталях цилиндропоршневой группы;
- увеличивается на 40% срок службы свечей зажигания;
- увеличивается в 1,5 раза межремонтный пробег двигателя;
- значительно снижается (до 90%) выброс с отработавшими газами вредных веществ, особенно СО.

Двигатели газобаллонных автомобилей, работающих на КПГ, если газ израсходован, могут быстро перейти на работу на бензине. Сейчас это важно еще и потому, что сеть АГНКС развита недостаточно.

Как отмечалось, газовое топливо имеет высокую детонационную стойкость, что обеспечивает эффективную работу газодизельных двигателей при неизменной степени сжатия. Номинальная мощность двигателя, например КамАЗ-7409, одинакова при работе в газодизельном и дизельном режимах. Отсюда практически неизменные тягово-скоростные качества автомобиля при использовании КПГ.

При работе на газодизельной смеси дымность ОГ двигателя в режиме свободного ускорения в 2-4 раза ниже, чем при работе на дизельном топливе.

Наряду с преимуществами можно отметить следующие недостатки:

- трудоемкость ТО и ТР увеличивается на 7-8%, а цена автомобиля возрастает в среднем на 27% из-за наличия дополнительной газобаллонной аппаратуры;

- мощность двигателя снижается на 18-20%. Ухудшаются тягово-динамические и эксплуатационные характеристики автомобилей: время разгона увеличивается на 24—30%; максимальная скорость уменьшается на 5-6%; предельные углы преодолеваемых подъемов уменьшаются на 30-40%; эксплуатация автомобиля с прицепом затрудняется; дальность ездки на одной заправке газом уменьшается (не превышает 200-250 км);

- грузоподъемность автомобиля снижается на 9-14% в связи с применением стальных баллонов высокого давления (их количество и вес могут быть разными);

- коэффициент использования пробега газобаллонных автомобилей снижается на 8-13% по сравнению с бензиновыми;

- годовая производительность при работе на городских перевозках уменьшается на 14—16% по сравнению с бензиновыми.

Рассмотренные особенности КПГ как топлива для автомобилей позволяют определить и рациональную область применения газобаллонных автомобилей: перевозки в крупных городах и прилегающих к ним районах (приоритетное значение оздоровления воздушного бассейна).

Очевидна эффективность внутригородских перевозок на газобаллонных автомобилях при обслуживании предприятий торговли, быта, связи и других учреждений.

### ***6. Токсичность и взрывоопасность газообразных топлив и продуктов их сгорания***

Газы входящие в состав ГСН (газ нефтяной сжиженный) и КПП (компримированный природный газ) обладают взрыво- и пожароопасными свойствами. Находясь в баллонах под давлением и, в том случае, когда происходит разгерметизация любого элемента ГБО, происходит утечка газов. Газообразные топлива могут образовывать пожаро-взрывоопасную смесь с воздухом в подкапотном пространстве, салоне, кузове, в помещении, где хранится, и обслуживаются газобаллонные автомобили и на заправке.

Так как КПП (метан) обладает плотностью в два раза меньшей плотности воздуха, то при утечке его из ГБА он поднимается вверх помещения, а ГНС (пропан-бутан), опускается вниз, так как имеет плотность большую плотности воздуха.

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

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

При попадании сжиженного газа на кожу человека может вызвать обморожение - ожог кожного покрова.

При попадании струи КПП (при внезапной разгерметизации или открытии вентилей) на человека может оказать травмирующее воздействие, поэтому необходимо соблюдать меры предосторожности.

Конструкция ГБА и вся инфраструктура, связанная с их заправкой, эксплуатацией, техническим обслуживанием, ремонтом и их хранением, должны отвечать повышенным требованиям техники безопасности.

Необходимо регулярно проводить техническое обслуживание газобаллонного оборудования; проводить проверку герметичности газовой аппаратуры с устранением причин обнаруженных утечек газа. Окрасочные, сварочные работы, а также работы с дрелью и другими инструментами, дающими искрение, производятся на ГБА с дегазированными баллонами.

На предприятии, где эксплуатируются газобаллонное оборудование, должны быть разработаны инструкции по технике безопасности, с учетом специфики работы, устройства, хранения газобаллонного оборудования, вида применяемого газа, устройства ремонтного оборудования и состояния

производственно-технической базы, для водителей, ремонтных рабочих, дежурных по хранению ГБА, которые должны строго соблюдаться.

### **7. Генераторный газ**

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

### **8. Биогаз**

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

## ***Лекция 6. Общие сведения. Виды твердых топлив. Характеристика углей, торфа, дров. Применимость***

### **1. Топочные мазуты**

Топочные мазуты, представляющие собой продукты переработки нефти, горючих сланцев и каменных углей, используют в котельных установках. Главный показатель качества мазута — вязкость положена в основу его маркировки. По вязкости определяют способ и длительность сливных и наливных операций, условия транспортировки и эффективность работы форсунок. Вязкость влияет на скорость осаждения механических примесей при хранении, транспортировке и подогреве мазута, а также на степень отделения его от воды (при отстаивании).

Плотность мазута при 20°С колеблется от 920 до 1015 кг/м<sup>3</sup>. В сочетании с вязкостью она определяет условия отстаивания мазутов и осаждения механических примесей. Если плотность мазута меньше плотности воды, его отстой происходит за 100...200 ч; при плотности 980...1010 кг/м<sup>3</sup> время отстоя превышает 200 ч, а при плотности около 1050 кг/м<sup>3</sup> мазут располагается в резервуарах ниже воды и отстой его становится невозможным.

Малосернистые топочные мазуты содержат до 0,5 % серы, сернистые — до 2, высокосернистые — до 3,5 %. В процессе сжигания мазута,

содержащиеся в нем сернистые соединения сгорают с образованием в основном диоксида ( $\text{SO}_2$ ) и в очень небольшом количестве триоксида ( $\text{SO}_3$ ) серы. Эти соединения при наличии влаги в топочных газах образуют кислоты, которые вызывают повышенную коррозию металлических поверхностей дымовых труб, экономайзеров и других деталей котлов.

В сельское хозяйство поступают топочные мазуты марок 40 и 100, которые предназначены для котельных установок. Низшая теплота сгорания в пересчете на сухое топливо для малосернистого мазута марки 40 составляет 40,74 МДж/кг, марки 100 — 40,53 МДж/кг, а для сернистого обеих марок 39,9 МДж/кг. Температура застывания мазута марки 40 должна быть выше  $10^\circ\text{C}$ , а марки 100 — не выше  $25^\circ\text{C}$ .

## ***2. Печное бытовое топливо***

Печное бытовое топливо получают из дизельных фракций, как прямой перегонки нефти, так и вторичного происхождения — дистиллятов термического, каталитического крекинга и коксования.

В печном топливе не содержатся сероводород, водорастворимые кислоты и щелочи, а также механические примеси.

Печное бытовое топливо имеет более широкий фракционный состав по сравнению с дизельным топливом. Температура застывания  $-15^\circ\text{C}$  затрудняет его использование при низких температурах. В период с 1 апреля по 1 сентября допускается применять топливо с температурой застывания не выше  $-5^\circ\text{C}$ . Печное бытовое топливо широко используют в сельском хозяйстве для работы паровых и водогрейных котлов, теплогенераторов, зерносушилок и др. При работе на печном бытовом топливе в зимний период возможна потеря его текучести на линии подачи топлива в теплогенерирующие установки, а также забивка парафинами топливных фильтров. Поэтому резервуары, в которых хранится печное топливо, и баки, откуда оно поступает в установки для сжигания, следует размещать в утепленных помещениях. Для улучшения низкотемпературных свойств печного бытового топлива применяют депрессорные присадки, синтезированные на основе сополимера этилена с винил ацетатом.

## ***3. Твердое топливо***

Твердое топливо, используемое в сельскохозяйственном производстве, делят на естественное (ископаемые угли, торф, древесина, отходы сельскохозяйственного производства) и искусственное (различные брикеты, древесный уголь). В различных зонах страны широко применяют топлива местных видов. В твердом топливе в большом количестве содержится балласт, который резко снижает его тепловую ценность.

**Ископаемые угли** бывают двух основных видов: гумусовые, образовавшиеся из высших наземных растений (в основном древесины), и сапропелитовые, образовавшиеся из водных растений и водорослей,

богатых жирами и воском. Широко распространены угли смешанного происхождения. В зависимости от степени изменения органического вещества, или от «химического» возраста, угли подразделяют на бурые, каменные и антрациты.

Угли классифицируют по размерам кусков: плита — размер кусков более 100 мм, крупный — 50... 100, орех — 25...50, мелкий — 13...25, семечко — 6... 13, штыб — менее 6 мм.

Бурые угли представляют собой бурую землистую или черную однородную массу, которая при хранении окисляется и рассыпается в порошок. Бурые угли имеют высокую зольность (15...30 %) и влажность (15...50%), поэтому диапазон значений их теплоты сгорания очень большой (8,4... 18,8 МДж/кг). Они легко загораются и горят длинным коптящим пламенем. Бурые угли склонны к окислению и самовозгоранию, поэтому их рекомендуется укладывать в штабеля высотой не более 2,5 м и хранить не более месяца, чтобы избежать возможного самовоспламенения.

Состав бурых углей весьма неоднороден:  $C^r=65...78\%$   $H^r = 4,3...6,2$ ,  $O^r= 16...27$ ,  $N^r = 0,7...1,8$ ,  $S^r = 0,4...3,9$  %. Выход летучих веществ на горючую массу составляет 40...50 %, а в некоторых видах угля доходит до 60 %. Классифицируют его в зависимости от размеров кусков: бурый крупный (БК), бурый орех (БО), бурый мелкий (БМ), бурый семечко со штыбом (БСШ) и бурый рядовой (БР).

Каменный уголь имеет черный цвет и отличается от бурого меньшим содержанием золы и влаги. Состав органической массы каменных углей также неоднороден:  $C = 78...90\%$ ,  $H^r = 4...5,8$ ,  $O^r = 3...15$ ,  $N^r = 0,5...2$ ,  $S^r=1...6$ , зола-15...27, вода- 4...12 %. Низшая рабочая теплота сгорания колеблется от 20,73 до 31,4 МДж/кг.

Различают каменные угли шести марок. Угли, направленные на термическую переработку для получения смолы и газа, маркируют Д (длиннопламенные) и Г (газовые). Они имеют более 35 % летучих веществ. Угли, идущие на переработку с целью получения металлургического кокса, обозначают К (кокующиеся) и Ж (жирные). Угли, используемые как топливо, обозначают ОС (отошенные спекающиеся) и Т (тощие).

Применяют также каменные угли, пригодные для сжигания в кузнечных горнах. Эти угли должны содержать не более 20 % летучих соединений, небольшое количество серы, иметь теплоту сгорания 25...27 МДж/кг и обладать способностью спекаться, т. е. при разложении без доступа воздуха образовывать кокс в виде кусков, а не порошка. Такие угли обычно называют кузнечными.

Антрацит представляет собой разновидность каменного угля и содержит углерода 96,5 %. Он имеет черный цвет с сероватым оттенком, обладает высокой плотностью и большой прочностью. В антраците содержится небольшое количество воды (3...5 %), золы (10... 15 %) и летучих веществ (2...9 %). Теплота сгорания антрацита самая высокая среди ископаемых углей — 25...27 МДж/кг, а иногда 30 МДж/кг.

Антрациты маркируют по размеру кусков: АП — плитный; АК — крупный; АО — орех; АМ — мелкий; АС — семечко; АШ — штыб.

Сланцы характеризуются высоким содержанием золы (50...60 %) и влаги (15...20 %). В горючей части сланцев содержится большое количество водорода (до 10 %), а выход летучих веществ достигает 90 %, поэтому они легко воспламеняются. Теплота сгорания сланцев невысока и составляет 5,8... 10,8 МДж/кг. В сельском хозяйстве сланцы используют как котельное топливо.

**Торф** образовался в результате разложения растительных остатков в условиях избытка влаги и незначительного доступа воздуха. Если торф образовался из растительности, богатой минеральными солями (осоки, тростника, камыша), то его называют луговым или низинным. Он содержит 8... 16 % золы. Если торф образовался из растительности, бедной минеральными солями, то его считают моховым, или верховым; содержание золы в нем 2...4 %.

Имеются торфяники смешанного происхождения, зольность которых 7...9 %. Торф представляет собой однородную массу от желтого до темно-коричневого цвета, влажность которой 85...95 %.

Торф является обратимым коллоидом, т. е. при высушивании он выделяет воду, а намокая, поглощает ее вновь. Если влажный торф высушить до содержания влаги ниже 34 %, то он перейдет в необратимый коллоид. Воздушно-сухой торф удобен для транспортировки. Его можно хранить при любой погоде, так как он не изменяет форму и не поглощает воду, а лишь слегка намокают верхние слои. Органическая масса торфа характеризуется следующим составом:  $C^r = 55...56\%$ ,  $H^r = 5...6$ ,  $O^r = 35...40$ ,  $N^r = 0,5...3$ ,  $S^r = 0,12...1,5$  %. Низшая теплота сгорания горючей массы торфа составляет около 12,6 МДж/кг. Торф широко используют как топливо для тепловых установок и бытовых нужд, а также как удобрение и подстилку для скота.

**Древесина** содержит более 60 % целлюлозы, около 30 % лигнина и около 1 % минеральных солей. Элементный состав органической части древесины следующий:  $C^r = 50\%$ ,  $H^r = 6$ ,  $O^r = 43$ ,  $N^r = 1$  %. Основным балластом в топливе этого вида является влага, содержание которой в свежесрубленной древесине достигает 50...60 %.

Дрова бывают сухие (влажность менее 25 %), полусухие (25...30 %) и сырые (более 35 %). К сухим относят дрова, заготовленные в осенний или зимний период и пролежавшие в поленницах не менее года; к полусухим — не менее 6 мес; сырым — менее 6 мес после рубки. Теплота сгорания горючей массы древесины составляет 18,8... 19,2 МДж/кг, однако при влажности 30 % она снижается до 13,3 МДж/кг.

Теплоту сгорания (кДж/кг) дров различной влажности можно рассчитать по формуле

$$Q_n^p = 18422 - 50W^p$$

Теплота сгорания дров из древесины различных пород колеблется в небольших пределах, однако масса 1 м<sup>3</sup> твердых пород в 1,6..1,8 раза больше мягких. Дрова отпускают потребителю по объему, а не по массе, поэтому предпочтение отдают твердым породам древесины. С учетом твердости древесины дрова по теплоте сгорания делят на четыре группы: 1 — дуб, граб, ясень, клен, бук — их тепловой эквивалент ТЭ = 1,2; 2 — береза, лиственница — ТЭ = 1; 3 — ольха, сосна, кедр, пихта — ТЭ = 0,8; 4 — ива, осина, тополь, липа — ТЭ = 0,7.

**Сельскохозяйственные отходы** используют для производственных и бытовых нужд, особенно в безлесных районах. К отходам относятся солома, подсолнечниковая лузга, костра, стебли подсолнечника, рисовая шелуха и т. п. По составу органической массы эти отходы ближе всего к древесине.

**Искусственное топливо** получают физико-механическими методами (сортировка, обогащение, сушка, брикетирование и др.) и физико-химическими (сухая перегонка, полукоксование, коксование и др.). Брикеты получают из отходов сельскохозяйственного производства с применением связующего вещества в прессах при давлении 100... 150 МПа (холодное брикетирование). При горячем брикетировании торфа, пыли и крошки угля связующим веществом служит смола, выделяемая ими при нагревании. Давление такого брикетирования 25...30 МПа, температура 260...320<sup>0</sup>С.

Древесный уголь получают в результате сухой перегонки древесины при температуре 400...450<sup>0</sup>С без доступа воздуха. Органическая масса такого угля содержит 75 % углерода, 4 — водорода, 20 % кислорода и азота. Его зольность составляет около 1%, влажность— 10%. Низшая теплота сгорания древесного угля 27 МДж/ кг.

## ***Лекция 7. Эксплуатационные свойства и применение моторных масел***

### ***1. Классификация смазочных материалов***

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

**По происхождению или исходному сырью** СМт бывают:

1) *минеральные, или нефтяные*, являются основной группой выпускаемых смаз.мас. (более 90%). Получают при переработке нефти. По способу получения они классифицируются на дистиллятные, остаточные, компаундированные или смешанные;

2) *растительные и животные* – имеют органическое происхождение. Раст.М получают путем переработки семян определенных растений. Наиболее широко в технике применяются касторовое, горчичное и сурепное масла. Жив.М. вырабатывают из животных жиров (баранье и говяжье сало, технический рыбий жир, костное масло и др.). Органические масла по сравнению с

нефтяными обладают более высокими смазывающими свойствами и более низкой термической устойчивостью;

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

**По внешнему состоянию** СМт делятся на:

1) *жидкие* смаз.масл. - в обычных условиях являются жидкостями, обладающими текучестью (нефтяные и растительные масла);

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

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

**По назначению** СМт делятся на масла:

1) *моторные*, предназначенные для ДВС (карбюраторных, дизелей, авиационных и др.);

2) *трансмиссионные*, применяемые в трансмиссиях тракторов, автомобилей, комбайнов, самоходных и других машин;

3) *индустриальные*, предназначенные главным образом для станков;

4) *гидравлические* для гидравлических систем различных машин;

5) *компрессорные, приборные, цилиндровые, электроизоляционные, вакуумные* и др.

**По температуре применения** среди рассмотренных масел различают: *низкотемпературные* для  $t$  не выше  $60^{\circ}\text{C}$  (приборные, индустриальные и др.);

*среднетемпературные*, применяемые при  $t=150...200^{\circ}\text{C}$  (турбинные, компрессорные, цилиндровые и др.);

*высокотемпературные*, используемые в узлах которые подвергаются воздействию  $t$  до  $300^{\circ}\text{C}$  и более. Это главным образом моторные масла.

## **2. Основные функции, выполняемые моторными маслами, и требования к ним**

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 работающего двигателя и, в первую очередь, деталей цилиндропоршневой группы;



эффективный отвод тепла от трущихся деталей, удаление из зон трения продуктов износа и других посторонних веществ;

надежную защиту рабочих поверхностей деталей двигателя от коррозионного воздействия продуктов окисления масла и сгорания топлива;

предотвращение образования всех видов отложений (нагаров, лаков, зольных отложений, шламов) на деталях двигателя при его работе на различных режимах;

высокую стабильность при окислении, механическом воздействии и обводнении, т.е. сохранение первоначальных свойств как в многообразных условиях применения, так и при длительном хранении;

нейтрализацию кислот, образующихся при сгорании топлива и окисление масла;

малый расход масла при работе двигателя;

большой срок службы масла до замены без ущерба для надежности двигателя.

Выполнение указанных функций моторными маслами возможно только в том случае, если их качество будет удовлетворять ряду эксплуатационных требований;

обладать оптимальными вязкостными свойствами, определяющими надежную и экономичную работу агрегатов на всех эксплуатационных режимах;

иметь хорошую смазывающую способность, чтобы предотвращать интенсивное изнашивание трущихся деталей;

обладать достаточной химической стойкостью, обеспечивающей минимальное изменение свойств смазочного материала в процессе применения;

иметь высокую моющую, диспергирующе-стабилизирующую способность, обеспечивающую чистоту деталей двигателя;

обладать высокой термической и термоокислительной стабильностью, что позволяет повысить предельную температуру нагрева масла в картере, увеличить срок замены;

иметь высокие противозадирные свойства;

обладать устойчивостью к процессам испарения, вспенивания и образования эмульсий, а также к выпадению присадок;

надежно защищать трущиеся поверхности и другие металлические детали от коррозионного воздействия как во время работы, так и при хранении автомобилей;

быть совместимыми с материалами уплотнения;

малой летучестью, низким расходом на угар.

### 3. Свойства смазочных материалов

Все смазочные масла должны обладать следующими свойствами:

**1. Смазочные свойства** объединяют несколько свойств масел, которые влияют на процесс трения и изнашивания. Основными из этих свойств являются противоизносные, противозадирные и антифрикционные свойства.

**2. Вязкостные свойства** - это свойства, которые характеризуют вязкость в заданных условиях работы и зависимость вязкости от температуры, давления и приложенного напряжения сдвига.

**3. Противокоррозионные и защитные свойства** - это способность масел в процессе работы не оказывать коррозионного действия на узлы и детали машин и механизмов, а также защищать металл от электрохимической и атмосферной коррозии.

**4. Антиокислительные свойства** - это способность не окисляться при воздействии высоких температур и каталитического действия металлов.

**5. Моющие и диспергирующие свойства** - это способность препятствовать отложению продуктов глубокого окисления на нагретой металлической поверхности, а также поддерживать их во взвешенном состоянии.

**6. Противопенные свойства** - это способность противостоять образованию воздушно-масляной эмульсии (пены).

**7. Физическая стабильность** - устойчивость к изменению химического состава и физических свойств вследствие колебания температуры и внешнего давления.

**8. Испаряемость.**

**9. Температура вспышки.**

**10. Совместимость** масел друг с другом, а также с конструкционными материалами (резинами, каучуками и т.п.)

**4. Основные физико-химические показатели качества масел: вязкость и вязкостно-температурные свойства, щелочное число, температура вспышки и воспламенения, температура застывания**

**Вязкость** — это свойство жидкости оказывать сопротивление течению (перемещению одного слоя жидкости относительно другого) под действием внешней силы.

Характеристикой вязкостных свойств масел является кинематическая вязкость, определяемая в капиллярных вискозиметрах, и динамическая вязкость, измеряемая при различных градиентах скорости в ротационных вискозиметрах.

Единица динамической вязкости в системе СИ — Паскаль-секунда (Па•с), или  $10^{-3}$  Па•с, а также сантипуаз (1сП = 1мПа•с). Динамическую вязкость  $\eta$  определяют как произведение кинематической вязкости жидкости  $\nu$  и ее плотности  $\rho$  при той же температуре:

$$\eta = \nu \cdot \rho$$

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

Единица кинематической вязкости в системе СИ —  $\text{м}^2/\text{с}$ , или  $10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , а также сантистокс ( $1\text{сСт} = 1 \text{ мм}^2/\text{с}$ ).

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

Вязкость масел зависит от температуры и давления. Понижение  $t$  масла вызывает повышение вязкости. Высокая вязкость затрудняет запуск двигателя, увеличивает сопротивление вращения деталей двигателя, вызывая потери мощности на трение. Температура, при которой масло теряет текучесть, называют *температурой застывания*.

Повышение  $t$  масла ведет к понижению вязкости, что может привести к режиму "масляного голодания", вытеканию его из узлов трения через уплотнительные соединения.

Интенсивность изменения вязкости масла при изменении температуры у разных моторных масел различна. Крутизну вязкостно-температурной кривой оценивают по индексу вязкости.

*Индекс вязкости* характеризует степень изменения вязкости в зависимости от температуры масла, или пологость вязкостно-температурной кривой масла. Индекс вязкости масел определяют в условных единицах, сравнивая кривые вязкости испытуемого масла и двух эталонных масел, одно из которых имеет очень пологую кривую — его индекс вязкости принят за 100, а другое - крутую кривую — индекс вязкости принят за 0. Эталонные масла имеют одинаковую вязкость с испытуемым маслом при температуре  $98,8 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Чем выше индекс вязкости, тем лучше технико-эксплуатационные свойства моторных масел. Индекс вязкости находят по соответствующим формулам или номограмме. Сначала у испытуемого моторного масла определяют кинематическую вязкость при  $40$  и  $100^\circ\text{C}$ . Затем с учетом этих значений по номограмме или формулам определяют индекс вязкости масла.

**Антиокислительные свойства** характеризуют стойкость масла к окислению. Полностью предотвратить окисление масла из-за жестких условий эксплуатации невозможно. Процесс окисления моторного масла можно значительно затормозить введением эффективных антиокислительных присадок, очисткой базовых масел от нежелательных соединений, использованием синтетических базовых компонентов. При окислении масла происходит увеличение его вязкости и коррозионности, склонности к образованию отложений, сильному загрязнению фильтров, что приводит к затруднению холодного пуска и ухудшению прокачиваемости масла. В двигателе масло наиболее интенсивно окисляется в тонких слоях на поверхностях деталей, нагреваемых до высокой температуры и соприкасающихся с горячими газами. Значительное окисление масла происходит на поршнях, цилиндрах, поршневых кольцах, клапанах и др. Скорость и степень окисления моторного масла существенно увеличиваются под действием продуктов неполного сгорания топлива, прорывающихся в картер двигателя. Окисление масла ускоряют также частицы металлов, накапливающиеся в нем в результате изнашивания

деталей двигателя, и металлоорганические соединения меди, железа и других металлов, образующиеся в результате коррозии деталей двигателя или взаимодействия этих частиц с органическими кислотами.

При длительной работе масла в двигателе в результате окисления наблюдается значительный рост вязкости, который происходит после полного срабатывания антиокислительной присадки.

В стандартах на моторные масла их стойкость к окислению оценивают по индукционному периоду осадкообразования (окисление при 200 °С по ГОСТ 21063—77) или по увеличению их вязкости при работе в двигателе установки ИКМ (моторные испытания по ГОСТ 20457-75).

**Антикоррозионные свойства.** Эти свойства моторных масел зависят главным образом от эффективности антикоррозионных и антиокислительных присадок, а также от состава базовых компонентов. В процессе работы масла в двигателе коррозионность возрастает

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

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

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

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

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

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

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

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

На температуру вспышки оказывают влияние давление и влажность воздуха. С повышением атмосферного давления температура вспышки увеличивается, а с ростом влажности — уменьшается.

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

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

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

## ***5. Термоокислительная стабильность и противокоррозионные свойства, их применение***

Отложения, образующиеся на высоконагретых деталях двигателя, подразделяются на *нагары, лаки и осадки*.

Нагарами называются углистые отложения, которые образуются на стенках камеры сгорания, днищах поршней, клапанах, форсунках и свечах, т. е. деталях, подвергающихся воздействию высоких температур.

Лаки или лаковые отложения, представляют собой тонкие и прочные пленки, образующиеся на поршневых кольцах, канавках и юбках поршней, шатунах и других деталях.

Осадки или шламы — мазеобразные сгустки, откладывающиеся на поверхности деталей в картере двигателя, на маслофильтрах, маслопроводах и др.

Моторное масло должно обладать высокой термоокислительной стабильностью, т. е. под действием высокой температуры не образовывать лаковых отложений на поверхностях поршневой группы двигателя.

Определение термоокислительной стабильности заключается в следующем. Моторное масло, находящееся на металлической поверхности в виде тонкого слоя, нагревают, в результате чего его масса уменьшается за счет испарения легколетучих веществ. Остаток, полученный на металлической поверхности, делят на рабочую фракцию и лак.

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

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

Коррозия деталей отрицательно сказывается на работе двигателя; она приводит к снижению его надежности и долговечности, иногда к аварийному состоянию. При коррозии последовательно протекают следующие процессы: появление на рабочей поверхности шероховатых точек и пятен; концентрация коррозионных точек в области появившихся пятен; образование в местах концентрации коррозионных точек небольших раковин, уходящих в глубь материала; появление трещин, соединяющих образовавшиеся раковины; выкрашивание материала по образовавшимся трещинам между раковинами.

Для оценки коррозионных свойств масла определяют действительную коррозионность на специальных приборах, имитирующих условия работы масла в двигателе и процесс коррозии.

Определение коррозионности по методу Пинкевича. Суть метода заключается в определении потери массы металлической пластинки (из свинца или свинцовистой бронзы) при периодическом воздействии на нее нагретого масла и кислорода воздуха (прибор Пинкевича).

Коррозионность  $K$ , г/м<sup>2</sup>, испытываемого образца подсчитывают по формуле

$$K = \frac{q - q_1}{F}, \quad (1)$$

где  $q$ —масса взятой новой пластинки для испытания, г;  $q_1$  — масса пластинки после 50 ч испытания, г;  $F$  — площадь поверхности пластинки, м<sup>2</sup>.

Чем больше потеря массы пластинки, тем выше коррозионность масла.

Определение коррозионности масла по методу НАМИ.

Здесь различают *потенциальную* и *действительную* коррозионность.

Определение потенциальной коррозионности масла заключается в нахождении потери массы свинцовой пластинки, на которую в течение 10 ч периодически воздействуют масло и воздух (ГОСТ 13517—68)(прибор НАМИ).

Коррозионность образца масла,  $\text{г/м}^2$ , вычисляют по формуле (1).

Действительную коррозионность масла определяют аналогично. Разница заключается лишь в том, что исследование проводят не в открытых, а в плотно закрытых колбах без доступа воздуха извне. Опыт длится 30 мин, что исключает возможность интенсивного окисления образца масла во время испытаний.

В усовершенствованном варианте метода НАМИ температура масла при испытании повышена до  $160^\circ\text{C}$ . При этом определяют время до получения стабильной скорости коррозии. В качестве оценочных показателей принят индукционный период коррозии (ИПК — время, ч, до момента, когда потеря массы свинцовой пластинки достигает  $5 \text{ г/м}^2$ ) и скорость коррозии после ИПК [ $\text{г}/(\text{м}^2 \cdot \text{г})$ ].

Кроме того, антикоррозионные свойства масел оценивают на полноразмерном дизеле ЯАЗ-204. Масло считается выдержавшим испытание, если через 125 ч потеря массы шатунных вкладышей не превышает 0,2 г, а на их поверхности отсутствуют видимая коррозия и механические повреждения.

### ***6. Противоизносные и противозадирные свойства масел, их определение***

Противоизносные свойства масла зависят от его химического состава и вязкостно-температурной характеристики, а также от качества присадок. Трибологические характеристики масел — индекс задира, критическую нагрузку и показатель износа при постоянной нагрузке определяют по ГОСТ 9490—75 на четырехшариковой машине трения МАСТ-1 (рис. 6.3). На шарик 1, закрепленный в шпинделе, который вращается с большой скоростью, действует вертикальная нагрузка. Износ оценивают по среднему диаметру появившегося на нижних шариках 2 пятна. Диаметр определяют с помощью специального оптического микроскопа.

Самый достоверный метод оценки противоизносных и противозадирных свойств — испытание масла в реальных узлах трения двигателей. При испытании противоизносные и противозадирные свойства масел оценивают по потере массы поршневых колец, задиру или питтингу кулачков и толкателей, линейному износу этих деталей и цилиндров, состоянию поверхностей трения.

### ***7. Назначение и виды присадок к маслам***

Присадки — сложные химические соединения, которые вводятся в смазочные масла в концентрации от 0,5 до 10% и более с целью улучшения их качества и придания новых свойств.

Присадки должны хорошо растворяться в маслах и не образовывать осадков при хранении и транспортировке, быть термически и химически стабильными, не изменять своего функционального назначения при

применении его в двигателе, не нарушать других качеств масла. Основные типы присадок к моторным маслам:

1. Вязкостные (загущающие) – добавляют в моторные масла для повышения их вязкости и индекса вязкости.

Марки присадок: ПМА "В-1", ПМА "В-2" – масляные растворы эфиров метакриловой к-ты и масел синтетически жирных спиртов.

КП-5, КП-10, КП-20 – продукт полимеризации изобутилена.

Загущенные масла обладают высоким ИВ, хорошей текучестью при низких  $t$ , образует небольшое количество нагара, обеспечивает минимальные потери мощности на трение.

2. Моюще-диспергирующие – уменьшают и предотвращают образование лаковых отложений и осадков на рабочих поверхностях, предупреждают пригорание поршневых колец, поддерживают продукты окисления масла во взвешенном состоянии.

Марки присадок: ВНИИНП-714 – щелочная присадка нового поколения, представляет собой коллоидную дисперсию, МАСМА-1603 – раствор осерненного алкилфенола в дистиллятном минеральном масле, НСК – нейтральный сульфат кальция, С-5А, СД-73 и др.

3. Антиокислительные и антикоррозионные – снижают скорость окисления и образования нерастворимых, а также коррозионно-агрессивных продуктов в масле. Уменьшают рост вязкости и предотвращают коррозию деталей из цветных сплавов.

Марки присадок: ДФ-11, А-22 – зольные дитиофосфатные присадки, ВНИИНП-715, "Борин" – беззольные присадки.

4. Противоизносные и противозадирные – предотвращают разрушение контактирующих поверхностей деталей при граничном трении, снижают износ за счет образования на поверхности трения защитных пленок.

Марки присадок: ДФ-11,ДФВ, А-22, ВНИИНП-354, ИХП-14М, БМА-5 и др.

5. Депрессорные – понижают температуру застывания масла за счет снижения интенсивности образования кристаллов парафина при низких температурах.

Марки присадок: АзНИИ; АзНИИ-ЦИАТИМ-1, АФК, ПМА"Д", Депресал – применяют в концентрации 1% (мас.доля).

6. Ингибиторы коррозии – предотвращают коррозию (ржавление) деталей из черных металлов. Марки: АКОР-1,КП, КП-2

7. Антифрикционные (модификаторы трения) – уменьшают трение в сопряженных парах, снижают расход топлива двигателем. Марки: Автопрепарат Экомин-С, АДТФ, ВИР-1.

8. Противопенные – предотвращают образование пены в двигателе, ПМС-200А применяют в концентрации 0,007-0,005%.



## ***8. Композиции и пакеты присадок к моторным маслам***

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

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

## ***9. Условия работы моторного масла, и факторы, влияющие на его изменение***

Необходимыми условиями надежной и долговечной работы ДВС являются непрерывное высококачественное смазывание его трущихся деталей, отвод от них тепла и защита коррозии. Эти функции выполняет моторное масло, циркулирующее в системе смазывания. Чем выше качество смазочного масла, тем дольше будет работать двигатель.

В зоне поршневых колец смазочное масло должно сохранять устойчивость при воздействии высоких температур с одновременным окислением его кислородом воздуха и продуктами сгорания топлива, не образуя при этом асфальто-смолистых веществ и аминокислот, которые способствуют закоксовыванию поршневых колец. Масло, проникающее в зону камеры сгорания, где оно сгорает, должно оставлять на деталях возможно меньшее количество нагара. На внутренней части и на юбке поршня смазочное масло не должно образовывать лаковых отложений. В картере двигателя масло не должно давать осадков (шламов), забивающих маслоприемные сетки насосов, фильтрующие устройства и маслопроводы.

В зоне поршневых колец масло распределяется по поверхности гильз очень тонким слоем и одновременно находится под действием высокого давления. Поскольку в двигателях часть деталей смазывается разбрызгиванием (распределительные шестерни, газораспределительный механизм, гильзы и др.), то масло в картере при работе находится в туманообразном состоянии, что создает дополнительные условия для интенсивного перемешивания его с кислородом воздуха, что способствует ускорению окисления.

Помимо этого, при эксплуатации тракторов, автомобилей, комбайнов и других самоходных машин значительно меняется температура окружающего воздуха, его влажность и запыленность, что в значительной степени отражается на условиях работы масла.

Для того чтобы эффективно использовать смазочные масла, необходимо выяснить влияние отдельных факторов на изменение качества масла, в частности на его окисляемость.

*Влияние кислорода.* Первичные продукты окисления - перекиси являются весьма нестойкими кислородными соединениями, которые под действием температуры и кислорода воздуха превращаются в кислоты и оксикислоты. Промежуточными продуктами могут быть также альдегиды, кетоны и спирты. В результате дальнейших окислительных процессов они конденсируются и полимеризуются с образованием смол, асфальтенов, карбенов, которые вызывают лако- и нагарообразование. Наиболее вредные продукты окисления - оксикислоты и асфальтены, высокая липкость которых способствует закоксовыванию и пригоранию поршневых колец.

Установлено, что окислительные процессы в масле не происходят при отсутствии кислорода. В частности, при нагревании масел до 150°C в вакууме в них длительное время не образуются осадки, а также кислые и нейтральные продукты окисления. Скорость окисления высокоочищенных масел примерно пропорциональна концентрации кислорода. Для масел нормальной очистки закономерности между окислением и концентрацией кислорода нет.

*Влияние температуры.* Повышение температуры значительно ускоряет процесс окисления. При повышении температуры с 50 до 150°C и прочих равных условиях скорость окисления возрастает в 1700 раз. Продукты окисления в жидкой фазе масла, получающиеся при различных температурах, существенным образом между собой не различаются. Процесс окисления масла в газовой фазе, а также при тонком диспергировании частиц масла существенно отличается от окисления в обычных условиях.

*Зависимость от времени* Начальная стадия окисления масел характеризуется так называемым индукционным периодом, в течение которого видимых изменений не наблюдается. Продолжительность индукционного периода неодинакова для различных масел, а для некоторых из них весьма мала, т. е. реакция окисления таких масел начинается сразу при соприкосновении с кислородом. После окончания индукционного периода масло интенсивно окисляется, а затем этот процесс стремится при заданных условиях к стабилизации. Окисление масла может продолжаться непрерывно, причем получающиеся продукты вслед за количественным их ростом претерпевают и качественные изменения, подвергаясь расщеплению, конденсации, полимеризации и пр. При этом окисление отдельных выделенных из масла углеводородов происходит более интенсивно в сравнении с окислением самого масла. Это явление объясняется тем, что смолистые соединения и органические сульфиды, содержащиеся в масле, служат ингибиторами окисления.

*Поверхность окисляемого масла.* Этот фактор оказывает большое влияние на скорость диффузии кислорода в масло и степень его окисления. Поэтому при распылении и разбрызгивании, что имеет место в современных

двигателях с комбинированной смазочной системой при многократной циркуляции масла, процесс окисления значительно ускоряется.

Существует несоответствие между окисляемостью смазочного масла в лабораторных условиях и непосредственно в двигателе внутреннего сгорания. Масло в двигателе окисляется главным образом в тонком слое на поверхности гильз и поршней, и здесь действует еще один фактор, стимулирующий окисление - контактный эффект, т. е. мгновенное локальное повышение температуры и давления в точках контакта микронеровностей в деталях.

*Химический состав масла.* Масло представляет собой сложную смесь углеводородов различного строения, состав которой зависит от исходного сырья. Масло содержит парафиновые (0,1...6,5%), нафтеновые (40...82%), ароматические (15...40%), нафтенно-ароматические углеводороды, а также кислород, серу и азотсодержащие соединения. Эти углеводороды по-разному реагируют с кислородом, образуя различные продукты окисления. При этом наименее устойчивыми против действия кислорода при высоких температурах являются парафиновые и нафтеновые углеводороды с большим количеством циклов. Углеводороды ароматического ряда, в зависимости от их строения, ведут себя при окислении различно. Чем больше циклов содержит ароматический углеводород, тем больше он склонен к окислению. Ароматические углеводороды, находясь в смеси с нафтенами в достаточной концентрации, защищают их от окисления.

*Степень и характер очистки масел.* Эти показатели играют весьма существенную роль в процессе окисления масел. Не всегда наличие смолистых веществ ухудшает стабильность масел. В некоторых условиях излишняя очистка делает масло легкоокисляемым. Так, при серно-кислотной очистке дистиллята сначала получается продукт с низкой окисляемостью, а при дальнейшем углублении процесса окисляемость масла резко повышается.

*Влияние металлов и сплавов.* Процесс окисления масла ускоряется за счет каталитического действия металлов и сплавов, из которых изготовлены детали.

Степень ускорения окисления для разных металлов и сплавов различна. Например, свинцовистая бронза интенсивнее воздействует на процесс окисления масла, чем оловянистый баббит.

*Влияние посторонних примесей.* Наличие примесей (воды, продуктов износа деталей, пыли воздуха) отрицательно сказывается на процессе окисления масла. Значительно уменьшить влияние продуктов износа и пыли (кварца) на окисление масла можно за счет улучшения фильтрации его в двигателе. Качественная очистка увеличивает срок работы масла в 2 и более раз.

## Лекция 8. Классификация моторных масел

Таблица 2

Оптимальные и опасные интервалы температур поверхностей деталей  
бензиновых автомобильных двигателей

№ п/п	Наименование деталей и узлов двигателя	Опасная низкотемпературная зона, °С	Интервал оптимальных температур, °С	Опасная высокотемпературная зона, °С
1	Днище поршня, головка цилиндра	до 130	140 – 300	более 310
2	Зона поршневых колец	до 70	80 – 220	более 230
3	Юбка поршня, зеркало цилиндра	до 60	70 – 190	более 200
4	Картер, клапанная коробка	до 40	50 – 140	более 150

### 1. Классификация моторных масел по вязкости SAE

В настоящее время общепризнанной международной системой классификации моторных масел по вязкости является SAE J300, разработанная Обществом Автомобильных Инженеров США (Society of Automotive Engineers). Вязкость масла по этой системе выражается в условных единицах - степенях вязкости. Чем больше число, входящее в обозначение класса SAE, тем выше вязкость масла.

Спецификация описывает три ряда вязкости масел: зимние, летние и всесезонные. Но, прежде чем их рассмотреть, немного теории. Температурный диапазон моторного масла в основном определяется двумя его характеристиками: кинематической и динамической вязкостью. Кинематическая вязкость измеряется в капиллярном вискозиметре и показывает, насколько легко масло течет при данной температуре под действием силы тяжести в тонкой капиллярной трубке. Динамическая вязкость измеряется в более сложных установках - ротационных вискозиметрах. Она показывает насколько меняется вязкость масла при изменении скорости перемещения смазываемых деталей относительно друг друга. С увеличением скорости относительного перемещения смазываемых деталей вязкость снижается, а с уменьшением - возрастает.

Ряд **зимних масел**: SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W - обозначаются цифрой и буквой "W" (Winter-Зима). Для зимних классов установлены два максимальных значения низкотемпературной динамической вязкости и нижний предел кинематической вязкости при 100°C.

К низкотемпературным параметрам относятся:

*Проворачиваемость* - показывает динамическую вязкость моторного масла и температуру, при которой масло остается достаточно жидким, чтобы было возможно запустить двигатель.

*Прокачиваемость* - это динамическая вязкость масла, при которой масло сможет прокачаться по системе смазки и двигатель не будет работать в

режиме сухого трения. Температура прокачиваемости ниже температуры проворачиваемости на 5 градусов.

Высокотемпературные свойства зимних масел характеризует минимальная кинематическая вязкость при  $100^{\circ}\text{C}$  - показатель, определяющий минимальную вязкость моторного масла при прогревом двигателя.

Ряд **летних масел**: SAE 20, 30, 40, 50, 60 - обозначаются цифрой без буквенного обозначения. Основные свойства летнего ряда масел определяется по:

- минимальной и максимальной кинематическим вязкостям при  $100^{\circ}\text{C}$  - показатель, определяющий минимальную и максимальную вязкость моторного масла при прогревом двигателя.

- минимальной вязкости при  $150^{\circ}\text{C}$  и скорости сдвига  $106\text{ c}^{-1}$ . Градиент скорости сдвига – это отношение скорости движения одной поверхности трения относительно другой к величине зазора между ними, заполненного маслом. С увеличением градиента скорости сдвига снижается вязкость масла, но она снова возрастает, когда скорость сдвига уменьшается.

Ряд **всесезонных масел**: SAE 0W-20, 0W-30, 0W-40, 0W-50, 0W-60, 5W-20, 5W-30, 5W-40, 5W-50, 5W-60, 10W-20, 10W-30, 10W-40, 10W-50, 10W-60, 15W-30, 15W-40, 15W-50, 15W-60, 20W-30, 20W-40, 20W-50, 20W-60. Обозначение состоит из комбинации зимнего и летнего ряда, разделенных тире. Всесезонные масла должны удовлетворять одновременно критериям и зимнего, и летнего масла. Чем меньше цифра, стоящая перед буквой W, тем меньше вязкость масла при низкой температуре, легче холодный пуск двигателя стартером и лучше прокачиваемость масла по смазочной системе. Чем больше цифра, стоящая после буквы W, тем больше вязкость масла при высокой температуре и надежнее смазывание двигателя при жаркой погоде.

Таким образом, класс SAE сообщает потребителю диапазон температуры окружающей среды, в котором масло обеспечит:

- проворачивание двигателя стартером (для зимних и всесезонных масел)
- прокачивание масла масляным насосом по смазочной системе двигателя под давлением при холодном пуске в режиме, не допускающем сухого трения в узлах трения (для зимних и всесезонных масел)
- надежное смазывание летом при длительной работе в максимальном скоростном и нагрузочном режиме (для летних и всесезонных масел).

## ***2. Классификация моторных масел по назначению и уровням эксплуатационных свойств API***

Наиболее известной международной классификацией моторных масел по областям применения и уровню эксплуатационных свойств является классификация API (Американского института нефти).

Классификация API подразделяет моторные масла на две категории :

- **S (Service)** — для бензиновых двигателей легковых автомобилей, микроавтобусов и легких грузовиков.
- **C (Commercial)** — для дизелей коммерческих автотранспортных средств (грузовиков), промышленных и сельскохозяйственных тракторов, дорожно-строительной техники.

Обозначение класса масла состоит из двух букв латинского алфавита: первая (S или C) указывает категорию масла, вторая — уровень эксплуатационных свойств. Чем дальше от начала алфавита вторая буква, тем выше уровень свойств (т.е. качество масла). Классы дизельных масел подразделяются дополнительно для двухтактных (CD-2, CF-2) и четырехтактных дизелей (CF-4, CG-4, CH-4). Большинство зарубежных моторных масел универсальные - их применяют как в бензиновых, так и в дизельных двигателях. Такие масла имеют двойное обозначение, например: SF/CC, CD/SF и т.д. Основное назначение масла указывают первые буквы, т.е. SF/CC - "более бензиновое", CD/SF- "более дизельное". Энергосберегающие масла для бензиновых двигателей дополнительно обозначаются аббревиатурой EC (**Energy Conserving**).

### Спецификация API для бензиновых двигателей

Класс	Статус	Назначение
SM	Действующий	Для всех автомобильных двигателей, выпускаемых в настоящее время. Введен в 2004 году. Масла этого класса имеют повышенную стойкость к окислению, улучшенную защиту от износа и отложений, улучшенные низкотемпературные свойства
SL	Действующий	Для двигателей 2004 и старше годов выпуска
SJ	Действующий	Для двигателей 2001 и старше годов выпуска
SH	Устаревший	Для двигателей 1996 и старше годов выпуска
SG	Устаревший	Для двигателей 1993 и старше годов выпуска
SF	Устаревший	Для двигателей 1988 и старше годов выпуска
SE	Устаревший	Не подходит для использования в двигателях, изготовленных после 1979 года.
SD	Устаревший	Не подходит для использования в двигателях, изготовленных после 1971 года. Использование в более современных моторах может привести к неудовлетворительной работе или поломкам
SC	Устаревший	Не подходит для использования в двигателях, изготовленных после 1967 года. Использование в более современных моторах может привести к неудовлетворительной работе или поломкам
SB	Устаревший	Не подходит для использования в двигателях, изготовленных после 1951 года. Использование в более современных моторах может привести к неудовлетворительной работе или поломкам
SA	Устаревший	Не содержит присадок. Не подходит для использования в двигателях, изготовленных после 1930 года. Использование в более современных моторах может привести к неудовлетворительной работе или поломкам

## Спецификация API для дизельных двигателей

Класс	Статус	Назначение
CJ-4	Действующий	<p>Введен в 2006 году. Для высокооборотистых, четырехтактных двигателей, удовлетворяющих нормам выброса, введенным в 2007 году. Масла данного класса предназначены для работы на топливе, содержащем не более 0,05% серы. Однако для выполнения требований по нормам выброса, надежной работы систем очистки отработанных газов и достижения удлиненных интервалов замены масла, необходимо использовать дизтопливо, содержание серы в котором не превышает 0,0015%. Моторные масла класса CJ-4 разрабатывались для двигателей, оборудованных самыми современными системами снижения выбросов вредных веществ (сажевые фильтры, системы рециркуляции выхлопных газов и др.) Масла класса CJ-4 имеют улучшенные защитные свойства, повышенную окислительную, низко- и высокотемпературную стабильность, удлиненные интервалы замены. Однако при использовании топлива с содержанием серы более 0,0015% интервалы замены необходимо уменьшить. Масла класса CJ-4 могут заменять масла классов CI-4, CH-4, CG-4 и CF-4.</p>
CI-4	Действующий	<p>Введен в 2002 году. Для высокооборотистых, четырехтактных двигателей, удовлетворяющих нормам выброса, введенным в 2004 году. Масла этого класса разработаны для двигателей, имеющих систему рециркуляции выхлопных газов (EGR) и работающих на дизтопливе с содержанием серы до 0,5 %. Могут заменять масла классов CD, CE, CF-4, CG-4 и CH-4.</p>
CH-4	Действующий	<p>Введен в 1998 году. Для высокооборотистых четырехтактных двигателей, соответствующих нормам выброса, установленным в 1998 году. Предназначены для работы с использованием топлива с содержанием серы до 0,5%. Может использоваться вместо масел классов CD, CE, CF-4 и CG-4.</p>
CG-4	Действующий (до 31.08.09)	<p>Введен в 1995 году. Для тяжело нагруженных, высокооборотистых, четырехтактных двигателей, работающих на топливе с содержанием серы менее 0,5%. Применяется в двигателях, соответствующих требованиям стандарта 1994 года по уровню выбросов. Может заменять масла классов CD, CE, CF-4.</p>
CF-4	Устаревший	<p>Введен в 1990 году. Для высокооборотистых, четырехтактных, безнаддувных и наддувных двигателей. Может применяться вместо масел классов CD и CE.</p>
CF-2	Действующий	<p>Введен в 1994 году. Для тяжело нагруженных двухтактных дизелей. Могут применяться вместо масел класса CD-II.</p>
CF	Действующий	<p>Введен в 1994 году. Для внедорожников, вихрекамерных и форкамерных дизелей, а также дизелей, работающих на топливе с высоким содержанием серы (до 0,5%). Могут применяться вместо масел класса CD.</p>
CE	Устаревший	<p>Введен в 1985 году. Для высокооборотистых, четырехтактных, безнаддувных и наддувных двигателей. Может применяться вместо масел классов CC и CD.</p>
CD-II	Устаревший	<p>Введен в 1985 году. Для двухтактных двигателей.</p>
CD	Устаревший	<p>Введен в 1955 году. Для некоторых безнаддувных и турбированных двигателей.</p>

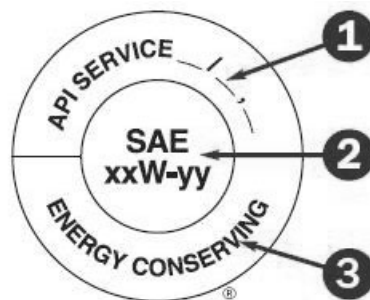


CC	Устаревший	Не подходит для использования в дизельных двигателях, изготовленных после 1990 года.
CB	Устаревший	Не подходит для использования в дизельных двигателях, изготовленных после 1961 года.
CA	Устаревший	Не подходит для использования в дизельных двигателях, изготовленных после 1959 года.

## Маркировка



Этот знак ставится на масла, сертифицированные API на соответствие требованиям ILSAC (Про ILSAC читай ниже)



1. Здесь указывается класс или классы масла
2. Здесь указывается вязкость масла по SAE
3. Эта надпись означает, что масло энергосберегающее для бензиновых двигателей



Надпись CI-4 PLUS в сочетании с CJ-4 или CI-4 означает, что масло имеет более высокую степень защиты от загрязнения сажей и более высокую стойкость к нагрузкам сдвига

На сегодняшний день (апрель 2009) классификация API содержит 3 действующих класса категории "S" и 6 действующих классов категории "C". Но многие производители продолжают выпускать масла классов, исключенных из спецификации, поскольку автомобили со старыми двигателями продолжают эксплуатироваться, а значит, есть необходимость в этих маслах. Согласно рекомендаций API любой вышестоящий действующий класс категории "S" заменяет нижестоящий действующий класс. Для дизельных масел, вышестоящий действующий класс как правило, но не всегда, заменяет нижестоящий класс.

Классификация ILSAC разработана Международным комитетом по одобрению и стандартизации смазочных материалов (ILSAC) совместно с JAMA (Ассоциация производителей автомобилей Японии) и AAMA (Ассоциация производителей автомобилей Америки). Для бензиновых двигателей легковых автомобилей японского производства лучше всего подходит эта классификация, для американских автомобилей равноценны как масла по ILSAC, так и по API. Действующим стандартом ILSAC, принятым в 2004 году, является GF-4. Масла этого класса являются энергосберегающими, они совместимы с системами нейтрализации выхлопных газов и обеспечивают улучшенную защиту двигателя от износа. В 2010 году предполагается введение стандарта GF-5.



### **3. Классификация моторных масел по назначению и уровням эксплуатационных свойств ACEA**

Ассоциация европейских производителей автомобилей (Association des Constructeurs Europeen des Automobiles) - с 1 января 1996 года ввела свою классификацию моторных масел, которая с тех пор неоднократно обновлялась. Здесь приведена классификация, введенная с 22 декабря 2008 года.

Требования европейских стандартов к качеству моторных масел являются более строгими, чем американских, т.к. в Европе условия эксплуатации и конструкция двигателей отличаются от американских:

- более высокой степенью форсирования и максимальными оборотами;
- меньшей массой двигателей;
- большей удельной мощностью;
- большими допустимыми скоростями передвижения;
- более тяжелыми городскими режимами.

Ввиду этих особенностей испытания моторных масел проводятся на европейских двигателях и по методикам, отличающимся от американских. Это не позволяет напрямую сравнивать уровни требований и стандартов ACEA и API.

Классификация ACEA разделяет моторные масла на 3 класса:

- **A/B** — для бензиновых двигателей и дизелей легковых автомобилей и легких грузовиков;
- **C** — совместимые с нейтрализаторами отработавших газов;
- **E** — для мощных дизелей грузовых автомобилей.

#### ***A/B- масла для бензиновых и дизельных двигателей***

**A1/B1** Предназначены для бензиновых двигателей и легковых дизелей, которые разработаны для использования масел с увеличенными интервалами замены, которые обеспечивают низкий коэффициент трения, маловязких при высокой температуре и высокой скорости сдвига (от 2.9 до 3.5 mPa.s.) Эти масла могут быть не пригодны для работы в некоторых двигателях. Необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации автомобиля.

**A3/B3** Предназначены для высокопроизводительных бензиновых двигателей и легковых дизелей, разработанных для применения и/или с увеличенными интервалами замены масла в соответствии с рекомендациями изготовителей двигателей, и/или для применения в тяжелых условиях эксплуатации, и/или всесезонного применения маловязких масел.

**A3/B4** Предназначены для применения в высокопроизводительных бензиновых двигателях и дизелях с непосредственным впрыском топлива. Могут применяться вместо масел класса A3/B3.

**A5/B5** Предназначены для высокопроизводительных бензиновых двигателей и легковых дизелей, которые разработаны для использования масел с увеличенными интервалами замены, которые обеспечивают низкий коэффициент трения, маловязких при высокой температуре и высокой

скорости сдвига (от 2.9 до 3.5 mPa.s.) Эти масла могут быть не пригодны для работы в некоторых двигателях. Необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации автомобиля.

***C- масла, совместимые с каталитическими нейтрализаторами***

**C1** Предназначены для автомобилей, оборудованных сажевыми фильтрами и трехкомпонентными каталитическими нейтрализаторами. Применяются в высокопроизводительных бензиновых двигателях и легковых дизелях, требующих масел, которые обеспечивают низкий коэффициент трения, с малой вязкостью, низкой сульфатной зольностью, низким содержанием серы и фосфора, имеющих минимальную вязкость при высоких температурах и высоких скоростях сдвига 2.9 mPa.s. Эти масла продлевают срок эксплуатации сажевых фильтров и каталитических нейтрализаторов и способствуют экономии топлива. Могут быть не пригодны для применения в некоторых двигателях. Необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации автомобиля.

**C2** Предназначены для автомобилей, оборудованных сажевыми фильтрами и трехкомпонентными каталитическими нейтрализаторами. Применяются в высокопроизводительных бензиновых двигателях и легковых дизелях, разработанных для использования масел, обеспечивающих низкий коэффициент трения, с малой вязкостью, имеющих минимальную вязкость при высоких температурах и высоких скоростях сдвига 2.9 mPa.s. Эти масла продлевают срок эксплуатации сажевых фильтров и каталитических нейтрализаторов и способствуют экономии топлива. Могут быть не пригодны для применения в некоторых двигателях. Необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации автомобиля.

**C3** Предназначены для автомобилей, оборудованных сажевыми фильтрами и трехкомпонентными каталитическими нейтрализаторами. Применяются в высокопроизводительных бензиновых двигателях и легковых дизелях, имеющих минимальную вязкость при высоких температурах и высоких скоростях сдвига 3.5 mPa.s. Эти масла продлевают срок эксплуатации сажевых фильтров и каталитических нейтрализаторов. Могут быть не пригодны для применения в некоторых двигателях. Необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации автомобиля.

**C4** Предназначены для автомобилей, оборудованных сажевыми фильтрами и трехкомпонентными каталитическими нейтрализаторами. Применяются в высокопроизводительных бензиновых двигателях и легковых дизелях, требующих масел с низкой сульфатной зольностью, низким содержанием серы и фосфора, имеющих минимальную вязкость при высоких температурах и высоких скоростях сдвига 3.5mPa.s. Эти масла продлевают срок эксплуатации сажевых фильтров и каталитических нейтрализаторов. Могут быть не пригодны для применения в некоторых двигателях. Необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации автомобиля.

***E- для мощных дизелей грузовых автомобилей***

**E4** Масла, обеспечивающие высокую чистоту поршней, защиту от износа, имеющие высокую стойкость от загрязнения сажей и стабильные

свойства на протяжении всего периода эксплуатации. Рекомендованы для современных дизельных двигателей, отвечающих требованиям Евро-1, Евро-2, Евро-3, Евро-4 и Евро-5 и работающих в очень тяжелых условиях со значительно удлиненными интервалами замены (в соответствии с рекомендациями производителей). Могут применяться только в двигателях без сажевого фильтра, и в некоторых двигателях с системами рециркуляции выхлопных газов и снижения выбросов оксидов азота. Однако, рекомендации производителей могут отличаться, поэтому необходимо следовать инструкции по эксплуатации автомобиля.

**Е6** Масла, обеспечивающие высокую чистоту поршней, защиту от износа, имеющие высокую стойкость от загрязнения сажей и стабильные свойства на протяжении всего периода эксплуатации. Рекомендованы для современных дизельных двигателей, отвечающих требованиям Евро-1, Евро-2, Евро-3, Евро-4 и Евро-5 и работающих в очень тяжелых условиях со значительно удлиненными интервалами замены (в соответствии с рекомендациями производителей). Могут применяться в двигателях с системой рециркуляции выхлопных газов, с или без сажевого фильтра, и для двигателей с системами снижения выбросов оксидов азота. Масла данного класса настоятельно рекомендованы для двигателей, оборудованных сажевыми фильтрами и предназначенными для работы на топливе с низким содержанием серы. Однако, рекомендации производителей могут отличаться, поэтому необходимо следовать инструкции по эксплуатации автомобиля.

**Е7** Масла, эффективно обеспечивающие чистоту поршней и защиту от лаковых отложений. Обеспечивают отличную защиту от износа, имеют высокую стойкость от загрязнения сажей и стабильные свойства на протяжении всего периода эксплуатации. Рекомендованы для современных дизельных двигателей, отвечающих требованиям Евро-1, Евро-2, Евро-3, Евро-4 и Евро-5 и работающих в тяжелых условиях с удлиненными интервалами замены (в соответствии с рекомендациями производителей). Рекомендованы для применения в двигателях без сажевых фильтров и для большинства двигателей, оснащенных системами рециркуляции выхлопных газов и снижения выбросов оксидов азота. Однако, рекомендации производителей могут отличаться, поэтому необходимо следовать инструкции по эксплуатации автомобиля.

**Е9** Масла, эффективно обеспечивающие чистоту поршней и защиту от лаковых отложений. Обеспечивают отличную защиту от износа, имеют высокую стойкость от загрязнения сажей и стабильные свойства на протяжении всего периода эксплуатации. Рекомендованы для современных дизельных двигателей, отвечающих требованиям Евро-1, Евро-2, Евро-3, Евро-4 и Евро-5 и работающих в тяжелых условиях с удлиненными интервалами замены (в соответствии с рекомендациями производителей). Могут применяться в двигателях с или без сажевых фильтров и в большинстве двигателей, оснащенных системами рециркуляции выхлопных газов и снижения выбросов оксидов азота. Масла данного класса

настоятельно рекомендованы для двигателей, оснащенных сажевыми фильтрами и предназначенными для работы на топливе с низким содержанием серы. Однако, рекомендации производителей могут отличаться, поэтому необходимо следовать инструкции по эксплуатации автомобиля.

### Классификация моторных масел по вязкости, назначению и уровням эксплуатационных свойств ГОСТ

Группы моторных масел по вязкости и их примерное соответствие классификации SAE					
ГОСТ	SAE	ГОСТ	SAE	ГОСТ	SAE
3з	5W	6	20	3з/8	5W-20
4з	10W	8	20	4з/6	10W-20
5з	15W	10	30	4з/8	10W-20
6з	20W	12	30	4з/10	10W-30
		14	40	5з/10	15W-30
		16	40	5з/12	15W-30
		20	50	5з/14	15W-40
		24	60	6з/10	20W-30
				6з/14	20W-40
				6з/16	20W-40

Группы моторных масел по назначению и эксплуатационным свойствам и их примерное соответствие классификации API		
ГОСТ	API	Рекомендуемая область применения
A	SB	Нефорсированные бензиновые двигатели и дизели
Б	B1 SC	Малофорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, которые способствуют образованию высокотемпературных отложений и коррозии подшипников
	B2 CA	Малофорсированные дизели
B	B1 SD	Среднефорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, которые способствуют окислению масла и образованию отложений всех видов
	B2 CB	Среднефорсированные дизели, предъявляющие повышенные требования к антикоррозионным, противоизносным свойствам масел и способности предотвращать образование высокотемпературных отложений
Г	G1 SE	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях, способствующих окислению масла, образованию отложений всех видов и коррозии
	G2 CC	Высокофорсированные дизели без наддува или с умеренным наддувом, работающие в эксплуатационных условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений
Д	D1 SF	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжелых, чем для масел группы Г
	D2 CD	Высокофорсированные дизели с наддувом, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях или когда применяемое топливо требует использования масел с высокой нейтрализующей способностью, антикоррозионными и противоизносными свойствами, малой склонностью к образованию всех видов отложений
E	E1 SC	Высокофорсированные бензиновые двигатели и дизели, работающие в

эксплуатационных условиях более тяжелых, чем для масел групп Д1 и Д2	
E2 CF-4	Отличаются повышенной диспергирующей способностью, лучшими противоизносными свойствами

Согласно ГОСТ 17479.1-85 маркировка масел включает следующие знаки:

- букву М (моторное)
- одно или два числа, разделенных дробью, указывающие класс или классы вязкости (для всесезонных масел). Для всесезонных масел цифра в числителе характеризует зимний класс, а в знаменателе - летний; буква "з" указывает на то, что масло - загущенное, т.е. содержит загущающую (вязкостную) присадку.
  - одну или две буквы (от А до Е), обозначающих уровень эксплуатационных свойств и область применения данного масла. Универсальные масла обозначают буквой без индекса или двумя разными буквами с разными индексами. Индекс 1 - присваивают маслам для бензиновых двигателей, индекс 2 - дизельным маслам.

Например, марка М-6з/10В указывает, что это моторное масло всесезонное, универсальное для среднефорсированных дизелей и бензиновых двигателей (группа В). М-4з/8-В2Г1 - моторное масло всесезонное, универсальное для среднефорсированных дизелей (группа В2) и высокофорсированных бензиновых двигателей (группа Г1).

### ***Спецификации производителей автомобилей***

В классификациях API и ACEA сформулированы минимальные базовые требования, которые согласованы между производителями масел, присадок к ним и изготовителями автомобилей. За последними оставлено право выдвигать собственные дополнительные требования к маслам, которые формулируются в спецификациях автозаводов. Поскольку конструкции двигателей разных марок отличаются между собой, условия работы масла в них не вполне одинаковы. Поэтому изготовители автомобилей проводят испытания масел на двигателях собственного производства. На основании этого указывают либо определенный класс по какой-либо общепринятой классификации, либо составляют собственные спецификации, в которых обозначены конкретные марки масел, допущенных к применению. В инструкции по эксплуатации автомобиля обязательно присутствуют спецификации производителя, а их номер наносится на упаковку масла рядом с обозначением его класса эксплуатационных свойств.