

**Р.Р. Масленников**

**Эксплуатационные  
материалы  
(автомобильные)**



**Кемерово 2004**

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра эксплуатации автомобилей

Р. Р. Масленников

В. Н. Ермак

Эксплуатационные материалы  
(автомобильные)

Учебное пособие

Кемерово 2013

УДК 656.13.065.3.004(075.8)  
М315

Рецензенты:

Заведующий кафедрой «Автомобили и тракторы» Томского государственного архитектурно-строительного университета доктор технических наук, профессор В. А. Аметов

Заведующий кафедрой «Автомобили и автомобильное хозяйство» Алтайского технического университета доктор технических наук, профессор А. С. Павлюк

Масленников Р. Р., Ермак В. Н.

Эксплуатационные материалы (автомобильные) : учеб. пособие / Кузбас. гос. техн. ун-т им. Т. Ф. Горбачева. – Кемерово, 2013. – 152 с.

ISBN 978-5-89070-897-7

Для самостоятельного изучения курса и подготовки к лабораторным работам по дисциплине «Эксплуатационные материалы». Изложены краткие сведения по производству горюче-смазочных и неметаллических материалов. Рассмотрены важнейшие эксплуатационные свойства, влияющие на надежность работы двигателей и агрегатов автомобиля. Освещены вопросы применения перспективных топлив и масел ненефтяного происхождения. Приведены сведения по ассортименту, показателям качества эксплуатационных материалов.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлению 190600.62 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», профиль подготовки «Автомобили и автомобильное хозяйство».

Печатается по решению редакционно-издательского совета Кузбасского государственного технического университета имени Т. Ф. Горбачева.

УДК 656.13.065.3.004(075.8)

© Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева, 2013

© Масленников Р. Р.,  
Ермак В. Н., 2013

ISBN 978-5-89070-897-7

## Предисловие

Надёжность и долговечность автомобилей, а также денежные расходы на их эксплуатацию существенно зависят от качества и культуры применения эксплуатационных материалов. Затраты на эксплуатационные материалы сегодня на ряде автотранспортных предприятий составляют около 25 %, а на пассажирских – даже более 30 % от себестоимости перевозок.

Повышение культуры использования эксплуатационных материалов может быть достигнуто путем изучения их свойств, правил транспортирования, хранения и применения этих материалов. Эти знания необходимы не только для того, чтобы обеспечить безотказную работу транспортных средств, но и для того, чтобы, во-первых, повысить их долговечность, достичь экономного расходования эксплуатационных материалов, во-вторых, исключить вредное воздействие их на здоровье людей, окружающую среду, в-третьих, сократить затраты на техническое обслуживание и ремонт автомобилей. Такова цель изучения данной дисциплины.

Основная задача дисциплины «Эксплуатационные материалы» – научить будущих специалистов в практической работе в условиях автотранспортного предприятия правильно применять, экономно расходовать, выполнять необходимые меры предосторожности и определять качество эксплуатационных материалов по важнейшим показателям.

К началу изучения дисциплины «Эксплуатационные материалы» будет закончено изучение дисциплин общеобразовательного и общетехнического циклов. Поэтому при изложении материала используются термины, понятия и сведения, которые были даны в курсах математики, химии, физики и других предметов.

## 1. Физико-химические свойства нефти

**Нефть** (турецкое *neft* (нефт) от латинского *parhta* (нафта) в переводе – просачивание) – горючая маслянистая жидкость, цвета от тёмно-бурого до чёрного, распространённая в осадочной оболочке Земли. Представляет собой сложную смесь углеводородов с примесями кислорода, серы и азотсодержащих соединений.

Плотность нефти – от 650 до 950 кг/м<sup>3</sup>. Различают: лёгкую (650–870 кг/м<sup>3</sup>), среднюю (871–910 кг/м<sup>3</sup>) и тяжёлую (910–950 кг/м<sup>3</sup>) нефть. Тяжёлые сорта нефти могут быть твёрдые с плотностью 1050 кг/м<sup>3</sup>, превышающей плотность воды. Такую нефть добывают как уголь – подземным способом.

Теплота сгорания или теплотворная способность нефти в зависимости от месторождения, а точнее от плотности колеблется от 43 до 46 тыс. кДж/кг – это самая высокая теплота сгорания среди известных в природе минерально-энергетических источников (газ – 38000 кДж/м<sup>3</sup>, уголь – 29000 кДж/кг, дрова – 18000 кДж/кг)<sup>1</sup>. Температура кипения нефти находится в диапазоне от 35 до 500 °С.

### 1.1. Химический состав и структура углеводородов нефти

*Нефть* по массе состоит на 97–98 % из *углеводородов* различного состава и строения и 2–3 % *примесей*, представляющих собой химические соединения, содержащие кислород, серу, азот, а также свободную серу.

В свою очередь, *углеводороды* состоят на 83–87 % из *углерода* и на 13–17 % из *водорода* (уголь соответственно содержит 92–94 % углерода и 6–8 % водорода).

Нефть различных месторождений различна по плотности, следовательно, химический состав и структура углеводородов у неё тоже различны. Даже в пределах одного месторождения углеводороды различаются молекулярной массой, количеством атомов углерода и водорода в молекуле, их строением, характером валентных связей между атомами углерода.

Все углеводороды нефти можно разделить на следующие группы:  
– парафиновые (алканы);

---

<sup>1</sup> Теплотой сгорания (теплотворной способностью) топлива называется количество тепла (в кДж), выделяющегося при полном сгорании 1 кг жидкого (твёрдого) топлива или 1 м<sup>3</sup> газового топлива.

- нафтеновые (цикланы);
- ароматические (арены).

Однако большая часть их имеет смешанное, гибридное строение, различное сочетание парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородов.

**Парафиновые углеводороды** относятся к *предельным*, имеющим *цепную* структуру и общую эмпирическую формулу  $(C_n H_{2n+2})$ . Число атомов углерода в углеводородах нефти обычно колеблется от 1 до 20, но может быть 50 и больше. Простейшие: метан ( $CH_4$ ), этан ( $C_2H_6$ ), пропан ( $C_3H_8$ ), бутан ( $C_4H_{10}$ ) при нормальных условиях (температуре  $0^\circ C$ , давлении 760 мм рт. ст.) представляют собой *газы*. Углеводороды с числом атомов углерода от 5 ( $C_5H_{12}$ ) до 16 ( $C_{16}H_{34}$ ) (цетан) – *жидкие*, а с 17 ( $C_{17}H_{36}$ ) и выше – *твёрдые*.

Таким образом, нефть можно представить как раствор газообразных и твердых углеводородов в жидких.

С изменением молекулярной массы изменяются температура кипения, теплотворная способность и детонационная стойкость углеводородов. Например, *детонационная стойкость углеводорода бутан* ( $C_4H_{10}$ ) – 92, *пентан* ( $C_5H_{12}$ ) – 62, *гексан* ( $C_6H_{14}$ ) – 26, *гептан* ( $C_7H_{16}$ ) – 0 *октановых единиц*. Аналогично изменяются свойства нафтеновых и ароматических углеводородов.

Из парафинового ряда автомобилисту необходимо знать: гептан ( $C_7H_{16}$ ), октан ( $C_8H_{18}$ ) и цетан ( $C_{16}H_{34}$ ), так как некоторые эксплуатационные свойства этих углеводородов являются эталонными.

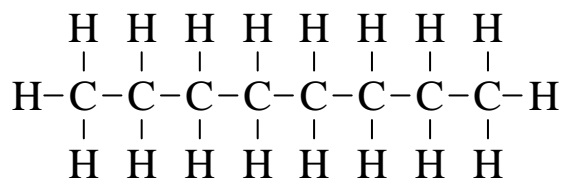
*Гептан* ( $C_7H_{16}$ ) – его детонационная стойкость условно оценена в 0 единиц.

*Изооктан* ( $C_8H_{18}$ ) – его детонационная стойкость условно оценена в 100 единиц.

*Цетан* ( $C_{16}H_{34}$ ) – его склонность к самовоспламенению условно оценена в 100 единиц.

Все перечисленные выше углеводороды являются углеводородами *нормальной* структуры, их атомы представляют прямую цепочку и называются *n-парафиновыми (нормальными-парафиновыми)*.

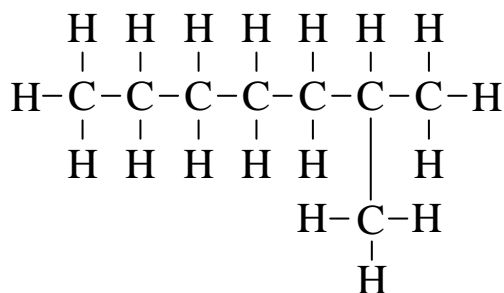
Тогда молекула – *прямая цепочка* парафинового углеводорода октана ( $C_8H_{18}$ ) – будет иметь вид



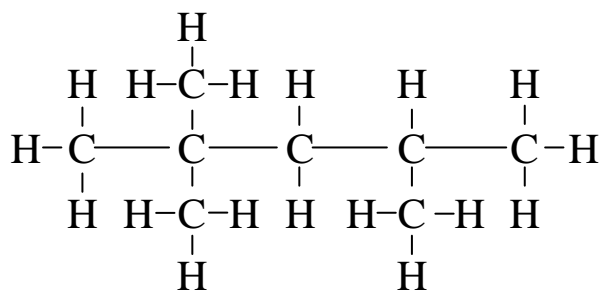
Молекулы парафиновых углеводородов могут иметь и разветвленную цепочку и называются *изомерами* или *изопарафиновыми*. Разветвление цепочки возможно от бутана ( $C_4H_{10}$ ) и выше.

Углеводороды цепной и циклической (нафтеновые и ароматические) структуры, нормальные и изомерные, предельные и непредельные проявляют себя в топливах и маслах по-разному.

Так, молекула, *разветвленная цепочка* парафинового углеводорода простейшего изооктана ( $C_8H_{18}$ ) будет иметь вид



Таким образом, молекулы октана и изооктана имеют одинаковую молекулярную массу и состав, а именно 8 атомов углерода и 18 атомов водорода ( $C_8H_{18}$ ), т. е. одинаковую теплотворную способность, но совершенно разную детонационную стойкость. Изооктаны образуют различные ветвистые структуры, например известный триметилпентан. Всего возможно 17 соединений изооктана.



Триметилпентан

Выше отмечалось, что с увеличением молекулярной массы детонационная стойкость углеводородов падает. Так, детонационная стойкость *n-гептана* ( $C_7H_{16}$ ) оценивается в 0 единиц, а вот детонационная стойкость более тяжелого *изооктана* (триметилпентана) оценивается в 100 единиц.

*Изомерные* парафиновые углеводороды улучшают качество бензинов, повышая их детонационную стойкость, а *нормальные* углеводороды парафинового ряда улучшают качество дизельных топлив, поскольку обладают повышенной склонностью к самовоспламенению. Однако область применения их ограничена только лет-



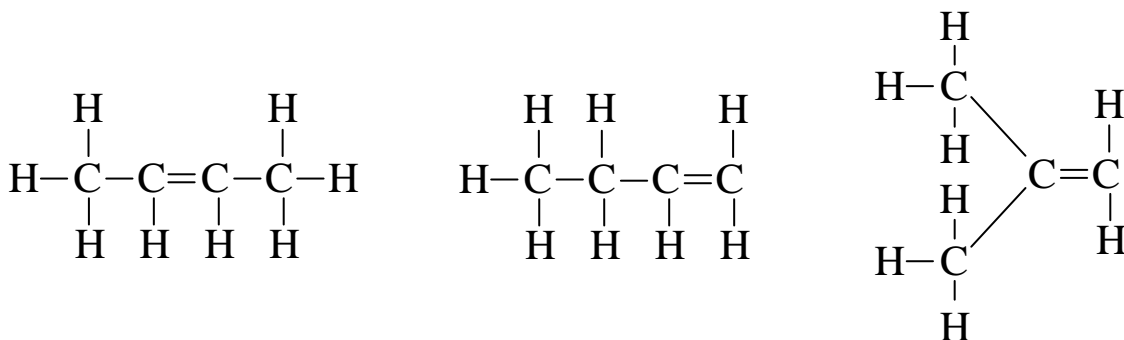
ними сортами дизельного топлива, т. к. парафиновые углеводороды легко замерзают.

Доминирующим эксплуатационным фактором для бензина является детонационная стойкость, а для дизельного топлива – самовоспламеняемость.

Таким образом, *n-парафиновые углеводороды* желательны в лёгких (летних) сортах дизельного топлива и нежелательны в бензинах, *изо-парафиновые углеводороды* желательны в бензинах и нежелательны в дизельных топливах.

Парафиновые углеводороды, содержащиеся в топливах и маслах, обладают высокой химической стабильностью и при нормальных условиях длительное время сохраняют первоначальные качества.

Непредельные *парафиновые углеводороды*, имеющие одну двойную связь, называются *олефинами* ( $C_nH_{2n}$ ), а имеющие две двойные связи – *диолефинами* или *диенами* ( $C_nH_{2n-2}$ ). Например, молекула *олефина* ( $C_4H_8$ ) может иметь следующие три вида:



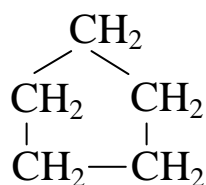
а молекула *диолефина* ( $C_4H_6$ ) будет иметь вид

$$\begin{array}{cccc}
 H & -C & =C & -C & =C & -H \\
 & | & | & | & | \\
 & H & H & H & H
 \end{array}$$

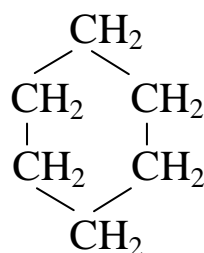
Двойные связи между углеродами менее стойкие, чем одинарные, поэтому любые непредельные углеводороды нежелательны в любых нефтепродуктах, поскольку легко окисляются и осмоляются. Однако, обладая облегченной массой и возможно разветвленной структурой, непредельные углеводороды имеют более высокую детонационную стойкость по сравнению со своими аналог.

**Нафтеновые углеводороды** имеют общую эмпирическую формулу ( $C_nH_{2n}$ ). Они представляют собой циклические насыщенные углеводороды, в которых соседние атомы углерода соединяются между собой одной валентной связью и образуют замкнутую циклическую структуру:





Циклопентан



Циклогексан

Нафтеновые углеводороды иногда называют *циклопарафинами*. В нефти и нефтепродуктах содержатся главным образом моноциклические пяти- ( $\text{C}_5\text{H}_{10}$ ) и шестичленные – ( $\text{C}_6\text{H}_{12}$ ) представители и их производные. Производные нафтенового ряда различаются количеством, положением, длиной и структурой боковых цепей.

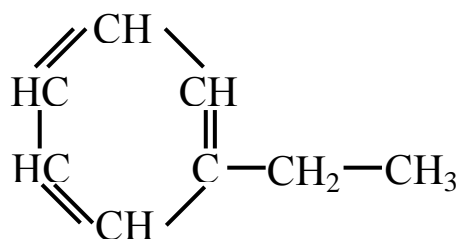
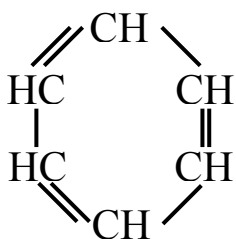
Нафтеновые углеводороды обладают большей стойкостью против окисления при высоких температурах по сравнению с нормальными парафиновыми углеводородами и имеют более высокую температуру кипения при сопоставимых молекулярных массах.

Легкие нафтеновые углеводороды желательны в автомобильных топливах для карбюраторных двигателей и для зимних сортов дизельного топлива. Нафтеновые углеводороды сложной структуры, имеющие длинные боковые цепи, желательны в маслах, т. к. улучшают их качество, в частности понижая температуру застывания.

Доминирующим *фактором качества масла является температура застывания*. Чем она ниже, тем лучшим эксплуатационным качеством оно обладает.

Нафтеновые углеводороды подобно парафиновым могут длительно храниться без изменения своих химических свойств.

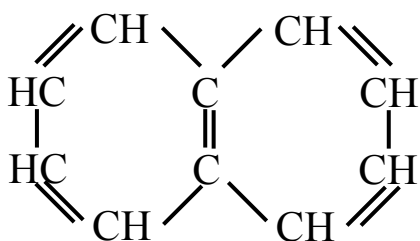
**Ароматические углеводороды** относятся к циклическим углеводородам, в основе которых лежит шестичленное углеродное кольцо с чередующимися двойными и одинарными связями. Имеют общую эмпирическую формулу ( $\text{C}_n\text{H}_{2n-6}$ ). Простейшими ароматическими углеводородами, которые подчиняются общей эмпирической формуле, являются бензол ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ) и его гомологи, получаемые замещением водорода на один или несколько парафиновых радикалов.



Кольцо бензола ( $\text{C}_6\text{H}_6$ ). Парафино-ароматический гомолог ( $\text{C}_8\text{H}_{10}$ )

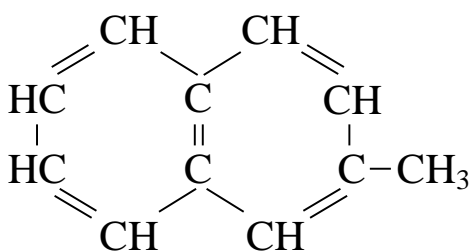
По детонационной стойкости ароматические углеводороды являются желательными компонентами бензинов. По отношению к кислороду воздуха они оказываются исключительно стойкими, превосходя в этом отношении аналогичные по массе молекулы нафтенов и парафинов.

Однако содержание бензола в автомобильных бензинах ограничено требованиями Европейского союза. Разработан ряд документов, названных «Евро-3» и «Евро-4», призванных регламентировать качество автомобильных топлив. Согласно «Евро-2» – до 5 %, «Евро-3», введенного в действие в 2000 г., до 1 %, кроме того, «Евро-3» ограничивает содержание не только бензолов, но и ароматических углеводородов (гомологов бензола) до 42 %, а по «Евро-4», который введен в действие в 2005 г., содержание ароматических углеводородов снижено до 30 %.



Нафталин ( $C_{10}H_8$ )

В дизельных топливах наличие ароматических углеводородов нежелательно – плохо самовоспламеняются. В смазочных материалах и дизельных топливах допускаются ароматические углеводороды, включающие два, три и более бензольных колец. Производные бензола с двумя бензольными кольцами образуют так называемый *нафталиновый* ряд с общей эмпирической формулой ( $C_nH_{2n-12}$ ).



Альфа-метилнафталин

Наибольший интерес представляет гомолог нафталинового ряда «альфаметилнафталин» ( $C_{10}H_7CH_3$ ), поскольку он является эталонным углеводородом, склонность которого к самовоспламенению оценена в 0 единиц. Плотность бензола и его производных значительно превышает плотность парафинов и нафтенов с тем же числом углеродных атомов.

## 1.2. Химический состав соединений, содержащих кислород, серу, азот

Кроме углеводородов в нефти содержится 2–3 % примесей – соединений, содержащих кислород, серу, азот и др. элементы. При переработке нефти эти соединения переходят в нефтепродукты и оказывают существенное влияние на их свойства.

**Сернистые соединения** – главная примесь нефти. Встречаются в нефти и нефтепродуктах, содержат в составе своих молекул двухвалентную серу. Сернистые соединения делятся на *активные* и *неактивные*.

К активным сернистым соединениям относятся: сера элементарная (S), сероводород (H<sub>2</sub>S) и меркаптаны (RSH, где R – углеводородный радикал).



**Сера элементарная** находится в растворенном или во взвешенном состоянии, способна вызывать сильную коррозию металлов даже на холоде.

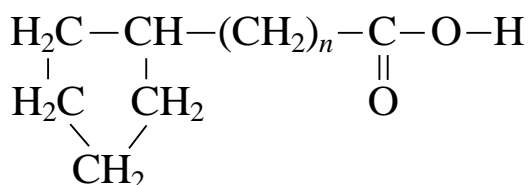
**Сероводород** (H<sub>2</sub>S) – газ с неприятным резким запахом, хорошо растворим в воде, в меньшей степени – в углеводородах. На этой особенности сероводорода основано удаление его из нефтепродуктов. В присутствии воды он обладает свойствами слабой кислоты и способен замещать свой водород на металл. Сероводород (H<sub>2</sub>S) наряду с элементарной серой (S) относится к группе сильных коррозионноактивных сернистых соединений.

**Меркаптаны** (RSH) обладают свойством органических кислот, поскольку способны обменивать водород, находящийся при атоме серы, на металл, образуя *меркаптиды* (RSM), где M – одновалентный металл.

Меркаптаны – летучие вещества, обладают резким сильным своеобразным запахом. Они хорошо растворяются во всех нефтепродуктах, но очень плохо или вовсе нерастворимы в воде.

**Неактивные сернистые соединения** являются нейтральными веществами и не корродируют при нормальных условиях контактирующие с ними металлы. К этому типу соединений, встречающихся в нефти и нефтепродуктах, относятся *сульфиды* (RSR), представляющие собой производные от сероводорода, в котором оба атома водорода замещены на два одинаковых или различных углеводородных радикала.

**Кислородные соединения** представляют собой *органические кислоты*, являющиеся кислородсодержащими соединениями, которые присутствуют в нефти, топливах и смазочных материалах. Структурная формула органических кислот следующая:



Основа радикала этих кислот принадлежит к нафтеновым углеводородам, поэтому их и называют *нафтеновыми кислотами*. Нафтеновые кислоты могут содержать от 7 до 30 атомов углерода. Под термином «нафтеновые кислоты» подразумеваются их смеси. Нафтеновые кислоты представляют собой высококипящие (свыше 200 °С) маслянистые жидкости с плотностью при +20 °С около единицы. Они хорошо растворимы в нефтепродуктах и практически нерастворимы в воде. Кислотные свойства этим органическим соединениям придает *карбоксильная* группа (COOH), водород которой способен замещаться на металлы с образованием солей.

Нафтеновые кислоты, присутствующие в топливах и маслах, разрушают не только систему питания, но и двигатель автомобиля. Присутствие образующихся солей нафтеновых кислот – *нафтенатов* в нефтепродуктах крайне нежелательно.

*Соединения азота* находятся в нефти в крайне малых количествах и сколько-нибудь заметного влияния на переработку нефти и самих нефтепродуктов не оказывают.

*Смолисто-асфальтеновые вещества* относятся к сложным циклическим соединениям углеводородов, в молекулу которых входят кислород и сера. Они обладают плохой испаряемостью и в продукты перегонки нефти почти не попадают, концентрируясь в большом количестве в мазутах. Смолы могут быть нейтральными и кислыми.

*Нейтральные смолы* – высоковязкие жидкости или аморфные твердые вещества, хорошо растворимые во всех жидких нефтепродуктах, от коричневого до черного цвета. Они очень неустойчивы, легко вступают в различные реакции, что в совокупности с плохой испаряемостью предопределяет их отрицательную роль в топливах и маслах для двигателей.

*Кислые смолы* малорастворимы в тяжелых углеводородах и совсем не растворимы в легких, поэтому по мере образования выпадают из нефтепродуктов и оседают на деталях двигателя и системе питания в виде липких отложений. Нейтральные и кислые смолы в нефтях находятся в больших количествах (до 40 %).

*Асфальтены* – твердые хрупкие вещества, бурого или черного цвета, с плотностью выше единицы, нерастворимы в парафиновых и нафтеновых углеводородах, но способны растворяться в бензоле и его производных. В нефтях находятся в небольших количествах (до 5 %), но присутствие их в свежих маслах совершенно не допускается, поэтому при очистке нефтепродуктов они полностью удаляются.

## 2. Основные способы переработки нефти

### 2.1. Получение топлив прямой перегонкой

Углеводороды, входящие в состав нефти, обладают различными физико-химическими свойствами, в том числе и разными температурами кипения (от 35 до 500 °С). На этой особенности нефти построена её *первичная переработка*, которую называют «*прямой перегонкой*» нефти. Это – простое физическое разделение нефти (смеси различных углеводородов) на фракции по температуре кипения. Прямая перегонка нефти всегда предшествует *вторичным, деструктивным* методам переработки продуктов прямой перегонки.

При деструктивных, т. е. химических способах переработки нефтепродуктов прямой перегонки, происходит изменение *структуры и химического состава* углеводородов, входящих в нефть.

**Прямая перегонка** нефти осуществляется в установке (рис. 2.1), представляющей собой комплекс сложных устройств, основными элементами которых являются трубчатая печь 1 и ректификационная колонна 2.

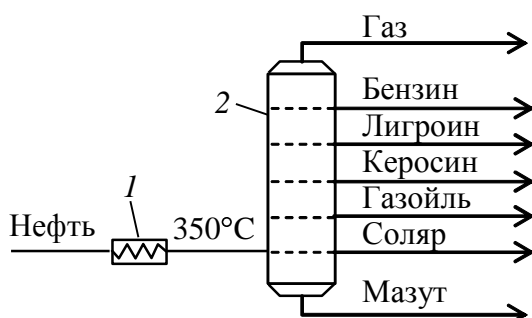


Рис. 2.1. Схема атмосферной нефтеперегонной установки:

1 – трубчатая печь; 2 – атмосферная ректификационная колонна

В трубчатой печи нефть нагревают до температуры 330–350 °С. Нагретая нефть, тонко распыляясь, вдувается в атмосферную ректификационную колонну. Большая часть углеводородов нефти с температурой кипения от 35 до 350 °С находится в перегретом состоянии – состоянии парообразования, другая часть нефти с температурой кипения от 350 до 500 °С просто нагревается, вязкость её уменьшается. Углеводороды

нефти, нагретые до состояния парообразования, переходят в пар, поднимаются по колонне вверх, постепенно охлаждаются, одновременно возвращаются в жидкое состояние, конденсируясь на её тарелках.

Таким образом, в ректификационной колонне происходит разделение нефтяных паров на фракции с точностью 5–8 °С, составляющие тот или иной нефтепродукт. Чем ниже температура кипения фракций, тем выше в колонне они конденсируются.

В верхней части колонны отделяются *бензины* с температурой кипения от 35 до 215 °С, несколько ниже – *лигроины* с температурой

кипения от 110 до 230 °С, далее следуют *керосины* с температурой кипения от 140 до 300 °С, за ними *газойли* с температурой кипения от 230 до 330 °С, и внизу колонны отделяются *соляровые фракции* с температурой кипения от 280 до 380 °С. Эти светлые фракции нефти представляют собой компоненты топлив для различных двигателей внутреннего сгорания.

Тяжелые фракции нефти, не нагретые до температуры кипения, в нижней части колонны отделяются от паров и отводятся из неё в виде *мазута*. Мазуты – это фракции нефти с температурой кипения от 350 до 500 °С.

Из самой верхней части колонны выделяются углеводороды с температурой кипения ниже 40 °С, это – газы, растворённые в нефти, так называемые *попутные газы* (большая их часть отделяется сразу у скважины), которые используются в качестве сырья для получения бензинов, синтетических продуктов и в качестве топлива для газобаллонных автомобилей.

Прямая перегонка нефти позволяет получить не более 10–25 % бензина, т. е. ровно столько, сколько содержит нефть данного месторождения.

## 2.2. Деструктивные методы переработки нефтепродуктов

Для увеличения выхода бензина и других светлых нефтепродуктов применяют *деструктивные* – химические методы переработки нефти. Эти же методы позволяют улучшить качество бензинов прямой перегонки, в частности увеличить их детонационную стойкость, снизить количество непредельных углеводородов. В настоящее время «глубина переработки» нефти с целью получения топлив для двигателей внутреннего сгорания этими методами достигает 80 %.

Основным методом деструктивной переработки нефти является *крекинг* (английское *cracking*, буквально – «расщепление»). При крекинге происходит расщепление высокомолекулярных углеводородов и превращение их в низкомолекулярные, легкокипящие.

Впервые идею возможности расщепления углеводородов высокими температурами высказал в 1875 году А. А. Летний,<sup>1</sup> а в 1891 году проект первой в

---

<sup>1</sup> Летний Александр Александрович (1848–1883), русский химик-технолог. Открыл в 1875 году разложение тяжелых нефтяных остатков при высокой температуре, заложил основы крекинга; впервые выделил из нефти ароматические углеводороды. Руководил строительством нефтеперерабатывающих заводов.

мире промышленной установки разработал другой русский инженер В. Г. Шухов<sup>2</sup>. Реализована идея этого проекта была в Америке.

Основное назначение крекинга состоит в том, чтобы из тяжелых нефтепродуктов (даже из мазута или гудрона) получить бензин и дизельное топливо. Бензин состоит из углеводородов преимущественно с числом атомов углерода от **5** до **12**, дизельное топливо от **12** до **20**, а автомобильные масла **20** до **50**.

**Термический крекинг** происходит под действием высоких температур (470–550 °С) и при высоком давлении (5–7 МПа).

Каталитический крекинг происходит при более низкой температуре (450–500 °С) и незначительном давлении (0,06–0,14 МПа), но в присутствии катализатора. Каталитический крекинг на заводской промышленной установке с катализатором AlCl<sub>3</sub> впервые был осуществлен в 1919 г. Н. Д. Зелинским<sup>1</sup>. Сейчас в качестве катализатора применяются синтетические алюмосиликаты, содержащие 75–80 % SiO<sub>2</sub> и 20–25 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Сырьём крекинг-процесса являются: мазут и соляровые фракции нефти с температурой кипения от 250 до 500 °С.

Цетан или *n*-гексадекан C<sub>16</sub>H<sub>34</sub> с температурой плавления +18 °С и температурой кипения +287 °С под давлением 5 МПа нагревают до температуры 500–550 °С. В этих условиях *цетан* расщепляется с образованием *n*-октана C<sub>8</sub>H<sub>18</sub> с температурой кипения 126 °С и *n*-октена (углеводород олефинового ряда) C<sub>8</sub>H<sub>16</sub> и температурой кипения 123 °С.

$$C_{16}H_{34} \xrightarrow[5 \text{ МПа}]{500 - 550 \text{ } ^\circ\text{C}} C_8H_{18} + C_8H_{16}$$

Химическая реакция расщепления

Молекулы нефти, содержащие серу и кислород, легко расщепляются, и поэтому в бензинах термического крекинга находятся

нежелательные сернистые и кислородные соединения, а также большое количество непредельных углеводородов (30–40 %). У бензинов термического крекинга недостаточно высокое октановое число, не более 66–74 единиц, и много непредельных углеводородов. Из-за низкого

---

<sup>2</sup> Шухов Владимир Григорьевич (1853–1939), советский инженер, изобретатель, ученый. С 1929 года почётный член АН СССР, в 1932 году присвоено звание «Герой Труда». Создал десятки конструкций, отличавшихся смелостью решения, новизной, практичностью, в том числе форсунку для сжигания мазута, эрлифт, нефтепроводы, нефтехранилища, установку для термического крекинга нефти, паровые котлы, мосты, сетчатые и арочные перекрытия, гиперболоидные башни (в т. ч. на Шаболовке в Москве высотой 148,3 м). В 1929 году присуждена Государственная премия СССР им. В. И. Ленина.



октанового числа и большого содержания непредельных углеводородов бензины получают низкого качества (легко окисляются и плохо хранятся), поэтому установки термического крекинга в настоящее время не применяются.

По этим причинам в середине 70 годов XIX века основной установкой деструктивного метода стала установка каталитического крекинга. Катализатор не только смягчает и ускоряет процесс крекинга, но и направляет его в нужную сторону, способствует образованию изомерных предельных углеводородов парафинового и ароматического рядов.

Бензины каталитического крекинга высокого качества имеют высокое октановое число, до 95, и низкое содержание, 5–9 %, непредельных углеводородов.

В настоящее время популярной разновидностью каталитического крекинга и риформинга является *гидрокрекинг* или, иначе, крекинг-процесс. Он идёт в среде водорода. Качество бензинов при этом более высокое. Оно обусловлено незначительным содержанием непредельных углеводородов и высокой детонационной стойкости большинства фракций.

Все крекинг-установки похожи на установку прямой перегонки и отличаются только тем, что между печью и ректификационной колонной находится испаритель. В каталитическом крекинге есть и реактор, а в гидрокрекинге в реактор подаётся ещё и водород.

***Каталитический риформинг*** до недавнего времени являлся одним из основных процессов современных нефтеперерабатывающих заводов.

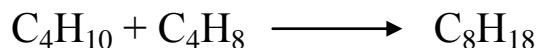
Сырьём риформингов являются низкокачественные бензины, а также бензины прямой перегонки и крекинг-процессов. Каталитический риформинг протекает: в атмосфере водорода, при температуре 480–520 °С, давлении порядка 3 МПа, в присутствии катализатора. Если используется *алюмомолибденовый* катализатор, процесс носит название *гидроформинг*, в случае применения *алюмоплатинового* катализатора – *платформинг*.

***Получение бензинов из газов.*** Бензиновые фракции можно получить из природных нефтяных и попутных газов или газов крекинг-процесса методами *алкилирования* и *полимеризации*.

***Алкилирование*** – это процесс присоединения непредельных олефиновых углеводородов к парафиновым или ароматическим. В результате алкилирования получается химически стабильный высокооктановый компонент с детонационной стойкостью 85–95 октановых единиц.

**Полимеризация** с целью **синтеза** высокооктановых компонентов бензина возможна из (газов) *алкенов* путём последовательного присоединения одготипных углеводородов до получения нужного нефтепродукта.

Из изобутана  $C_4H_{10}$  и бутилена (изобутилена)  $C_4H_8$  можно синтезировать изооктан:



Товарный бензин готовят из смесей продуктов прямой перегонки, крекинга, риформинга, алкилирования и полимеризации.

### 2.3. Методы очистки нефтепродуктов

Компоненты автомобильных топлив, полученные различными методами, должны быть очищены от нафтеновых кислот, непредельных углеводородов, смолисто-асфальтеновых веществ, сернистых и кислородных соединений, а также подвергнуты стабилизации для повышения их физической и химической стойкости во время хранения, транспортирования и применения.

**Органические кислоты** и **сероводород** нейтрализуются раствором щёлочи с последующей промывкой чистой водой.

**Смолисто-асфальтеновые** соединения удаляются последовательной промывкой серной кислотой, щёлочью и чистой водой. Современным методом является *экстракционная* очистка. Это обработка бензина или дизельного топлива растворителями: фурфуролом или жидким сернистым ангидридом и другими растворителями.

**Сернистые соединения** удаляются методом *гидрогенизации*, т. е. происходит обработка фракций топлива в присутствии катализатора водородом; процесс называется *гидроочисткой*. При этом наряду с переходом непредельных углеводородов в предельные происходит гидрирование кислородсодержащих веществ, распад сернистых соединений с последующим восстановлением серы до сероводорода, который удаляется промывкой водным раствором щёлочи и чистой водой.

Компоненты дизельного топлива, имеющие высокие температуры помутнения и застывания, удаляются из зимних сортов топлива методом депарафинизации. Топливо смешивается с карбамидом (мочевинной)  $(NH_2)_2CO$ , который образует с парафинами нормального строения кристаллические комплексы, выпадающие в осадок. После фильтрации дизельное топливо приобретает способность сохранять текучесть до  $-45$  и даже  $-60$  °С, тогда как до депарафинизации оно теряло подвижность уже при  $-10$  °С.

**Химическая стабильность** топлив достигается путём торможения процесса окисления непредельных углеводородов специальными присадками-антиокислителями, или ингибиторами. Срок хранения при этом увеличивается в несколько раз. Антиокислители вносятся в следующих количествах: пароксидифениламин – от 0,007 до 0,01 %, ионол – от 0,03 до 0,1 %, древесно-смоляной ингибитор – от 0,05 до 0,15 %, ФЧ-16 от 0,03 до 0,1 %.

**Физическая стабильность** бензина достигается снижением содержания газообразных и жидких углеводородов с высоким давлением насыщенных паров, которые легко теряются при хранении и транспортировании. Устранение расслаивания бензинов достигается путём удаления воды.

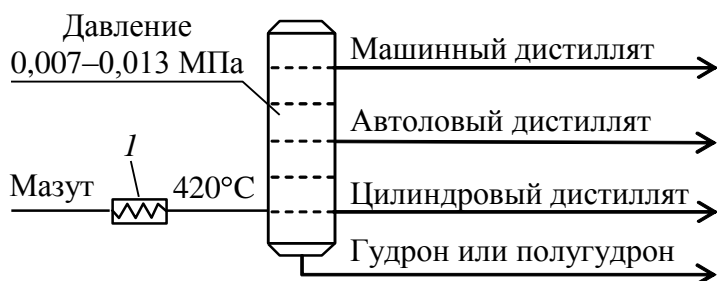
**Детонационная стойкость** бензинов повышается добавлением к нему присадок или добавок.

## 2.4. Производство смазочных масел

До 70-х годов XIX века в качестве смазочных материалов применялись животные жиры и растительные масла. Идею замены смазочных материалов растительного и животного происхождения на «смазочное масло из нефтяных остатков» предложил Д. И. Менделеев. Первый в мире завод по производству масел был построен в 1876 г. около г. Нижнего Новгорода русским нефтепромышленником В. И. Рагозиным<sup>1</sup>. К концу XIX века русские минеральные масла получили всемирную известность.

**Минеральные масла** получают из *мазута* методом прямой перегонки. Мазут – это остаток прямой перегонки нефти с температурой кипения от 350 до 500 °С.

Перегонка мазута происходит принципиально по той же схеме, что и прямая перегонка нефти. Особенностью этого процесса является то, что процесс идёт в *глубоком вакууме* и в *присутствии водяного пара*.



Перегонка мазута происходит при температуре ~420 °С, давлении от 0,007 до 0,013 МПа в присутствии водяного пара. Глубокий вакуум понижает температуру кипения (при температуре

Рис. 2.2. Схема вакуумной мазутоперегонной установки

<sup>1</sup> Рагозин Виктор Иванович (1833–1901), русский общественный деятель, инженер, предприниматель. Один из первых организаторов русской нефтяной промышленности.

420 °С легко закипают фракции, которые при обычных условиях закипают при 500 °С), водяной пар предотвращает крекинг-процесс.

В ректификационной колонне конденсируются и отделяются *дистиллятные масла*, внизу колонны в виде остатка отделяется *гудрон* или *полугудрон*.

Автомобильные моторные масла – это *автоловые дистилляты*, которые по вязкости находятся выше цилиндрических, но ниже машинных масел.

Более вязкие масла, которые называют *трансмиссионными*, получают очисткой *полугудрона*. Их называют *остаточными маслами*. Остаток в виде гудрона или полугудрона зависит от глубины перегонки, т. е. от глубины вакуума. Некоторые трансмиссионные масла получают смешиванием остаточных и дистиллятных масел. Их называют *компаундными маслами*. Автомобильные масла состоят из углеводородов с числом атомов углерода от **20** до **50**.

Процесс производства масел включает очистку дистиллятных и остаточных фракций от *примесей* и *нежелательных углеводородов* в виде смолисто-асфальтеновых веществ, сернистых соединений, органических кислот, твердых парафинов, церезинов и непредельных углеводородов. Для улучшения качества масел в них добавляют специальные вещества, называемые *присадками*.

Для очистки масел применяют концентрированную серную кислоту, которая обладает способностью растворять смолы и некоторые сернистые соединения, кроме того, она осмоляет непредельные углеводороды, а затем растворяет образовавшиеся из них смолы.

Очень широко для очистки нефтепродуктов применяют *отбеливающие глины* (земли). Тонко помолотые и специально обработанные глины обладают сильно развитой поверхностью, на которой адсорбируются смолы, серная и органические кислоты. Операция очистки включает тщательное перемешивание – *контактирование* порошкообразной глины с маслом, выдержку полученной смеси в течение определенного времени при соответствующей температуре и *фильтрацию* – пропускание через фильтры с целью отделения масла от отработанной глины. Масло заметно осветляется, становится прозрачным, одним словом, *отбеливается*.

Кроме примесей из масел извлекаются обычные полициклические углеводороды с короткими парафиновыми цепями и *малой химической стабильностью*. Эта задача решается с помощью специальных *селективных растворителей* (фенола, фурфурола), которые се-

лективно, т. е. избирательно, выборочно, растворяют только нежелательные углеводороды и смолистые вещества. Раствор масла и растворителя называют *экстрактом*. После отстаивания прореагировавших соединений в виде темного слоя над ним располагается более светлый слой, называемый *рафинатом*. После *контактно-земельной* доочистки рафината, предварительно освобождённого от остатка растворителя, получается высококачественное глубокоочищенное масло.

Несмотря на применение самых совершенных способов очистки, свойства получающихся масел не всегда полностью отвечают предъявляемым к ним требованиям. Чтобы обеспечить соответствие качества масла непрерывно возрастающим требованиям, в готовые масла вводят синтетические вещества, *присадки*, улучшающие одно или одновременно несколько свойств.

**Присадки** вводятся в масла с целью, во-первых, увеличить температурный диапазон применения масел, во-вторых, долговечность или работоспособность (в 1,5–2 раза) того механизма, который они смазывают, в-третьих, увеличить срок службы масла в 3–5 раз для сокращения расходов на само масло и техническое обслуживание, связанное с его заменой, в-четвертых, снизить на 10–15 % его естественный расход – угар.

В зависимости от назначения присадки к автомобильным маслам подразделяют на следующие виды:

– **вязкостно-загущивающие**. Они улучшают вязкостно-температурные свойства моторных и других масел. С увеличением температуры естественная вязкость масла падает. Эти присадки обеспечивают маслу более пологую вязкостно-температурную характеристику, повышают индекс вязкости масла за счёт того, что увеличивается вязкость масла при повышении температуры. Одновременно при низких температурах загущивающие свойства проявляются в меньшей степени, присадка не повышает температуры застывания масла.

К этому типу присадок относятся маслорастворимые органические полимеры, такие как: сополимеры олефинов; полиметакрилаты; стирольные полиэферы; гидрированные стиролдиеновые сополимеры; гидрированные радиальные полиизопрены и другие. Наиболее распространенной присадкой этого типа является *полиизобутилен*. Это каучукоподобное вещество, которое при низких температурах как бы «скручивается» и заметного влияния на вязкость масла не оказывает. При высоких температурах оно «разворачивается», масла как бы замерзают, т. к. каучукообразные нити присадки создают подобие

кристаллической решетки. Некоторые загущивающие присадки являются многофункциональными, то есть могут работать как *депрессорные* или *дисперсные* или *моющие* присадки;

– **депрессорные** присадки. Их добавляют к маслам для понижения температуры застывания. Они могут сдвинуть температуру застывания на 20–40 °С, присадки обволакивают замерзшие парафины и церезины, препятствуя образованию пространственной кристаллической решетки. Уменьшая размер кристаллов парафинов, они повышают текучесть масла при низких температурах, увеличивают несущую способность масляной плёнки. В качестве депрессоров используют: полиметакрилаты; сложные полиэфиры на основе стирола; алкилфенолы; алкилированные нафталины и полифумараты. Некоторые из этих присадок могут работать и как загущивающие присадки, поскольку влияют на реологические (от греч. rheos – течение, поток) свойства масел при отрицательных температурах. Эти присадки вводят практически во все масла, эксплуатируемые при отрицательных температурах;

– **антиокислительные** присадки или **антиоксиданты**. Их применяют для замедления окисления углеводородов масла кислородом воздуха в условиях высоких температур, увеличивая срок его службы. Попутно за счёт сохранения качества масла уменьшаются коррозия деталей смазываемого механизма, образование шламовых и лаковых отложений. В качестве антиокислителей используются химические соединения: ароматические амины; сульфированные эфиры; дитиофосфаты цинка; сульфиды фенолятов и замещённые алкилфенолы. Механизм действия их направлен на связывание свободных радикалов, или они взаимодействуют с пероксидами, замедляя процесс окисления масла, и косвенно препятствуют росту вязкости масла. Увеличение вязкости масла, кроме увеличения расхода топлива из-за увеличения потерь на трение, вызывает разрушение подшипников скольжения, особенно при холодном пуске и прогреве двигателя;

– **противокоррозионные** присадки или **ингибиторы коррозии**. Добавляются к маслам в основном для уменьшения коррозии вкладышей подшипников скольжения продуктами окисления масла и сернистыми соединениями.

Металл деталей двигателя непрерывно взаимодействует с кислородом воздуха, с активными продуктами сгорания топлива и окисления масла. Такое частичное разрушение поверхности металла называется коррозией. К ингибиторам коррозии (от лат. inhebio – задерживаю) относятся: щелочные детергенты (детергенты – синтетические моющие

средства); сульфонаты; феноляты и алкенилтарные кислоты. Было замечено, что масла, обладающие высокими моющими свойствами, обладают и хорошими антикоррозионными свойствами;

– **противоржавейные** присадки. Обладают свойством удерживать пленку масла на поверхности железосодержащих деталей, уменьшая их коррозию при хранении автомобилей;

– **противоизносные** присадки. Повышают смазывающие свойства масла или прочность плёнки на поверхности детали, следовательно, уменьшают износ трущихся деталей и потери на трение. Применяют в основном в трансмиссионных маслах. В автомобильных моторных маслах в качестве противоизносных присадок используют: *дитиофосфаты цинка* и *дитиокарбаматы*. В процессе эксплуатации эти присадки адсорбируются на металлических поверхностях трения, предотвращая их непосредственный контакт даже при высоких контактных нагрузках;

– **противозадирные** или **противопитинговые** присадки. Способствуют образованию сверхпрочной плёнки при значительных температурах. Плёнка выдерживает большие нагрузки, являясь разделительным слоем, предотвращает металлический контакт трущихся поверхностей, препятствует их заеданию и свариванию. Пленка образуется в результате взаимодействия с поверхностным слоем металла элементов хлора, фосфора, серы, входящих в состав присадок. В качестве противозадирных компонентов пакета присадок наиболее часто используют: *алкил* или *арилдисульфиды*, *полисульфиды*; *дитиокарбаматы* и *соли алкилфосфорных кислот*. Присадки применяют только для трансмиссионных масел, т. к. они настолько активны, что могут стать причиной появления признаков химического износа деталей. Ограниченное применение эти присадки находят в технологических приработочных маслах;

– **моющие** или **диспергирующие** присадки. Выполняют две основные функции: во-первых, нейтрализуют сильные кислоты, образующиеся при сгорании топлива. Во-вторых, предотвращают загрязнение деталей отложениями, лакообразование на горячих деталях двигателей, пригорание поршневых колец. Они препятствуют слипанию продуктов окисления масла и других мелких частиц до размеров,



при которых они выпадают в осадок, а также разрушают уже слипшиеся частицы и частицы, осевшие на деталях. Механизм действия этих присадок и химический (замедление окисления), и физический (превращение продуктов окисления в тонкодисперсное взвешенное состояние). Поэтому частицы не откладываются на поверхности деталей. В качестве классических моющих присадок чаще всего используют соли кальция и магния, такие как: *сульфонаты; салицилаты и феноляты*.

Диспергирующие присадки также обладают моющими свойствами, но они гораздо более эффективно, чем соли кальция и магния, предотвращают образование низкотемпературных шламовых и лаковых отложений. К этой группе присадок относятся беззольные не содержащие металлов соединения, которые можно разделить на две большие группы: высокомолекулярные полимеры, одновременно обладающие загущивающими свойствами, и низкомолекулярные соединения;

– ***противопенные*** присадки. Предотвращают вспенивание масла и перенос пузырьков в систему смазки и места контактов трущихся поверхностей. К этим присадкам относятся *силиконы и полиакрилаты*. Механизм действия сводится к уменьшению поверхностного натяжения оболочки находящихся в масле воздушных пузырьков, что приводит к их «схлопыванию»;

– ***эмульгаторы и деэмульгаторы***. Их назначение прямо противоположное. Эмульгаторы вводят для создания стабильной эмульсии, например воды с маслом при производстве смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), применяемых в металлообработке.

Деэмульгаторы вводят в автомобильные масла для предотвращения смешивания масел с водой и для надёжного их разделения. Присадки этого типа применяют при изготовлении бензинов и дизельных топлив.

Кроме присадок в состав специальных масел могут входить красители. Жидкости для автоматических коробок передач часто окрашивают в красный цвет, а масла для двухтактных двигателей – в голубой и т. д.

Присадки, одновременно улучшающие несколько свойств масла, называются *многофункциональными*, или *комплексными*. Несколько комплексных присадок, объединенных вместе, называются *композици-*

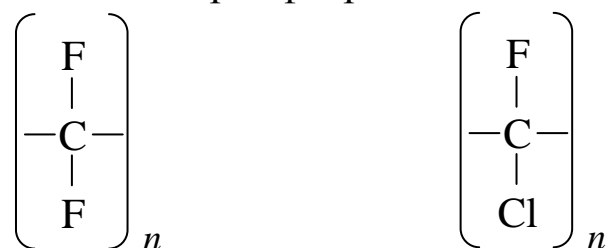
ей или *пакетом* присадок. Содержание присадок колеблется от десятых долей процента до нескольких процентов, а их суммарное содержание может достигать 25 %. Пакет присадок должен быть строго сбалансирован, поскольку избыток какой-либо одной присадки может блокировать действие другой. Разработка и совершенствование пакетов присадок для автомобильных масел с целью повышения надёжности, эффективности и экологичности современных автомобилей идёт непрерывно.

Концентрация присадок в процессе работы масла уменьшается главным образом из-за отфильтровывания и выпадения их в осадок. При высоких температурах и нагрузках присадки срабатываются быстрее.

Несмотря на применение самых совершенных методов очистки и присадок, получающиеся масла не всегда полностью отвечают предъявляемым к ним требованиям. Поэтому наряду с нефтяными находят применение и *синтетические* масла.

**Синтетические масла.** В настоящее время ведётся интенсивная работа над созданием и расширением применения синтетических моторных масел, обладающих по ряду эксплуатационных свойств лучшими показателями, чем у нефтяных минеральных масел. Основой *синтетических* масел могут быть как углеводороды, так и высокомолекулярные соединения, получаемые из сложных эфиров, двухатомных спиртов, кремнийорганических – силиконовых соединений, фторуглеродов и хлорфторуглеродов.

Фторуглероды и хлорфторуглероды являются производными углеводородов, в которых атомы водорода в первом случае замещены на фтор, а во втором – на хлор и фтор:

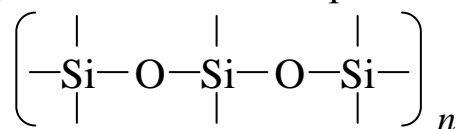


Фторуглерод

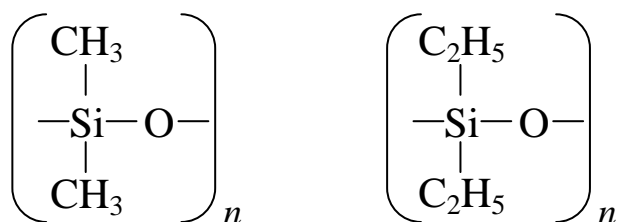
Хлорфторуглерод

Полимерные кремнийорганические соединения (полисилоксаны, силиконы) находят все большее распространение в качестве специ-

альных смазочных масел и технических жидкостей. В их основе лежит цепочка из чередующихся атомов кремния и кислорода:



Боковые цепи атомов кремния представляют собой углеводородные и другие органические радикалы различного строения. Практическое применение в качестве смазочных масел получили полимеры с *метильными* радикалами – метилполисилоксаны и *этильными* радикалами – этилполисилоксаны.



Метилполисилоксан      Этилполисилоксан

Одно из основных преимуществ синтетических масел – значительно более высокий индекс вязкости, чем у нефтяных масел даже лучших сортов, а также более низкая температура потери подвижности, обеспечивающая лёгкий пуск двигателей при более низких температурах.

Показатели вязкости синтетических масел при температурах 250–300 °С в 3–5 раз выше равновязких им минеральным маслам при рабочей температуре в 100 °С, что обеспечивает сохранение условий гидродинамической смазки до более высоких температур.

Термическая стабильность, низкая испаряемость и малая склонность к образованию как высокотемпературных, так и низкотемпературных шламовых отложений дают возможность успешно применять синтетические масла в условиях жаркого климата, а также в высокофорсированных теплонапряжённых двигателях.

Большой срок службы до замены и меньший расход на угар сокращают эксплуатационный расход синтетических масел на 30–40 %.

Несмотря на то, что стоимость синтетических масел в среднем в 2–3 раза выше минеральных, они перспективны не только с эксплуатационной точки зрения, но и с экономической. Минеральные и синтетические масла можно смешивать в любых пропорциях.

## 2.5. Производство пластичных смазок

Пластичные смазки используют в открытых узлах и механизмах, в которых по этой причине применение жидких масел невозможно.

Консистентные или пластичные смазки состоят из двух компонентов: *основы* и загустителя.

**Основой** любой смазки является минеральное или синтетическое масло (75–90 %). От качества масла зависят *смазывающие, вязкостно-температурные свойства и химическая стабильность*.

**Загуститель** является вторым непременным компонентом пластичной смазки. Загуститель превращает жидкое минеральное масло в малоподвижную мазеобразную массу. От вида загустителя зависят *температурная стойкость и влагостойкость*. Загустители делятся на две группы: *мыльные и немыльные – углеводородные*.

В качестве углеводородных загустителей используют парафин, церезин, петролатум. Эти загустители обладают высокой влагостойкостью, но низкой температурной стойкостью, последнее ограничило область их применения.

подавляющее большинство пластичных автомобильных смазок изготавливают на мыльных загустителях. Мыло-загуститель получают омылением жира или нейтрализацией высших жирных кислот щёлочью. Щёлочи и получаемые из них мыла различны по своим физико-химическим свойствам (натриевые, кальциевые, кальциево-натриевые, литиевые, алюминиевые, цинковые, бариевые и др.). Многие мыла нерастворимы в воде, но по этому показателю они уступают углеводородным загустителям, однако по температурной стойкости превосходят их.

Производство мыльных загустителей в недалеком прошлом базировалось исключительно на *растительных* и частично *животных* жирах. Однако с целью сокращения расхода пищевых жиров на технические цели в больших масштабах стали применять искусственное окисление парафина с целью получения *жирных синтетических кислот*.

Кроме жидкого минерального масла и загустителя, в пластичных смазках присутствуют побочные продукты, такие как вода, щёлочь и глицерин (побочный продукт реакции омыления жиров).

В пластичные смазки вводят антиокислительные, противокоррозионные, стабилизирующие присадки.

Для улучшения эксплуатационных свойств и качества обработанных поверхностей, расширения диапазона рабочих температур и давлений в консистентные смазки вводят наполнители, такие как графит, смола, дисульфид молибдена, фторопласты и соединения на базе серы, хлора и фосфора.

### 3. Автомобильные бензины

Карбюраторный четырёхтактный двигатель внешнего смесеобразования с искровым воспламенением рабочей смеси появился в 1876 г., (двигатель Н. А. Отто), но и сегодня он является одним из самых распространённых автомобильных двигателей. Свою известность двигатель Отто получил в силу неоспоримых преимуществ перед другим популярным двигателем – Р. Дизеля (1897 г.). Прежде всего, это высокая удельная мощность по отношению к весу и размерам, относительная бесшумность, динамическая уравновешенность, долговечность, ремонтпригодность. У двигателя есть и недостатки: высокий удельный расход относительно дорогого топлива, токсичные отработавшие газы.

#### 3.1. Основные технико-эксплуатационные требования к качеству автомобильных бензинов

Бензин должен обеспечивать надёжный пуск как холодного, так и горячего двигателя; безотказную работу двигателя на всех режимах при температуре наружного воздуха от +30 до –30 °С; максимальную мощность двигателя при минимальном расходе топлива; минимальный износ двигателя.

Бензин не должен представлять опасность для лиц, занимающихся эксплуатацией, техническим обслуживанием и ремонтом транспорта; продукты сгорания бензина не должны быть опасными для окружающей среды.

#### 3.2. Физико-химические свойства бензина, характеризующие его эксплуатационные качества

Автомобильный бензин – это бесцветная или светло-жёлтая жидкость, состоящая из углеводородов различных групп с равновеликой молекулярной массой – от  $C_5$  до  $C_{12}$ .

Как и всякая жидкость, бензин характеризуется только ему присущими физико-химическими свойствами, которые определяются стандартными методами. Почти по каждому показателю физико-химических свойств установлены количественные значения. Наличие количественных значений гарантирует одинаковые эксплуатационные качества бензинов, произведённых из нефтей разных месторождений, с применением разных технологических процессов на заводах-изготовителях. *Выяснить, от каких физико-химических свойств зависят те или иные эксплуатационные показатели, призван этот раз-*

дел. При этом следует заметить, что от одного физико-химического свойства может зависеть несколько эксплуатационных показателей, а несколько физико-химических свойств могут одновременно оказывать влияние на один эксплуатационный показатель.

### 3.3. Свойства бензина, влияющие на пуск и безотказную работу двигателя

Карбюраторный двигатель работает только на *рабочей смеси, смеси паров бензина с воздухом*. Топливо, находящееся в цилиндрах двигателя в жидком виде, в момент прохождения пламени в процессе горения не участвует. Способность карбюратора образовывать однородную рабочую смесь зависит от многих физико-химических свойств, в том числе от *способности бензина испаряться*, а также от наличия в нём *механических примесей и воды*.

Приготовление рабочей смеси происходит за два такта, т. е. за один оборот коленчатого вала. При частоте вращения коленчатого вала 3000 об/мин один оборот будет совершаться за 0,02 с. Чтобы бензин мог испариться за такое короткое время, он должен распыляться на возможно мелкие частицы и обладать хорошей испаряемостью, обеспечивающей легкий пуск, быстрый прогрев, хорошую приемистость и другие эксплуатационные качества.

Практическая оценка испаряемости бензина основана на определении его *фракционного состава и давления насыщенных паров*.

**Фракционный состав** – это количество топлива в процентах и температура, при которой оно, это количество, перегоняется. Фракционный состав определяется на стандартном аппарате для разгонки (перегонки) нефтепродуктов. Эти два термина, *разгонка* и *перегонка*, равнозначны. Пример фракционного состава приведён в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Результаты перегонки автомобильного бензина

Температура, °С, соответствующая											Остаток, %	Остаток и потери, %
НП	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %	60 %	70 %	80 %	90 %	КП (96 %)		
35	70	85	97	107	115	127	142	157	180	205	1,5	4

Качество проведённого эксперимента зависит от постоянства интенсивности каплепадения, которая должна быть 20–25 капель за 10 с. Результаты перегонки для наглядности изображают графически. Типичная форма кривой разгонки бензинов нефтяного проис-

хождения представлена на рис. 3.1. По оси абсцисс отложены температуры перегонки в °С, а по оси ординат – количество отогнанного при этой температуре бензина в %.

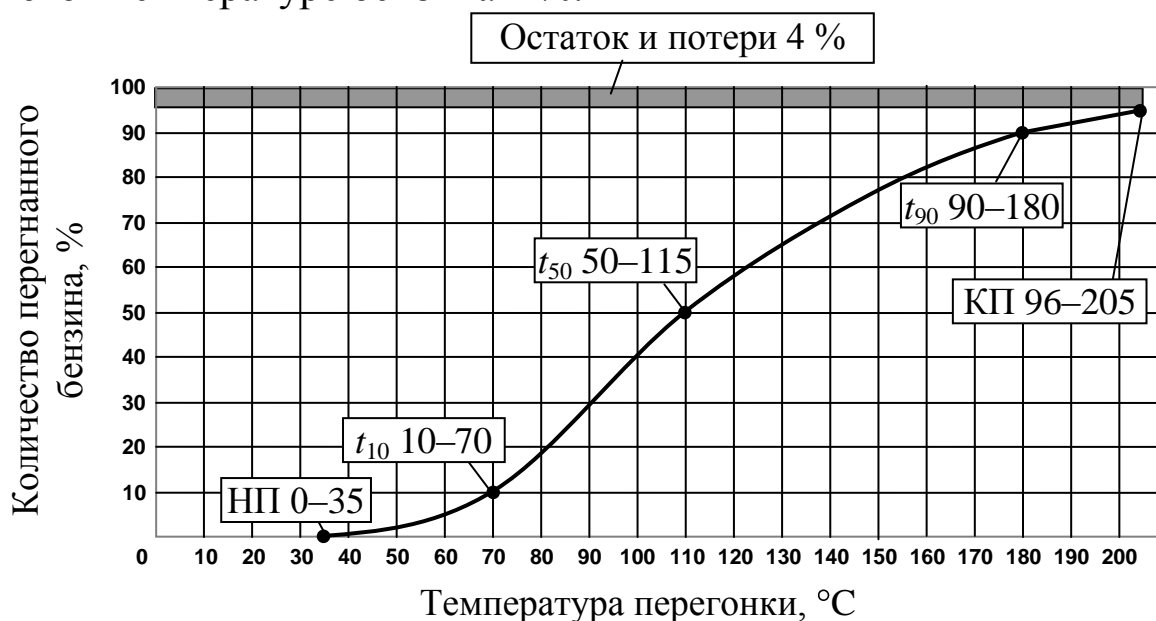


Рис. 3.1. Кривая перегонки бензина

Фракционный состав позволяет судить о полноте испарения топлива в процессе карбюрации. Для характеристики фракционного состава в стандарте указывают температуры, при которых перегоняют 10, 50 и 90 % бензина. Кроме того, указывают *температуру конца перегонки КП* или *конца кипения – КК*, а для летних бензинов и *температуру начала перегонки – НП*. Стандарт ограничивает количество бензина, которое не перегоняется, так называемый *остаток в колбе*, и количество, которое улетучивается при перегонке – *потери*, которые в стандарте указываются как – *остаток и потери*.

По температуре перегонки 10 % бензина (по  $t_{10}$ ) судят о наличии в бензине *пусковых фракций*, от которых зависит пуск холодного двигателя.

При минусовых температурах количество бензина, попавшего в цилиндры в испарившемся виде, резко падает из-за плохого распыления топлива, по причине малой скорости вращения коленчатого вала (замёрзло масло, замёрз аккумулятор), и целиком зависит от  $t_{10}$ .

Чем выше  $t_{10}$ , тем меньше объём заряда цилиндра и больше топлива попадает в цилиндр в жидком виде, смывая масло со стенок цилиндра, разжижая его в картере, тем самым увеличивается пусковой износ двигателя (80–90 % общего износа двигателя приходится на его пуск), затрудняется пуск холодного двигателя. Чем ниже  $t_{10}$ , тем легче и быстрее можно запустить холодный двигатель, так как больше топлива попадет в цилиндры в испарившемся виде.



Однако при слишком низкой  $t_{10}$ , при горячем двигателе и высокой температуре наружного воздуха бензин в системе питания может испариться (объём пара в 150–200 раз больше объёма жидкости). Рабочая смесь в двигателе значительно обедняется вплоть до полной потери способности воспламенения и остановки двигателя. Затрудняется пуск горячего двигателя. За счёт уменьшения поступления в двигатель рабочей смеси, при работе и повторном пуске горячего двигателя внешние проявления очень похожи на засорение топливной системы, поэтому это явление получило название «паровая пробка».

Если при запуске двигатель начинает работать после одного-двух оборотов коленчатого вала с мгновенной частотой вращения 35–40 об/мин, принято считать, что двигатель *пускается легко*. В случае, если на пуск двигателя было потрачено более двух оборотов коленчатого вала, такой пуск условно принято считать затруднённым.

*Температура перегонки 10 % у бензинов летнего вида 70 °С, а у бензинов зимнего вида 55 °С.*

*По температуре перегонки 50 % бензина (по  $t_{50}$ ) судят об интенсивности прогрева двигателя (устойчивости работы непрогретого двигателя на малых оборотах), а на прогретом двигателе во время движения – приемистости при резком открытии дросселя.*

Чем ниже  $t_{50}$ , тем легче испаряются средние фракции, обеспечивая устойчивую работу непрогретого двигателя на малых оборотах, при закрытой воздушной заслонке двигатель быстрее прогревается. Прогретый двигатель будет иметь хорошую приемистость.

При резком открытии дросселя во впускной трубопровод поступает большое количество холодного воздуха, температура в карбюраторе падает, ухудшается испарение бензина, появляются «провалы» в работе двигателя вплоть до полной его остановки.

Чем ниже  $t_{50}$ , тем легче будут испаряться средние фракции, тем выше будет приемистость двигателя. Однако применение бензина с очень низкой  $t_{50}$  на прогретом двигателе понижает коэффициент наполнения, а следовательно, мощность двигателя падает.

*Температура перегонки 50 % у бензинов летнего вида 115 °С, а у бензинов зимнего вида 100 °С.*

*По температуре перегонки 90 % бензина (по  $t_{90}$ ) и температуре конца перегонки ( $t_{кп}$ ) судят о наличии в бензине тяжелых фракций, от которых зависит полнота сгорания, и расходе топлива, о мощности, развиваемой двигателем, а также синхронности работы его цилин-*

дров и износе. (В этом абзаце рассматривается штатная работа уже запущенного и прогретого двигателя).

*Желательно, чтобы  $t_{90}$  была более низкой, обеспечивая полное испарение и сгорание всего бензина.*

Применение бензинов с очень высокой  $t_{90}$  и температурой конца кипения приводит к неполному испарению, а следовательно, и неполному сгоранию топлива, повышенному износу двигателя вследствие смыва масла со стенок цилиндров не испарившимся и несгоревшим топливом, разжижению масла в картере двигателя. Особенно резко увеличивается износ в условиях низких температур наружного воздуха. Одновременно происходит неравномерное распределение рабочей смеси по цилиндрам двигателя.

Наибольшую мощность развивает двигатель, когда большая часть топлива попадёт в цилиндры в жидком (компактном) виде. Полное испарение топлива должно произойти на такте сжатия при повышении температуры в цилиндре двигателя. В этом случае наполнение цилиндров будет максимальным.

Неравномерное наполнение цилиндров и нарушение синхронности их работы будет происходить из-за того, что расстояние от карбюратора до впускного клапана у каждого цилиндра разное, соответственно и разное количество топлива будет попадать в цилиндры в испарившемся виде.

*Температура перегонки 90 % у бензинов летнего вида 190 °С, а у бензинов зимнего вида 170 °С. Температура конца кипения у бензинов летнего вида 215 °С, а у бензинов зимнего вида 205 °С.*

*По величине потерь при перегонке можно судить о возможных потерях бензина при транспортировании и хранении. Бензин с повышенными потерями при перегонке может легко испаряться от нагретых деталей двигателя на пути движения топлива от топливного бака к карбюратору. Образующиеся в топливопроводе и бензонасосе пузырьки пара способны тормозить подачу топлива к двигателю. При работе автомобиля в горах в условиях пониженного атмосферного давления, повышенной температуры наружного воздуха могут сложиться условия для образования «паровых пробок», прекращающих поступление бензина к карбюратору, и даже остановки двигателя.*

Наличие в летнем бензине особо лёгких фракций, участвующих в создании паровых пробок, контролируется показателем «температура начала перегонки».

*Для бензинов, применяющихся в России, эта температура не должна быть ниже 35 °С.*

Поскольку на стандартном аппарате определения фракционного состава топлива невозможно оценить наличие особо легких фракций, наиболее опасных с точки зрения образования паровых пробок, в стандарты на бензин введён дополнительный показатель – *давление насыщенных паров*.

*Для бензинов, применяющихся в России, давление насыщенных паров должно быть для летнего вида не выше 667 ГПа, для зимнего – в пределах 667–933 ГПа.*

Температура начала перегонки, температура перегонки 10, 50, 90 % бензинов, температура конца перегонки, остаток в колбе, остаток и потери, давление насыщенных паров *для всех бензинов одного вида одинаковы*, т. к. автомобили разных марок, работающие в равных условиях, должны показывать присущие этим маркам стандартные эксплуатационные показатели.

### 3.4. Эксплуатационная оценка бензинов по фракционному составу

Существование жёсткой корреляционной связи между фракционным составом бензина и его эксплуатационными качествами подтверждено опытом длительного и массового применения карбюраторных двигателей и многочисленными специальными исследованиями его работы. Между характерными температурами перегонки и работой автомобильного двигателя найдена зависимость, которая показана на номограмме (рис. 3.2).

На поле *а)* номограммы показана взаимосвязь температуры наружного воздуха и температуры перегонки 10 % топлива с возможностью образования паровых пробок, трудным пуском и максимальной температурой, начиная с которой запуск двигателя невозможен.

На поле *б)* показана взаимосвязь температуры наружного воздуха и температуры перегонки 50 % топлива с приемистостью двигателя.

На поле *в)* показана взаимосвязь температуры наружного воздуха, температуры перегонки 90 % топлива и температуры конца перегонки топлива с разжижением масла и интенсивным износом.

На соответствующем поле оси *абсцисс* находят точку температуры перегонки 10, 50, 90 % бензина и конца перегонки. Из этих точек возводят (мысленно) перпендикуляры до пересечения с соответствующими кривыми (на номограмме пунктирные линии), точки пересечения (мнимо) переносят на ось *ординат* и на ней считают со-

ответствующие значения поведения двигателя. На номограмме приведён пример со стандартными значениями летнего вида бензина.

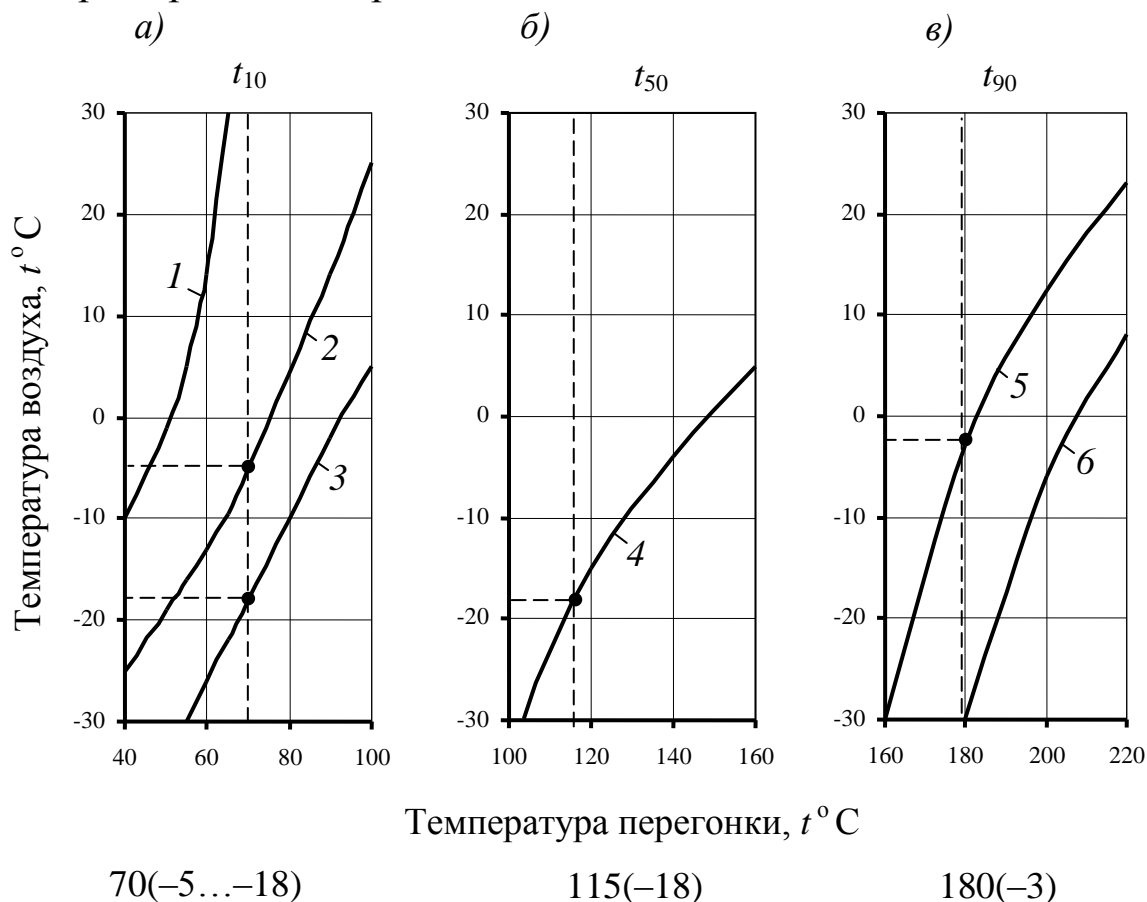


Рис. 3.2. Номограмма влияния температур перегонки 10 % (а), 50 % (б), 90 % (в) бензинов и температуры конца перегонки на эксплуатационные качества (показатели) бензина: 1 – паровые пробки; 2 – трудный пуск; 3 – пуск невозможен; 4 – плохая приемистость; 5 – разжижение масла; 6 – интенсивный износ

На поле а) номограммы видно, что у бензина, имеющего  $t_{10} = 70$  °C, «паровые пробки» не образуются даже при температуре наружного воздуха +30 °C, но при температуре ниже -5 °C затрудняется пуск холодного двигателя, а при температуре ниже -18 °C запуск двигателя без дополнительных мер невозможен.

На поле б) номограммы видно, что у бензина, имеющего  $t_{50} = 115$  °C, приемистость двигателя начнёт ухудшаться начиная с температуры -18 °C и ниже.

На поле в) номограммы видно, что у бензина, имеющего  $t_{90} = 190$  °C, разжижение масла начнётся при температуре воздуха ниже +8 °C, а при температуре ниже -18 °C возможен интенсивный износ двигателя.

**Механические примеси.** Твёрдые частицы органического и неорганического происхождения в бензине стандартами не допускаются. Почвенная пыль, продукты коррозии заводской аппаратуры, резервуаров, транспортных цистерн, трубопроводов, шлангов, дозирующей и перекачивающей аппаратуры, попадая в камеры сгорания двигателей, вызывают увеличенный износ поршневых колец, стенок цилиндров, способствуют образованию нагара и пригоранию колец. Кроме того, механические примеси приводят к засорению топливных фильтров, топливопроводов, жиклеров, все это нарушает нормальную работу двигателя, является причиной половины всех отказов в системе питания двигателя. Поэтому все мероприятия, связанные с повышением чистоты бензинов, повышают надёжность и долговечность двигателей.

**Вода** в бензинах не допускается. Наибольшие осложнения связаны с эксплуатацией двигателя в условиях низких температур. Вода в бензине может находиться в трёх видах: в *свободном состоянии*, в виде *эмульсии* и в *растворенном состоянии*.

*Вода в свободном состоянии* практически не смешивается с бензином и может легко удаляться путем отстаивания.

*Эмульсионная вода* образуется в результате сильного перемешивания свободной воды с бензином или в результате выделения растворённой воды при понижении температуры. Эмульсионная вода значительно труднее удаляется из бензина и представляет собой большую опасность при низких температурах, когда мелкие капельки воды, взвешенные в бензине, превращаются в кристаллы льда, закупоривающие топливные фильтры.

*Растворённая* или *гигроскопическая вода* может содержаться в бензине только в сотых или тысячных долях процента. Способность воды растворяться в бензине зависит от температуры. При понижении температуры эта способность уменьшается и освободившаяся вода переходит в эмульсионное состояние со всеми вытекающими последствиями. Это явление можно предотвратить добавкой к топливу специальных противокристаллизационных присадок – эмульгаторов, например *этилцелозольва* или «жидкости И».

Механические примеси и вода попадают в бензин при неправильном транспортировании, хранении и заправке автомобилей, что может быть связано с применением загрязненной тары, открытых или неплотно закрытых резервуаров, загрязнённых в том числе и снегом, через заправочные пистолеты, концы их заборных и сливных шлангов и т. д.

### 3.5. Свойства бензина, влияющие на мощность двигателя и расход топлива

Мощность, развиваемая двигателем, зависит от энергетических свойств топлива. Энергетические свойства характеризуются теплотой сгорания и зависят от элементарного состава топлива. Теплота сгорания *водорода* – 121100 кДж/кг, что почти в 3,5 раза выше теплоты сгорания *углерода* – 34100 кДж/кг. В ГОСТах или технических условиях на бензин теплота сгорания не приводится, так как практически у всех бензинов она почти одинакова.

Топливо как таковое в цилиндрах двигателя не горит, а горит *топливовоздушная смесь*, теплота сгорания которой практически одинакова (табл. 3.2) для углеводородных топлив, имеющих разные показатели теплоты сгорания.

Теплота сгорания топлива влияет на топливную экономичность двигателя: чем она выше, тем меньше топлива содержится в 1 м<sup>3</sup> топливовоздушной смеси. С увеличением теплоты сгорания топлива возрастает теоретически необходимое количество воздуха для его полного сгорания.

Таблица 3.2

Теплота сгорания топлива и топливовоздушной смеси

Топливо	Теплота сгорания, кДж/кг			
	топлива		смеси	
Бензин	44000	100 %	2800	100 %
Дизельное топливо	42700	97 %	2770	99 %
Спирт этиловый	26000	59 %	2760	98,6 %
Спирт метиловый	22000	50 %	2760	98,6 %

Теплота сгорания бензовоздушной смеси зависит от соотношения в ней бензина и воздуха, которое называется *коэффициентом избытка воздуха* ( $\alpha$ ).

$$\alpha = \frac{L_{\phi}}{L_0},$$

где  $L_{\phi}$ , кг – фактическое количество воздуха, поступающего в двигатель;  $L_0$ , кг – количество воздуха, теоретически необходимое для полного сгорания 1 кг топлива.

Для бензина  $L_0 = 15$  кг. Бензовоздушная смесь способна воспламениться в цилиндре двигателя и сгорать при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha$ , изменяющемся от 0,4 до 1,4. Более бедная смесь не воспламеняется от искры, так как не способна передать пламя в разреженной углеводородной смеси. Более богатая смесь не горит, так как не способна воспламениться вследствие понижения

температуры смеси из-за больших затрат тепловой энергии на нагрев избыточного количества топлива. Электрическая искра не в состоянии подогреть холодную смесь и интенсифицировать окислительный процесс, начатый сжатием рабочей смеси. Воздух содержит: азот – 78,08 %, кислород – 20,95 %, инертные газы – 0,94 %, углекислый газ – 0,03 %.

Самую высокую теплоту сгорания имеют смеси нормального состава с  $\alpha = 1$ . Обогащение рабочей смеси до  $\alpha = 0,9$  повышает мощность двигателя, не повышая теплоту сгорания. Увеличение мощности происходит за счёт увеличения скорости горения обогащённой смеси (рис. 3.3).

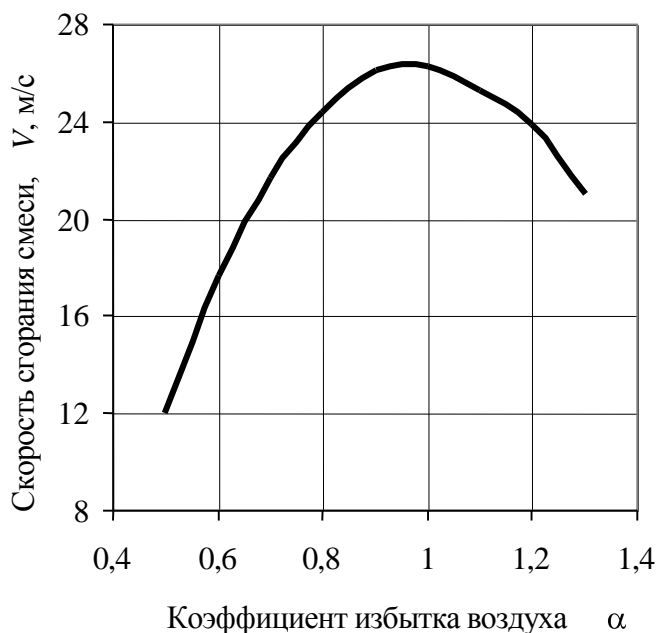


Рис. 3.3. Зависимость скорости сгорания рабочей смеси от коэффициента избытка воздуха

Увеличение скорости горения происходит за счёт того, что в обогащённой смеси молекула, а особенно атом кислорода, легче находит партнёра для горения. Обеднение рабочей смеси до  $\alpha=1,2$  приводит к уменьшению теплоты сгорания на 15–20 %, а также к уменьшению мощности, развиваемой двигателем. Однако снижение мощности менее заметно, чем снижение расхода топлива из-за более полного сгорания топлива и высокого ко-

эффициента полезного действия двигателя.

Развиваемая двигателем мощность зависит от характера сгорания рабочей смеси. При работе двигателя различают три вида сгорания или горения смеси: 1) *нормальное*, 2) в результате *самовоспламенения* или *калильного зажигания* и 3) *детонационное*.

**Нормальное сгорание рабочей смеси.** Такт сжатия рабочей смеси завершается повышением давления до 1,0–1,6 МПа и повышением температуры до 350–380 °С.

Конечное давление и соответствующая ему температура такта сжатия зависят от конструктивных особенностей двигателя, режима его работы и технического состояния. К конструктивным особенностям, прежде всего, следует отнести степень сжатия двигателя, к режиму работы – нагрузку и частоту вращения коленчатого вала, к техническому

состоянию – изношенность цилиндропоршневой группы (компрессия). Чем выше степень сжатия, тем выше максимально возможное давление и температура такта сжатия; высокие обороты двигателя также способствуют росту температуры, поскольку возникающая теплота не успевает рассеиваться системой охлаждения двигателя, от изношенности зависит компрессия в цилиндрах двигателя. Воспламенение смеси происходит от свечи зажигания, и пламя с температурой 2000–2500 °С распространяется со скоростью 25–30 м/с (рис. 3.4).

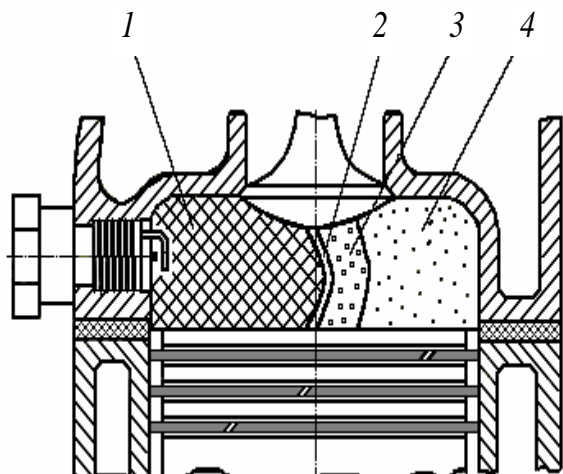


Рис. 3.4. Схема нормального распространения пламени:

- 1 – сгоревшая смесь; 2 – фронт пламени;
- 3 – зона беспламенного горения;
- 4 – несгоревшая смесь

Такая скорость распространения пламени обеспечивает полное сгорание топлива в цилиндре и плавное нарастание давления. Между скоростью распространения пламени и температурой рабочей смеси, а также частотой вращения коленчатого вала двигателя существует почти прямо пропорциональная зависимость, обеспечивающая нормальную работу двигателя на переменных режимах. Влияние частоты вращения коленчатого вала двигателя на скорость сгорания рабочей смеси зависит не столько от роста и интенсифицирующей окислительные процессы температуры, сколько от скорости рабочей смеси во впускном тракте и вихревого движения её в цилиндре двигателя. Вихревое движение газового потока в замкнутом пространстве, более чем на 50 % состоящего из почти «инертного» азота, способствует ускоренным контактам углеводородов с кислородом.

**Самовоспламенение** или **калильное зажигание** происходит в том случае, когда рабочая смесь воспламеняется не только от искры, а часть её самопроизвольно воспламеняется от перегретых деталей камеры сгорания: выпускного клапана, днища поршня, электродов свечи зажигания, раскаленных (тлеющих) частиц нагара. Возникновению самовоспламенения способствуют большое количество



нагара в камере сгорания, перегрев двигателя, уменьшение угла опережения зажигания, обеднение рабочей смеси.

У современных форсированных двигателей калильное зажигание довольно частое явление, и сколько-нибудь заметного влияния на работу двигателя оно не оказывает только до тех пор, пока возникает позже искры зажигания. Характерный внешний признак наличия калильного зажигания в карбюраторном двигателе – это продолжение лихорадочной, неравномерной, с металлическим стуком работы двигателя, с очень низкой частотой вращения коленчатого вала  $200\text{--}300 \text{ мин}^{-1}$  (об/мин) после выключения зажигания.

В случае появления такого режима работы двигателя, когда калильное зажигание в том или ином цилиндре возникает раньше искры, падает мощность и повышается износ двигателя вплоть до поломок кривошипно-шатунного механизма (эффект раннего зажигания). Такая работа двигателя обычно сопровождается слышимыми стуками.

**Детонационное<sup>1</sup> сгорание** части рабочей смеси происходит со сверхзвуковой скоростью<sup>2</sup>  $2000\text{--}2500 \text{ м/с}$ , т. е. примерно в 100 раз быстрее нормального; температура сгоревшей смеси достигает  $2500\text{--}3000 \text{ }^\circ\text{C}$ , по существу эта часть смеси взрывается всем объёмом одновременно, бризантно<sup>3</sup>.

Первоначальное воспламенение рабочей смеси *всегда* происходит от электрической искры свечи зажигания, пламя с температурой  $2000\text{--}2500 \text{ }^\circ\text{C}$  распространяется со скоростью  $20\text{--}30 \text{ м/с}$ . Нормально сгорает даже при сильной детонации до 75 % (рис. 3.5), а при слабой – 95 % рабочей смеси. В результате нормального горения в ещё несгоревшей части смеси 3 и 4 (см. рис. 3.4) повышается давление до  $3,0\text{--}4,0 \text{ МПа}$ , а вслед за давлением повышается и температура до  $400\text{--}450 \text{ }^\circ\text{C}$ . По причине повышающейся температуры, по мере продвижения пламени по камере сгорания, зона беспламенного горения 3 всё время увеличивается. Внутри этой зоны всё большая часть углеводородов не выдерживает повышающейся температуры, и в результате

---

<sup>1</sup> Детонация – процесс химического превращения взрывчатого вещества, распространяющийся со сверхзвуковой скоростью (до  $9 \text{ км/с}$ ). Характеризуется выделением энергии, способным поддерживать высокое давление в ударной волне.

<sup>2</sup> Скорость звука: в газах и парах – от  $150$  до  $1000 \text{ м/с}$ ; в воздухе при нормальном атмосферном давлении –  $330 \text{ м/с}$ ; в воде –  $1500 \text{ м/с}$ .

<sup>3</sup> Бризантность – способность взрывчатого вещества производить при взрыве местное дробление твёрдой среды, прилегающей непосредственно к заряду.

предпламенных реакций происходит окисление этих углеводородов с образованием перекисных соединений 3 (см. рис. 3.5).

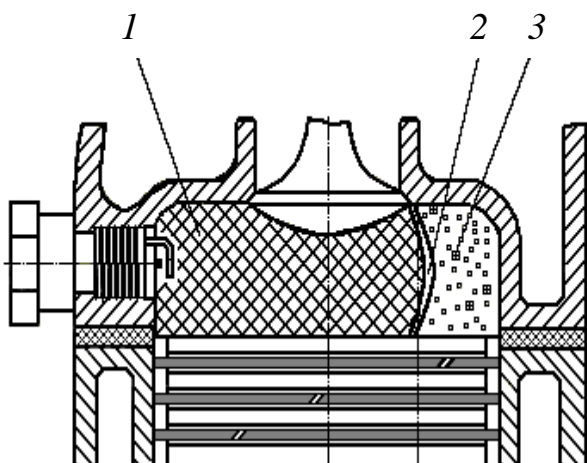


Рис. 3.5. Схема детонационного появления пламени:  
1 — сгоревшая смесь; 2 — фронт пламени; 3 — зона возникновения перекисей — очага детонации

По предположениям, высказанным академиками А. Н. Бахом<sup>1</sup> и Н. Н. Семеновым<sup>2</sup>, принято считать, что при достижении *определённой концентрации* весь объём перекисей взрывается со сверхзвуковой скоростью, о чём сказано выше.

Этот взрыв является новым очагом нормального горения, направленного навстречу фронту 2 нормального пламени.

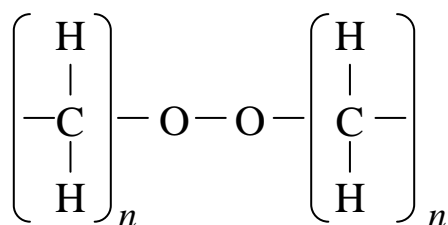
От резко повысившегося давления в зоне детонационной волны появляется новый очаг детонации, а образующаяся новая детонационная волна, в свою очередь, образует очередной новый очаг детонации, и т. д. Так продолжается до тех пор, пока первоначальный фронт нормального пламени 2 не дойдёт до конца камеры сгорания.

Присоединение молекулы кислорода к углеводородам может идти по связи С – С. В этом случае образующаяся перекись будет иметь вид  $R_1 - O - O - R_2$  (см. ниже):

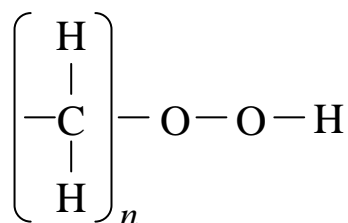
---

<sup>1</sup> Александр Николаевич Бах (1857–1946), советский учёный, с 1929 года академик АН СССР. С 1945 года Герой Социалистического Труда. Участник революционного движения, народоволец. С 1885 по 1917 находился в эмиграции. В 1918 г. организовал физико-химический институт им. Л. Я. Карпова. В 1935 г. организовал Институт биохимии АН СССР (с 1944 г. институт им. А. Н. Баха). С 1937 г. депутат ВС СССР. В 1926 г. присуждена премия им. В. И. Ленина, а в 1941 г. премия им. И. В. Сталина.

<sup>2</sup> Николай Николаевич Семёнов (1896–1986), советский учёный в области физики и химии. С 1932 года академик АН СССР, дважды Герой Социалистического Труда – в 1966 и в 1976 г. Создал общую количественную теорию цепных реакций, Разработал теорию теплового взрыва газовых смесей. Присуждены премии: в 1926 г. Ленинская, в 1941 и в 1949 г им. И. В. Сталина, в 1956 – Нобелевская.



Может идти по связи C – H. В этом случае образуется гидроперекись вида  $R_1 - O - O - H$ :



В результате детонации давление в цилиндре повышается скачкообразно. На такте расширения детонационная волна, отражаясь от стенок камеры сгорания и вибрируя, затухает (рис. 3.6).

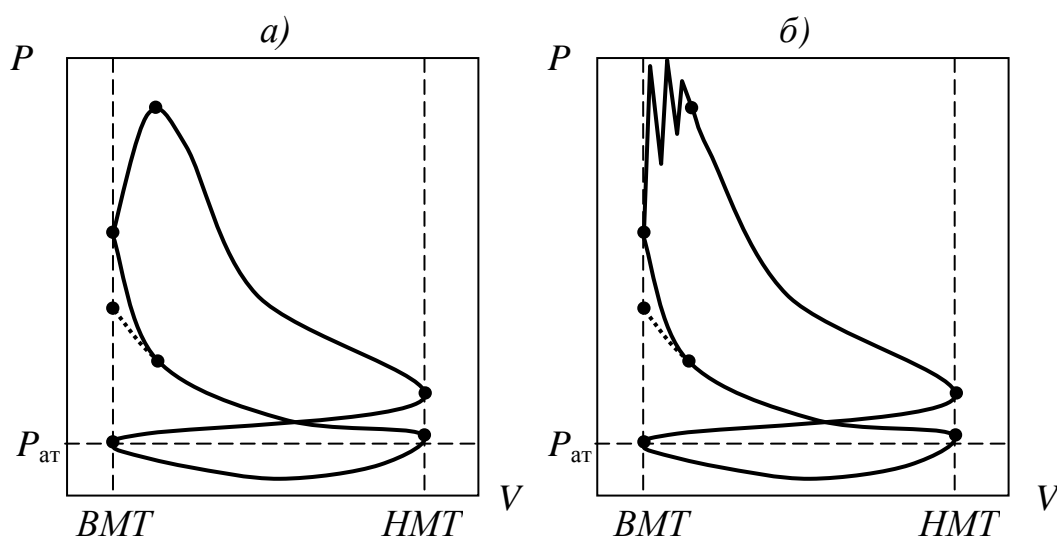


Рис. 3.6. Индикаторные диаграммы карбюраторного двигателя:  
 а – при нормальном сгорании рабочей смеси;  
 б – при детонационном сгорании рабочей смеси

Детонация сопровождается характерным звонким металлическим стуком, возникающим вследствие вибрации днища поршня, стенок цилиндра и камеры сгорания от ударов о них «жесткой» детонационной волны. Кроме того, у выхлопной трубы автомобиля в отработанных газах можно заметить небольшое облачко чёрного дыма.

При детонационном сгорании двигатель перегревается, работает жестко и неустойчиво, мощность его падает, а расход топлива увеличивается.

Слабая детонация ведёт к повышенному износу и уменьшению срока службы двигателя. Средняя и сильная детонация приводит к

повреждению деталей двигателя, разрушаются прокладка, днище поршня, головка цилиндров, выхлопной клапан, прогибаются и ломаются шатуны, выкрашиваются коренные и шатунные подшипники.

Для появления детонации нужны: во-первых, *высокая концентрация углеводородов* в камере сгорания, поскольку только часть из них может образовать перекиси, во-вторых, *повышенная температура* в ещё несгоревшей части смеси (её повышению способствует прогретый двигатель), в-третьих, *определённый промежуток времени*, достаточный для образования перекисных соединений, который возможен при низкой скорости распространения пламени, вызванной *низкими оборотами двигателя*. Низкие обороты при соблюдении первых двух условий возможны только тогда, когда двигатель работает с *высокой нагрузкой*, т. е. ему предлагается работа, которую он, в данный момент, выполнить не может, и обороты падают.

При работе двигателя на холостых оборотах не будет достаточного количества углеводородов, высокой температуры в камере сгорания и, следовательно, детонации не будет.

Таким образом, появление условий детонации возможно на *прогретом двигателе*, работающем с *полной нагрузкой* при *низкой частоте вращения* коленчатого вала.

На появление детонации влияют: *детонационная стойкость бензина, состав рабочей смеси, режим работы и конструктивные особенности двигателя*.

**Детонационная стойкость** – это способность бензина противостоять образованию перекисей. Детонационная стойкость оценивается *октановым числом*, которое указывается в стандартах и технических условиях на бензин в числе важнейших физико-химических свойств. Оно настолько важно, что входит в маркировку бензина.

**Октановое число (ОЧ)** эталонного бензина равно процентному (по объёму) содержанию *изооктана* ( $C_8H_{18}$ ) в смеси с *нормальным гептаном* ( $C_7H_{16}$ ), который по детонационной стойкости равноценен испытываемому бензину. При этом детонационная стойкость изооктана принята за 100, а нормального гептана – за 0 условных единиц. Эталонными топливами могут быть и другие жидкие топлива, полученные смешением более дешёвых компонентов, но обязательно протарированных по изооктану и нормальному гептану.

Октановое число определяется на моторной установке с *одноцилиндровым двигателем с переменной степенью сжатия* путем срав-

нительных испытаний испытуемого бензина с эталонными топливами, октановое число которых известно.

На установке типа УИТ-85 октановое число определяется по *моторному* ( $ОЧ_M$ ) и *исследовательскому* ( $ОЧ_И$ ) методам.

В обоих случаях после прогрева двигателя на *испытуемом* топливе моторную установку выводят на определённый *эталонный режим* работы, который характеризуется температурой, частотой вращения и нагрузкой.

Моторный метод имеет более лёгкий режим работы установки по сравнению с исследовательским методом. В своё время моторный метод испытаний разрабатывался для испытания авиационных бензинов, а исследовательский – для автомобильных. Поэтому числовое значение октанового числа, определённого по исследовательскому методу, на несколько единиц выше, чем определённое моторным методом.

Бензин, октановое число которого определено по моторному методу, обозначается буквой **A** (автомобильный) и через дефис цифрой, соответствующей его октановому числу. Бензин, октановое число которого определено по исследовательскому методу, обозначается буквами **Аи** (автомобильный, исследовательский) и через дефис цифрой, соответствующей исследовательскому октановому числу.

При выходе на испытуемый режим постепенно увеличивают степень сжатия до появления детонации нужной интенсивности, определенной по шкале указателя детонации. Затем, не меняя режима работы, на ходу переводят установку, попеременно, на работу на эталонных топливах.

Две эталонные смеси готовят с разницей в две октановые единицы. На одном топливе двигатель должен детонировать сильнее, а на другом слабее, чем на исследуемом топливе.

Разницу между октановым числом по исследовательскому и моторному методам называют *чувствительностью*. Чем меньше разница, тем меньше чувствительность бензина к режиму работы двигателя, тем лучшим эксплуатационным качеством бензин обладает (табл. 3.3).

Таблица 3.3

Чувствительность товарных бензинов

Товарный бензин	Аи-80	Аи-91	Аи-92	Аи-96	Аи-98
Чувствительность	4,0	8,5	9,0	10,0	10,0

Чувствительность зависит в основном от углеводородного состава топлива и технологии его производства. Если в бензине много ароматических углеводородов, то чувствительность его будет высокой. Па-

рафиновые углеводороды снижают чувствительность. Так, например, *алкилат* имеет октановое число по моторному методу 90, а по исследовательскому 91, то есть его чувствительность равна единице. Поэтому алкилат – самый желанный компонент в автомобильном топливе.

Как говорилось выше, моторный метод – «авиационный» – более мягкий, его ещё называют «шоссейным». Режим работы авиационного двигателя очень похож на режим работы автомобильного во время движения на междугородных трассах. А исследовательский метод более жёсткий, больше подходит для городского стиля езды, двигатель достаточно часто работает в тяжелом режиме трогания с места и ускорения, но время от времени и «отдыхает», продолжая работать при движении накатом и остановках, например на красный свет светофора.

С уменьшением молекулярной массы как у углеводородов природного происхождения одной и той же группы, так и между группами, как правило, октановое число повышается; эта закономерность распространяется и на непредельные углеводороды. Можно предположить, что у бензинов с более легким фракционным составом будет выше октановое число. *Тяжелые парафиновые углеводороды искусственного происхождения, с изомерной структурой, имеют большую детонационную стойкость и малую чувствительность по сравнению с аналогичными углеводородами нормальной структуры* (см. п. 1.1. «Химический состав и структура углеводородов нефти»).

Появление автомобильного исследовательского метода показало, что и он недостаточно пригоден для оценки поведения двигателя автомобиля в городском режиме движения. Он по-прежнему, как и моторный метод, больше подходит для оценки загородного движения автомобиля.

Кроме октановых чисел, определенных моторным и исследовательским методом, их иногда называют «*фронтальным октановым числом*», применяют и другие показатели для оценки детонационной стойкости топлива.

Например, насколько октановое число головных, т. е. лёгких фракций, отличается от октанового числа самого бензина, определяется показателем «*дельта эр*». При производстве бензина всегда стремятся к тому, чтобы распределение детонационной стойкости бензина по фракциям было равномерным. Добиться этого сложно, поэтому для оценки качества детонационной стойкости топлива чаще применяют показатель «*коэффициент распределения детонационной стойкости*» (К<sub>РДС</sub>). К<sub>РДС</sub> – это отношение октанового числа фракций с температу-

рой кипения до 100 °С к октановому числу фракций, кипящих при температуре выше 100 °С. Этот показатель всегда меньше единицы, а по действующим у нас нормам он должен быть не менее 0,75.

$$K_{РДС} = \frac{OЧ_{\phi} < 100 \text{ }^{\circ}\text{C}}{OЧ_{\phi} > 100 \text{ }^{\circ}\text{C}},$$

где  $OЧ_{\phi} < 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – октановое число фракций с температурой кипения до 100 °С;  $OЧ_{\phi} > 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$  – октановое число фракций с температурой кипения выше 100 °С.

При резком нажатии на педаль газа во впускной тракт ускорительным насосом впрыскивается большая порция топлива. Из этой порции лёгкие фракции попадут в цилиндр и сгорят в первую очередь. Тяжёлые фракции, отставая от лёгких, согласно  $K_{РДС}$  будут провоцировать детонацию.

Широко используемый в нашей стране бензин Аи-92 с «фронтальным октановым числом» – 92, при соблюдении  $K_{РДС} = 0,75$  имеет предельные значения детонационной стойкости лёгких фракций около 77, а тяжелых 103.

Возникновению детонации способствуют:

а) *ухудшение охлаждения двигателя*. Причинами ухудшения охлаждения двигателя могут быть: ухудшение вентиляции подкапотного пространства, загрязнение двигателя и радиатора, накипь в системе охлаждения, пробуксовка ремня вентилятора, нагар в камере сгорания;

б) *увеличение открытия дросселя*. Из-за увеличения подачи топлива увеличиваются нагрузка и температура. Кроме того, в большой порции топлива вероятность наличия углеводородов, способных образовывать перекиси, увеличивается;

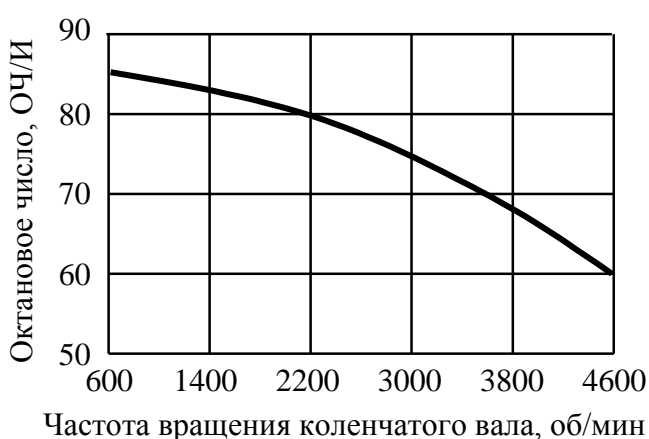


Рис. 3.7. Зависимость требуемого октанового числа от частоты вращения коленчатого вала двигателя

в) *уменьшение частоты вращения коленчатого вала*. Из-за уменьшения скорости распространения пламени увеличивается время на подготовку перекисей (рис. 3.7);

г) *увеличение угла опережения зажигания*. При раннем зажигании процесс горения смещается в сторону такта сжатия, происходит увеличение давления и температуры. При позднем зажигании процесс горения смещается в сторону рабочего хода, т. е. расширения объёма газов, что по законам физики связано с охлаждением газов, возможность

появления детонации уменьшается. Однако чрезмерное уменьшение угла опережения зажигания влечет увеличение расхода бензина, снижению динамических качеств автомобиля.

Из графика видно, что с увеличением оборотов существенно падают требования двигателя к октановому числу топлива. Эта зависимость позволяет применять в системе зажигания двигателя различные электронные устройства, которые при работе на малых оборотах включают задержку импульсов искры и автоматически снимают эту задержку при разгоне двигателя до определенных оборотов.

Детонационная стойкость применяемых автомобильных топлив должна обеспечивать работу автомобиля в любых условиях и режимах без появления детонации. Детонация уменьшается как при обогащении, так и при обеднении рабочей смеси: при обогащении смеси она уменьшается из-за недостатка кислорода, увеличения скорости горения и, как следствие, снижения возможности образования перекисей, а при обеднении – вследствие уменьшения теплоты сгорания.

### 3.6. Влияние конструктивных особенностей двигателя на требуемое октановое число топлива

Детонационная стойкость топлива может быть оценена на реальном автомобиле в дорожных условиях; этот показатель называют «*дорожным октановым числом*». Его определяют на ровном участке дороги во время движения автомобиля с закрытыми окнами туда и обратно, чтобы исключить влияние ветра, при определенном угле опережения зажигания и нагрузке. Специальными акустическими приборами фиксируется момент возникновения детонации.

Эти испытания выявили, что один и тот же бензин на разных автомобилях с одинаковыми двигателями показывает разные «*дорожные*» октановые числа. Из этого следует, что требуемая детонационная стойкость топлива зависит не только от конструкции двигателя, но и от конструкции трансмиссии и ходовой части автомобиля. В трансмиссии автомобиля могут применяться различные коробки передач (ступенчатые и бесступенчатые с автоматическим и ручным переключением передач и т. д.), различные главные передачи. В ходовой части – различные шины и упругие элементы подвески и т. д.

Реакция двигателя на требуемую детонационную стойкость топлива зависит и от его конструктивных особенностей, таких как *материал и форма камеры сгорания, место расположения свечи зажига-*



ния, конструкции выпускного клапана, диаметра цилиндра, степени сжатия и др.

Температурное поле камеры сгорания очень неравномерно; в температурном поле есть относительно холодные зоны – в районе *впускного* клапана и зоны с критически высокой температурой – в районе *выпускного* клапана.

**Материал камеры сгорания.** Каждый металл имеет свою теплопроводность. Для камеры сгорания лучшим металлом будет тот, который имеет большую теплопроводность, это позволит системе охлаждения быстрее отводить излишки тепла и снижать вероятность появления детонации.

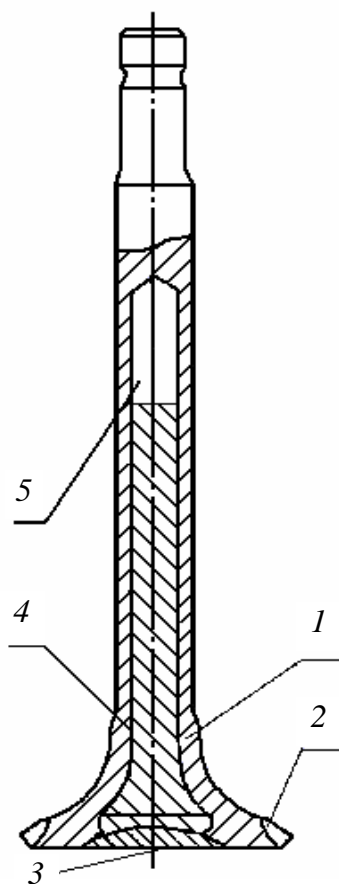


Рис. 3. 8. Выпускной клапан с натриевым охлаждением:  
1 – клапан; 2 – жаростойкая наплавка; 3 – заглушка;  
4 – металлический натрий;  
5 – полость

**Форма камеры сгорания** должна быть такой, чтобы в зоне с критически высокой температурой находилось как можно меньше рабочей смеси, а сама камера сгорания имела ровную поверхность без выступов и острых углов. **Свеча зажигания** должна располагаться, во-первых, в зоне, в которой находится как можно больше рабочей смеси, поскольку детонация возникает на завершающей фазе горения, во-вторых, как можно ближе к критической зоне – это сократит время возможного образования перекисей.

Среди *выпускных клапанов* находят применение клапаны с *натриевым охлаждением*. Эти клапаны (рис. 3.8) имеют внутри полость 5, заполненную металлическим натрием 4. Натрий во время работы двигателя плавится и, перемешиваясь встряхиванием во время работы, интенсивно переносит тепло от головки к стержню, от стержня к втулке и головке блока, в результате тепло рассеивается системой охлаждения. Вероятность возникновения детонации падает.

Важнейшими конструктивными особенностями (параметрами), вошедшими в техническую характеристику двигателя, являются диаметр цилиндра и степень сжатия. Чем больше диаметр цилиндра, тем больше вероятность возникновения детонации, поскольку увеличивается время

сгорания смеси, следовательно, возрастает вероятность возникновения перекисей.

От степени сжатия двигателя зависят давление и температура в камере сгорания к моменту воспламенения рабочей смеси. Чем выше степень сжатия, тем больше вероятность возникновения детонации, тем выше требования двигателя к детонационной стойкости бензина.

Между требуемым октановым числом бензина, степенью сжатия и диаметром цилиндра двигателя установлена *приблизительная* зависимость, которая выражается формулой

$$\text{ОЧ}_{\text{ит}} = 125,4 - \frac{413}{e} + 0,183D,$$

где  $\text{ОЧ}_{\text{ит}}$  – требуемое исследовательское октановое число бензина;  $e$  – степень сжатия;  $D$  – диаметр цилиндра, мм.

Эта эмпирическая формула даёт приблизительный результат, т. к. в ней не учитываются такие параметры двигателя, как: *форма камеры сгорания, расположение свечи зажигания, конструкция клапана* и другие особенности.

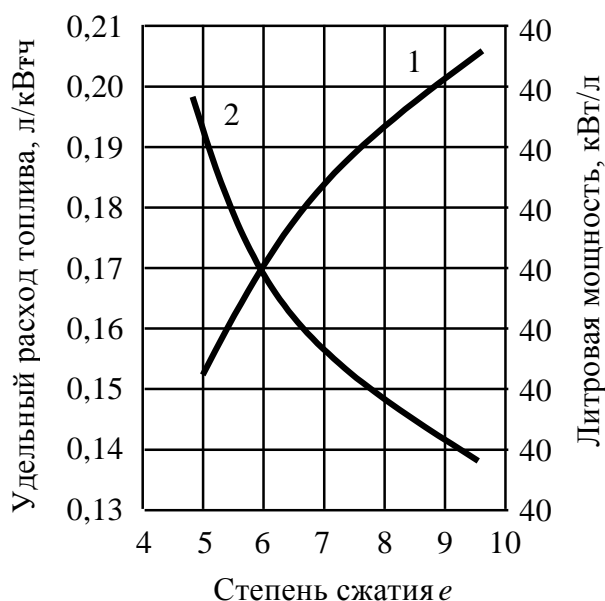


Рис. 3. 9. Зависимость литровой мощности и удельной экономичности от степени сжатия двигателя:

1 – литровая мощность, кВт/л;  
2 – удельный расход топлива, л/кВтч

Повышение степени сжатия способствует более энергичному и полному сгоранию топлива, увеличению среднеэффективного давления на поршень двигателя, уменьшению тепла, выносимого отработавшими газами, повышению термического коэффициента полезного действия, а самое главное, способствует повышению удельной топливной экономичности и литровой мощности двигателя (рис. 3.9).

Одновременно повышаются требования к детонационной стойкости топлива.

### 3.7. Антидетонаторы

Существующие способы переработки нефти, её состав не всегда обеспечивают получение бензина необходимой детонационной стой-

кости. Поэтому октановое число бензина повышают путём добавления к нему *присадок* или *добавок* – антидетонаторов. По классификации ВНИИ НП присадками называются продукты, вводимые в топливо до 0,5 % по объёму, а добавками – от 0,5 и выше.

Высокооктановые компоненты и некоторые добавки вносят в бензины в значительных количествах, десятках процентов, а антидетонаторы – в долях процента. Дело в том, что присадка-антидетонатор, вступая в реакцию с перекисями, превращает их в менее активные соединения, сама тут же восстанавливается, и цикл повторяется. Таким образом, присадка, многократно участвуя в реакциях, сама не расходуется.

В 1921 г. был открыт антидетонатор тетраэтилсвинец (ТЭС)  $Pb(C_2H_5)_4$ , который с 1923 по 1999 годы применялся в российских бензинах в составе жидкости Р–9. Бензины с этиловыми жидкостями стали называть «этилированными».

Антидетонаторы, кроме повышения октанового числа, могут изменять и другие свойства бензина, в частности топливо с присадкой может стать ядовитым, влиять на работу свечей зажигания, способствовать износу двигателя, а также каталитического нейтрализатора выхлопных газов и др.

Соединения свинца, попадая с отработавшими газами в атмосферу, наносили невосполнимый ущерб людям, животному миру, памятникам культуры, одним словом, окружающей среде. Кроме того, они разрушали каталитические нейтрализаторы выхлопных газов. Поэтому применение этилированных бензинов в России с 2000 г. было запрещено. В настоящее время в качестве *добавок* для повышения детонационной стойкости современных бензинов применяют кислородсодержащие соединения: *спирты* и *эфир*ы. Производство простых эфиров, например *метилтретбутилового эфира* (МТБЭ –  $CH_3OC_4H_9$ ), получило широкое распространение за рубежом. В России доля бензинов с МТБЭ невелика, что объясняется высокой стоимостью этого антидетонатора.

В качестве антидетонатора можно применять азотсодержащие ароматические соединения: *амины* (АДА), *ксилидины* и другие добавки. Они несколько дешевле МТБЭ, но гораздо дороже этиловых жидкостей.

Для повышения детонационной стойкости в бензин можно добавлять этиловый спирт – *этанол* ( $C_2H_5OH$ ) или метиловый спирт – *метанол* ( $CH_3OH$ ).

Октановое число этанола  $ОЧ_{и}$  – 100 единиц, температура кипения 78 °С. Получать его можно из отходов сельскохозяйственной и лесной промышленности, то есть из возобновляемых ресурсов.

Октановое число метанола  $ОЧ_{и}$  – 110, температура кипения 64 °С. Метанол можно получать из природного газа, угля, древесины и биомассы. Метанол токсичен.

Установлено что добавление этих спиртов в бензин не только повышает фронтальное октановое число топлива, но и снижает содержание СО и углеводородов в отработанных газах и значительно повышает коэффициент распределения детонационной стойкости (КРДС).

Необходимо заметить, что при производстве как метанола, так и этанола выделяется большое количество газа  $СО_2$ , что нежелательно из-за «парникового эффекта». Способность спиртов растворять воду повышает эксплуатационные качества топлива, особенно в зимнее время.

Использование *присадок* на основе марганца и железа экономически выгоднее, чем применение добавок АДА или МТБЭ.

Марганец для производства присадки закупают за рубежом, а это повышает стоимость отечественных бензинов.

Дешевый антидетонатор на основе *пентакарбонилжелеза*, обладая рядом положительных свойств, оказался очень токсичным и, кроме того, вызывал повышенный износ поршневой группы и цилиндров. От применения и этого антидетонатора пришлось отказаться.

В современных антидетонаторах применяют *ферроцен*, он входит в состав добавки «Феррада», присадок «АПК», «Ферро-3» и ряда других препаратов, допущенных Госстандартом для использования в нашей стране (табл. 3.4).

Железосодержащие препараты улучшают работу каталитических нейтрализаторов и вводятся в топливо в количестве не более 37 мг на литр, что составляет 0,3 %. Железосодержащие присадки на сегодня являются одним из наиболее приемлемых способов повышения антидетонационной стойкости бензинов. Они экологичны, относительно дешёвы, прошли испытания на ведущих автозаводах – АМО «ЗИЛ» и АО «АвтоВАЗ», в институтах НАМИ и НИИАТ. Многие предприятия при выработке неэтилированных бензинов уже в течение ряда лет применяют железосодержащие присадки. Это – ОАО «Ачинский НПЗ», ООО «Рязанский НПЗ», ОАО «Салаватнефтеоргсинтез», НПФ «Феникс Лтд» и другие.

Для снижения затрат, связанных с техническим обслуживанием топливных систем автомобиля, и для выполнения экологических тре-

бований по токсичности выхлопа в бензины вводят моющие присадки (табл. 3.5). Эти присадки обеспечивают нормальную работу топливной системы и дают снижение расхода бензина на 5–7 %.

Таблица 3. 4

Присадки и добавки к автомобильным бензинам,  
допущенные к применению в Российской Федерации

Наименование	Допустимая концентрация
Присадка «Хайтек-300» фирмы Ethyl	До 50 мг Mn/л
Присадка «АвтоВЭМ» (ТУ 38.401-58-185-97)	До 0,3 %
Присадка АПК (ТУ 38.401-58-189-97)	До 0,3 % (37 мг Fe/л)
Присадка «Ферро3» (ТУ 38. 401-58-83-94)	До 0,02 % (37 мг Fe/л)
Присадка «Октан-Максимум»(ТУ 38.401-144-97)	До 0,3 % (37 мг Fe/л)
Добавка АДА (ТУ 38.401-56-61-93)	До 1,3 %
Добавка «Феррада» (ТУ 38.401-58-185-97)	До 1,3 % (37 мг Fe/л)
Добавка БВД (ТУ 38.401-58-228-99)	До 1,9 %
Добавка ВАКЭ ТУ 38.401-58-244-99	До 5 %
Добавка МАФ (ТУ 38.401-1045-96)	До 3,5 % (37 мг Fe/л)
Добавка «Фэтерол» (ТУ 2421-009-04749189-95)	До 15 %
МТБЭ (ТУ 103704-90)	До 15 %
Добавка ДАКС (ТУ о251-003-02066612-96)	До 3,5 %

На безотказную работу двигателя, развиваемую им мощность, расход топлива, кроме уже рассмотренных показателей, таких как фракционный состав, давление насыщенных паров, октановое число, содержание механических примесей и воды, могут оказывать влияние и другие показатели. Они в ГОСТах на бензин не приводятся, так как одни мало зависят от партии и марки бензина, значения других могут быть ограничены показателями физико-химических свойств бензина, уже приведённых в стандартах или технических условиях.

Таблица 3.5

Моющие и многофункциональные присадки,  
допущенные к применению в Российской Федерации

Наименование	Допустимая концентрация
Автомаг (ТУ 38.401-58-171-96)	До 0,05 %
Афен (ТУ 38.401743-89)	До 0,05 %

Для автомобильных бензинов не нормируется ни вязкость, ни плотность. Вязкость и плотность топлив одного вида разных марок

изменяются незначительно, от 5 до 10 %, не более. Фактические отклонения этих параметров у бензинов разных марок не вызывают необходимости изменять регулировку топливной системы автомобиля даже при переходе с одной марки бензина на другую допустимую марку. Однако с изменением температуры, в частности понижением температуры, вязкость и плотность бензинов повышаются. Причём вязкость повышается в большей степени, чем плотность (рис. 3.10).

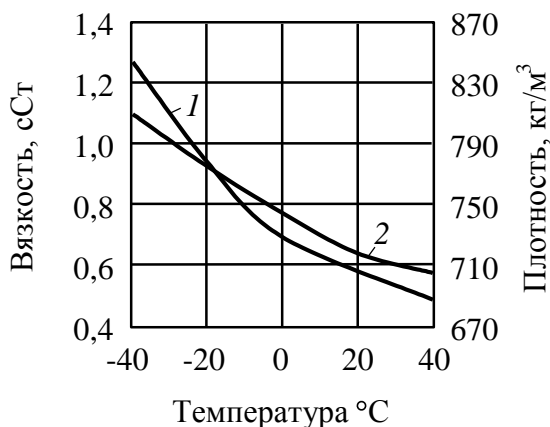


Рис. 3.10. Изменение вязкости и плотности бензинов в зависимости от температуры:

1 – вязкость; 2 – плотность

При переходе на летний или зимний период эксплуатации реальная вязкость бензинов в топливном баке может измениться в 1,5–2 раза, но даже такое изменение вязкости не требует изменения регулировок топливной системы автомобиля. Прежде всего это вызвано тем, что в подкапотном пространстве при температуре наружного воздуха  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  температура топливного насоса и карбюратора  $+10, +15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Кроме того, уменьшение пропускной способности жиклёра из-за изменения вязкости компенсируется тем, что с повышением плотности увеличивается масса одного и того же объёма бензина, поступающего через жиклёры.

Средняя плотность автомобильных бензинов при  $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$  колеблется от 712 до 742  $\text{кг}/\text{м}^3$ . Определение плотности бензинов вызвано тем, что автотранспортные предприятия получают бензин в единицах массы (кг, т), а заправляют автомобили в единицах объёма (л).

### 3.8. Свойства бензина, влияющие на износ, техническое обслуживание и ремонт двигателя

Износы деталей двигателя, расходы, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом, частично зависят от уже рассмотренных показателей физико-химических свойств бензина.

Износ двигателя зависит от моющих свойств бензина, в частности от его фракционного состава, наличия в бензине механических примесей и воды, его детонационной стойкости. Рассмотренные выше свойства бензина в большей мере влияли на появление *механического* и *абразивного износа* деталей двигателя. Кроме этих свойств, на износ деталей двигателя влияют находящиеся в бензинах минераль-

ные и органические кислоты, щёлочи, смолы, сера и её соединения. Эти соединения вызывают появление *коррозионного* и *коррозионно-механического износов*. Бензины должны обладать минимальным коррозионным воздействием на металлы двигателя.

**Водорастворимые кислоты и щёлочи.** Минеральные кислоты, соединения кислого характера обладают исключительно сильным коррозионным действием на чёрные и цветные металлы. Они вызывают интенсивный износ деталей двигателя и системы питания. Щёлочи активно корродируют цветные металлы. Водорастворимые кислоты и щёлочи могут оказаться в бензине вследствие использования загрязненной тары, а также из-за некачественно выполненной очистки. Стандартами на бензин не допускается присутствие даже следов щелочей и водорастворимых кислот. Их присутствие определяют *качественным* анализом реакции водной вытяжки из бензинов на спиртовой раствор фенолфталеина и водный раствор метилоранжа, или рН-метром, или универсальной индикаторной бумагой.

**Органические кислоты** в отличие от водорастворимых кислот и щелочей не являются случайными примесями бензинов, а всегда содержатся в них в том или ином количестве. Более того, их количество в бензине непрерывно возрастает в результате окисления, в том числе и непредельных углеводородов за время его хранения. Основу органических соединений кислого характера составляют нафтеновые кислоты ( $R - COOH$ ) и фенолы ( $C_6H_5OH$ ). Поэтому нет необходимости их полностью удалять из товарных бензинов. На этом основании стандартами на бензин допускается наличие ограниченного количества нафтеновых кислот в бензинах.

Продукты взаимодействия органических кислот с топливом представляют собой нерастворимые в бензине хлопьевидные осадки, которые могут вызвать закупорку топливопроводов системы питания.

Органические или нафтеновые кислоты разрушают металлы значительно слабее минеральных. Они опасны для цветных металлов, в первую очередь для свинца и цинка, лишь в присутствии воды.

Содержание органических кислот в топливах принято характеризовать *кислотностью*, под которой понимают количество щёлочи КОН, выраженное в миллиграммах и израсходованное на нейтрализацию всех кислых соединений, содержащихся в 100 мл топлива.

**Сера и её соединения.** Сернистые соединения, в том числе и серу, принято разделять на две группы: *активные* и *неактивные* сернистые соединения.

**Активные сернистые соединения** отличаются особой агрессивностью, способны вызывать коррозию металлов при нормальных условиях; по этой причине они, так же как и минеральные кислоты, совершенно недопустимы в топливах. Наличие активных сернистых соединений качественно обнаруживается *испытанием на медной пластинке*. Нефтепродукт считается не выдержавшим испытание, если на пластинке появились чёрные, тёмно-коричневые или серо-стальные налёты и пятна. Если на пластинке отсутствуют изменения её внешнего вида, то топливо считается выдержавшим испытание, а это означает, что концентрация активных сернистых соединений в испытуемом бензине не превышает допустимого предела, и, в частности, в нём содержание элементарной серы не более 0,0015 %, а сероводорода – не более 0,0003 %.

К этой группе сернистых соединений относятся: сера элементарная (S), сероводород ( $H_2S$ ) и меркаптаны – включение серы по связи C – H (R – S – H). Активные сернистые соединения и сера элементарная при нормальных условиях разрушают всё на своем пути: топливный бак, трубопроводы, фильтры, карбюраторы и даже двигатель.

**Неактивные сернистые соединения** – это сульфиды, соединения по связи C – C (R – S – R), дисульфиды ( $R - S_2 - R$ ), полисульфиды ( $R - S_n - R$ ), тиофаны и тиофены, практически не корродируют металлы при нормальных условиях, и с этой точки зрения нет смысла требовать их полного отсутствия. Однако при полном сгорании в двигателе они обязательно образуют сернистый ( $SO_2$ ) и серный ( $SO_3$ ) газы, которые вызывают коррозию деталей двигателя. Кроме того, сернистый и серный газы, проникая в картер двигателя и соприкасаясь со сконденсировавшимися парами воды и кислородом воздуха, образуют сильно корродирующую сернистую ( $H_2SO_3$ ) и серную ( $H_2SO_4$ ) кислоты, которые окисляют масло и вызывают износ деталей. Аналогичный процесс образования кислот протекает и в выхлопной системе автомобиля, разрушая её изнутри. Износ деталей возрастает с увеличением содержания серы в бензине. Массовая доля серы в современных бензинах не превышает 0,05 %. Кроме преждевременного износа, сера и сернистые соединения снижают детонационную стойкость бензина, способствуют его осмолению, нагарообразованию в двигателе и ускоряют процесс старения масла.

**Смолы и химическая стабильность.** Изменение первоначальных свойств бензина может произойти от химических превращений его компонентов и, в первую очередь, от окисления непредельных уг-



леводородов. Количество смол в бензине непостоянно, оно увеличивается за счёт окислительной полимеризации углеводородов. Интенсивно процесс окисления протекает при повышенной температуре и хорошем доступе воздуха. Во время транспортирования и хранения бензина кроме смол образуются и нафтеновые кислоты.

Низкомолекулярные смолы растворяются в бензине, придавая ему желтизну, а в дальнейшем цвет может перейти в светло-коричневый. Высокомолекулярные смолы в бензине растворяются плохо, поэтому выпадают из него в осадок, кроме того, одновременно на стенках тары, в которой они хранятся, откладывается слой смолистых веществ. В автомобиле смолы оседают на стенках топливного бака, топливопроводах, в карбюраторе, во впускном трубопроводе, на стержнях впускных клапанов и т. д. В камере сгорания они образуют нагар, способствуют пригоранию колец, зависанию клапанов, провоцируют детонацию и калильное зажигание.

Смолы ухудшают подачу бензина, нарушают работу топливного насоса, карбюратора. Для восстановления работоспособности двигателей из топливной системы приходится периодически удалять образовавшиеся в ней отложения, что увеличивает затраты на техническое обслуживание и ремонт двигателя, снижает техническую готовность и надёжность транспортного средства. Кроме смол, образовавшихся при транспортировании и хранении, существуют так называемые *фактические смолы* – это те смолы, которые уже имелись в бензине или образовались во время испытания и отгрузки.

Концентрация фактических смол в бензине строго ограничена и устанавливается в миллиграммах на 100 мл бензина. При этом, учитывая неизбежность осмоления бензина в процессе хранения, устанавливается предельное содержание смол на *месте производства* и на *месте потребления*. Удалить смолы из системы питания автомобиля можно ацетоном. Для предотвращения преждевременного старения бензинов к ним добавляют присадки-*антиокислители* (табл. 3.6).

Таблица 3.6

Антиокислители, допущенные к применению в Российской Федерации

Наименование	Допустимая концентрация
Агидол-1 (ТУ 38.5901237-90)	До 0,1 %
Агидол-12 (ТУ 38.30216371-88)	До 0,3 %

### 3.9. Показатели, влияющие на сохранение первоначальных качеств бензина

Сохранение первоначальных качеств бензина на возможно более длительный срок в процессе транспортирования, хранения и использования зависит от *физической* и *химической стабильности*. Первоначальные качества бензина постепенно ухудшаются вследствие происходящих в нём физико-химических процессов. В эксплуатационных условиях автомобильное топливо подвергается воздействию внешних факторов, таких как кислород воздуха, нестабильная температура, частое перемешивание при перекачивании и транспортировании, загрязнение влагой и механическими примесями, что приводит к ухудшению его фракционного и химического состава.

*Физическая стабильность*. Под ней подразумевается способность топлива сохранять свой фракционный состав и однородность. Наиболее глубокие изменения свойств бензина могут произойти от двух физических процессов – испарения лёгких и выпадения кристаллов высокоплавких фракций.

Конструкции топливных баков и ёмкостей хранения исключают возможность свободного сообщения их внутреннего объёма с атмосферой. Однако при транспортировании, хранении, заправке и всевозможных складских операциях происходит активное перемешивание с воздухом и испарение лёгких фракций. В результате уменьшается количество бензина и одновременно ухудшаются его эксплуатационные качества, в первую очередь пусковые свойства.

Физическую стабильность топлива оценивают и контролируют, периодически проверяя плотность, давление насыщенных паров, фракционный состав.

Для исключения испарения бензинов топливные баки и ёмкости необходимо защищать от прямых солнечных лучей элементами конструкции, специальными экранами, защитными насаждениями.

Кристаллизация углеводородов из стандартных автомобильных бензинов происходит при очень низких температурах ( $\sim -60$  °С), поэтому при эксплуатации автомобилей даже в суровых зимних условиях не нарушается работа двигателей и систем питания.

Ароматические углеводороды обладают повышенной гигроскопичностью, а некоторые из них способны выкристаллизовываться из топлива при повышенных температурах. Содержание ароматических углеводородов в топливе ограничивается не только этими, но и другими эксплуатационными требованиями.

*Химическая стабильность.* Под химической стабильностью топлива понимают его способность сохранять без изменений свой химический состав. В условиях длительного хранения сернистые, кислородные, азотистые и металлоорганические соединения могут вступать в реакции окисления и полимеризации, вызывая изменение эксплуатационных свойств бензина. Химическая стабильность зависит от состава и строения входящих в бензин углеводородов. Процесс окисления углеводородов топлива автокаталитический или самоускоряющийся, так как продукты окисления сами являются катализаторами. Объясняется это тем, что наряду с конечными продуктами происходит образование промежуточных нестойких соединений, разлагающихся с выделением энергии, достаточной для продолжения процесса окисления. С увеличением молекулярной массы углеводородов склонность их к окислению падает, а к полимеризации – возрастает.

Способность бензина сохранять свой состав неизменным оценивают *индукционным периодом*.

*Индукционный период* определяют в бомбе, 1/3 объёма которой или 100 мл заполнены испытуемым топливом, а 2/3 – кислородом. Бомбу опускают в кипящую воду – 100 °С, через некоторое время бензин в бомбе начинает окисляться, на это расходуется часть кислорода, и давление насыщенных паров в бомбе начинает падать.

*Индукционным периодом называется время в минутах с момента погружения бомбы в кипящую воду до начала падения давления.* Чем это время больше, тем выше стойкость бензина к окислению, тем лучшим эксплуатационным качеством он обладает.

Индукционный период на месте производства современных бензинов от 600 до 1300 мин.

### 3.10. Токсичность бензина и влияние продуктов сгорания на окружающую среду

В реальных условиях эксплуатации автомобилей трудно исключить попадание бензина на кожу работников транспортных предприятий и владельцев автомобилей, ещё труднее исключить вдыхание паров бензина, а во время ремонта двигателя соприкасаться с нагаром. Поэтому важно, чтобы бензин, его пары и нагар не представляли опасности для здоровья человека.

Товарный бензин не представляет серьезной опасности для человека, так как углеводороды сами по себе не опасны, более того, достаточно вспомнить, что первые владельцы автомобилей покупали

бензин в аптеках и парфюмерных лавках, он применялся как антисептик и как средство борьбы с насекомыми.

Частый контакт бензина с кожей сушит её, приводит к шелушению, вызывает раздражение, экзему и другие заболевания. Кожа человека достаточно надёжно защищает его от внешних воздействий, в том числе и от воды. В воде кожа только набухает и для неё практически непроницаема, а легкие углеводороды проникают через кожу достаточно свободно и, всасываясь в кровь, могут вызвать явления общего отравления. При мытье в бензине деталей автомобиля голыми руками через 5–7 мин в воздухе, выдыхаемом моющим человеком, появляются пары бензина.

Продолжительное вдыхание паров бензина при концентрации его в воздухе более 0,3 мг/л вредно влияет на нервную систему, вызывает головную боль и общее недомогание, а при содержании 35–40 мг/л вдыхание в течение 5–10 мин уже опасно для жизни. Однако при соблюдении обычных мер предосторожности (ПДК 100 мг/м<sup>3</sup>) вредное влияние бензина на здоровье человека практически исключается.

В связи с непрерывным увеличением парка автомобилей всё большее значение приобретает проблема уменьшения токсичности отработавших газов автомобилей. Общая мощность автомобильных двигателей в мире около 25 млрд кВт, для приведения их в движение ежедневно расходуется примерно 200 г/кВт·ч топлива. В воздухе крупных городов мира от 50 до 90 % вредных веществ составляют отработавшие газы автомобилей. В среднем один легковой автомобиль в окружающую среду выбрасывает около 60 м<sup>3</sup>/ч, а грузовой – 120 м<sup>3</sup>/ч отработавших газов. В отработавших газах автомобилей содержится до 200 веществ, часть из которых токсична. Токсичность отработавших газов обусловлена неполным сгоранием топлива и окислением азота воздуха. Среди токсичных веществ в выхлопных газах у карбюраторного двигателя преобладают окись углерода (СО) 60–75 %, окись и двуокись азота (NO<sub>x</sub>) 20–30 %, углеводороды (C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>) 5–15 % и сернистый (SO<sub>2</sub>) и серный (SO<sub>3</sub>) газы 3–7 %. Только чрезвычайно ядовитой окиси углерода (СО) одна тысяча автомобилей выбрасывает более 5000 м<sup>3</sup>/ч. При сжигании в автомобильном двигателе 1 т бензина образуется 180–300 кг окиси углерода, 20–40 кг углеводородов и 25–45 кг оксидов азота.

**Окись углерода** – газ без цвета и запаха; образуется в результате неполного сгорания топлива в двигателе. В отработавших газах двигателей с искровым зажиганием в зависимости от регулировки кар-

бюратора и технического состояния двигателя содержание окиси углерода (СО) колеблется в пределах 0,1–10 % по объёму.

**Оксиды азота** состоят в основном из окиси (NO) и двуокиси (NO<sub>2</sub>) азота. Окись азота – бесцветный газ, двуокись азота – газ красновато-бурого цвета с характерным запахом. Оксиды азота образуются в двигателе при высокой температуре сгорания топлива. С окисью углерода окислы азота находятся в обратной зависимости: при увеличении количества окиси углерода количество окислов азота уменьшается и наоборот.

**Серный и сернистый газы.** Их количество в выхлопных газах зависит от содержания в топливе серы и сернистых соединений.

**Углеводороды** подразделяются на предельные, непредельные и ароматические, в их числе есть и *канцерогенные*. Среди канцерогенов наиболее опасным является 3,4-бенз- $\alpha$ -пирен. Появление углеводородов в отработавших газах связано с разложением и неполным окислением углеводородов топлива в двигателе.

Содержание углеводородов в отработавших газах во многом зависит от технического состояния и регулировки двигателя. На холостом ходу их содержание колеблется от 100 до 5000 % и более. Оценка токсичности отработавших газов автомобильных двигателей осуществляется путём проведения специальных испытаний. Испытания проводятся по специально разработанному ездовому циклу, имитирующему движение автомобиля в городских условиях. При этом токсичность не должна превышать норм, установленных Правилами № 15 и 83 ЕЭК ООН для автомобилей с бензиновыми двигателями. В эксплуатации токсичность отработавших газов автомобилей с бензиновыми двигателями регламентируется ГОСТ 17.2.2.03–87 (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Предельно допустимое содержание токсичных веществ в отработавших газах

Режим проверки по частоте вращения коленчатого вала двигателя	Окись углерода, объёмная доля в % (при регулировке)	Углеводороды (объёмная доля промилле) для двигателей с числом цилиндров	
		до четырёх (включительно)	более четырёх
Минимальная	1,5	1200	3000
Повышенная	2,0	600	1000

Примечание: При контрольных проверках в эксплуатации допускается содержание окиси углерода на минимальной частоте вращения при холостом ходе до 3 %.

Проверка проводится при работе двигателя на двух режимах холостого хода при минимальной частоте вращения и повышенной – в диапазоне от 2000 об/мин до  $0,8 n_{\text{ном}}$ , где  $n_{\text{ном}}$  – частота вращения, соответствующая максимальной мощности.

Автомобили, токсичность отработавших газов которых превышает установленные нормы, считаются неисправными и не подлежат дальнейшей эксплуатации.

В табл. 3.8 приведены общие технические требования к современным отечественным бензинам.

Таблица 3.8

Бензины автомобильные. Общие технические требования

Наименование показателя	ГОСТ Р 51105-97				ТУ № 38.401-58-171-96			
	Нормаль -80	Регуляр-91	Преми-ум-95	Супер-98	АИ-80 ЭК	АИ-92 ЭК	АИ-95 ЭК	АИ-98 ЭК
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Детонационная стойкость:								
Октановое число по исследовательскому методу не менее	80,0	91,0	95,0	98,0	80,0	92,0	95,0	98,0
Октановое число по моторному методу не менее	76,0	82,5	85,0	88,0	76,0	83,0	85,0	88,0
2. Концентрация свинца, г/дм <sup>3</sup> не более	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010	0,010
3. Фракционный состав:								
Температура начала перегонки бензина, °С, не выше:								
Летнего вида	35	35	35	35	35	35	35	35
Зимнего вида	не нормируется				не нормируется			
10 % бензина перегоняется при температуре, °С, не выше:								
Летнего вида	70	70	70	70	70	70	70	70
Зимнего вида	55	55	55	---	55	55	55	---
50 % бензина перегоняется при температуре, °С, не выше:								
Летнего вида	115	115	115	115	115	115	115	115
Зимнего вида	100	100	100	----	100	100	100	----
90 % бензина перегоняется при температуре, °С, не выше:								
Летнего вида	190	190	190	190	190	190	190	190
Зимнего вида	170	170	170	----	170	170	170	----

Конец кипения бензина, °С, не выше:								
Летнего вида	215	215	215	215	215	215	215	215
Зимнего вида	205	205	205	----	205	205	205	205
Остаток в колбе, % не более	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Остаток и потери, % не более	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0
4. Давление насыщенных паров, кПа, не более:								
Летнего вида	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7	66,7
Зимнего вида	93,3	93,3	93,3	----	93,3	93,3	93,3	----
5. Кислотность, в мг КОН на 100 мл бензина не более:	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	1,0	0,8	0,8
6. Концентрация фактических смол, в мг, на 100 мл бензина не более:								
на месте производства	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
на месте потребления	8,0	8,0	8,0	8,0	7,0	7,0	7,0	7,0
7. Индукционный период на месте производства, мин, не менее:	900	900	900	900	900	900	900	900
8. Массовая доля серы, %, не более	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
9. Объёмная доля бензола, %, не более	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
10. Содержание МТБЭ, % об., не более	15	15	15	15	15	15	15	15
11. Концентрация железа, г/дм <sup>3</sup> , не более	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037	0,037
12. Испытание на медной пластинке	выдерживает				выдерживает			
13. Водорастворимые кислоты и щёлочи	отсутствие				отсутствие			
14. Механические примеси и вода	отсутствие				отсутствие			
15. Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
16. Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	755	770	770	770	755	770	770	770
17. Цвет	бесцветный или бледно-жёлтый				бесцветный или бледно-жёлтый			

## 4. Автомобильные дизельные топлива

Дизельное топливо состоит из углеводородов с эквивалентной молекулярной массой от  $C_5$  до  $C_{15}$ , температурой кипения от 200 до 350 °С, основу его составляют *керосиновые*, *газойлевые* и *соляровые* фракции прямой перегонки нефти, к которым иногда добавляют продукты каталитического крекинга. Дизельное топливо содержит *парафиновые*, *нафтеновые* и незначительное количество *ароматических* углеводородов. Техничко-экономические показатели двигателя Дизеля существенно отличаются от аналогичных показателей карбюраторного двигателя.

Двигатели Дизеля обладают лучшей топливной экономичностью, удельный расход топлива (г/кВт·ч) у них на 26–33 % ниже, чем у карбюраторных; по сравнению с ними эти двигатели имеют лучшую динамику, т. е. приемистость вследствие подачи топлива непосредственно в камеру сгорания насосом высокого давления. Токсичность отработавших газов двигателей Дизеля ниже за счёт меньшего содержания окиси углерода и несгоревших углеводородов.

В сравнении с карбюраторными двигателями эти двигатели имеют и недостатки. Удельная мощность двигателей Дизеля [кВт/л (на 1 литр рабочего объёма)] примерно на 35 % ниже, чем у карбюраторных; примерно на 40 % больше масса, приходящаяся на единицу развиваемой мощности (кг/кВт). Следует сказать, что эти недостатки меньше сказываются на грузовых автомобилях. Двигатели Дизеля более дорогие в производстве, ремонте и техническом обслуживании. Отработавшие газы этих двигателей содержат повышенное количество сажи, имеют неприятный запах, содержат раздражающие и канцерогенные компоненты.

### 4.1. Основные эксплуатационные требования к качеству автомобильного дизельного топлива

Дизельное топливо должно удовлетворять следующим требованиям:

- бесперебойно поступать в цилиндры двигателя при любых температурах;
- обеспечивать хорошее смесеобразование в цилиндрах двигателя;
- обеспечивать надёжный пуск и мягкую работу двигателя;
- обеспечивать бездымную работу двигателя, образовывать минимальное количество нагара и отложений, не должно быть опасным для окружающей среды;



- обеспечивать минимальный износ двигателя и не являться источником износа двигателя и топливной аппаратуры;
- быть стабильным и длительное время сохранять первоначальные качества.

## 4.2. Физико-химические свойства дизельного топлива, характеризующие его эксплуатационные качества

Суммарная мощность автомобильных двигателей Дизеля значительно выше суммарной мощности карбюраторных двигателей, и, несмотря на их экономичность, дизельное топливо является самым массовым видом моторного топлива.

От качества дизельного топлива зависят надёжность работы и долговечность автомобильного двигателя и, следовательно, расходы на его техническое обслуживание и ремонт.

### 4.2.1. Свойства дизельного топлива, влияющие на бесперебойное поступление его в цилиндры двигателя

При понижении температуры наружного воздуха может быть нарушена нормальная подача дизельного топлива по системе питания двигателя вследствие кристаллизации высокоплавких углеводородов, и, в первую очередь, нормальных парафинов.

Внешним признаком появления в топливе отдельных кристалликов замерзших углеводородов является его помутнение.

**Температурой помутнения** называется температура, при которой в обезвоженном прозрачном топливе в процессе охлаждения появляются первые признаки помутнения, видимые невооруженным глазом. Причиной помутнения в этом случае могут быть только кристаллы углеводородов, которые будут оседать на фильтрах и со временем прекратят поступление топлива в цилиндры двигателя.

При дальнейшем понижении температуры отдельные кристаллики, срастаясь, образуют ажурный кристаллический каркас, пронизывающий весь объём топлива, который сковывает подвижность углеводородов, находящихся в жидком состоянии. Потерю подвижности нефтепродуктов принято называть *застыванием*.

**Температурой застывания** называется наивысшая температура, при которой дизельное топливо застывает настолько, что при наклоне стандартной пробирки на угол в  $45^\circ$  в течение одной минуты поверхность топлива остается неподвижной.

Оценка дизельного топлива по температурам помутнения и застывания сводится к определению предельно низкой температуры, при которой обеспечивается бесперебойная работа двигателя. Такой температурой для каждого вида топлива является его температура помутнения. Но, учитывая погрешность в её определении и ошибку в определении температуры наружного воздуха, *за нижний предел применения любого дизельного топлива принимают температуру, которая на  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  выше температуры помутнения.*

Учитывая субъективную оценку температуры помутнения, а также значительные трудности в оценке этой температуры у малопарафинистых топлив, для надёжности решения принято эксплуатационную оценку производить и по температуре застывания. *Самая низкая температура, при которой может применяться дизельное топливо, должна быть выше температуры застывания на  $10\text{--}15\text{ }^{\circ}\text{C}$ .*

Кроме того, температуры помутнения и застывания обеспечивают выполнение требования к дизельным топливам и в отношении их *физической стабильности.*

На бесперебойное поступление топлива в цилиндры двигателя влияют содержащиеся в нём механические примеси и вода. Поэтому одним из требований, предъявляемых к дизельным топливам и бензинам, является отсутствие в них механических примесей и воды. Обоснование этого требования и возможные последствия были рассмотрены в разделе «Свойства бензина, влияющие на пуск и безотказную работу двигателя» и полностью применимы к дизельным топливам.

**Вода** в дизельном топливе может послужить причиной нарушения подачи этого топлива в цилиндры двигателя, как при отрицательной, так и при плюсовой температуре. При плюсовой температуре вода с топливом образует эмульсию, способную разрушить фильтры тонкой очистки, а при отрицательных температурах она превращается в кристаллы льда, которые закупоривают топливные фильтры.

**Механические примеси** попадают в дизельное топливо при его небрежном хранении, транспортировании и заправке автомобилей. В дизельном топливе они более опасны, чем в бензинах. Наибольшую опасность представляют примеси в виде песка и глинозёма, так как вызывают износ и на трущихся деталях образуют риски-царапины. Самым уязвимым местом является плунжерная пара насоса высокого давления, у которой зазор между плунжером и гильзой находится в диапазоне  $0,002\text{--}0,003\text{ мм}$ . Большой вред механические примеси

наносят и форсункам, вызывая засорение их сопел. Кроме того, они засоряют и топливные фильтры.

Применение дизельного топлива, загрязнённого механическими примесями, вызывает частое обслуживание, ремонт и замену агрегатов топливной аппаратуры. Чтобы избежать вредных последствий во время эксплуатации автомобиля, необходимо исключить возможность загрязнения дизельного топлива механическими примесями. Для снижения загрязнения и обводнения дизельного топлива необходимо длительное отстаивание его в складской таре (более 10 дней), при этом забор топлива следует производить из верхних слоев. При ежедневном обслуживании автомобиля необходимо сливать отстой из топливных баков и фильтров.

#### 4.2.2. Свойства дизельного топлива, влияющие на смесеобразование в цилиндрах двигателя

В двигателях Дизеля смесеобразование происходит за 20–40° поворота коленчатого вала и составляет 0,001–0,004 с, что в 10–15 раз меньше, чем у карбюраторного двигателя. Качество смесеобразования зависит от многих физико-химических свойств дизельного топлива, основные из которых – вязкость<sup>1</sup> и фракционный состав.

При анализе влияния многих переменных факторов на один показатель пользуются приёмом, когда последовательно один из многих факторов принимают за переменную величину, а другие при этом считают неизменными постоянными величинами, независимыми друг от друга и находящимися в оптимальном соотношении. В этом случае можно установить влияние этого (переменного) фактора на интере-

---

<sup>1</sup> *Динамическая вязкость*  $\eta$  (Н·с/м<sup>2</sup>) измеряется величиной силы внутреннего трения. За единицу динамической вязкости принята вязкость такой жидкости, у которой между двумя бесконечно тонкими слоями площадью 1 м<sup>2</sup>, находящимися друг от друга на расстоянии 1 м и перемещающимися с относительной скоростью 1 м/с, возникает сила в 1 Н.

*Кинематическая вязкость*  $\nu$  (мм<sup>2</sup>/с) является удельным коэффициентом внутреннего трения и представляет собой отношение динамической вязкости жидкости к её плотности при температуре определения.  $\nu = \eta/\rho$ ,

где  $\rho$  – плотность жидкости при той же температуре, кг/м<sup>3</sup>.

В СГС за единицу кинематической вязкости принят стокс (Ст). Сотая часть стокса – сантистокс (сСт).

Вязкость дистиллированной воды при 20,2 °С равна 1 сСт.

сующий нас показатель. Такой приём анализа влияния переменных факторов принято называть «системный подход».

В нашем случае кроме физико-химических свойств топлива на смесеобразование влияют и конструктивные особенности камеры сгорания, форсунки, вихревое движение рабочей смеси. Рассматривая только дизельное топливо, условимся пренебрегать влиянием конструктивных факторов и воспользуемся стилизованным изображением камеры сгорания и форсунки.

**Вязкость** дизельного топлива существенно влияет на качество распыления топлива в цилиндрах двигателя (рис. 4.1).

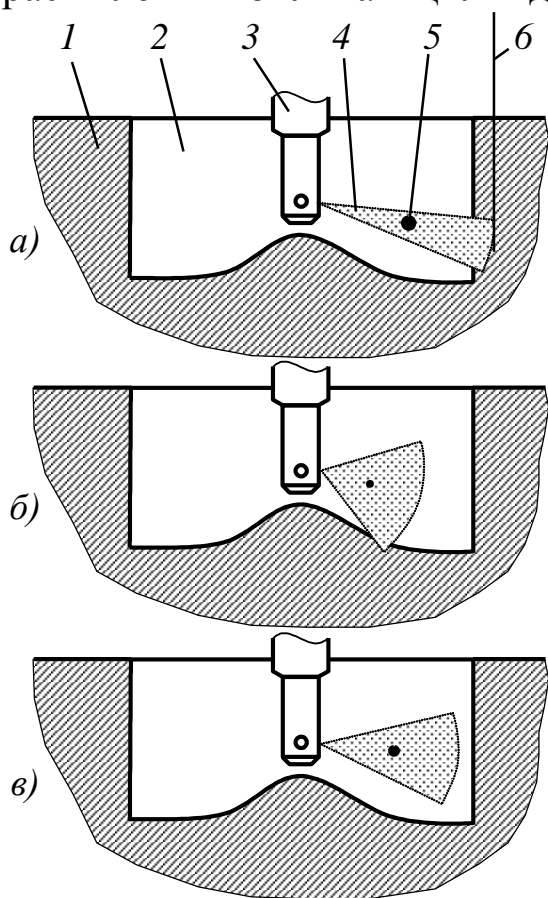


Рис. 4.1. Влияние вязкости на распыление топлива:

- а) – повышенная вязкость;  
 б) – недостаточная вязкость;  
 в) – нормальная вязкость:  
 1 – поршень; 2 – камера сгорания;  
 3 – форсунка; 4 – факел распыления;  
 5 – частица распыленного топлива;  
 6 – граница возможного распространения топлива

При повышенной вязкости топливо распыляется плохо, капли получаются крупные, факел распыляемого топлива имеет излишнюю дальнобойность и недостаточный угол распыления. Крупные частицы топлива не успевают испариться, поэтому сгорают плохо с образованием большого количества нагара и дымного выхлопа. Излишняя дальнобойность факела приводит к тому, что частицы топлива оседают на днище поршня, стенках камеры сгорания и цилиндре двигателя. Недостаточный угол распыления приводит к тому, что топливо по камере сгорания распределяется неравномерно; в центральной части камеры сгорания топлива много, а кислорода мало; по краям камеры сгорания топлива мало, а кислорода много.

При недостаточной вязкости топливо чрезмерно распыляется, капли получаются мелкие, факел распыляемого топлива имеет недостаточную дальнобойность и излишне большой угол распыления. Мелкие частицы испаряются быстро, имеют малую дальнобойность и концентрируются около форсунки; из-за недостатка кислорода часть

топлива не сгорает, появляется *дымный* выхлоп. В удаленных частях камеры сгорания, наоборот, топлива мало, а кислорода много. Недостаточная вязкость приводит к неоднородности рабочей смеси, ухудшению процесса сгорания, перегреву форсунок. Кроме того, нарушается дозировка топлива вследствие просачивания его между плунжером и цилиндром насоса высокого давления; ухудшается смазка его деталей, увеличивается износ насоса высокого давления. Происходит подтекание топлива через распылитель форсунки из-за просачивания его между запорной иглой и седлом клапана форсунки, закоксовываются отверстия форсунок.

Для равномерного распределения рабочей смеси по всей камере сгорания вязкость дизельного топлива регламентируется как максимальная, так и минимальная. Чем ниже температура, при которой предполагается использовать дизельное топливо, тем меньше должна быть его вязкость.

Высокая вязкость вследствие затруднения прокачиваемости дизельного топлива по системе питания и затруднения фильтрации может нарушить требование *бесперебойного поступления топлива в цилиндры двигателя*.

**Фракционный состав** определяет испаряемость дизельного топлива. Процесс испарения топлива происходит непосредственно в камере сгорания в условиях высокого давления (3,0–5,0 МПа), относительно высокой температуры 600–800 °С и за очень короткий промежуток времени.

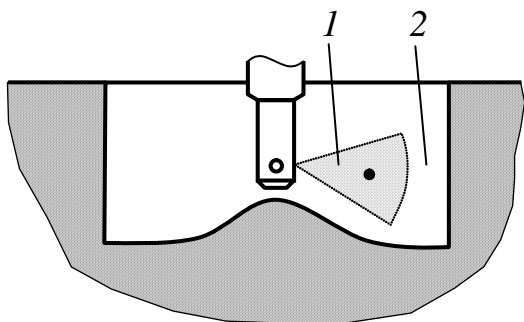


Рис. 4.2. Влияние испаряемости на смесеобразование:  
1 – зона избыточного количества топлива; 2 – зона избыточного количества воздуха

При *утяжелённом* фракционном составе вследствие плохой испаряемости рабочая смесь готовится с запаздыванием, не все топливо успевает испариться и сгореть, увеличивается дальнобойность струи, воспламенение происходит несвоевременно – всё это приводит к дымному выпуску, смыванию масла со стенок цилиндра, повышенному износу, увеличению отложений и нагара, снижению топливной экономичности.

При *облегченном* фракционном составе топливо способно быстро и полно испаряться недалеко от форсунки, в камере сгорания образуется неоднородная рабочая смесь (рис. 4.2).

Лёгкие фракции топлива плохо самовоспламеняются, в результате возникают трудности с пуском двигателя. После прогрева двигателя неоднородность рабочей смеси увеличивается, работа двигателя становится жёсткой, появляется дым в отработавших газах.

Дизельное топливо должно обладать оптимальной испаряемостью. В ГОСТах фракционный состав нормируется температурой выкипания 50 и 96 % топлива. Температура выкипания 50 % топлива характеризует его пусковые свойства, а температура выкипания 96 % свидетельствует о наличии в нём тяжёлых фракций, ухудшающих смесеобразование, экономичность и повышающих дымность и нагарообразование.

#### 4.2.3. Свойства дизельного топлива, влияющие на надёжный пуск и мягкую работу двигателя

Надёжный пуск и мягкая работа двигателя Дизеля зависят от склонности дизельного топлива к самовоспламенению.

**Самовоспламеняемостью** называется способность смеси паров дизельного топлива с воздухом воспламеняться без источника зажигания.

Первые порции топлива, попав в камеру сгорания, воспламеняются не сразу. Процессу самовоспламенения всегда предшествует *период задержки воспламенения*, т. е. время с момента начала подачи топлива до появления открытого пламени. В это время в камере сгорания происходят не только физическое распыление топлива, нагревание, испарение, смешивание его с воздухом, но и сложные химические процессы, связанные с беспламенным окислением топлива.

Главную роль в этих процессах играют химический состав, молекулярная масса и структура углеводородов, из которых состоит дизельное топливо.

Парафиновые углеводороды нормального строения, нежелательные в бензинах, так как вызывают детонацию, нужны в топливе для двигателя Дизеля. Трудноокисляемые парафиновые углеводороды изомерного строения и ароматические, желательные в бензинах, вредны в дизельных топливах, так как увеличивают задержку воспламенения и вызывают жёсткую работу двигателя.

В результате предпламенных реакций окисления выделяется 10–15 % энергии, заключённой в топливе. В камере сгорания двигателя Дизеля одновременно по всей внешней границе впрыскиваемого топлива появляются объёмные очаги самовоспламенения. Объёмное воспламенение дизельного топлива аналогично детонационному взрыву в карбюраторном двигателе. Внутри объёма самовоспламенения пламя распространяется с детонационной скоростью, т. е. со ско-

ростью более 2 тыс. м в секунду. От очага самовоспламенения пламя распространяется с нормальной скоростью, т. е. со скоростью нескольких десятков метров в секунду.

Оценить склонность дизельного топлива к самовоспламенению, т. е. замерить время задержки самовоспламенения в реальных единицах измерения времени очень сложно, поэтому для количественной оценки задержки самовоспламенения был предложен метод *цетанового числа*.

*Цетановое число* дизельного топлива определяют методом сравнительных испытаний работы стандартного эталонного одноцилиндрового двигателя Дизеля с переменной степенью сжатия, поочередно работающего на испытуемом и эталонном топливах.

Эталонную смесь составляют из двух углеводородов, один из которых легко воспламеняется, а второй – с трудом. В качестве легко воспламеняющегося компонента берут нормальный парафиновый углеводород цетан  $C_{16}H_{34}$ , склонность которого к самовоспламенению принимают за 100 условных единиц. В качестве трудновоспламеняющегося компонента берут ароматический углеводород альфаметилнафталин  $C_{10}H_7CH_3$ , склонность которого к самовоспламенению принимают за 0 условных единиц.

*Цетановым числом* называется условный показатель самовоспламеняемости дизельных топлив, равный процентному по объёму содержанию цетана в такой смеси его с альфаметилнафталином, которая равноценна испытуемому топливу по самовоспламеняемости.

На практике готовят два эталонных топлива с разницей в две цетановые единицы, одно из которых должно быть с большим цетановым числом, а другое – с меньшим по отношению к предполагаемому цетановому числу испытуемого топлива.

При работе эталонного двигателя на испытуемом топливе с углом опережения впрыска  $13^\circ$  после выведения двигателя на испытуемый режим работы (температура, нагрузка, обороты) подбирается такая степень сжатия, при которой топливо воспламеняется в тот момент, когда поршень двигателя находится в верхней мертвой точке. Затем, не останавливая двигатель и не меняя режим его работы, поочередно переводят работу двигателя на одну, а затем на другую эталонные смеси, при этом момент воспламенения топлива на одной из них должен наступить раньше, а на другой – позже верхней мёртвой точки.

Для нормальной работы двигателя надо, чтобы топливо воспламенялось в строго определённый момент, что вызовет энергичное, но

плавное нарастание давления, не превышающее 0,4–0,6 МПа на один градус поворота коленчатого вала. Открытое пламя в камере сгорания образуют только первые порции топлива (самовоспламенение), в дальнейшем от очагов самовоспламенения пламя будет распространяться одновременно с подачей топлива навстречу его впрыску. Такой режим носит название «*мягкая работа двигателя*», в этом случае не будет перегрузки его деталей, будет развиваться максимальная мощность, что обеспечит топливную экономичность.

На развернутой индикаторной диаграмме работы четырехтактного двигателя Дизеля (рис. 4.3) точкой  $a$  обозначено начало впрыска топлива, а точкой  $b_1$  – момент самовоспламенения, расстояние от точки  $a$  до точки  $b_1$  характеризует время задержки воспламенения  $\Delta t_1$ , при этом кривая  $1$  представляет нормальный мягкий режим работы.

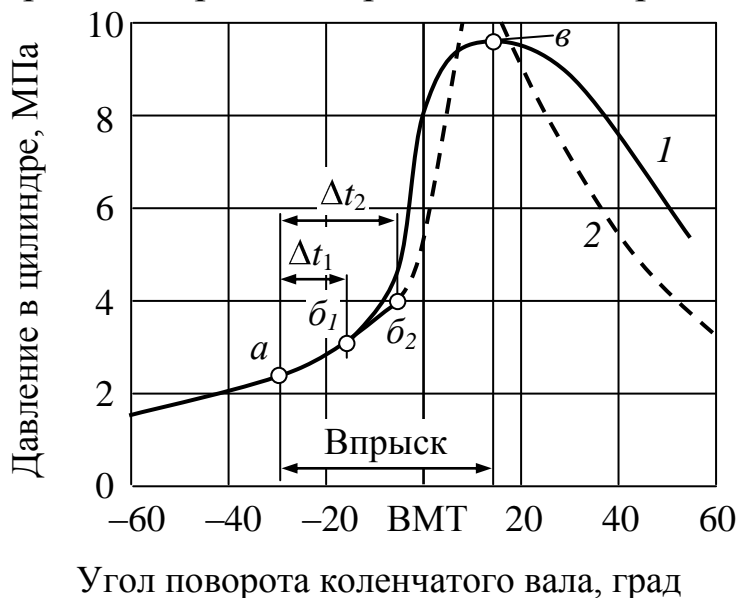


Рис. 4.3. Развернутая индикаторная диаграмма работы четырехтактного двигателя Дизеля:  $a$  – начало подачи топлива;  $b_1, b_2$  – момент самовоспламенения;  $в$  – конец подачи топлива;  $1$  – мягкая (нормальная) работа;  $2$  – жесткая работа

Точкой  $b_2$  обозначен момент воспламенения с большой задержкой  $\Delta t_1 < \Delta t_2$ . При этом кривая  $2$  представляет жесткий режим работы. Из графика видно, что, несмотря на более высокое максимальное давление при жесткой работе двигателя, мощность не увеличивается, так как среднеиндикаторное давление при этом снижается по сравнению с нормальной мягкой работой двигателя. Кривая  $1$  расположена выше кривой  $2$  в первый период горения в конце такта сжатия и на большей части такта расширения.

При большой задержке воспламенения и заниженном цетановом числе воспламенение топлива происходит с запаздыванием. За это время будет продолжаться подача топлива, а также будут увеличиваться давление и температура. К моменту самовоспламенения в камере сгорания в области многочисленных будущих очагов открытого пламени будет накоплено много топлива и перекисей, произой-



дёт близкое к детонации одновременное воспламенение всего накопленного топлива, резко повысится давление, будет слышен стук в двигателе. Такой характер горения, напоминающий работу карбюраторного двигателя с детонацией, носит название «жесткая работа двигателя». При этом детали двигателя работают с перегрузкой, возникает угроза повышенного износа или поломки двигателя; всё это происходит на фоне перерасхода топлива, снижения мощности и дымного выпуска.

При малой задержке воспламенения и завышенном цетановом числе воспламенение и горение происходят раньше времени около форсунки, топливо не успевает распространиться по камере сгорания, последующий впрыск топлива происходит в продукты горения предыдущей порции топлива. При этом наиболее удаленные от форсунки порции воздуха не в полной мере участвуют в процессе горения, экономичность двигателя снижается (см. рис. 4.2), происходит дымный выпуск отработавших газов.

Влияние цетанового числа на параметры двигателя Дизеля показано на рис. 4.4.

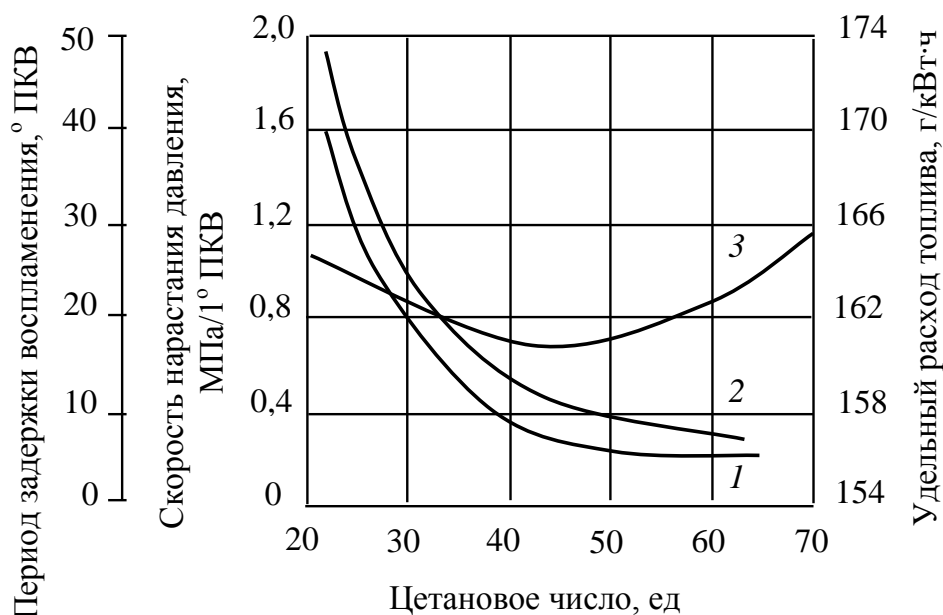


Рис. 4.4. Влияние цетанового числа на показатели работы двигателя Дизеля: 1 – период задержки воспламенения; 2 – скорость нарастания давления; 3 – удельный расход топлива

От величины цетанового числа зависят пусковые свойства дизельного топлива (рис. 4.5). При неизменных вязкости, фракционном составе, температурах помутнения и замерзания у топлива с более высоким цетановым числом лучшая самовоспламеняемость, пусковые возможности двигателя увеличиваются.

Для повышения пусковых возможностей в зимнее время в воздушный тракт двигателя Дизеля вводят несколько капель сернистого эфира  $(C_2H_5)_2O$ , обладающего высокой испаряемостью и самовоспламеняемостью.

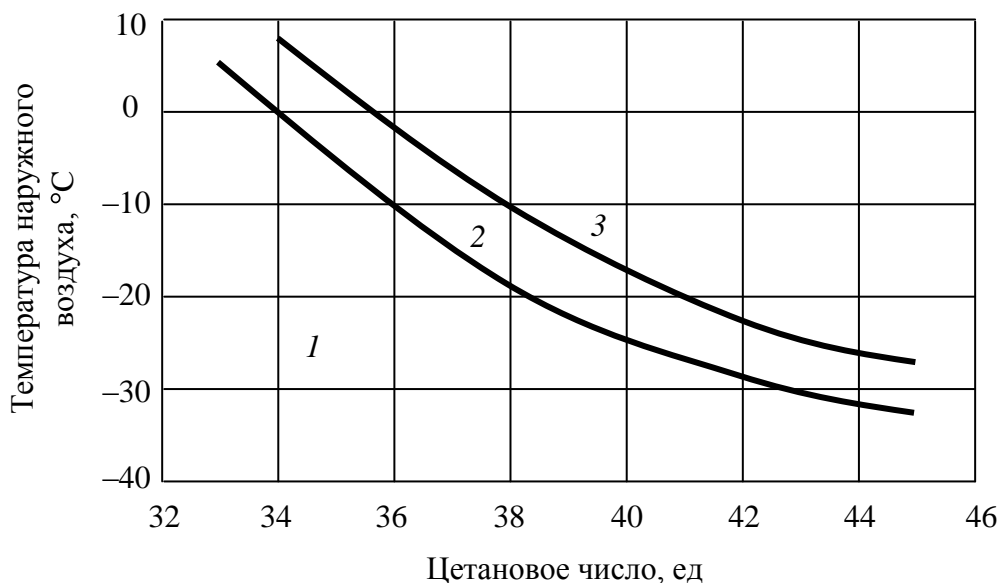


Рис. 4.5. Зависимость пусковых свойств двигателя от цетанового числа и температуры наружного воздуха:

*1* – зона невозможного пуска; *2* – зона трудного пуска; *3* – зона лёгкого пуска

Углеводороды, удовлетворяющие по температуре помутнения, замерзания, вязкости, испаряемости зимним и арктическим сортам дизельного топлива, как правило, имеют недостаточное цетановое число. В связи с этим возникает необходимость в применении специальных кислородсодержащих присадок, способных легко выделять из своего состава кислород.

#### 4.2.4. Свойства дизельного топлива, влияющие на окружающую среду, бездымную работу двигателя, образование нагара и отложений

Всё, что было сказано в разделе «Токсичность бензина и влияние продуктов его сгорания на окружающую среду», относится и к дизельным топливам. Однако токсичность отработавших газов двигателя Дизеля ниже, чем у карбюраторных за счёт меньшего содержания окиси углерода и несгоревших углеводородов. Токсичность автомобильных топлив зависит от их элементного, группового и фракционного составов. С утяжелением фракционного состава, увеличением количества гетероорганических соединений и ростом числа компонентов в смеси токсичность топлива увеличивается, однако основное токсичное воздействие на человека оказывают пары топлива,

поэтому, несмотря на более тяжёлый фракционный состав, дизельные топлива вследствие их меньшей испаряемости считают менее токсичными, чем бензин.

Одним из недостатков двигателя Дизеля является то, что при работе на высокомоощных режимах с коэффициентом избытка воздуха  $\alpha = 1,35$  их отработавшие газы содержат повышенное количество сажи, имеют неприятный запах, содержат вещества, имеющие раздражающие свойства, а также канцерогенные твёрдые частицы. Кроме того, на содержание дыма в отработанных газах двигателя влияют уже рассмотренные показатели физико-химических свойств дизельного топлива, такие как вязкость, фракционный состав и склонность дизельного топлива к самовоспламенению.

Перечисленные недостатки двигателя Дизеля могут быть уменьшены в результате создания двигателей более совершенной конструкции и путём применения топлива с антидымными добавками и присадками.

#### *4.2.5. Свойства дизельного топлива, влияющие на износ двигателя и детали топливной аппаратуры*

Дизельные топлива должны обладать минимальным коррозионным воздействием на металлы. Это требование предъявляется и к ранее рассмотренным автомобильным бензинам. Поэтому всё, что изложено в данном подразделе, относится и к дизельным топливам и должно учитываться при оценке их качества.

Дизельные топлива с суммарным содержанием серы не более 0,2 % не вызывают осложнений при работе двигателя, поэтому их можно применять без ограничения.

Однако при переработке сернистых нефтей эту норму выдержать, как правило, не удаётся. Поэтому общее содержание серы в топливах первого вида допускается не более 0,2 %, а в топливах второго вида оно не должно превышать 0,5 %. Содержание меркаптано-вой серы в обоих случаях не должно превышать 0,01 %. При применении топлива второго вида износы двигателя увеличиваются в 2–3 раза, увеличиваются затраты на обслуживание и ремонт двигателя и топливной аппаратуры. Поэтому применение топлива второго вида возможно только при условии, что в двигатель будет заправляться масло с присадкой, содержащей щелочной компонент.

Причинами образования нагара могут служить высокая вязкость и плохая испаряемость дизельного топлива. Склонность топлива образовывать нагар зависит от содержания в нём *фактических смол*.

Способность топлива к осмолению зависит от содержания в нём непредельных углеводородов.

Отложения, нагар как в камере сгорания, так и на клапанах, форсунках и других деталях нарушают работу двигателя, приводят к ухудшению его топливной экономичности, снижению мощности.

Количество непредельных углеводородов в дизельном топливе нормируется показателем под названием «йодное число». Йодное число – это количество грамм йода, израсходованного на соединение с непредельными углеводородами, находящимися в 100 мл топлива.

Склонность дизельного топлива к нагарообразованию и отложениям нормируется показателями под названием *коксуемость* и *зольность*.

**Коксуемость** выражается количеством процентов образовавшегося кокса после коксования навески топлива в специальном приборе. Однако топлива с одинаковой коксуемостью в реальном двигателе могут образовывать разное количество нагара и отложений.

**Зольность** дизельного топлива нормируется в процентах и косвенно характеризует склонность топлива к нагарообразованию и износу.

#### 4.2.6. *Свойства дизельного топлива, влияющие на его способность длительное время сохранять первоначальные качества*

Способность дизельного топлива длительное время сохранять первоначальные качества зависит от его физической и химической стабильности.

**Физическая стабильность** дизельных топлив по сравнению с бензинами достаточно велика и косвенно характеризуется температурами помутнения и замерзания.

**Химическая стабильность** дизельных топлив первого вида, т. е. с низким содержанием сернистых соединений, высокая. Поэтому они при длительном хранении (более пяти лет) практически не изменяют своих качеств. Существенное изменение первоначальных качеств может быть у топлив, содержащих значительное количество непредельных углеводородов-олефинов и меркаптанов (R-S-H). Окисление олефинов особенно энергично идёт при транспортировании, перекачивании и менее интенсивно при хранении; при этом изменяется показатель «содержание фактических смол». Фактические смолы на пути от топливного бака до цилиндра двигателя нарушают нормальную работу системы питания двигателя, осаждаются на форсунках, иглах распылителей форсунок и попадая в камеру сгорания, усиливают нагарообразование. Стандартами на дизельные топлива ограничивается содержа-

ние фактических смол в зимних и арктических марках не более 30, а в летнем не более 40 мг на 100 мл топлива, кроме того, нормируется йодное число. Йодное число, количественный показатель содержания непредельных углеводородов, характеризует одну из сторон химической стабильности нефтепродуктов. Йодное число не должно быть более 5 г йода на 100 г топлива любых марок.

Йодное число – это не только показатель химической стабильности, но и показатель свойства дизельного топлива, влияющего на износ двигателя и детали топливной аппаратуры.

*Меркаптаны* не только коррозионноактивные вещества, влияющие на износ двигателя и детали топливной аппаратуры, но и способные к химическим превращениям, в том числе и к реакциям окисления с образованием смол.

Качественный анализ «Испытание на медной пластинке» не обладает достаточной чувствительностью по отношению к меркаптанам, поэтому в ГОСТах на дизельные топлива и бензины введён дополнительный количественный показатель меркаптановой серы. Этот показатель показывает в процентах долю топлива, которая приходится на серу, имеющуюся в меркаптанах. Содержание меркаптановой серы в бензинах, как уже говорилось выше, не должно превышать 0,01 %.

### 4.3. Ассортимент дизельных топлив

Для автомобильных двигателей Дизеля выпускается три основные марки дизельного топлива – Л, З и А (табл. 4.1), которые рекомендуются к применению в зависимости от условий эксплуатации:

Л – летнее, для эксплуатации при температуре окружающего воздуха 0 °С и выше;

З – зимнее, с температурой застывания не выше –35 °С, для эксплуатации при температуре окружающего воздуха –20 °С и выше и с температурой застывания не выше –45 °С для эксплуатации при температуре окружающего воздуха –30 °С и выше;

А – арктическое для эксплуатации при температуре окружающего воздуха –50 °С и выше.

По содержанию серы дизельные топлива подразделяются на два вида:

I – массовая доля серы не более 0,2 %;

II – массовая доля серы не более 0,5 % (для марки А – не более 0,4 %).

*Топлива вида I* выпускаются двух сортов: высшего и первого.

В условное обозначение топлив всех марок входит массовая доля серы, а для топлива марки Л – и температура вспышки, для топлив

ва марки 3 – температура застывания. В обозначении топлив вида I в конце указывается сорт – первый или высший.

Таблица 4.1

Дизельные топлива

Показатель	ГОСТ 305-82			ТУ 38.001355-86
	Л	3	А	ДТ УФС
1	2	3	4	5
Цетановое число, не менее	45	45	45	45
Показатели фракционного состава:				
50 % перегоняется при температуре, °С, не выше	280	280	255	290
96 % перегоняется при температуре (конец перегонки), °С, не выше	360	340	330	До 360 °С перегоняется не менее 96 % (по объёму)
Кинетическая вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	3,0–6,0	1,8–5,0	1,5–4,0	3,0–6,5
Температура застывания, °С, не выше для климатического района:				
Умеренного	–10	–35	---	---
Холодного	---	–45	–55	---
Температура помутнения, °С, не выше для климатического района:				
Умеренного	–5	–25	---	5
Холодного	---	–35	–45	---
Температура вспышки, определённая в закрытом тигле, °С, не ниже	40	35	30	40
Массовая доля серы, %, не более, в топливе вида:				
I	0,2	0,2	0,2	0,2
II	0,5	0,5	0,4	0,5
Концентрация фактических смол, мг/100 см <sup>3</sup> топлива, не более	40	30	30	40
Коксуемость 10 % остатка, %, не более	0,20	0,30	0,30	Не регламентируется
Коэффициент фильтруемости, не более	3	3	3	То же
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup> , не более	860	840	830	860

Примеры обозначений:

Топливо дизельное Л-0,2-40 первый сорт ГОСТ 305–82.

Топливо дизельное Л-0,5-40 ГОСТ 305–82. (Л – летнее; 0,2 или 0,5 – массовая доля серы, %; 40 – температура вспышки, °С).

Топливо дизельное З-0,2 минус 35 высший сорт ГОСТ 305–82.

Топливо дизельное З-0,5 минус 45 ГОСТ 305–82.

Здесь З – зимнее; 0,2 или 0,5 – массовая доля серы %; минус 35 или минус 45 – температура застывания, °С.

Топливо дизельное А-0,2 первый сорт ГОСТ 305–82.

Топливо дизельное А-0,4 ГОСТ 305–82.

Здесь А – арктическое; 0,2 или 0,4 – массовая доля серы, %.

Примечание. Дизельное топливо марок Л, З, А высшего сорта выпускается со следующими показателями: массовая доля серы не более 0,2 %; концентрация фактических смол не более 25 мг/100 см<sup>3</sup> топлива; йодное число не более 5 г йода на 100 г топлива; зольность не более 0,008 %; коксуемость для топлива Л – не более 0,20 %, для З и А – не более 0,30; коэффициент фильтруемости не более 2.

ДТ УФС – дизельное топливо утяжелённого фракционного состава. В отличие от стандартного имеет более высокую температуру конца кипения и температуру перегонки 50 % объёма; предназначено для применения в летний период при температуре +5 °С и выше.

## 5. Топливо для двигателей газобаллонных автомобилей

### 5.1. Состав и свойства газообразных топлив

Кроме автомобилей, работающих на жидких топливах (бензине и дизельном), есть автомобили, двигатели которых работают на газообразных топливах. Сырьём для производства газообразных топлив могут служить горючие природные газы, добываемые из газовых и нефтяных месторождений. Кроме того, газообразные топлива получают из промышленных газов при переработке нефти, твёрдых горючих ископаемых (коксовый газ) и газов, получаемых при переработке растительных веществ и биомасс, в том числе и городского газа. Городской или канализационный газ является продуктом переработки сточных вод городских канализационных систем.

Основным компонентом этих топлив являются углеводороды с числом атомов углерода в молекуле от 1 до 4 (табл. 5.1).

Углеводороды с двумя двойными связями (бутадиен) или одной тройной связью (ацетилен и его производные) в составе газовых автомобильных топлив практически не применяются. В природных газах газовых месторождений и в попутных газах нефтяных месторождений содержатся предельные углеводороды только парафинового ряда; олефиновые углеводороды практически отсутствуют.

**Природные газы** из газовых месторождений почти целиком состоят из метана ( $\text{CH}_4$ ) от 82 до 98 % с небольшой примесью 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 %.

**Попутные газы** нефтяных месторождений в основном состоят из метана от 40 до 85 %, а пропан и бутан в больших количествах до 20 % каждый.

**Промышленные газы** имеют более разнообразный состав. Они содержат как предельные парафиновые, так и олефиновые углеводороды. Количество и строение этих углеводородов всецело зависят от сырья и технологического процесса на перерабатывающих предприятиях.

Таблица 5.1

Углеводороды газообразных топлив и их свойства

Наименование углеводородов	Химическая	Молекулярная	Плотность по	Критическая	Температура	Октановое число	
						по моторному методу	по исследовательскому методу
Метан	$\text{CH}_4$	16,04	0,554	-82,1	-161	104,0	---
Этан	$\text{C}_2\text{H}_6$	30,05	1,038	32,3	-94	99,5	116,3
Пропан	$\text{C}_3\text{H}_8$	44,06	1,523	95,7	-44	96,3	111,9
Бутан	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	58,08	2,007	152,8	-0,5	90,1	95,8
Изобутан	$\text{C}_4\text{H}_{10}$	58,08	2,007	134,0	-10	98,0	102,1
Этилен	$\text{C}_2\text{H}_4$	28,05	0,968	10	-104	91,0	106,3
Пропилен	$\text{C}_3\text{H}_6$	42,08	1,453	91,6	-47	84,9	102,6
Бутилен	$\text{C}_4\text{H}_8$	56,10	1,937	144,0	-5	80	91,4
Изобутилен	$\text{C}_4\text{H}_8$	56,10	1,937	143,3	-6	88,0	101,0

В зависимости от *физических* свойств углеводородов газообразные топлива условно делятся на две группы: *сжатые* и *сжиженные* газы. С учётом этого на автомобилях применяются баллоны и топливная аппаратура разной конструкции.

**Критическая температура** (табл. 5.1) – это минимальная температура, выше которой углеводороды при любом давлении не могут быть переведены в жидкое состояние.

**Температура кипения** – это температура, при которой давление пара над плоской поверхностью жидкости становится равным внешнему давлению и начинается кипение. При нормальном атмосферном давлении (101325 Па, или 760 мм рт. ст.) температура кипения называется нормальной температурой кипения или точкой кипения.



**Сжатые газы** – это автомобильные газовые топлива, критическая температура которых ниже обычных температур эксплуатации автомобилей.

**Сжиженные газы** (под определённым давлением) – это горючие газы, критическая температура которых выше или равна обычным температурам эксплуатации автомобилей.

**Преимущества газового топлива.** Применение газового топлива на автомобильном транспорте расширяет топливные ресурсы страны. Газовое топливо особенно выгодно применять в районах добычи и получения газа, а также в районах пролегания трубопроводов. Это позволяет высвободить часть транспорта от перевозки жидкого топлива, что сократит затраты на газовое топливо для автомобильного транспорта более чем в 2 раза. Себестоимость перевозок при работе автомобильного транспорта на газовом топливе будет ниже в сравнении с работой его на бензине. Эффективность применения газового топлива будет выше при увеличении масштабов применения и совершенствовании конструкции газобаллонной аппаратуры. Помимо более низкой стоимости газового топлива в сравнении с жидким автомобильным, работающий на газе, будет обладать рядом других преимуществ.

Прежде всего это топливо более полно сгорает в цилиндрах двигателя, и отработавшие газы намного меньше загрязняют окружающее пространство ядовитыми и дурнопахнущими веществами. В отработавших газах снижается содержание окиси углерода (СО) в 3–4 раза, окислов азота ( $\text{NO}_x$ ) в 1,2–2 раза, углеводородов (СН) в 1,1–1,4 раза и в 5–7 раз соединений серы.

Газовое топливо не смывает масло со стенок цилиндров, не разжижает его в картере, не ухудшает условий смазки двигателя. Поэтому износы двигателей, работающих на газе, ниже, чем двигателей, работающих на жидком топливе. Ресурс двигателя, работающего на газе, увеличивается в 1,25–2 раза, в 2–3 раза увеличивается ресурс свечей зажигания, в 2–4 раза – срок службы масла; одновременно на 30–40 % снижается его расход на угар.

**Недостатком газового топлива** является необходимость сохранить на автомобиле традиционную систему питания двигателя. Универсальность устраняет простои автомобиля и даёт возможность работать на том или ином виде топлива в зависимости от его наличия. В то же время универсальность приводит к усложнению и удорожанию конструкции, технического обслуживания, ремонта, кроме того, вызывает необходимость соблюдения дополнительных мер безопас-

ности. Всё это приводит к неполному использованию преимуществ газового топлива.

Газовая система питания двигателя утяжеляет конструкцию автомобиля. Для заправки газобаллонных автомобилей требуется строительство дорогих газонаполнительных станций. Пуск двигателя зимой затруднён из-за более высокой температуры воспламенения топливозвоздушной смеси, а также меньшей скорости распространения пламени. В момент пуска усложняется обогащение рабочей смеси.

Мощность конвертированного – универсального двигателя снижается на 3–4 % при работе на сжиженном газе и на 9–15 % при работе на сжатом газовом топливе. Одновременно возрастает на 8–12 % средний эксплуатационный расход топлива.

В специально спроектированных двигателях для работы на газовых топливах можно реализовать такие положительные качества газового топлива, как высокая детонационная стойкость и способность устойчиво работать на бедных смесях. В таких двигателях становится возможным использовать турбонаддув. Литровая мощность таких двигателей может быть увеличена на 15–25 %, а удельный расход топлива уменьшен на 10–12 % по сравнению с бензиновым прототипом.

## 5.2. Сжатые газовые топлива

Сжатые газовые автомобильные топлива получают из природного газа, основным компонентом которого является метан. Метан наиболее лёгкий из углеводородов и представляет собой газ без цвета и запаха. Метан легче воздуха, поэтому при утечках в помещениях скапливается под потолком, имеет высокую детонационную стойкость, равную 104 октановым моторным единицам.

Для создания необходимого запаса сжатые газообразные топлива хранятся на автомобиле в баллонах под давлением до 20 МПа. С этой же целью используют только высоко- или среднекалорийные газы. Однако и при этих условиях запас хода автомобиля, работающего на сжатом газе, не превышает 200–250 км, что в 2 раза ниже, чем у автомобилей, работающих на бензине. Использование газа под большим давлением требует применения тяжёлых, высокопрочных баллонов из высококачественных сталей. Масса одного баллона объёмом 50 л, в который входит  $10 \text{ м}^3$  газа при атмосферном давлении, составляет: из углеродистой стали 70 кг, а из легированной 50 кг. Поэтому полезная грузоподъемность автомобиля снижается на 14–16 % по сравнению с базовой моделью. Теплотворная способ-

ность газозвушной смеси ниже бензовоздушной, из-за чего мощность двигателя, работающего на сжатом газе, снижается на 18–20 %.

Эффективность применения газобаллонных автомобилей, работающих на сжатом газе, может возрасти в результате применения двигателей с повышенной степенью сжатия, улучшения наполнения цилиндров рабочей смесью за счёт применения впускного трубопровода увеличенного сечения и без подогрева, а также увеличения проходного сечения впускных клапанов. Масса баллонов может быть уменьшена за счёт применения высококачественных легированных сталей, титана, лёгких сплавов и композиционных пластмасс, упроченных оплёткой из высокопрочных материалов.

Деление газов на сжатые и сжиженные условно, так как и сжатые газы при глубоком охлаждении можно перевести в жидкое состояние.

В начале 80-х годов XX века для автомобилей ЗИЛ и ГАЗ были разработаны и находились в опытной эксплуатации *криогенные накопители* – 160-литровые топливные баки с вакуумной термоизоляцией, в которых жидкий метан при температуре  $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$  хранился при давлении 0,15 МПа до 5 суток практически без потерь. Эти работы имеют большое перспективное значение, так как позволяют накопить опыт и создать производственную базу криогенной техники для последующего использования этого опыта при работе на сжиженном *водороде*.

Стоимость криогенных топливных баков высокая, почти соизмерима со стоимостью автомобиля. Поэтому для некоторых категорий транспортных средств (автобусов, такси), для которых время стоянки с выключенным двигателем ограничено, можно подобрать такую термоизоляцию, при которой испарение жидкого метана за счёт подвода тепла от окружающей среды будет меньше или соответствовать расходу его двигателем.

Такие накопители будут значительно проще, дешевле и надежнее в эксплуатации. Заправка таких автомобилей топливом может осуществляться периодически перед началом рабочей смены или по мере необходимости от передвижного заправщика. Применение городских автобусов или сельскохозяйственной техники с такими системами хранения жидкого метана позволит значительно расширить область применения природного газа.

### 5.2.1. Ассортимент природных газовых топлив

ГОСТ 27577–87 регламентирует сжатый топливный природный газ для газобаллонных автомобилей одного сорта без указания марки

(табл. 5.2). Выпускается также сжатый природный газ марок А и Б по ТУ 51-16.6–83, предназначенный для применения в качестве топлива для газобаллонных автомобилей. Содержание метана по объёму в газе марки А составляет  $(95\pm 5)\%$ , а марки Б  $(90\pm 5)\%$ .

Таблица 5.2

Сжатый природный газ

Показатели	ГОСТ 27577–87	ТУ 51-16.6–83	
		А	Б
Низшая теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>	32,6–36,0	33,8	33,6
Плотность по отношению к воздуху, кг/м <sup>3</sup>	0,56–0,62	0,586	0,611
Октановое число по моторному методу	104	103,0	102,3
Концентрация сероводорода, г/м <sup>3</sup> , не более	0,02	0,02	0,02
Концентрация меркаптановой серы, г/м <sup>3</sup> , не более	0,036	0,016	0,016
Масса механических примесей, г/м <sup>3</sup> , не более	0,001	0,001	0,001
Суммарная объёмная доля негорючих компонентов, включая кислород, %, не более	7,0	0–4	4–7
Содержание воды, г/м <sup>3</sup>	0,009	0,009	0,009

Избыточное давление сжатого природного газа в момент окончания заправки баллона должно быть 19,0–19,6 МПа. Температура газа, заправляемого в баллон, должна быть не выше +40 °С при температуре окружающего воздуха выше +35 °С. Температура заправляемого газа должна быть не более чем на 5 °С выше температуры воздуха.

Давление газа в баллонах определяют после окончания каждой заправки автомобиля с помощью манометров класса точности не ниже 2,5. Температуру сжатого природного газа при заправке определяют по требованию потребителя.

Метод измерения количества отпускаемого газа должен обеспечивать измерение с относительной погрешностью не более  $\pm 5\%$ .

Сжатый природный газ относится к группе веществ, способных образовывать с воздухом взрывоопасные смеси. Взрывоопасная концентрация воспламенения смеси метана с воздухом (по объёму): нижний предел – 5 %, верхний предел – 15 %.

### 5.3. Сжиженные газовые топлива

Газы, способные к сжижению в условиях реальных температур эксплуатации автомобилей, получают в процессе прямой перегонки нефти и в виде побочного продукта при деструктивной переработке продуктов прямой перегонки. При деструктивной переработке керо-

синовых, газойлевых и соляровых фракций газовая компонента составляет примерно 30 % от выхода бензина.

К сжиженным газовым автомобильным топливам относятся газы, имеющие относительно высокую критическую температуру и состоящие в основном из фракций пропана ( $C_3H_8$ ) и бутана ( $C_4H_{10}$ ) с примесями этилена, пропилена, бутилена. В смесях этих газов в небольших количествах могут содержаться пропен, бутен, изобутен и изобутан. При нормальном атмосферном давлении и температуре выше  $0\text{ }^\circ\text{C}$  эти газы находятся в газообразном состоянии, но при сравнительно небольшом повышении давления (до  $0,8\text{--}1,6$  МПа) и обычной температуре они переходят в легкоиспаряющуюся жидкость.

Энергетические качества газозудушной смеси незначительно уступают бензовоздушной смеси, поэтому при переводе двигателя с бензина на газ его мощность снижается, но не более чем на 3–4 %.

Физико-химические свойства основных сжижаемых газов пропана, бутана и бензина приведены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Сравнительные характеристики пропана, бутана и бензина

Параметры	Пропан	Бутан	Бензин
Химическая формула	$C_3H_8$	$C_4H_{10}$	среднее $C_8H_{18}$
Молекулярная масса	44	58	114
Плотность жидкой фазы при температуре $15\text{ }^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении, кг/л	0,51	0,58	0,73
Температура кипения при атмосферном давлении, $^\circ\text{C}$	–42	–0,5	не ниже 35
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	46		
Пределы воспламеняемости в смеси с воздухом при нормальных атмосферных условиях, % объёма:			
нижний	2,4	1,8	1,5
верхний	9,5	8,5	6,0
Октановое число	110	95	92
Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания 1 кг топлива, кг	15,8	15,6	14,7

Сжиженные газы обладают большим коэффициентом объёмного расширения. Поэтому для исключения чрезмерного увеличения давления в топливном баллоне при его заполнении объём паровой подушки должен быть не менее 10 % от полного объёма баллона. Давление насыщенных паров паровой подушки зависит от температуры наружного воздуха и состава смеси необходимой пропорции.

Давление насыщенных паров бутана составляет 0,1 МПа при 0 °С и 0,17 МПа при 15 °С (кривая 1), а давление насыщенных паров пропана при этих же температурах соответственно равно 0,56 и 0,9 МПа (кривая 2). Область возможного давления насыщенных паров заключена между кривыми 1 и 2.

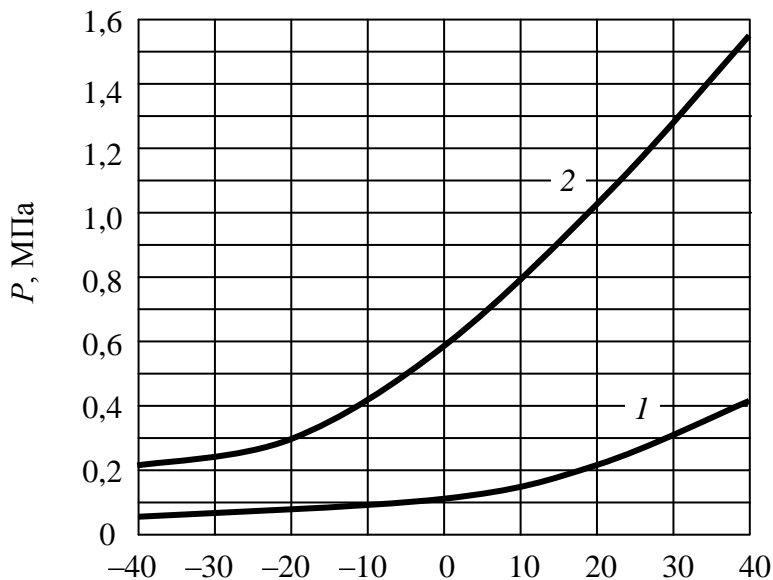


Рис. 5.1. Зависимость давления  $P$  насыщенных паров пропана и бутана от температуры:  
1 — кривая бутана; 2 — кривая пропана

Пропан перестаёт переходить в газ и остаётся в жидком состоянии при температуре ниже  $-42$  °С, а для бутана эта температура равна  $-0,5$  °С. Поэтому в смесях пропана и бутана, предназначенных для применения в качестве автомобильного топлива в зимних условиях, для лучшей испаряемости должен преобладать пропан.

Подача сжиженного газа из баллона в смеситель карбюратора осуществляется под давлением паров газа в паровой подушке. Для того чтобы газовые баллоны и газовая аппаратура имели небольшую массу, давление насыщенных паров должно быть минимальным, но достаточным для надёжной подачи топлива. На практике такое давление должно быть не менее 0,1 МПа. Для запуска холодного двигателя парообразное топливо берётся из верхней части баллона. После прогрева двигателя питание переключается на жидкую фазу и топливо подаётся в редуктор-испаритель. Постоянно работать на паровой подушке нельзя из-за недостаточной испаряемости топлива даже летом, так как испарение ведёт к понижению температуры сжиженного газа и падению давления в баллоне до уровня, не обеспечивающего подачу газа в смеситель карбюратора. Кроме того, постоянная работа на паровой подушке приведёт к тому, что пропановая составляющая

газовой смеси будет уменьшаться быстрее, что в конце концов может привести к тому, что в баллоне останется один бутан.

Эффективным способом повышения удельных показателей двигателей, работающих на сжиженных газах, является непосредственный впрыск сжиженного газа на впускной клапан или во внутренний объём цилиндра. Это позволяет использовать теплоту испарения сжиженного газа для понижения температуры рабочей смеси и увеличения массового заряда цилиндра. Снижение температуры заряда цилиндра позволяет дополнительно повысить степень сжатия двигателя. В этом случае литровая мощность может возрасти в среднем на 30 %, а топливная экономичность на 20 %.

Сжиженный газ обладает способностью растворять жир, масло и краску, он также деформирует резину. Поэтому в трубопроводах низкого давления резиновые шланги выполнены из бензостойкой резины или синтетических материалов.

Некоторую опасность представляет собой сжиженный газ, попавший на тело человека. Под действием быстроиспаряющегося газа на теле может возникнуть обморожение.

### *5.3.1. Ассортимент сжиженных газовых топлив*

Для газобаллонных автомобилей, работающих на сжиженном газе, ГОСТ 20448–80 предусматривает выпуск двух марок газов: СПБТЗ (смесь пропана и бутана техническая зимняя) и СПБТЛ (смесь пропана и бутана техническая летняя). По ГОСТ 27578–87 предусмотрен выпуск топлива ПА (пропан автомобильный) и ПБА (пропан-бутан автомобильный). Компонентный состав этих газовых топлив приведён в табл. 5.4.

Газ марки ПА применяется в зимний период в тех климатических районах, где температура воздуха опускается ниже 0 °С. Рекомендуемый температурный интервал применения ПА – от –20 до –35 °С. Допускается применение этого газа при температуре не выше +10 °С.

Газ марки ПБА применяется во всех климатических зонах при температуре воздуха не ниже –20 °С.

Газ СПБТЛ предназначен для применения во всех районах в летний период с 1 апреля по 1 октября, за исключением северных и северо-восточных районов, где этот газ должен применяться с 1 июня по 1 октября. В зимний период газ СПБТЗ предназначен для применения с 1 октября по 1 апреля во всех районах и с 1 октября по 1 июня в холодной зоне.

## Сжиженные газы

Показатель	ГОСТ 27578		ГОСТ 20448–80			
	ПА	ПБА	СПБТЗ		СПБТЛ	
			высший сорт	первый сорт	высший сорт	первый сорт
Массовая доля компонентов, %:						
сумма метана, этана и этилена, не более	НР	НР	4	4	5,5	6
пропан	90±10	50±10	не менее 75 %	не менее 75 %	НР	НР
сумма бутанов и бутиленов, не более	НР	НР	НР	НР	60	60
сумма непредельных углеводородов, не более	6	6	НР	НР	НР	НР
Объёмная доля жидкого остатка при +20 °С, %, не более	НР	НР	0,7	1	1,6	2
Избыточное давление насыщенных паров, МПа, при:						
+45 °С, не более	НР	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
–20 °С	НР	0,07	0,16	0,16	НР	НР
–35 °С	0,07	НР	НР	НР	НР	НР
Массовая доля серы и сернистых соединений, %, не более	0,01	0,01	0,013	0,015	0,013	0,015
В том числе сероводорода, не более	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003	0,003

Примечание. При массовой доле меркаптановой серы менее 0,001 % сжиженные газы должны быть одорированы.

## 6. Перспективные виды топлива для автомобилей

### 6.1. Топливо-энергетические ресурсы земли

Обобщающим показателем, оценивающим развитость общества на земле и в отдельных её регионах, является потребление энергии.

В настоящее время потребление энергии на земном шаре достигло громадных объёмов. Оно оценивается приблизительно в 10,8–11,1 млрд т нефтяного эквивалента в год. Соответственно потребление нефти достигло 3,5–3,8 млрд т нефти в год. Примерные запасы нефти в мире оцениваются в 91,5 млрд т. Хотя за последние десятилетия были открыты новые и сделаны переоценки старых место-



рождений, запасы нефти на земном шаре конечны, и полагают, что при сложившихся темпах потребления её хватит на 30–75 лет.

Поэтому последующие годы станут годами перестройки топливно-энергетических балансов развитых стран, что будет означать вытеснение нефти природным газом, углём, гидравлической и атомной энергией, возобновляемыми и нетрадиционными источниками.

Запасов природного газа на земле хватит примерно на 250–300, а угля на 600–700 лет. При этом использование угля приводит к значительным и порой невосполнимым нарушениям экологического равновесия как на месте добычи, так и на месте потребления.

Бытовало мнение, что XXI век будет веком атомной и термо-ядерной энергетики, особенно в районах с высокой плотностью населения, как экологически наиболее чистой. Примером такого подхода может служить Франция, где приблизительно 80 % электроэнергии вырабатывается атомными электростанциями (АЭС), что составляет примерно 30–35 % установленной мощности всех атомных электростанций в мире. Авария в Чернобыле на некоторое время изменила отношение человечества к атомной энергетике. Шоковое состояние уже прошло, и человечество вынуждено в разумных пределах вернуться к атомной энергетике.

Однако заменить нефть и извлекаемые из неё жидкие и сжижаемые углеводороды другими энергоносителями удастся далеко не везде и особенно на автомобильном транспорте. Нужно иметь в виду, что нефть – незаменимое сырьё для химической промышленности, и потребности её в этой отрасли соизмеримы с потреблением нефтепродуктов на автомобильном транспорте.

В настоящее время для двигателей внутреннего сгорания широко используют шесть видов топлива: бензин, дизельное топливо, сжиженный газ, спиртовое (метанол, этанол), составное (бензин с добавкой спирта и спирт с добавкой бензина), сжатый природный газ.

К настоящему времени известны ещё четыре возможных автомобильных топлива: синтетическое жидкое топливо (СЖТ), водородное, азотоводородное (аммиак и гидразин), а также природный газ и водород в криогенном состоянии. Отношение к перспективным видам автомобильного топлива не одинаково. В одних случаях подобные виды топлива уже применялись, как например СЖТ, синтетические спирты, но были вытеснены более дешёвыми технологичными бензинами и дизельными топливами, в других случаях решение проблемы находится в стадии успешных экспериментов, на уровне изысканий и предпо-

жений, а в ряде случаев на этапах научных споров и при отсутствии единого мнения.

Основные требования к перспективным автомобильным топливам те же, что и к традиционным: новые виды топлив не должны вызывать коренного изменения конструкции двигателя, топливной аппаратуры, достаточно длительного хранения на борту автомобиля; технико-экономические показатели работы транспортного средства должны изменяться незначительно.

## 6.2. Сравнительные оценки видов топлива

Существующие и перспективные автомобильные топлива сравниваются как с точки зрения экологической безопасности, ресурсов, так и энергетической, экономической эффективности. При этом бензины, дизельное топливо, сжатые и сжиженные газы в этом разделе сравниваться не будут, так как эти виды топлив были рассмотрены выше.

### 6.2.1. Спиртовые топлива

На автомобильном транспорте спирты рассматриваются как одно из перспективных ближайших альтернативных топлив. Практическое применение имеют метиловый – «метанол» и этиловый – «этанол» спирты.

**Метанол** ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) в настоящее время становится одним из наиболее выгодных видов топлива как с позиции производства, так и экологии. Метанол можно получать из природного газа, угля, древесины, биомассы. Земной шар располагает достаточными запасами этого сырья, часть из них относится к группе возобновляемых ресурсов.

При производстве метанола выделяется большое количество  $\text{CO}_2$ , что нежелательно из-за «парникового эффекта». Метанол легко смешивается с водой, что может вызвать неприятности при его использовании. Пламя при сгорании метанола почти невидимо. Теплосодержание метанола на 50 % меньше, чем у бензина, следовательно, почти вдвое больше его расход. Для сохранения пробега на одной заправке топливный бак автомобиля должен быть вдвое больше, чем у серийного автомобиля. Высокая внутренняя теплота парообразования существенно облегчает задачу охлаждения двигателя. Метанол токсичен и ядовит. Температура кипения метанола  $64\text{ }^\circ\text{C}$ , что значительно выше температуры кипения лёгких фракций зимнего бензина. Запуск двигателя на метаноле при температуре воздуха ниже  $-16\text{ }^\circ\text{C}$  затруднён.

Существенное улучшение физико-химических и эксплуатационных свойств метилового спирта можно получить, применяя его

в *составном* топливе с добавкой лёгких фракций бензина в соотношении 85 : 15. Составное топливо в США получило распространение и называется М-85. Такая добавка бензина к метанолу позволяет осуществлять запуск холодного двигателя при температуре до  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в совокупности с совершенными системами топливоподачи и зажигания до  $-29\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Октановое число метанола  $\sim 110$  по исследовательскому методу, у составного топлива с добавкой бензина оно снизится до  $\sim 102$ , что значительно выше реально применяемых бензинов. Спиртовое и составное топлива позволяют увеличить степень сжатия, что улучшит топливную экономичность двигателя с одновременным увеличением его мощности до 7 %. Топливо М-85 горит с видимым пламенем. В отработавших газах автомобилей, работающих на спиртовом и составном топливе, хотя и образуются  $\text{CO}$ ,  $\text{CH}$ ,  $\text{NO}_x$ , но в значительно меньших количествах, и они менее активны с точки зрения образования смога. Всё это позволяет считать метанол и составное топливо на его основе достаточно экологически чистым топливом. Считается, что при сгорании метанола образуется в 10 раз больше формальдегида, оказывающего раздражающее действие на глаза и дыхательные пути. Есть предположение, что он канцерогенен.

Препятствием для широкого использования метанола является его высокая токсичность. Метанол – это яд, действующий на нервную и сосудистую системы. Отравления возможны при вдыхании паров, воздействии жидкости на кожу и при попадании в пищевой тракт (по запаху метанол напоминает питьевой спирт). Смертельная доза – 30 мл, а попадание в организм свыше 10 мл может окончиться тяжёлым отравлением с неизлечимыми последствиями. Предельно допустимая концентрация (ПДК) паров метанола в воздухе  $5\text{ мг/м}^3$ , а для бензина  $100\text{ мг/м}^3$ . Для уменьшения степени вреда, причиняемого метанолом в качестве автомобильного топлива, необходимо изменение системы питания автомобиля.

При эндотермическом разложении метанола ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) можно получить смесь газов ( $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$ ), теплота сгорания которых на 20 % выше, чем у жидкого метанола. На автомобильном бортовом реакторе в присутствии катализатора (меди, цинка, никеля, палладия, платины) при температуре  $220\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$  возможно протекание реакции  $\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$ .

Внешний подвод необходимого количества тепла возможен от отработавших газов двигателя. Возможна работа автомобиля на смеси

жидкого метанола и газа, полученного при его разложении. Конструкция бортового реактора в этом случае несколько упрощается.

**Этанол**  $C_2H_5OH$  имеет много сходства с метанолом (табл. 6.1). Высокое октановое число ( $OЧ_{и} = 100$ ), поглощает влагу, имеет близкий уровень токсичности отработавших газов; при его производстве также выделяется большое количество  $CO_2$ . Теплосодержание его выше, чем у метанола, но меньше на 34 %, чем у бензина.

Таблица 6.1

Физико-химические и эксплуатационные показатели метанола и этанола

Показатели	Метанол	Этанол
Плотность при 20 °С, кг/м <sup>3</sup>	795	789
Вязкость при 20 °С, мм <sup>2</sup> /с	0,55	1,76
Температура, °С:		
кристаллизации	-98	-115
кипения	65	78
самовоспламенения	464	432
Теплоёмкость при 20 °С, кДж/кг)	2,51	2,43
Стехиометрическое количество воздуха, (кг воздуха)/(кг топлива)	6,5	9,0
Теплота парообразования, кДж/кг	1100	900

Этанол получают из возобновляемых природных ресурсов – кукурузы, сахарного тростника и др. Для многих государств получение этанола, как автомобильного топлива, неприемлемо из-за низкой урожайности и больших площадей, изымаемых из продуктового оборота. Более реально получение гидролизного этилового спирта из отходов древесины.

Температура кипения этанола 78 °С, проблемы с запуском двигателя могут появиться уже при 0 °С. Добавка к этанолу 15 % бензина позволяет сделать летний вид составного автомобильного топлива. В США подобное топливо получило широкое распространение и называется Е-85.

Этанол менее токсичен, чем метанол. Предельно допустимая концентрация его в воздухе 1000 мг/м<sup>3</sup>. Препятствием для массового применения этилового спирта в качестве автомобильного топлива является наркотическое действие его на организм человека.

С учётом сырьевой базы и экономических условий изготовления в настоящее время спирты могут рассматриваться в качестве перспективных добавок к бензинам с целью увеличения эффективного КПД, мощности и приемистости двигателя. На современном уровне развития производства метилового и этилового спиртов добавка их к

бензинам может рассматриваться как промежуточный этап перехода автомобильного транспорта на чистый метанол. Добавка спиртов к бензинам не только увеличивает фронтальное октановое число составного топлива, но что особенно важно, существенно улучшает коэффициент распределения детонационной стойкости. Особенно эффективно применение спиртовых добавок к летним бензинам (табл. 6.2). Оптимальным считается содержание 15 % метанола в бензометанольной смеси (БМС). Обозначение этой смеси – М15.

Таблица 6.2

Расчётные эксплуатационные показатели составного топлива

Показатели	Бензин	Метанол CH <sub>3</sub> OH			Этанол C <sub>2</sub> H <sub>5</sub> OH			
		5 %	10 %	15 %	5 %	10 %	15 %	20 % газохол
ОЧ <sub>и</sub>	92	92,9	93,8	94,7	92,4	92,8	93,2	93,6
ОЧ <sub>ф</sub> < 100 °С зимн. летн.	79	82,1	85,2	88,3	81,1	83,2	85,3	87,4
	77,25	81	84,9	86,7	79,9	82,5	85,2	87,8
ОЧ <sub>ф</sub> > 1000 °С зимн. летн.	105	105	105	105	105	105	105	105
	103	103	103	103	103	103	103	103
K <sub>РДС</sub> = $\frac{ОЧ_{ф} < 100\%}{ОЧ_{ф} > 100\%}$	0,752	0,781	0,811	0,840	0,772	0,792	0,812	0,832
	0,75	0,787	0,824	0,860	0,776	0,801	0,827	0,853
ОЧ/И	80	81,5	83,0	84,5	81,0	82,0	83,0	84,0
ОЧ <sub>ф</sub> < 100 °С зимн. летн.	68,4	72,56	76,72	80,88	71,56	74,72	77,88	81,04
	67,2	72,18	77,15	82,13	71,00	74,82	78,6	82,45
ОЧ <sub>ф</sub> > 100 °С зимн. летн.	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6	90,6
	89,6	89,6	89,6	89,6	89,6	89,6	89,6	89,6
K <sub>РДС</sub> = $\frac{ОЧ_{ф} < 100\%}{ОЧ_{ф} > 100\%}$	0,754	0,800	0,846	0,892	0,789	0,824	0,859	0,894
	0,75	0,805	0,861	0,916	0,742	0,835	0,877	0,920

Как принято выше: ОЧ<sub>ф</sub> – октановое число фракций; K<sub>РДС</sub> – коэффициент распределения детонационной стойкости.

Добавление 15 % метанола к бензину увеличивает эффективный КПД двигателя на 10 %, мощность – на 8 %, уменьшает удельный расход энергии на единицу мощности на 14 %, концентрацию СО в отработавших газах почти в 3 раза. На 12 % возрастает удельный массовый расход при фактической экономии топлива почти на 13 %.

В США и Канаде под названием «Газохол» применяют бензоэтанольные смеси (БЭС), содержащие до 20 % этилового спирта (Е20).

Из-за большой гигроскопичности спиртов бензоспиртовые смеси обладают склонностью к расслоению. Расслоения бензоспиртовых смесей можно избежать, добавляя к ним 5–7 % бутанола (изопропа-

нола, гексанола и др.), при этом расслоения не будет происходить, пока температура воздуха не понизится до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Таблица 6.3

Дорожное октановое число смеси бензина с метанолом и этанолом

Показатели	Бензин	Метанол $\text{CH}_3\text{OH}$			Этанол $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$			
		5 %	10 %	15 %	5 %	10 %	15 %	20 % газохол
$\text{OЧ}_и$	91,8	93,9	96,1	98,4	92,8	93,7	94,5	95,2
$\text{OЧ}_м$	83,5	84,3	85,1	86,0	84,0	84,5	85,0	85,5

### 6.2.2. Синтетическое жидкое топливо

Перед человечеством неоднократно вставал вопрос о производстве синтетического жидкого топлива (СЖТ) или синтетического бензина. В начале XX века в Эстонии из-за отсутствия нефти получали СЖТ из горючих сланцев, а в Германии – из бурого угля. Германия к концу тридцатых и началу сороковых годов имела 20 заводов с суммарной мощностью 6 млн т/г. Пятидесятые и шестидесятые годы характеризовались дешёвой нефтью, поскольку были открыты новые крупные месторождения как в нашей стране, так и в странах Ближнего Востока. Это привело к неглубокой поверхностной переработке нефти, снижению добычи угля. К концу шестидесятых и началу семидесятых годов в развитых капиталистических странах разразился крупный энергетический кризис, цены на нефть поднялись в 19 раз. С этого времени началось бурное производство малолитражных автомобилей. В семидесятые годы вновь вспомнили о СЖТ, но технология старых заводов сложна, дорога и малопроизводительна. Она основывалась на насыщении угля водородом, и в определённых термодинамических условиях происходила так называемая деструктивная гидрогенизация. Измельчённый уголь до 0,1 мм смешивали с водой и полученную смесь нагревали до  $400\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$  при давлении до 30 МПа в присутствии катализатора. В результате гидрогенизации образовывалась композиция, состоящая из жидкости и газа. В зависимости от условий проведения процесса конечными продуктами могут быть бензин, дизельное топливо, мазут. По теплотворной способности синтезированное топливо равноценно бензину. Для получения 1 т синтетического топлива необходимо 4–5 т каменного угля или 10 т бурого угля.

В эти годы начали вкладывать деньги в работы по поиску новых технологий получения СЖТ и даже осуществлять финансирование

строительства современных заводов. Однако в начале восьмидесятых годов на мировом рынке произошло снижение цен на нефть, что привело к переориентации капиталистических стран в вопросах СЖТ, и финансирование научных исследований, как и строительство заводов, было прекращено.

В настоящее время цены на нефть, её качество, запасы могут привести к тому, что для некоторых районов и даже ряда государств могут сложиться условия для достаточно эффективного замещения нефти моторным топливом из угля.

### 6.2.3. Водородное топливо

Водород ( $H_2$ ) является самым чистым в экологическом отношении автомобильным топливом (табл. 6.4). При сгорании водородо-воздушной смеси в двигателях внутреннего сгорания образуются вода и незначительное количество  $NO_x$  из-за окисления азота воздуха.

Таблица 6.4

Основные физические показатели водорода

Температуры, °С, при 0,1 МПа:	
кипения	-253
застывания	-259
критическая	-240
сгорания стехиометрической топливо-воздушной смеси	2230
самовоспламенения	550–600
Критическое давление, МПа	1,27
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , при 0,1 МПа:	
при +20 °С (газ)	0,088
при температуре кипения	71
при температуре застывания	90
Теплота:	
плавления, МДж/моль	0,0965
испарения, МДж/моль	0,903
низшая сгорания, МДж/кг (МДж/м <sup>3</sup> )	120 (10,2)
сгорания стехиометрической топливо-воздушной смеси, МДж/м <sup>3</sup>	3,037
Концентрационный диапазон воспламеняемости с воздухом, % по объёму (по коэффициенту избытка воздуха)	4–75 (0,14–9,8)
Минимальная энергия воспламенения, МДж/ кг	0,011
Стехиометрическое количество воздуха, кг/ кг (м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup> )	27,7 (2,38)

В отработанных газах автомобиля полностью отсутствуют CO и CO<sub>2</sub>, поскольку углерод не участвует в горении. Ресурсы водорода огромны, так как он входит в состав воды Мирового океана, но на сегодняшний день процесс её разделения на водород и кислород весьма энергоёмкий. Вероятнее всего водород как энергоноситель будет использоваться при развитой атомной и термоядерной энергетике.

Важным и объективным показателем, характеризующим трудность переработки сырья и получения топлива, является отношение А.

$$A = \frac{\Theta_{\text{гт}}}{\Theta_{\text{гт}} + \Theta_{\text{пт}}} \cdot 100,$$

где  $\Theta_{\text{гт}}$  – энергия горения топлива;  $\Theta_{\text{пт}}$  – энергия получения топлива.

В табл. 6.5 представлено отношение А для некоторых видов топлива и сырья. Водород, скорее всего, будет автомобильным топливом к середине XXI века. Для его использования надо развить энергетiku и водородную промышленность, преодолеть ряд трудностей его применения. Во-вторых, необходимо создать новый двигатель.

Таблица 6.5

Отношение А для некоторых видов топлива и сырья

Сырье	Полученное топливо	Отношение А
Нефть	Бензин, дизельное топливо	90–98
Уголь	Бензин, дизельное топливо, метанол	67–85
Горючие сланцы	Бензин, дизельное топливо	63–75
Промышленные газы	Горючие газы, метанол	95–100
Биомасса	Этанол	25–35
Вода, воздух, ядерная энергия	Водород, азотоводородные соединения	17–20

В смеси с воздухом водород имеет низкую способность к детонации, и в классическом двигателе Дизеля он не воспламеняется даже при степени сжатия 29. А в карбюраторном двигателе, наоборот, водород легко воспламеняется от несгоревших и раскаленных частиц предыдущего заряда. Скорее всего, водород будет накапливаться в связанном абсорбированном виде в металлогидридных накопителях или в сжиженном виде в криогенных накопителях.

Во-первых, необходимо обеспечить безопасность хранения, заправки, перевозки водорода. Теплота сгорания водорода в 2,5 раза больше бензина и в 4 раза больше спиртов. Но он легок, поэтому даже при давлении 20 МПа его баллоны займут объём в 120 раз боль-



ший, чем штатный бензобак автомобиля, масса накопленного водорода будет составлять 1 % массы баллонов. В сжатом виде водород использоваться не будет (табл. 6.6).

Металлогидридные накопители основаны на принципе поглощения водорода сплавами с образованием химических соединений – гидридов. Процесс связывания идёт с выделением тепла, для использования водорода накопитель надо нагревать. К достоинствам следует отнести отсутствие утечек, простоту заправки, меньший, чем у сжатого водорода, объём. К недостаткам надо отнести следующее: даже наилучший железо-титановый гидрид даёт только 2 % массы водорода.

Таблица 6.6

Сравнительные характеристики разных накопителей водорода, обеспечивающие равный пробег автомобилю

Показатели	Бензин	Сжатый водород	Сжиженный водород	Гидрид
Масса топлива, кг	53,5	13,4	13,4	13,4
Объём топлива, м <sup>3</sup>	0,07	1,0	0,1	---
Масса бака, кг	13,6	1361	181	213,6
Полная масса топливной системы, кг	67	1374	195	227

Гораздо лучшие объёмно-массовые показатели даёт применение криогенной ёмкости с жидким водородом. Чтобы достичь той же плотности энергии, что и в бензобаке, такой баллон должен быть только вдвое тяжелее его. Водород переходит в жидкое состояние при температуре  $-253\text{ }^{\circ}\text{C}$  (природный газ приблизительно при  $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Утечки из баллона, представляющего собой термос, достаточно велики, но не превышают 2 % в день при давлении в баке 0,4 МПа.

Литровая мощность двигателя, работающего на водороде, ниже, чем на бензине. У воздушно-водородной смеси очень широкие пределы воспламенения от 5 до 75 % водорода. Поэтому двигатели могут устойчиво работать как на бедной, так и на богатой смеси.

Работа на богатой смеси позволяет получить приемлемую мощность двигателя, а следовательно, скорость и грузоподъемность. Однако смесь самопроизвольно воспламеняется от нагретых деталей и частиц двигателя. Поэтому двигатели, работающие на богатых смесях, оснащаются системой подачи в цилиндры двигателя воды, запас которой даже на легковом автомобиле значителен и составляет 30–50 литров.

На бедной смеси двигатель может работать без воды, но при этом будет развивать существенно меньшую мощность.

Водородное топливо не опаснее бензина. Стоимость автомобиля на водороде на 15 % выше бензиновых автомобилей. Стоимость литра водорода в ФРГ в настоящее время равна 400 % стоимости бензина, а с учётом выхода энергии заправка автомобиля подорожает на 1200 %.

Необходимо отметить, что существует способ получения водорода непосредственно на транспортном средстве. Этот способ основан на способности ряда веществ (Al, Li, Mg и др.) в присутствии специальных добавок при определённых условиях восстанавливать воду до водорода с образованием оксидов соответствующих элементов. На основе алюминия разработан сплав с добавками галлия, индия и олова, вступающий в реакцию с водой с выделением водорода и побочным продуктом оксидом алюминия, имеющим промышленное применение. Проведены успешные опыты с реактором разложения воды активированным магнием.

### 6.3. Азотоводородные топлива

#### 6.3.1. Азотоводородные топлива для воздушно-топливных двигателей

К группе азотоводородных топлив относятся аммиак  $\text{NH}_3$  и гидразин  $\text{N}_2\text{H}_4$ . При термическом разложении и последующем горении они выделяют достаточное количество тепла. Пожаро- и взрывоопасность их меньше, чем у бензина. Двигатели, работающие на этих топливах, меньше будут загрязнять атмосферу, поскольку в отработанных газах отсутствуют  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}$ . Аммиак и гидразин ядовиты. Азотоводородные топлива выгодны тем, что имеется хорошо развитая производственная база и неограниченные сырьевые ресурсы, так как производятся из водорода воды и азота воздуха. Наличие азотной промышленности позволяет рассматривать аммиак как одно из перспективных топлив.

По содержанию энергии в единице массы азотоводородное топливо (аммиак) уступает водороду в 7 раз, а бензину в 2,5 раза, однако по объёмной энергоёмкости аммиак превосходит водород. В азотоводородных топливах азот является только связующим водород элементом (он не горит), в бензинах связующую роль выполняет углерод, который сам участвует в горении с выделением достаточного количества тепла. Аммиак ( $\text{NH}_3$ ) обладает высокой детонационной стойкостью ( $\text{OЧ}_m-111$ ;  $\text{OЧ}_и-132$ ). Основные физико-химические свойства аммиака приведены в табл. 6.7.

Аммиак в чистом виде для современных двигателей внутреннего сгорания не пригоден, так как имеет высокую температуру самовоспламенения и горит вяло, с малой скоростью. В автомобильных двигателях должны быть выполнены специальные мероприятия для интенсификации его воспламенения и горения путём увеличения температуры в камере сгорания. К таким мероприятиям можно отнести увеличение мощности разряда в свече зажигания, повышение степени сжатия, сокращение поверхности камеры сгорания и др.

Таблица 6.7

Физико-химические свойства аммиака

Температура кипения, °С	–33
Температура застывания, °С	–78
Плотность при –33 °С, кг/м <sup>3</sup>	680
Критическая температура, °С	132
Критическое давление, МПа	10,2
Температура самовоспламенения, °С	650
Теплота сгорания с учётом диссоциации, МДж/кг	17,13
Концентрационный диапазон воспламеняемости с воздухом, об. %	15–18

Гидразин даёт вполне приемлемое горение в традиционных двигателях внутреннего сгорания, но вызывает коррозию меди, цинка, магния, алюминия и их сплавов. Эти металлы можно заменить в топливной аппаратуре, а вот головку блока цилиндров, поршень заменить или защитить в настоящее время достаточно сложно. В перспективе возможна их защита керамическими покрытиями.

**Гидразин (N<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)** замерзает при температуре +1,7 °С, но в смеси с 10 % аммиака и 26 % воды образует эвтектику, замерзающую при температуре –57 °С, что вполне приемлемо. Теплота сгорания эвтектики, а следовательно, и мощность двигателя упадут на 20 %. У гидразина есть уникальная способность взрываться без доступа воздуха при нагреве до 300 °С. Это позволяет исключить стартер, составляющий 12 % массы двигателя, и использовать более лёгкую, долговечную и дешёвую аккумуляторную батарею.

### 6.3.2 Азотоводородные топлива для безатмосферных двигателей

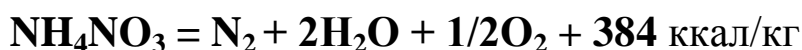
Существующие воздушно-топливные двигатели внутреннего сгорания используют в качестве энергоносителей *горючие* вещества: нефтепродукты, жидкие синтетические топлива, спирты, горючие газы, а в качестве окислителя – газообразный воздух, 78 % которого состав-

ляет не участвующий в горении азот. В рабочем цикле дизеля доза топлива распыляется и сгорает в предварительно сжатом воздушном заряде, после чего продукты сгорания становятся рабочим телом с высокими параметрами (температурой до 2500 °С, давлением до 10 МПа) совершают полезную работу, перемещая поршень, вращая турбину и т. д.

Термодинамический КПД воздушно-топливных двигателей внутреннего сгорания достигает ~30–40 % и принципиально ограничен потерями мощности на сжатие воздушного заряда и незначительной степенью расширения рабочего тела в тепловой машине.

В настоящее время возможно создание альтернативных *безатмосферных* силовых установок, использующих жидкие унитарные топлива в виде концентрированных водных растворов, содержащих наряду с горючими водородоносителями необходимое количество безопасного окислителя.

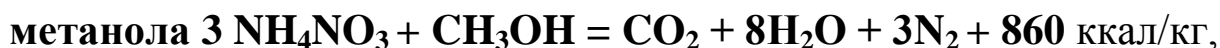
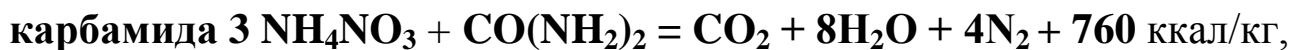
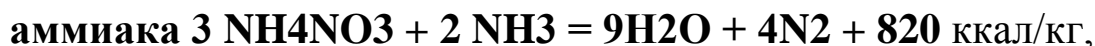
Простейшим унитарным топливом может служить концентрированный водный раствор аммиачной селитры ( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ). Каждая молекула аммиачной селитры (нитрат аммония) содержит аммонийную группу ( $\text{NH}_4$ ), богатую горючим водородом, и окислительную группу ( $\text{NO}_3$ ), легко отщепляющую кислород и выполняющую функцию внутримолекулярного окислителя. Схема полного термического распада нитрата аммония описывается уравнением



Из приведённого уравнения видно, что 20 % кислорода при экзотермическом распаде аммиачной селитры выделяется в свободном виде и продукты термического распада абсолютно безвредны для человека и окружающей среды. Это даёт возможность использовать аммиачную селитру не только как энергоноситель, но и как дешёвый окислитель в смесях с горючими веществами органического происхождения. Сбалансированные по кислороду стехиометрические композиции способны выделять до 1000 ккал/кг за счёт участия выделяющегося из селитры кислорода во вторичных реакциях с органическими добавками. Следует отметить, что в реальных условиях термический распад чистой аммиачной селитры из-за избытка кислорода в её молекуле сопровождается выделением токсичных окислов азота  $\text{NO}_x$ .

Некоторые горючие вещества, богатые водородом (аммиак  $\text{NH}_3$ , карбамид  $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$ , спирты:  $\text{CH}_3\text{OH}$  или  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ), при растворении с аммиачной селитрой не разрушают её, не окисляются и не вступают в химические реакции друг с другом вплоть до температур вспышки

(250–280 °С). Полное химическое превращение стехиометрических смесей аммиачной селитры с выше перечисленными горючими веществами до конечных продуктов описывается уравнениями:



При этом на каждый килограмм стехиометрических смесей в растворе выделяется до 860 ккал/кг тепла и около 1 м<sup>3</sup> низкомолекулярных газов, состоящих в основном из паров воды (до 65 %) и молекулярного азота (до 35 %) для аммиака и незначительного количества углекислого газа для карбамида и спиртов. Следует отметить, что содержание углерода в стехиометрических смесях карбамида и спиртов не превышает 5 %, в то же время в традиционных топливах нефтяного происхождения оно достигает 80–85 %.

Введение 20–25 % воды в стехиометрические композиции выполняет функции не только растворителя (для дозирования и подачи) и инертного разбавителя (для предотвращения взрыва), но и дополнительного рабочего тела, участвующего в рабочем процессе.

Рабочие циклы моторных установок, работающих на унитарных топливах, независимы от атмосферы, поэтому в таких двигателях затраты мощности на предварительное сжатие и перепуск больших масс воздуха-окислителя полностью исключены.

Цикл газораспада водо-нитратных энергоносителей хорошо вписывается в цикл работы поршневых паровых машин начала прошлого века и идеально в современные турборасширительные машины (паровые турбины), но с гораздо более высокими начальными характеристиками рабочего тела, а следовательно, более высоким термическим и термодинамическим КПД цикла.

Положительным отличием жидких унитарных энергоносителей по сравнению с азотоводородными энергоносителями воздушно-топливных двигателей является возможность вынесения зоны генерации рабочего тела за пределы исполнительного механизма. В этом случае экзотермический распад стехиометрических смесей осуществляется непрерывно в регулируемом режиме в специальном мини-реакторе 11 (рис. 6.1), из которого нейтральные конечные неактивные

парогазовые продукты под высоким давлением поступают к газорасширительному механизму *13*. Таким образом, коррозионное воздействие компонентов унитарного топлива на поршневую систему или лопатки турбины силового агрегата существенно снизится. Коррозионно-активные следы  $\text{NO}_x$  в высокотемпературных продуктах распада унитарного топлива могут быть полностью исключены даже малым избытком аммиака или карбамида. Реакция окислов азота с аминами до молекулярного азота и воды объясняется электронным строением молекул  $\text{NO}_x$  и аминов, а также разнополярной степенью окисления азота в этих соединениях.

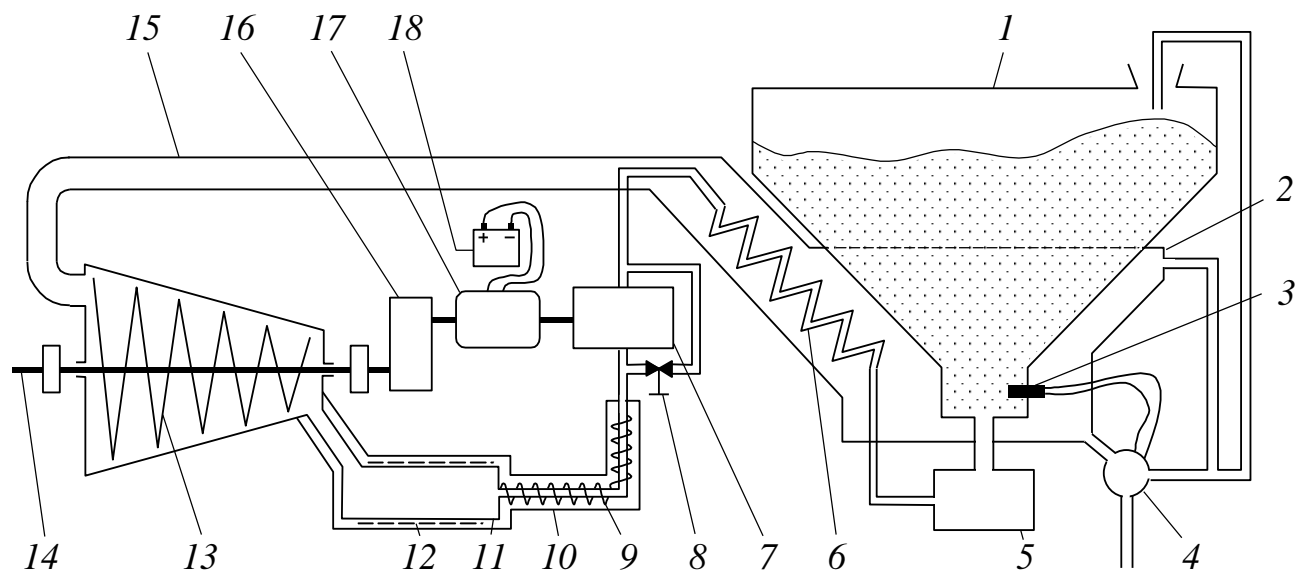


Рис. 6.1. Принципиальная схема паротурбинной установки, работающей на унитарном топливе:

*1* – топливный бак; *2* – зона предварительного подогрева и конденсации воды; *3* – реле плотности раствора в топливном баке; *4* – кран подачи конденсата; *5* – насос низкого давления; *6* – основной теплообменник; *7* – насос высокого давления; *8* – вентиль перепуска раствора для регулирования мощности; *9* – электроподогрев топливопровода при пуске; *10* – теплоизоляция; *11* – реактор; *12* – тэны электронагрева холодного реактора; *13* – паровая турбина; *14* – вал отбора мощности; *15* – выпускной коллектор; *16* – редуктор; *17* – электродвигатель-генератор для пуска и подзарядки аккумулятора; *18* – аккумулятор

Включение в рабочий процесс неохлаждаемого реактора-парогенератора *11*, не имеющего движущихся частей, позволит существенно упростить конструкцию безатмосферной двигательной установки по сравнению с существующими двигателями внутреннего сгорания. Перед началом работы парогенератор рабочего тела *11* нагревается с помощью тэнов *12* выше температуры термического распада водо-нитратного энергоносителя, после запуска дальнейшего подогревания не требуется вследствие экзотермичности реакции распада.

Удельный расход унитарного топлива на единицу развиваемой механической работы выше в 3–5 раз по сравнению с топливной эко-

номичностью существующих двигателей внутреннего сгорания. Предварительные расчёты показывают, что экологичность и развиваемая мощность у этих двигателей будут на порядок выше, а стоимость единицы произведенной работы в 2 раза ниже, чем у двигателей, работающих на традиционных топливах.

Поскольку основным компонентом отработавших газов унитарных топлив являются пары воды, то предполагается целесообразным использовать тепло её конденсации для предварительного подогрева порций рабочих растворов в расходной части топливного бака. Кроме того, возврат воды растворителя из конденсата отработавших газов в топливный бак позволит хранить в нём компоненты унитарного топлива в компактном кристаллическом виде.

## 7. Масла для двигателей и агрегатов трансмиссии автомобиля

### 7.1. Классификация смазочных материалов

Вещества, используемые в качестве смазочных материалов, подразделяются в зависимости

– от агрегатного состояния на *жидкие – масла, твёрдые – твёрдые смазки и мазеобразные – пластичные смазки*;

– от области применения на *моторные масла – для смазки поршневых двигателей внутреннего сгорания, трансмиссионные масла – для смазки зубчатых передач и других подвижных элементов (шкворней, шарниров), промышленные масла – для смазки промышленного оборудования и приборов, специального назначения – для смазки машин различных отраслей машиностроения (газотурбинные, холодильные, трансформаторные, компрессорные и др.)*;

– от способа получения (происхождения) на *нефтяные, синтетические и смешанные*.

Масла при эксплуатации автомобилей расходуются в значительно меньших количествах, чем бензин и дизельное топливо. По существующим нормам средний расход моторного масла для автомобилей общего назначения должен составлять 2,4–3,2 % от расхода топлива, трансмиссионного 0,3–0,4 %, для внедорожных автомобилей, самосвалов 5,0 и 0,5 % соответственно. При этом любое автомобильное масло значительно дороже бензинов и дизельных топлив, поэтому затраты на его приобретение оказывают заметное влияние на себестоимость перевозок. От качества масла зависят долговечность и безот-

казность работы автомобиля, а следовательно, существенно сокращаются расходы на его обслуживание и ремонт.

## 7.2. Назначение масел

Автомобильные смазочные материалы применяют

- для: уменьшения потерь *энергии* на трение;
- снижения *износа* трущихся деталей;
- *охлаждения* трущихся поверхностей;
- *очистки* от продуктов износа трущихся поверхностей;
- *защиты* трущихся поверхностей от коррозии.

## 7.3. Виды трения

*Трение* препятствует перемещению одной детали по поверхности другой, вызывает потери *энергии* на его преодоление. Общие потери энергии на трение в элементах конструкции автомобиля составляют до 75 % развиваемой мощности двигателя. Коэффициент полезного действия рядового двигателя внутреннего сгорания составляет 25–30 %. Более совершенные по конструкции двигатели имеют КПД до 35 %. Теоретически без изменения принципиальной конструкции двигателя его КПД можно повысить до 40 %. Увеличение коэффициента полезного действия на 1 % приводит к увеличению мощности двигателя примерно на 4 %. На трение приходится от 25 до 50 % от всех механических потерь в двигателе автомобиля, из них до 15 % мощности двигателя – на потери в сопряжении «поршневое кольцо – стенка цилиндра».

Различают *внешнее* и *внутреннее трение*. *Внешнее трение* определяется силой сопротивления, возникающей между поверхностями трения. Под *внутренним трением* понимают силу сопротивления взаимному перемещению частиц самого тела.

На величину внешнего трения влияют: нагрузка, скорость перемещения трущихся поверхностей, их температура, шероховатость и наличие смазки. Наибольшие потери на трение возникают в момент трогания автомобиля с места. Различают трение скольжения и трение качения. Сила трения качения обычно значительно меньше силы трения скольжения.

Благодаря внешнему трению происходит движение автомобиля, работают ременные и фрикционные передачи, тормозные механизмы, но оно же вызывает нагревание и износ различных узлов и деталей автомобиля. Вредное влияние трения уменьшают, совершенствуя: си-



стему смазки, качество смазочных материалов, конструкцию, технологию и точность изготовления механизмов.

При внешнем трении в зависимости от наличия и количества смазочного материала между поверхностями трения различают сухое (ювенильное), граничное и жидкостное (гидродинамическое) трение.

**Сухое (ювенильное) трение.** Ювенильными называют поверхности твёрдых тел, не имеющих покрытий и загрязнений. При сухом трении энергия затрачивается на преодоление зацепления неровностей, имеющих на поверхностях деталей, и молекулярных сил притяжения и сваривания, возникающих в точках контакта металлических деталей (рис. 7.1).

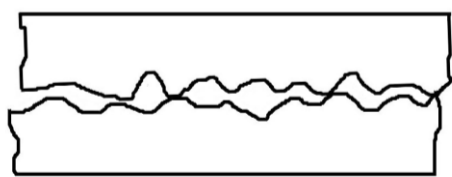


Рис. 7.1. Схема сухого (ювенильного) трения

Общая площадь контакта трущихся деталей зависит от чистоты обработки поверхностей. При грубо обработанных поверхностях основное усилие затрачивается на преодоление зацепления неровностей, а при тщательно обработанных поверхностях – на преодоление молекулярных

(адгезионных) сил сцепления. Затраты энергии будут тем больше, чем сильнее прижимаются трущиеся детали друг к другу, чем больше шероховатость их поверхностей, и зависят от материала и скорости перемещения деталей. Происходит взаимная деформация поверхностей трения, неровности более твёрдой поверхности внедряются в неровности более мягкой. До определённой скорости перемещения сила трения увеличивается, а затем начинает уменьшаться. О величине трения скольжения судят по коэффициенту трения

$$f = F/P,$$

где  $F$  – сила, затрачиваемая на преодоление трения;  $P$  – сила, приложенная по нормали к трущейся поверхности.

Коэффициент сухого трения металлов колеблется от 0,1 до 0,8. При сухом трении происходит большой износ и нагрев трущихся поверхностей.

**Граничное трение.** Металлические поверхности трения на воздухе окисляются с образованием смеси оксидных плёнок с веществами, адсорбированными из окружающей среды. Естественные граничные плёнки обладают неудовлетворительными эксплуатационными свойствами, поэтому в технике граничные плёнки образуют искусственно – смазочными материалами (рис. 7.2).

Граничное трение возникает, когда на поверхностях трения создаётся масляная разделительная плёнка. Разделительную плёнку называют граничной. При наличии деформируемой граничной плёнки часть нормально приложенной силы тратится на её деформацию, а следовательно, значительно *уменьшается* взаимная деформация поверхностей трения, удельные давления и силы на преодоление молекулярных (адгезионных) связей.

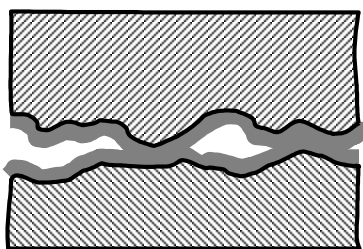


Рис. 7.2 Схема граничного трения

После механической обработки у атомов металла на поверхности остаются свободные связи, которые и притягивают полярно-активные молекулы масла, образуя тонкую плёнку в 50–500 молекулярных слоёв. У атомов, находящихся внутри металла, все связи используются для взаимного притяжения.

Адсорбированная на твёрдой поверхности плёнка не только механически разделяет трущиеся поверхности, но и участвует в химическом взаимодействии с этими поверхностями. Такие плёнки создают путем введения в смазочные материалы химически активных соединений. Например, наличие в смазочных материалах хлора, фосфора, серы создаёт на поверхности металла устойчивые химические соединения этих веществ с металлом. Толщина и стабильность адсорбированной плёнки зависит от свойств смазочного материала и свойств материала смазываемой поверхности.

Адсорбированные плёнки могут разрушаться от механических воздействий (нагруженности узла трения) и растворителей (бензина, спирта и др.). Способствует разрушению граничной плёнки увеличение интенсивности износа, нагрев и перегрев деталей. Граничные плёнки, полученные на основе взаимодействия с металлом химически активных веществ, образуются с большой скоростью в условиях высоких удельных нагрузок и температур. Эта особенность имеет большое значение для уменьшения износа и предотвращения задира поверхностей трения.

**Полусухое трение.** Возникает тогда, когда граничная плёнка находится под нагрузкой на пределе разрушения или частично уже разрушена.

**Жидкостное (гидродинамическое) трение.** Такое трение возникает тогда, когда трущиеся поверхности разделены слоем масла и трение происходит не между металлическими поверхностями, а между молекулами в слоях масла. За счёт относительного движения по-

верхностей в разделительном масляном слое появляются гидродинамические силы, препятствующие их сближению и контакту. Появлению жидкостного трения способствует увеличение скорости движения трущихся поверхностей и уменьшение удельного давления в узлах трения. Однако решающее значение имеет качество масла и, прежде всего, его вязкостно-температурные свойства. Согласно гидродинамической теории смазки, сформулированной в 1883–1887 годах русским ученым Н. П. Петровым<sup>1</sup>, прочно прилипшая к поверхности вращающегося вала масляная плёнка увлекает за собой слои масла, которые в виде клина просачиваются между валом и подшипником. Вал как бы всплывает и со всех сторон омывается маслом, не соприкасаясь с подшипником (рис. 7.3).

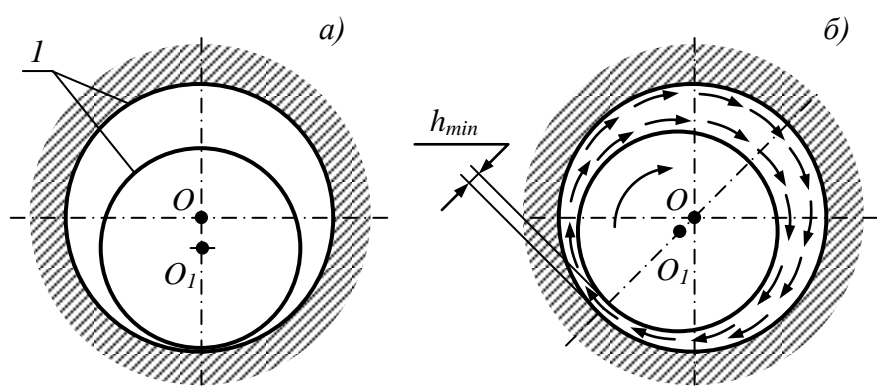


Рис. 7.3. Схема образования масляного клина в подшипнике скольжения: *a* – подшипник в состоянии покоя; *б* – подшипник в состоянии вращения;  $O$  – центр подшипника;  $O_1$  – центр вала;  $l$  – толщина граничной плёнки;  $h_{min}$  – минимальная толщина масляного слоя, обеспечивающего жидкостное трение

Для обеспечения надёжного жидкостного трения необходимо, чтобы минимальная толщина  $h_{min}$  (рис. 7.4) масляного слоя, разделяющего трущиеся поверхности, была в 1,5 раза больше суммы неровностей  $\delta'$ ,  $\delta''$  этих поверхностей:  $h_{min} \geq 1,5(\delta' + \delta'')$ .

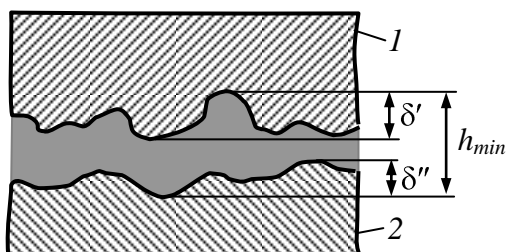


Рис. 7.4. Схема жидкостного (гидродинамического) трения:

$\delta'$  – величина неровностей детали 1;  
 $\delta''$  – величина неровностей детали 2;  
 $h_{min}$  – минимальная толщина масляного слоя

<sup>1</sup> Петров Николай Павлович (1836–1920), русский учёный, инженер-генерал, с 1894 года почётный член Петербургской академии наук. В 1884 году награждён Ломоносовской премией за разработку гидродинамической теории смазки. Основные труды – по теории механизмов и машин, железнодорожной технике. Участник строительства Транссибирской железнодорожной магистрали.

Величина неровностей автомобильных шлифованных деталей составляет 0,002–0,02 мм, у полированных – 0,0008–0,0013 мм. Соответственно минимальная толщина масляной плёнки для обеспечения жидкостного трения для шлифованных деталей будет 0,006–0,06 мм, у полированных – 0,0024–0,0039 мм. Разрушение масляного слоя может произойти при увеличении нагрузки, уменьшении частоты вращения, повышении температуры, вызывающей уменьшение вязкости масла. При этом первоначально возникает не граничное, а полужидкостное трение.

**Полужидкостное трение** возникает тогда, когда в результате частичного выдавливания масла в местах наибольших неровностей происходит контакт граничных плёнок. Гидродинамические силы недостаточны для уравнивания действующих нагрузок, и они частично воспринимаются граничной плёнкой.

Каждому из этих режимов соответствуют свои коэффициенты трения (табл. 7.1).

Таблица 7.1

Ориентировочные значения коэффициентов трения

Виды трения	Коэффициент трения
Жидкостное	0,002–0,01
Полужидкостное	0,01–0,05
Граничное	0,06–0,1
Полусухое	0,1–0,8
Сухое	0,8 и выше

#### 7.4. Виды износа

При работе различных узлов автомобиля происходит взаимодействие (соприкосновение) различных узлов и деталей под нагрузкой, вплоть до изменения их геометрических размеров или заданной чистоты обработки. Эти изменения называются **износом**. По статистическим данным около 85 % машин выходят из строя из-за износа узлов трения.

**Механический износ.** Возникает при непосредственном контакте трущихся поверхностей. При взаимном внедрении друг в друга микронеровности контактируемых поверхностей отрывают микрочастицы, вызывая изменение чистоты и размеров поверхностей трения.

При увеличении нагрузки и значительном разрушении граничной плёнки резко возрастают удельные давления и силы трения на участках разрушенной граничной плёнки. Теплота, выделяемая в результате возросшего трения, может разогреть металлы до температуры, при кото-

рой между поверхностями трения образуются мостики *сварки*. Последующее разрушение этих мостиков происходит не по зоне первоначального контакта, а на некоторой глубине, что приводит к повреждениям поверхностей. Происходит перенос металла с одной детали на другую, чистота обработки и геометрия деталей изменяются. Такое явление называют *задиrom*. Во время задира происходит как бы *схватывание* и *заедание* деталей. Явления задира и схватывания имеют тенденцию к прогрессированию; силы, препятствующие взаимному перемещению поверхностей, возрастают настолько, что взаимное перемещение деталей может прекратиться, произойдёт *заедание*.

***Абразивный износ.*** Является разновидностью механического износа, возникает в результате воздействия на поверхность трения твёрдых инородных частиц.

***Химический износ.*** Вызван тем, что на поверхности трения граничные плёнки истираются и вновь создаются из частиц свежего масла. На восстановление граничных плёнок расходуется не только масло, но и часть металла трущейся поверхности, т. е. происходит износ, т. к. возникает химическая реакция с образованием плёнки из новых соединений металла с хлором, фосфором, серой.

***Коррозионно-механический (окислительный) износ.*** Является разновидностью химического износа. Возникает за счёт истирания плёнок, образующихся на поверхности металла вследствие воздействия на них коррозионно-агрессивных веществ, в том числе и кислорода воздуха.

***Эрозионный износ.*** Осуществляется под действием струй жидкости или газа, воздействующих на детали механизмов.

***Кавитационный износ.*** Происходит за счёт образования в жидкостях пузырьков или каверн в результате местного понижения давления. Перемещаясь в область с более высоким давлением, пузырёк захлопывается, излучая ударную волну, и на твёрдых поверхностях, контактирующих с пузырьком, возникает местный износ – кавитационные каверны. В автомобилях кавитационному разрушению подвержены рабочие колёса (крыльчатки) водяного насоса системы охлаждения двигателя.

***Усталостный износ.*** Возникает при достаточно длительном воздействии знакопеременных нагрузок. В узлах машин, подверженных знакопеременным нагрузкам, постепенно появляются трещины, из-за них узел теряет несущую способность и разрушается.

Однако в присутствии смазочных материалов знакопеременные нагрузки вызывают механический, абразивный и химический виды износа.

Сила притяжения плёнки масла к смазываемой поверхности, её толщина и прочность зависят от *свойства масла* и *активности металла*. Активность металла определяется его видом, *характером обработки* и *степенью пористости*. Оптимальная шероховатость трущихся деталей способствует созданию достаточного запаса масла в граничной плёнке. Чрезмерное увеличение чистоты обработки поверхностей, работающих в режиме граничного трения, может привести к повышенному износу и появлению заедания и схватывания деталей, так как тщательно обработанные поверхности приводят к уменьшению масляной плёнки.

Увеличение граничной масляной плёнки можно получить созданием микровпадин – масляных резервуаров на поверхности трения. Роль таких резервуаров могут выполнять регулярно расположенные канавки, с заданной геометрией полученные в результате вибрационной обработки поверхности шариком или алмазным наконечником.

Износ деталей возрастает как при увеличении, так и уменьшении шероховатости её поверхности.

При увеличении шероховатости поверхность может удерживать много масла, но площадь контакта поверхностей трения мала. В результате в местах наибольших неровностей возникают большие удельные давления, которые граничная плёнка не выдерживает, разрушается, и происходит повышенный износ деталей.

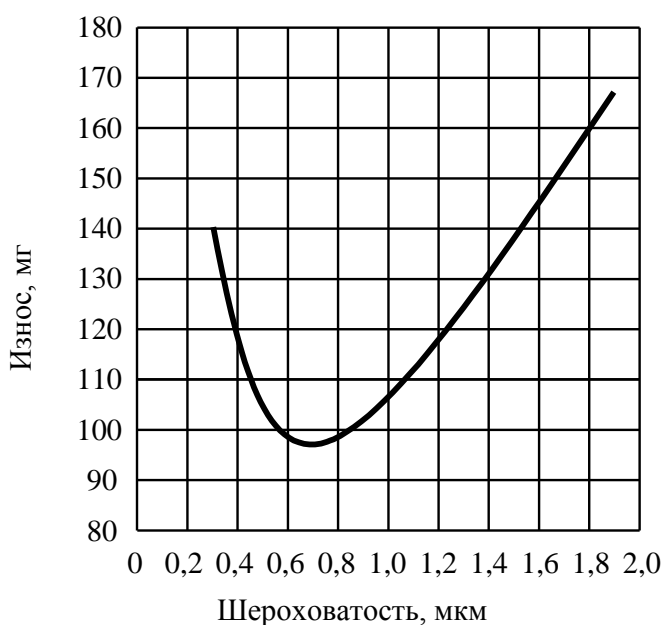


Рис. 7.5. Зависимость износа от шероховатости

Для уменьшения износов применяют покрытия поверхностей трения твёрдыми трудно изнашиваемыми материалами, а для увеличения

При уменьшении шероховатости площадь контакта поверхностей трения увеличивается, удельное давление уменьшается, но масляная плёнка содержит недостаточное количество масла, в результате чего также возникает повышенный износ деталей (рис. 7.5).

Из графика видно, что для каждой контактной пары трения нужна своя оптимальная по форме и размерам шероховатость поверхностей.

Для увеличения

масляного слоя их специально обрабатывают или придают пористость. В частности, *пористому хромированию* подвергают рабочие поверхности верхних компрессионных колец, а гильзы цилиндра – *плосковершинному хонингованию*.

При плосковершинном хонинговании микропрофиль зеркала цилиндра создаётся в два приёма. Сначала хонингование проводится крупнозернистыми алмазными брусками, которые исправляют геометрические отклонения формы отверстий цилиндра и создают поверхность с глубокими рисками для размещения смазки. За счёт вращательного и возвратно-поступательного движения хона шероховатость поверхности трения уменьшается, одновременно создаются глубокие риски для увеличения масляного слоя. Хонинговочные риски 1 (рис.7.6) пересекаются под определённым углом и создают поверхность с рисками в виде сетки.

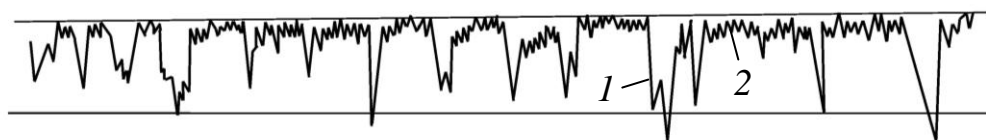


Рис. 7.6. Профиль поверхности гильзы после плосковершинного хонингования:  
1 – хонинговальные риски; 2 – опорная поверхность трения

На втором этапе брусками меньшей зернистости сглаживаются острые вершины микропрофиля, появившиеся после первой операции, в результате чего увеличивается опорная поверхность трения 2. Шероховатость поверхности трения уменьшается, в то же время сохраняются глубокие риски для увеличения масляного слоя.

## 7.5. Техничко-экономические требования к маслам

Требования состоят в следующем:

- разделять трущиеся детали надёжным масляным слоем, обеспечивающим жидкостное трение;
- в особо трудных условиях создавать на трущихся деталях прочную масляную плёнку, обеспечивающую граничное трение;
- удерживаться длительное время на поверхности неработающих деталей для предохранения их от коррозии и износа от последующего пуска;
- не изменять длительное время своих свойств как в процессе работы, так и хранения;
- обеспечивать минимальную зависимость эксплуатационных показателей от температуры;

- отводить тепло от трущихся деталей;
- обладать способностью смывать с трущихся поверхностей продукты износа и легко отделяться от них;
- уплотнять зазоры между поверхностями трения;
- обладать высокой экономической эффективностью;
- обладать минимальной токсичностью и пожарной безопасностью.

Это общие требования к смазочным маслам, они уточняются, когда масло подбирается для конкретных деталей и механизмов, работающих в определённых условиях.

К маслам для двигателей внутреннего сгорания дополнительно предъявляются следующие требования:

- быть химически устойчивыми при повышенной температуре;
- образовывать при сгорании минимальное количество нагара.

Специфические требования трансмиссионных масел обусловлены тем, что в местах контакта зубьев шестерён развиваются большие удельные давления и высокая температура. Поэтому эти масла должны:

- обладать высокими противоизносными и противозадирными свойствами;
- не вызывать химический износ деталей.

## 7.6. Физико-химические свойства масла, характеризующие его эксплуатационные качества

Эксплуатационные качества автомобильных масел зависят от их физико-химических свойств и сформулированы в соответствии с назначением и технико-экономическими требованиями.

Поскольку одно эксплуатационное качество масла зависит от нескольких показателей физико-химических свойств и наоборот, то все эти показатели можно разделить как влияющие на:

- смазывающие и вязкостно-температурные качества масла;
- образование нагара и отложений в двигателе и трансмиссии;
- коррозионный износ деталей;
- контрольные показатели, дополнительно характеризующие продукцию разных партий и заводов.

### *7.6.1. Показатели, характеризующие смазочные свойства масел*

Современные автомобильные масла – это смесь-раствор масляной углеводородной основы с присадками и добавками. Смазочные свойства характеризуются способностью масла образовывать проч-



ные масляные плёнки на трущихся поверхностях, т. е. способностью масла прилипать к трущимся поверхностям. В современном понимании смазочные свойства масел проявляются в трёх видах: *механическом, физическом и химическом.*

**Механические** смазывающие свойства масла, прежде всего, зависят от *вязкости* масляной углеводородной основы и проявляются при *гидродинамическом* режиме смазки (ГДРС), который характеризуется наличием между трущимися поверхностями относительно большого слоя масла, обладающего объёмными свойствами. При ГДРС собственно смазочные свойства масла не существенны и могут отсутствовать полностью, так как величина трения определяется главным образом вязкостью смазки, т. е. внутренним трением в самой жидкости.

**Физические** смазывающие свойства масла проявляются при *граничном* режиме смазки и заключаются в способности масла образовывать на поверхностях трения *адсорбированные* плёнки. В создании адсорбированной плёнки участвуют *межмолекулярные* физические силы. Эти силы зависят от свойств масла и свойств смазываемой поверхности. Между молекулами смазки и металла возникают силы взаимного притяжения, которые складываются из трёх сил: *дипольного взаимодействия, индукционного взаимодействия и дисперсионных сил.*

*Дипольное взаимодействие* возникает в молекулах, имеющих распределённые жёстко фиксированные заряды. При сближении такие молекулы ориентируются и притягиваются разноименными зарядами (рис. 7.7).

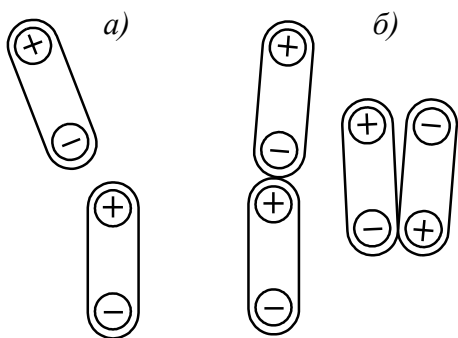


Рис. 7.7. Схема дипольного взаимодействия:  
а – сближение; б – контакт

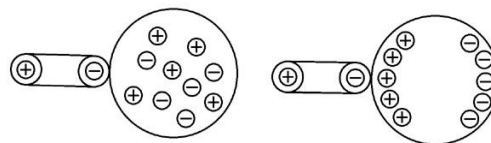


Рис. 7.8. Схема индукционного взаимодействия

*Индукционное взаимодействие* возникает в случае, если дипольная молекула *контактирует* с молекулой, у которой электрические заряды подвижны. Под влиянием дипольной молекулы эти заряды

перераспределяются, и впоследствии возникает взаимодействие, аналогичное дипольному (рис. 7.8).

*Дисперсионные силы* по сравнению с дипольными и индукционными на два порядка сильнее и более дальнедействующие. Особенностью дисперсионных сил является их свойство увеличиваться с ростом массы взаимодействующих частиц. При дисперсионном взаимодействии одновременно действуют силы притяжения и отталкивания между *ядрами* и *электронными оболочками атомов*. Под действием этих сил молекулы сближаются до соприкосновения полей электронных оболочек, после этого силы отталкивания становятся больше сил притяжения.

На поверхности металла адсорбированные молекулы масла строго ориентированы и жёстко зафиксированы в пространстве, поэтому адсорбированную плёнку можно условно рассматривать как кристаллическое состояние масла, отличающееся от его состояния и поведения в объёмах. Адсорбированные молекулы на поверхности металла объединяются друг с другом как вдоль оси, с образованием длинных гибких цепочных структур, так и в направлении, перпендикулярном оси молекул, образуя конгломераты в виде пластин. Масляная плёнка, образованная из таких объединений, обладает малым сопротивлением скольжению (сдвигу) параллельно слоям и большим сопротивлением в направлении, перпендикулярном поверхности трения, т. е. нормальной нагрузке. Поэтому такая граничная плёнка обладает высокой несущей способностью и малыми потерями на трение. Толщина и стабильность граничной плёнки зависят от дипольного момента и размеров полярно-активных молекул масла.

*Химические* смазывающие свойства масла заключаются в его способности создавать на поверхности трения *хемосорбированные* плёнки. В создании хемосорбированной плёнки участвуют *внутримолекулярные* химические силы. Присутствие в смазочных материалах химически активных веществ обеспечивает, при определённых условиях, их химические реакции с твёрдой поверхностью и образованием на ней устойчивых химических соединений этих веществ с металлом в виде хемосорбированной плёнки.

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

*Антифрикционные* присадки чаще всего в своем составе содержат олеиновую и стеариновую кислоту или эфиры различных кислот.

*Противоизносные* и *противозадирные* присадки образуют на поверхностях трения адсорбированные, а в основном хемосорбиро-

ванные плёнки, способные сглаживать микровыступы на поверхностях трения. Эти присадки в зависимости от свойств граничной плёнки подразделяют на *изнашивающие* и *пластическо-деформирующие*.

*Изнашивающие* присадки образуют плёнки меньшей прочности основного металла, что обеспечивает их механическое отделение от металла, происходит «выглаживание» поверхности с последующим удалением продуктов износа циркулирующим маслом. Этот процесс происходит постоянно, присадки значительно уменьшают износ, но не устраняют его полностью.

*Пластическо-деформирующие* присадки создают плёнку, механическое отделение которой от металла невозможно, в зоне микронеровностей она не разрушается, а пластически деформируется, сглаживая без существенного механического износа трущуюся поверхность. Процесс пластического деформирования происходит только в зоне высоких нагрузок, так как он обладает избирательностью по нагрузке и обеспечивает практически безыносное сглаживание микрошероховатостей. Это свойство особенно ценно при «обкатке» и «приработке» новых деталей.

Есть отдельная группа присадок, которую называют *модификаторами трения*. Они представляют собой коллоидные дисперсии *нерастворимых* в масле *твёрдых смазок*, таких как дисульфид молибдена, графита и др.

Дисульфид молибдена  $\text{MoS}_2$  относится к группе твёрдых смазок, имеющих слоистое строение и высокую адгезионную способность. Благодаря этим свойствам, на поверхности металла создаётся прочная плёнка, обеспечивающая уменьшение потерь на трение, предотвращающая износ деталей даже в режиме «масляного голодания».

Принципиально новым методом снижения потерь на трение и износ деталей двигателя является метод введения в моторное масло *добавок*, состоящих из *мягких металлов* и *твёрдых смазочных материалов* на основе полимеров. Это может быть смесь мелкодисперсных порошков серебра, углерода, карбида кадмия и политетрафторэтилена, которая за пробег приблизительно 5000 км создаёт на внутренних поверхностях трения механически и химически устойчивую плёнку.

Известны добавки, обеспечивающие восстановление изношенных поверхностей. Они представляют дисперсию микрочастиц меди, цинка, серебра и других веществ в масле. В зонах наибольших нагрузок микрочастицы осаждаются и компенсируют увеличение зазора, тем самым создавая эффект «безыносного» трения.

Общую оценку смазочных свойств масел в лабораторных условиях проводят на четырёхшариковой машине трения (рис. 7.9).

Основным элементом машины является *узел трения*, представляющий собой пирамиду из четырёх контактирующих друг с другом стальных шариков (сталь марки ШХ-15). Три нижних *неподвижных* шарика закреплены горизонтально в резервуаре с испытуемым маслом. Верхний шарик закреплён по центру во вращающемся шпинделе машины и может прижиматься к нижним шарикам с переменным усилием. При каждом испытании все шарики заменяют на новые. Вращение шпинделя осуществляется через муфту предельного момента.

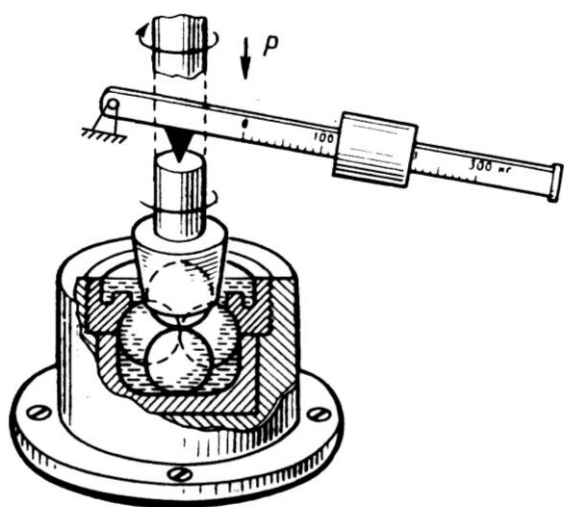


Рис. 7.9. Четырёхшариковая машина трения

*Показатель износа*, *критическую нагрузку* и *индекс задира* определяют по среднему диаметру пятен износа каждого из трёх нижних шариков, *нагрузку сваривания* – по наименьшей величине усилия (нагрузки), при которой происходит автоматическая остановка машины или сваривание шариков.

Продолжительность испытаний составляет 10 мин при определении критической нагрузки, нагрузки сваривания и индекса задира и 60 мин – для определения показателя износа.

*Показатель износа* характеризует влияние качества масла на износ трущихся поверхностей при постоянной нагрузке, меньше критической. Определяется в миллиметрах как среднее арифметическое значение диаметров пятен износа нижних шариков.

*Критическая нагрузка* характеризует способность масла предотвращать возникновение задира трущихся поверхностей. Это предельная нагрузка, при которой средний диаметр пятен нижних шариков находится в пределах значений величины предельного износа при заданной нагрузке.

*Индекс задира* характеризует способность масла снижать повреждения трущихся поверхностей из-за задира. Это безразмерная величина, вычисленная по результатам измерения износа шариков от начальной нагрузки до нагрузки сваривания.

*Нагрузка сваривания* характеризует предельную работоспособность смазочного материала в условиях испытания. Определяют как минималь-

ную нагрузку, при которой происходит автоматическая остановка машины (при достижении момента трения 12 Н·м) или сваривание шариков.

Лабораторные методы оценки смазочных свойств масел дают результаты, в ряде случаев значительно расходящиеся с эксплуатационными. Происходит это потому, что в реальных машинах применяют стали с различно подготовленными поверхностями трения, и условия испытаний отличаются от лабораторных. Лабораторные испытания используют для сравнительной оценки и предварительного подбора масел.

**Противопенные свойства масел.** Вспенивание масел резко ухудшает их смазывающие свойства. Пенообразование зависит от конструктивных особенностей системы смазки двигателя, но основное влияние на образование пены оказывают свойства и качества масла.

При работе двигателя система смазки разбрызгивает масло для смазывания стенок цилиндра и других его частей, а быстровращающийся коленчатый вал, шатуны создают мощное турбулентное движение частиц масла и газов, содержащихся в картере (воздух, отработавшие газы, пары топлива), создавая масляный туман. Происходит интенсивное насыщение масла газом, этот процесс называют *аэрацией*. В результате аэрации в масле может оказаться до 25 % газа по объёму.

Склонность масла к пенообразованию зависит от его вязкости и плотности. Это объясняется тем, что более плотные и вязкие масла стабилизируют пену. Особенно сильное насыщение масла газом происходит при перегреве двигателя. Аэрация является основной, но не единственной причиной вспенивания масла.

Газ в масле может находиться в следующих состояниях:

- в растворённом виде, в этом случае масло практически не изменяет своих физических свойств;
- в виде газомасляной дисперсии, представляющей собой мельчайшие пузырьки газа, равномерно распределённые в масле;
- в виде пены, когда на поверхности масла накапливается большое количество газа, заключённого в тончайшую масляную оболочку.

Эти три состояния газа в масле могут переходить друг в друга.

Аэрация оказывает отрицательное влияние на состояние масла и условия его работы. Аэрированное масло обладает худшими смазывающими способностями, меньшей химической стабильностью, повышенной коррозионной агрессивностью.

При интенсивном аэрировании и пенообразовании ухудшение смазывающих свойств происходит за счёт падения прокачиваемости масла через систему смазки двигателя. Падение прокачиваемости вы-

зывается повышенным гидравлическим сопротивлением движению газомасляной дисперсии по системе смазки, меньшим содержанием масла в единице объёма, сжимаемостью аэрированного масла. Как следствие, возникает масляное голодание двигателя.

Наличие дисперсной газомасляной эмульсии и пены обуславливает ускоренное окисление масла, прежде всего из-за многократно увеличенной площади контакта масла с агрессивными газами, а также вследствие интенсивного нагрева масла изнутри. Находящееся в поддоне двигателя масло нагрето до рабочей температуры, близкой к 100 °С, при прохождении масла через масляный насос оно интенсивно нагревается за счёт повышения давления и сжатия пузырьков газа, температура газа внутри пузырька может достигать 300–370 °С, в результате происходит частичное термическое разложение и окисление масла.

Кроме того, при соприкосновении пузырьков газа с относительно холодными поверхностями пузырьки могут «схлопываться» с образованием ударной волны. Под её действием происходит локальное эрозионно-кавитационное разрушение поверхности.

#### *7.6.2. Показатели, характеризующие вязкостно-температурные свойства масел*

*Вязкость и вязкостно-температурные свойства являются важнейшими показателями, по которым выбирается масло. Для характеристики этих свойств и качеств у масел нормируются вязкость при определённой температуре, индекс вязкости и температура застывания.* От величины вязкости зависит износ трущихся деталей и потери энергии на трение, так как она напрямую влияет на качество адсорбированной граничной плёнки. Различные присадки только улучшают качество минерального масла.

Вязкость моторного масла влияет:

- на надёжность покачивания масла по системе смазки двигателя;
- лёгкость и быстроту пуска холодного двигателя;
- уплотнение поршневых колец в цилиндрах двигателя;
- степень очистки масла в фильтрах;
- расход масла и топлива;
- охлаждение трущихся деталей.

При *увеличении температуры* вязкость масла *понижается*, а при *увеличении давления* – *возрастает*.

С увеличением вязкости:

- улучшается уплотнение поршневых колец;

- уменьшается прорыв газов из камеры сгорания в картер двигателя;
- в меньших количествах масло попадает в камеру сгорания;
- сокращаются его расход на угар и нагарообразование;
- меньше подтекает через сальники, уплотнения и прокладки;
- возрастает толщина масляного слоя и надёжность жидкостного трения.

Однако вязкость масла всегда должна быть не выше той, при которой уже обеспечивается жидкостное трение, так как с её увеличением неизбежно:

- возрастают потери энергии на трение;
- ухудшается циркуляция масла в системе смазки;
- ухудшается охлаждение деталей;
- ухудшается очистка поверхностей трения от продуктов износа;
- ухудшается жидкостное трение вследствие затруднённого поступления его к трущимся поверхностям.

С увеличением частоты вращения трущихся деталей и улучшением качества обработки их поверхностей жидкостное трение возникает при меньшей вязкости масла. При уменьшении удельной нагрузки вязкость масла может быть снижена, а при увеличении зазоров (износа) в паре трения – увеличена.

Вязкость масла и его температура находятся в обратной сложной индивидуальной зависимости. С увеличением температуры вязкость масла понижается. Лучшими вязкостно-температурными свойствами обладает то масло, у которого в меньшей степени изменяется вязкость при изменении температуры. Такое масло способно обеспечить стабильную смазку во всем диапазоне рабочих температур.

Рабочий диапазон изменения температуры различных агрегатов автомобиля различный. Наиболее экстремальные условия для работы масел возникают в двигателях автомобилей зимой. После длительной стоянки автомобиля все его узлы и агрегаты принимают температуру окружающего воздуха, например  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ . В процессе работы автомобиля общая температура масла в картере двигателя поднимается примерно до  $95\text{--}100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в критических ситуациях и до  $115\text{--}120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При этом рабочий диапазон температуры моторного масла составляет  $125\text{--}150\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Граничная плёнка на поверхности «трения поршневое кольцо – гильза цилиндра» должна выдержать локальную температуру в  $200\text{--}210\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в подшипниках коленчатого вала –  $150\text{--}200\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

В меньших пределах изменяется температура трансмиссионных масел. Во время интенсивной работы грузового автомобиля классиче-

ской компоновки при температуре воздуха  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$  температура масла в коробке передач поднимется только до  $+10\text{--}+15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в ведущем мосту до  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Таким образом, рабочий диапазон температур зимой для коробки передач составит  $40\text{--}45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в ведущем мосту  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Кинематическая вязкость нормируется для моторных масел при  $100$  и  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а для трансмиссионных – только при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Среди условий пуска автомобильного двигателя есть понятие *критическая вязкость масла* – это вязкость, при которой мощность исправной пусковой системы двигателя равна мощности, необходимой для преодоления сопротивления трения, обусловленного вязкостью масла. При температуре масла, равной или меньше критической, пуск двигателя невозможен. Для большинства пусковых систем критическая вязкость масла примерно равна  $5000\text{ мм}^2/\text{с}$ .

При запуске холодного двигателя всегда в той или иной степени возникает явление *масляного голодания*. С увеличением вязкости прокачиваемость масла ухудшается из-за увеличения гидравлических сопротивлений в сетке маслоприемника и маслозаборной трубке, возникает разрыв сплошности потока, повышается давление на выходе из насоса, срабатывает редукционный клапан, вследствие чего уменьшается производительность насоса. Всё это приводит к тому, что до появления первых порций масла на стенках цилиндра после пуска двигателя проходит от  $1$  до  $3$  минут, а нормальная смазка наступает через  $3\text{--}8$  минут работы двигателя. В это время двигатель автомобиля интенсивно изнашивается.

*Индекс вязкости* является наиболее распространенным способом оценки изменения вязкости масла от температуры. Этот условный показатель основан на сравнении *вязкостно-температурных свойств* (ВТС) исследуемого масла и ВТС двух эталонных масел. Одно из эталонных масел имеет высокий градиент изменения вязкости от температуры, т. е. оно имеет плохую, слишком крутую, вязкостно-температурную характеристику. Этому маслу присвоен индекс вязкости, равный нулю. Другое эталонное масло имеет малый градиент изменения вязкости от температуры, оно обладает хорошей пологой характеристикой вязкостно-температурных свойств. Этому маслу присвоен индекс вязкости, равный  $100$ . Следовательно, чем выше индекс вязкости масла, тем меньше изменяется его вязкость в зависимости от температуры, тем лучшим эксплуатационным свойством оно обладает и тем более пригодно для всесезонной эксплуатации. На рис. 7.10 показано принципиальное отличие всесезонного масла от сезонных.



Летнее масло 3 имеет достаточную вязкость для надёжного смазывания двигателя при высоких температурах (выше уровня *B*), но оно слишком вязкое при низких температурах (выше уровня *A*, при котором ещё возможен пуск двигателя стартером). Зимнее масло 1 при низкой температуре обеспечивает холодный запуск двигателя (вязкость ниже уровня *A*), но оно не обеспечивает смазывания двигателя летом, когда температура масла высокая (вязкость ниже уровня *B*). Всесезонное масло 2, полученное загущиванием зимнего масла 1, имеет высокий индекс вязкости, такое масло обеспечивает надёжный запуск двигателя зимой и надёжное смазывание его летом. Вязкость этого масла в границах рабочих температур лежит в области между уровнями *A* и *B*. Летнее масло, используемое летом, имеет несколько худшие показатели по сравнению со всесезонным.

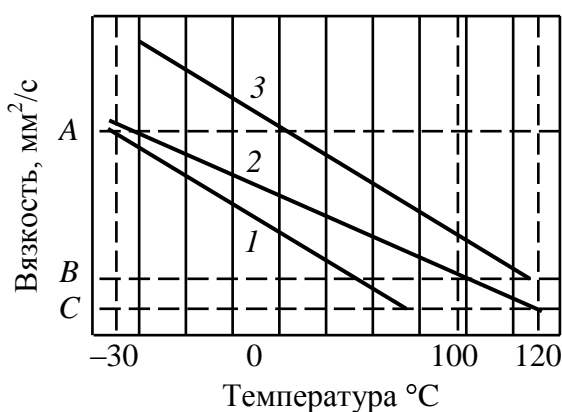


Рис. 7.10. Вязкостно-температурные характеристики масла:

*A* – максимальная вязкость, обеспечивающая запуск двигателя; *B* – рабочая вязкость; *C* – минимальная вязкость, обеспечивающая жидкостное трение; –30 – минимальная рабочая температура масла; 100 – рабочая температура; 120 – максимальная рабочая температура; 1 – зимнее масло; 2 – всесезонное; 3 – летнее

Индекс вязкости масла определяют по номограмме (рис. 7.11) или при помощи специальных таблиц, зная вязкость масла при 50 и 100 °С.

**Температура застывания** – это температура, при которой масло теряет подвижность. Температура застывания является нормируемым показателем. Нефтяные масла не имеют определённой температуры застывания, поскольку постепенно переходят из жидкого состояния в твёрдое. При понижении температуры углеводороды застывают поочередно, постепенно образуется пространственная решетка из кристаллов парафина и церезина, также постепенно увеличивается вязкость, вплоть до полной потери подвижности. Такое состояние масла называется *структурной вязкостью*. Структурная вязкость может быть разрушена механически, при этом застывшие углеводороды не переходят в жидкое состояние, а некоторая подвижность возникает только в результате разрушения пространственной кристаллической решетки.

Застывшее масло теряет прокачиваемость и некоторое время при запуске двигателя не участвует в его смазке, двигатель до прогрева масла работает в режиме сухого трения с большим износом. Кроме того, полностью застывшее масло в картере двигателя не даёт возможность его запустить, а в картере заднего моста оно может настолько повысить сопротивление вращению деталей, что с помощью даже прогретого двигателя автомобиль невозможно сдвинуть с места. В таких случаях возможны аварийные поломки агрегатов трансмиссии автомобиля. Температура застывания масла определяется в стандартной пробирке при повороте её на угол в 45°. Если в течение одной минуты поверхность масла остается неподвижной, то масло считается застывшим.

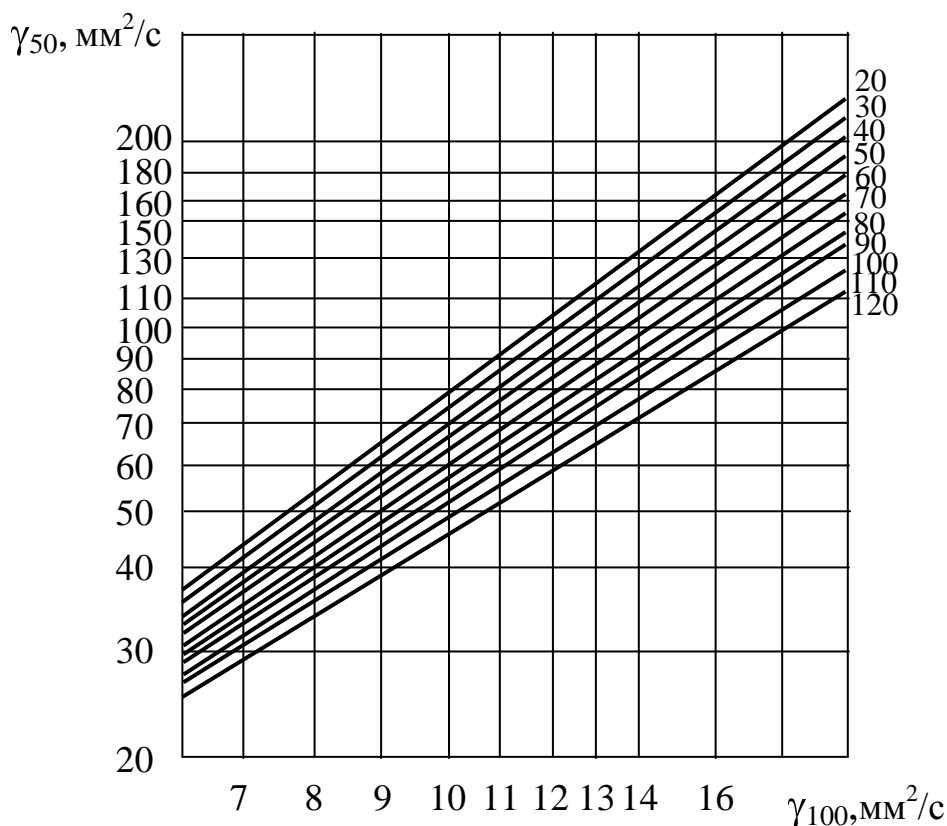


Рис. 7.11. Номограмма для определения индекса вязкости:  $\gamma_{50}$  и  $\gamma_{100}$  вязкость соответственно при 50 и 100 °С, мм<sup>2</sup>/с

В реальных условиях масло перестает участвовать в смазке деталей при более высоких температурах, чем температура застывания масла. Поэтому для надёжной работы автомобиля масло, применяемое для его смазки, должно иметь температуру застывания на 10–20 °С ниже минимальной температуры наружного воздуха.

### 7.6.3. Образование нагара и отложений в двигателе и агрегатах трансмиссии

В процессе работы автомобиля масла, применяемые для смазки его агрегатов, изменяют свои первоначальные свойства. Прежде всего масла окисляются, кроме того, в них накапливаются продукты износа, происходит загрязнение механическими примесями и водой. В процессе работы в масле накапливаются растворимые и взвешенные нерастворимые примеси.

**Окисление.** Автомобильные масла при температурах наружного воздуха (до 40 °С) обладают высокой химической стабильностью, они устойчивы к окислению и могут долго сохранять свои первоначальные свойства. С повышением температуры, начиная с 50 °С, скорость окисления масла значительно увеличивается, а при температуре свыше 300 °С происходят его термический распад и окисление.

Интенсивнее всего «старее» моторное масло, так как всё время работает при высоких температурах. Скорость окисления масла примерно удваивается на каждые 10 °С повышения температуры двигателя. Температура поверхностей деталей двигателя, с которыми контактирует масло, достигает 280–400 °С (соответственно верхняя кольцевая канавка поршня и стержень выпускного клапана). Температура газов, проникающих из камеры сгорания в картер двигателя, в зависимости от режима его работы, равна 500–700 °С.

Для обеспечения химической стабильности современных моторных масел жёсткие ограничения вводятся на максимально допустимую температуру внутренней стенки цилиндра, которая не должна превышать 250–280 °С. Если получить масло, способное выдержать температуру стенки цилиндра в 700–1000 °С, то появится возможность создать двигатель, тепловой рабочий процесс которого будет близким к адиабатному. Коэффициент полезного действия такого двигателя существенно увеличится за счёт уменьшения количества тепла, рассеиваемого системой охлаждения. Следовательно, получение масел с высокой термоокислительной стабильностью будет способствовать созданию более совершенных двигателей.

Кроме высокой температуры, на ускоренный процесс окисления масла в двигателе влияют большие поверхности контакта масла с воздухом в виде масляной плёнки, пены и масляного тумана. Кроме того, на старение масла значительно влияют продукты износа двигателя, кроме механического загрязнения масла, мелкодисперсные про-

дукты износа, такие как медь, сталь, свинец, каталитически ускоряют окислительный процесс, а алюминий и олово не влияют или даже тормозят окисление. Присутствие воды также ускоряет процесс окисления масла. Наиболее интенсивное окисление масла происходит в тонких плёнках, находящихся на сильно нагретых поверхностях.

Продукты окисления масла вызывают коррозию деталей двигателя, образуют на них осадки и отложения. Надо отметить, что продукты окисления нежелательны в масле не только сами по себе, сколько по способности образовывать осадки и отложения.

При прочих равных условиях интенсивность окисления и осмоления зависит от структуры углеводородов масла. Ароматические углеводороды окисляются менее интенсивно, чем нафтеновые и парафиновые.

Старение масла – это глубокие химические изменения, связанные с процессами окисления, полимеризации, алкилирования, разложения и т. д. Первичными продуктами окисления являются перекисные соединения типа:  $R-O-O-H$  – моноалкил и  $R-O-O-R$  – диалкилперекиси.

В зависимости от температуры, при которой происходит окисление масла, могут образовываться *шламы*, *лаки* и *нагар*.

**Шламы** – это густые, мазеобразные, липкие, тёмного цвета продукты окисления, образующиеся при невысоких температурах (не более 120 °С), выпадают из масла в виде отложений и осадка. Типичный шлам – это отложения на крышке клапанной коробки двигателя. Шламовые отложения возникают на маслоприемнике, фильтрах, поддоне картера, в каналах и маслопроводах.

Шламы состоят на 75 % из масла, а остальное составляют продукты окисления, в том числе сажа, нагар, пыль, продукты износа, топливо и вода. Вода в шламовых осадках обычно находится в виде стойких эмульсий.

Менее вязкие масла образуют меньше осадков. Способствует осадкообразованию понижение теплового режима двигателя. Каталитически ускоряющее действие оказывают металлические продукты износа двигателя. Кроме того, осадкообразованию способствует попадание в картер двигателя топлива, отработавших газов и воды.

Для предотвращения шламообразования необходимо поддерживать оптимальный тепловой режим работы двигателя, применять масла, длительное время сохраняющие высокие моюще-диспергирующие свойства.

Удаляются шламы при замене масла путем добавления в него моющих добавок или промывкой двигателя маловязкими маслами, а также специальными промывочными жидкостями.

**Лаки** представляют собой прочные тонкие плёнки толщиной от нескольких десятков до 200–300 мкм, цвета от светло-жёлтого до чёрного. Лаки образуются на горячих деталях при температурах от 250 до 350 °С, когда наряду с окислением масла появляются процессы термической деструкции, такие как крекинг, дегидрогенизация и частичная полимеризация вновь полученных веществ. К поверхностям, на которых образуются лаковые отложения, относятся: внутренние и наружные стенки поршня, поршневые кольца, верхние головки шатунов, стержни клапанов и др.

В состав лаковых отложений входят карбены и карбоиды от 40 до 80 %, масло и нейтральные смолы от 15 до 40 %, асфальтены и оксикислоты от 10 до 15 %.

Лаковые отложения вызывают зависание и пригорание поршневых колец, перегрев и повышенный износ деталей двигателя. Повышенный износ обусловлен тем, что в лаках собираются частицы пыли и нагара, обладающие абразивными свойствами, интенсифицирующие его износ.

Интенсивность лакообразования зависит от *моющих* свойств, вязкости и фракционного состава масла. Лак в двигателях образуется из бензина, дизельного топлива и масла. Лёгкие маловязкие углеводороды быстрее образуют лак, но в меньших количествах, чем более вязкие углеводороды. Большое влияние на лакообразование оказывает применение топлива с повышенным содержанием серы. Получающиеся при этом лаки особенно прочно связаны с металлом. Одновременно с лаком образуются соединения, способствующие коррозионному износу пар трения.

Кроме качества топлива и масла, на интенсивность лакообразования влияют тепловой режим двигателя и техническое состояние его цилиндро-поршневой группы.

Большинство лаковых отложений трудно смывается растворителями и поэтому удаляется, как правило, механическим путем или выжиганием за счёт нагрева деталей до температуры 500–600 °С. Часть лаковых отложений удаётся смыть, используя в качестве растворителя бензол, ацетон, хлороформ, щёлочи или их смеси.

**Моющие свойства** характеризуют способность масла удерживать в себе во взвешенном состоянии продукты окисления, препятствуя их коагуляции, отложению и осаждению на деталях двигателя.

Для придания моторному маслу этих свойств в него вводят моюще-диспергирующие присадки, содержащие поверхностно-активные вещества. Действие этих присадок основано на химическом и физическом взаимодействии их с продуктами окисления.

*Химическое* действие заключается в том, что происходит нейтрализация кислых продуктов окисления, а также химическое превращение склонных к лакообразованию промежуточных продуктов окисления в карбены и карбоиды, легкоотделяющиеся от металлической поверхности.

*Физическое* взаимодействие отложений с частицами заключается в адсорбции присадки на частицах, ограничивающей их дальнейший рост, и поддержании образовавшихся продуктов во взвешенном дисперсном состоянии (диспергирующее действие присадок). Кроме того, эта присадка создаёт на поверхности металлов плёнки, препятствующие отложению лаков и снижающие адгезию уже образовавшихся отложений на поверхности металла, тем самым осуществляя моющее действие присадки.

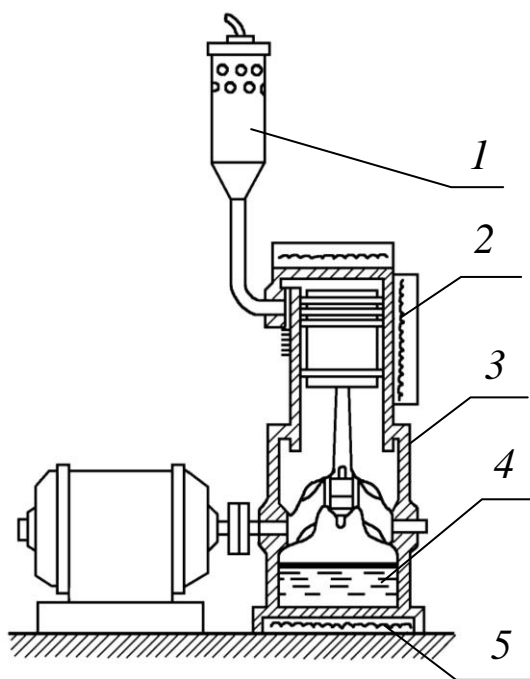


Рис. 7.12. Схема установки для определения моющих свойств масел:

- 1 – подогреватель воздуха;
- 2 – подогреватель двигателя;
- 3 – двигатель; 4 – испытуемое масло;
- 5 – нагреватель масла

Моющие свойства масел определяют лабораторными методами или по результатам моторных испытаний. Лабораторный метод определения моющих свойств масел осуществляется на приборе, который представляет собой одноцилиндровую установку с кривошипно-шатунным механизмом, приводимым от электрического двигателя (рис. 7.12).

Моющие свойства оценивают в баллах по лаку, образовавшемуся на боковой поверхности поршня после его двухчасовой работы на лабораторной установке, в которую залито 250 мл масла, подогретого до  $125 \pm 1$  °С. Для определения количества баллов поршень вынимают из установки, и моющие свойства определяют по лаковым отложениям на поршне, сравнивая их с цветной эталонной шкалой, составленной из семи эталонных поршней. Чистый поршень имеет 0 баллов, а с наибольшими отложениями лака 6 баллов.

**Нагар** – это твёрдая углеродистая масса с прочной шероховатой поверхностью чёрного цвета, образующаяся в камере сгорания, где температура более 2000 °С. По структуре нагар может быть монолитным, пластичным и рыхлым. Химический состав его зависит как от

качества масла и топлива, так и от режима работы двигателя, запыленности воздуха, наличия и характера присадок и т. д. Основными элементами, образующими нагар, являются углерод – до 75 %, кислород – 20 % и водород – 5 %.

Нагар образуется из масла, попадающего в камеру сгорания в результате насосного действия поршневых колец. Часть масла испаряется и сгорает вместе с топливом, а часть покрывает горячее днище, верхний поясок поршня, стенки камеры сгорания, свечи зажигания и форсунки. Вначале это слой густой смолистой массы, который, постепенно обугливаясь, превращается в нагар.

Температура деталей, покрытых слоем нагара, тем выше, чем толще слой нагара. В случае повышения теплового режима двигателя и температуры его деталей часть нагара выгорает и толщина его уменьшается. При снижении теплового режима толщина слоя нагара будет увеличиваться. Равновесное состояние нагарообразования наступает примерно через 10–15 тыс. км пробега. При применении высокозольных масел с содержанием золы более 1,5 % зольные отложения не успевают выгорать и могут вызывать перегрев и даже прогорание поршней двигателя. И наоборот, при применении масел с содержанием золы менее 0,8 % после достижения определённой толщины дальнейшее нагарообразование прекращается, так как соприкасающиеся с нагаром горючие частицы масла будут сгорать без первоначального образования лаковой плёнки, а на поверхности, лишенной связующей среды, частицы нагара не могут удержаться.

#### *7.6.4. Показатели свойства масла, влияющие на коррозионный износ деталей*

Во время работы двигателя первоначальные качества масла ухудшаются и создаются условия для коррозионного износа его деталей. Среди причин изменения первоначальных качеств масла следует отметить, прежде всего, высокие температуры и давление. В маслах происходит накопление химически активных и коррозионно-агрессивных веществ. Одни из них были привнесены в масло вместе с присадками для создания хемосорбированных граничных плёнок, другие образовались в масле в процессе работы двигателя, среди них органические или нефтеновые, а также водорастворимые кислоты и щёлочи.

**Органические кислоты** образуются из продуктов окисления масла и представляют опасность для деталей из цветных металлов. К таким деталям, прежде всего, относятся вкладыши коленчатого ва-

ла. Органические кислоты образуют на поверхности вкладышей местные раковины «оспины», впоследствии перерастающие в сплошные участки с разрушенной поверхностью. Интенсивность коррозии зависит от вида и концентрации органических кислот и резко возрастает при наличии даже небольшого количества воды в масле.

Разрушительное действие моторного масла может быть уменьшено нейтрализацией образующихся в нём кислых продуктов за счёт введения в масло высокощелочных присадок, обеспечивающих защиту масла в процессе всей его работы. Кроме того, для замедления процесса образования органических кислот в масло вводят противокислительные и другие присадки, разрушающие гидроперекиси и превращающие активные радикалы в неактивное состояние. Все эти присадки замедляют процесс окисления и создают на металле защитные плёнки, тем самым снижают каталитическое влияние металла на окисляемость масла.

**Водорастворимые кислоты и щёлочи** одинаково опасны для деталей как из цветных, так и чёрных металлов. Содержание водорастворимых кислот и щелочей в маслах не допускается. В маслах с присадками допускается слабая щелочная реакция. Однако за счёт положительного влияния присадки такое масло не вызывает повышенного износа деталей.

Водорастворимые кислоты образуются в процессе работы двигателя из оксидов серы и азота. Оксид серы получается при сгорании имеющихся в топливе сернистых соединений, а оксид азота – в результате окисления атмосферного азота в камере сгорания двигателя.

Для оценки коррозионных свойств масел в стандартах или технических условиях предусмотрены соответствующие показатели: щелочное число, содержание водорастворимых кислот и щелочей, коррозионность свинцовых, медных или стальных пластинок.

**Щелочное число** характеризует защитные свойства масла, что особенно важно при работе двигателя Дизеля на сернистом дизельном топливе. Щелочное число определяется количеством едкого калия (в миллиграммах), эквивалентным количеству соляной кислоты, израсходованной на нейтрализацию всех сильных оснований, содержащихся в 1 г анализируемого масла. Щёлочное число выражается в миллиграммах КОН на 1 г масла.

В процессе эксплуатации щелочные свойства масла уменьшаются, поэтому признаком, свидетельствующим о необходимости замены масла, является уменьшение его щелочных свойств.



*Коррозионность* определяется по потере массы свинцовой пластинки ( $\text{г/м}^2$ ) при попеременном погружении её в моторное масло, нагретое до температуры  $140\text{ }^\circ\text{C}$  в течение 10 часов. Этот метод учитывает влияние так называемых потенциальных кислот, которые могут образоваться в процессе испытаний в результате контакта масла с воздухом.

Коррозионные свойства трансмиссионных масел определяются погружением в масло, нагретое до температуры  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , на 3 часа медных и стальных пластинок, на которых после испытания не должно быть точек и пятен.

*Сера* в трансмиссионных маслах является полезным элементом, она повышает прочность хемосорбированных граничных пленок. В моторных маслах сера вызывает коррозию деталей, поэтому её содержание в этих маслах ограничивается.

*Водородный показатель* рН указывает на характер среды масла, служит количественной характеристикой их кислотности. При значениях рН = 6–7 – среда нейтральная, от 4 до 6–7 – слабокислая, от 0 до 3 – сильнокислая, от 6–7 до 10 – слабощелочная, от 11 до 14 сильнощелочная.

#### 7.6.5. Контрольные показатели, дополнительно характеризующие качество масла

К контрольным показателям относятся: зольность; содержание механических примесей; содержание воды, бария, кальция, цинка, серы; температура вспышки; плотность и некоторые другие показатели.

*Зольность* масел в общем случае повышает износ деталей двигателя и способствует нагарообразованию. Однако в маслах с присадками за счёт содержания в них растворимых солей зольность его увеличивается, но не влияет на износ деталей, поскольку эта зола не обладает абразивными свойствами. Для современных масел ограничивается сульфатная зольность, определяемая в процентах.

*Содержание механических примесей* в маслах без присадки не допускается, а в маслах с присадками ограничивается. В свежих маслах механическими примесями могут быть только песок и пыль, а в работавших маслах кроме песка и пыли содержатся нерастворимые продукты износа двигателя и старения масла. Они увеличивают износ деталей, нагарообразование, засоряют масляные фильтры и маслопроводы.

*Содержание воды* в маслах допускается только в виде следов. Вода в масле способствует насыщению его газами и вызывает образование пены. В результате в масле может оказаться до 25 % газа по объёму. Пена ухудшает прокачиваемость масла и условия смазки

трущихся деталей, способствует образованию осадков, вызывает коррозию деталей, разрушает и вымывает присадки.

*Температура вспышки* характеризует огнеопасность масел и расход его на угар. Лучшими эксплуатационными свойствами, при прочих равных условиях, обладают масла с более высокой температурой вспышки, так как в них меньше легкоиспаряющихся углеводородов, следовательно, будет меньше эксплуатационный расход масла.

## 7.7. Ассортимент и индексация моторных масел

До 1950 г. в нашей стране автомобильные масла классифицировались только по кинематической вязкости, определённой при 100 °С.

С 1950 г. в классификацию ввели классификационные признаки: тип двигателя (А – для автомобильных карбюраторных двигателей, Д – для двигателя Дизеля), способ очистки (С – селективный, К – кислотно-щелочной) и вязкость (цифрами указывалась кинематическая вязкость при 100 °С, мм<sup>2</sup>/с). Например, широко распространенные масла тех лет АС-6 и АС-8 расшифровывались как А – масло для автомобильных карбюраторных двигателей, С – селективной очистки с вязкостью 6 или 8 сСт при 100 °С, масло АКЗп-6 как А – масло для автомобильных карбюраторных двигателей, К – кислотно-щелочной очистки, З – загущенное, с п – присадками, вязкостью 6 сСт при 100 °С, масло Дп-8 как: Д – масло для двигателя Дизеля с п – присадками вязкостью 8 сСт при 100 °С.

Однако такое разделение на А и Д оказалось весьма условным, так как современные высокофорсированные карбюраторные двигатели предъявляют к маслу требования, близкие к требованиям двигателей Дизеля, а способ очистки масла никакой эксплуатационной информации вообще не несет.

С 1 января 1974 г. введен в действие стандарт – ГОСТ 17479–72. «Масла моторные. Классификация» для всех видов двигателей внутреннего сгорания (за исключением авиационных). Позже он был пересмотрен и в редакции 1998 г. обозначается как ГОСТ 17479–72. Согласно этому ГОСТу в основу классификации и индексации моторных масел положены два эксплуатационных показателя – *вязкость* и *уровень качества*, которые позволяют ответить на вопросы: когда можно применять масло (летом, зимой или всесезонно) и в каком двигателе.

Аналогичный принцип заложен в классификации и индексации масел зарубежных производителей. В этом отношении наша система

классификации и индексации не лучше и не хуже другой системы, принятой во всем мире.

Прежде в мире существовало множество видов индексации моторных масел, но экспорт и импорт автомобилей, смазочных материалов заставил отказаться от этой многовариантности и перейти к единой системе маркировки масел.

### *7.7.1. Российская индексация моторных масел*

Все отечественные масла по *уровню качества* были разделены на 6 *групп*, каждой из которых была определена своя область применения.

А – нефорсированные бензиновые и дизельные двигатели.

Б; Б<sub>1</sub> – малофорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений и коррозии подшипников.

Б<sub>2</sub> – малофорсированные дизельные двигатели.

В; В<sub>1</sub> – среднефорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, способствующих окислению масла и образованию всех видов отложений.

В<sub>2</sub> – среднефорсированные дизельные двигатели, предъявляющие повышенные требования к антикоррозионным и противоизносным свойствам масел, а также склонности к образованию высокотемпературных отложений.

Г; Г<sub>1</sub> – высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в тяжёлых условиях, способствующих окислению масла и образованию всех видов отложений, коррозии и ржавлению.

Г<sub>2</sub> – высокофорсированные дизельные двигатели без наддува или с умеренным наддувом, работающие в условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений.

Д; Д<sub>1</sub> – высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжёлых, чем для масел группы Г<sub>1</sub>.

Д<sub>2</sub> – высокофорсированные дизельные двигатели с наддувом, работающие в тяжёлых эксплуатационных условиях, или когда применяемое топливо требует использования масел с высокой нейтрализующей способностью, антикоррозионными и противоизносными свойствами, малой склонностью к образованию всех видов отложений.

Е; Е<sub>1</sub> – высокофорсированные бензиновые и дизельные двигатели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжёлых, чем для масел группы Д<sub>1</sub> Д<sub>2</sub>.

$E_2$  – высокофорсированные бензиновые и дизельные двигатели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжёлых, чем для масел группы  $D_1$   $D_2$ . Масла, отличающиеся повышенной диспергирующей способностью, лучшими противоизносными свойствами.

Масла групп Б, В, Г и Д, не имеющие цифрового индекса 1 или 2, являются универсальными и предназначены как для бензиновых, так и для дизельных двигателей.

Масла групп Е с любым индексом являются универсальными и предназначены как для бензиновых, так и для дизельных двигателей.

По уровню вязкости предусмотрено семь летних классов с пределами от 6 до 20  $\text{мм}^2/\text{с}$  при 100 °С (6; 8; 10; 12; 14; 16 и  $20 \pm 0,5$   $\text{мм}^2/\text{с}$ ), а для зимних масел четыре класса 3з; 4з; 5з; 6з с нормированной вязкостью при –18 °С.

Таким образом, маркировка отечественных масел состоит из буквенных и цифровых индексов. Например, маркировка М-8В<sub>1</sub> указывает, что это масло *моторное* (буква М), *предназначено для среднефорсированных карбюраторных двигателей* (буква В<sub>1</sub>) с *уровнем вязкости 8  $\text{мм}^2/\text{с}$  при 100 °С* (цифра 8).

В маркировке масел дополнительно могут встречаться и другие индексы. Например (М-8Г<sub>2</sub>к) или (М-10Г<sub>2</sub>к), где буква «к» указывает на то, что это масло предназначено для двигателей автомобиля КамАЗ, (М-8Г<sub>1</sub>и), где буква «и» указывает на то, что в масле использована импортная присадка.

В маркировке загущенных всесезонных масел класс вязкости имеет дробную структуру, поскольку для этих масел стандарт нормирует вязкость при 100 °С и при –18 °С, например 3з/8; 4з/6; 4з/8; 4з/10; 5з/10; 5з/12; 5з/14; 6з/10; 6з/12 и 6з/14. Первая цифра 3, 4, 5 или 6 определяет класс вязкости масла при температуре –18 °С, а цифры после знака дроби 6, 8, 10, 12, 14 указывают вязкость при 100 °С.

Полная маркировка загущенных (всесезонных) масел, например масло М-6з/10Г<sub>1</sub>, прочтётся как масло *моторное* (буква М), *предназначено для высокофорсированных карбюраторных двигателей* (буква Г<sub>1</sub>) с *уровнем вязкости при –18 °С 6000  $\text{мм}^2/\text{с}$*  (цифра 6з) и *вязкостью 10  $\text{мм}^2/\text{с}$  при 100 °С* (цифра 10) (табл. 7.2).

В мировой системе индексации моторных масел также два классификационных признака: *вязкость* и *качество*.

Вязкость определяется и указывается по методике, разработанной американским *Обществом автомобильных инженеров* (Society of Automotive Engineers), сокращенно SAE. Поэтому буквы SAE обозначают, что последующие за ними цифры характеризуют только вязкость данного масла.

Таблица 7.2

Классы вязкости моторных масел

Класс вязкости по ГОСТ 17479–72	Вязкость кинематическая при температуре 100 °С		Вязкость кинематическая при температуре –18 °С, мм <sup>2</sup> /с(сСт), не более
	не менее	не более	
3з	3,8	---	1250
4з	4,1	---	2600
5з	5,6	---	6000
6з	5,6	---	10400
6	5,6	7,0	---
8	7,0	9,3	---
10	9,3	11,5	---
12	11,5	12,5	---
14	12,5	14,5	---
16	14,5	16,3	---
20	16,3	21,9	---
24	21,9	26,1	---
3з/8	7,0	9,5	1250
4з/6	5,6	7,0	2600
4з/8	7,0	9,3	2600
4з/10	9,3	11,5	2600
5з/10	9,3	11,5	6000
5з/12	11,5	12,5	6000
5з/14	11,5	13,0	6000
6з /10	9,3	11,5	6000
6з/12	11,5	12,5	10400
6з/14	12,5	14,5	10400
6з/16	14,5	16,3	10400

### 7.7.2. Мировая система индексации моторных масел

В обозначении зимних масел после цифрового индекса ставится буква W (winter – зима) (например SAE 5W), у летних масел никакой буквы нет (например SAE 20). Нормы вязкости и принятые обозначения зимних и летних сортов моторных масел приведены в табл. 7.3.

Таблица 7.3

## Нормы вязкости моторных масел по классификации SAE

Класс вязкости	5W	10W	15W	20W	20	30	40	50
Температура замерзания, °C (динамическая вязкость 30000 сП)	-30	-25	-20	-15	---	---	---	---
Динамическая вязкость в сП при температуре, °C (в скобках)	3500 (-25)	3500 (-20)	3500 (-15)	4500 (-10)	---	---	---	---
Кинематическая вязкость в сСт при температуре 100 °C: не менее	3,8	4,1	5,6	5,6	5,6	9,3	12,5	16,3
не более	---	---	---	---	9,3	12,5	16,3	21,9

Всесезонные сорта масел представляют собой соответствующие маркировке зимние сорта масел с загущивающей присадкой, которая не допускает разжижения масла при высокой температуре. На холоде загуститель не действует, а чем сильнее нагревается масло, тем сильнее проявляется действие загустителя. Таким образом, на морозе двигатель запускается как на зимнем масле, а в рабочем диапазоне температур масло ведёт себя как летнее. Эти свойства непосредственно отражены в маркировке вязкости всесезонных масел, по существу это две маркировки, написанные через черточку. После букв SAE сначала следует зимний (так ведёт себя масло на холоде), а затем – летний (так ведёт себя масло при температуре +100 °C) показатель (например SAE 5W–20).

Диапазон температур окружающей среды применения всесезонных масел представлен в табл. 7.4.

Таблица 7.4

## Температурный диапазон применения всесезонных масел

Группа по SAE	5W–30	5W–40	5W–50	10W–30	10W–40	10W–50
Температура окружающей среды, °C	От -30 до+20	От -30 до+35	От -30 до+45	От -25 до+30	От -25 до+35	От -25 до+45
Группа по SAE	15W–30	15W–40	15W–50	20W–30	20W–40	
Температура окружающей среды, °C	От -20 до+35	От -20 до+45	От -20 до+45	От -15 до+40	От -15 до+45	

Типичные диапазоны по температуре, работоспособности наиболее часто используемых зимних, летних и всесезонных масел представлены на рис. 7.13.

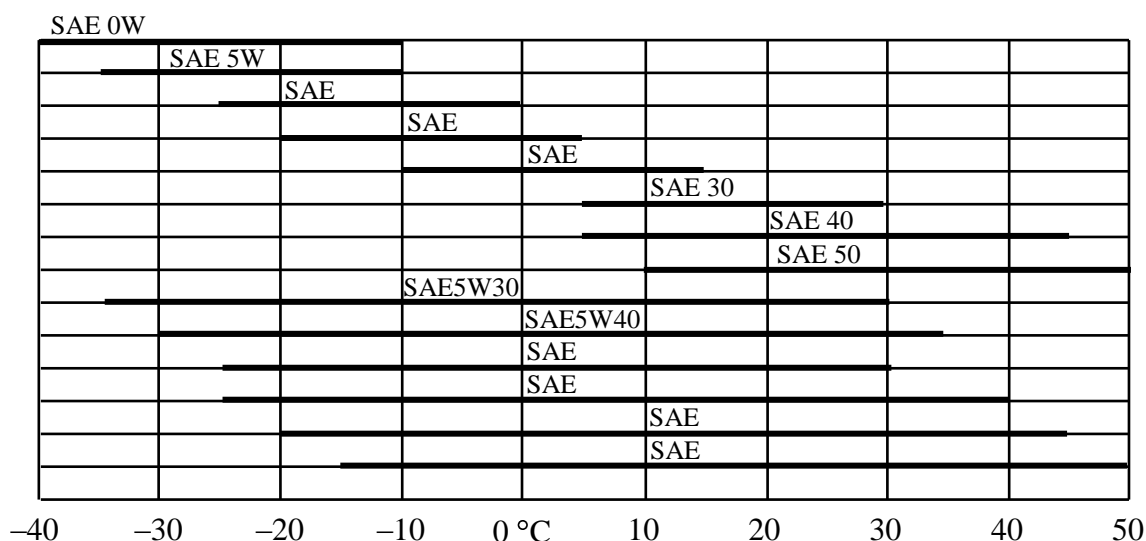


Рис. 7.13. Номограмма работоспособности моторных масел в зависимости от температуры наружного воздуха

Вязкостные свойства отечественного масла М5з/10Г<sub>1</sub> по международной классификации могут быть представлены как SAE 15W–30 (это без учёта качества масла). Надо отметить, что такой перевод не всегда точен, поскольку рамки классов вязкости в обеих системах разные, для практических целей такой перевод представлен в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Ориентировочное соответствие классов вязкости

ГОСТ	SAE	ГОСТ	SAE	ГОСТ	SAE	ГОСТ	SAE
3 <sub>3</sub>	5W	3 <sub>3</sub> /8	5W-20	10	30	5 <sub>3</sub> /14	15W-40
4 <sub>3</sub>	10W	4 <sub>3</sub> /6	10W-20	12	30	6 <sub>3</sub> /10	20W-30
5 <sub>3</sub>	15W	4 <sub>3</sub> /8	10W-20	14	40	6 <sub>3</sub> /14	20W-40
6 <sub>3</sub>	20W	4 <sub>3</sub> /10	10W-30	16	40	6 <sub>3</sub> /16	20W-40
6	20	5 <sub>3</sub> /10	15W-30	20	50		
8	20	5 <sub>3</sub> /12	15W-30				

Мировая оценка качественного уровня масла была разработана Американским нефтяным институтом (American Petroleum Institute), сокращенно **API**, в 1947 г.

По классификации API моторные масла разделены на две категории S и C. К категории «S» (Service) относятся масла для четырёхтактных бензиновых двигателей, к категории «C» (Commercial) относятся масла, предназначенные для дизелей автомобильного транспорта, дорожно-строительной техники и сельскохозяйственных машин.

Уровни эксплуатационных свойств по API в порядке возрастания требований к качеству последовательно обозначаются буквами латинского алфавита и подразделяются в категории «S» на девять

классов (SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH и SJ), а в категории «С» на десять классов (CA, CB, CC, CD, CD-2, CE, CF, CF-4, CF-2 и CG-4 ).

Цифры при обозначении классов CD-2, CF-4, CF-2 и CG-4 дают дополнительную информацию об использовании данного класса масел в двухтактных или четырёхтактных двигателях. Для обозначения универсальных масел, которые могут применяться для смазывания бензиновых и дизельных двигателей, принята двойная маркировка, например SF/CC, SG/CD, CF-4/SH и т. п.

В настоящее время в развитых странах выдаётся лицензия на выпуск масел только высших групп качества SH и SJ для бензиновых двигателей и CF, CF-4, CF-2 и CG-4 для дизелей.

Примерное соответствие качественного уровня моторных масел по API типу двигателей по срокам производства представлено в табл. 7.6.

Таблица 7.6  
Соответствие качества моторного масла  
конструкции двигателя

Обозначение по API	Для бензиновых двигателей
SA	Поставленных на производство до 1955 года
SB	Выпускавшихся с 1956 по 1963 год
SC	Выпускавшихся с 1964 по 1967 год
SD	Выпускавшихся с 1968 по 1971 год
SE	Выпускавшихся с 1972 по 1979 год
SF	Выпускавшихся с 1980 по 1988 год
SG	Выпускавшихся с 1989 по 1991 год
SH	Выпускавшихся с 1992 по 1994 год
SJ	Выпускавшихся с 1995 и позже

Примерное соответствие классов качества моторных масел представлено в табл. 7.7.

Таблица 7.7  
Соответствие классов качества

ГОСТ 17479–72	B	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	Г	Г <sub>1</sub>	Г <sub>2</sub>	Д	Д <sub>1</sub>	Д <sub>2</sub>	Е, Е <sub>1</sub>	Е <sub>2</sub>
API	SD/CB	SD	CB	SE/CC	SE	CC	SF/CD	SF	CD	CF/SG	CF-4/ SH

### 7.7.3. Ассортимент моторных масел

Ассортимент моторных масел приведён на примере компании «ЛУКОЙЛ». Компания «ЛУКОЙЛ» создана на основе образованного в 1991 г. нефтяного концерна, объединившего предприятия нефтегазо-



добычи в западносибирских городах Лангепас, Урай и Когалым. Первые буквы названий этих городов и дали имя компании – «ЛУКОЙЛ».

В 1997 г. компания «ЛУКОЙЛ» освоила выпуск масел серии «ЛУКОЙЛ-Стандарт» уровня качества по API: SF/CC, и Д1/Г2 по ГОСТ 17.479.1:

5W-30	5W-40	10W-30	10W40	15W-30	15W-40	20W-30
M3з/12Д1/Г2	M3з/14Д1/Г2	M5з/12Д1/Г2	M5з/14Д1/Г2	M6з/12Д1/Г2	M6з/14Д1/Г2	M8з/12Д1/Г2

Всесезонные минеральные и полусинтетические (только для класса вязкости 5W) масла для умеренной климатической зоны, изготовленные с применением отечественных и импортных присадок, совместимы с минеральными маслами других производителей того же уровня качества по API. Предназначены для смазки бензиновых двигателей и безнаддувных дизелей отечественных, европейских, американских и японских автомобилей выпуска до 1989 г., где заводом-изготовителем рекомендованы масла группы SF/CC.

Масла серии «ЛУКОЙЛ-Супер» уровня качества по API SG/CD и CF-4/ SG; по ГОСТ 17.479.1–98, классу качества E, классов вязкости по SAE: 5W-30, 5W-40, 10W-30, 10W40, 15W-30, 15W-40; соответствующих индексации по ГОСТ 17.479.1–98: M3з/12E, M3з/14E, M5з/12E, M5з/14E, M6з/12E, M6з/14E.

Всесезонное универсальное моторное масло на полусинтетической основе (только для класса вязкости 5W) обладает высоким уровнем защитных свойств. Изготовлено на минеральной основе с пакетами присадок фирм Shell, Lubrizol, Exxon. Применяется для смазывания как мощных дизелей тягачей и дизелей легковых автомобилей с наддувом, так и бензиновых двигателей без наддува, а также для легковых автомобилей с принудительным впрыском топлива.

Масла серии «ЛУКОЙЛ-Люкс» уровня качества по API SJ/SH/CF, классов вязкости по SAE 5W-30, 5W-40, 10W40, 15W-40 – всесезонные универсальные моторные масла на полусинтетической (только для класса вязкости 5W) и глубокоочищенной минеральной основе с высокими эксплуатационными характеристиками.

Рекомендуются к применению в новейших форсированных бензиновых двигателях с турбонаддувом, в дизелях с наддувом для легковых автомобилей последнего поколения и легких грузовиков европейского, американского и японского производства, в том числе выпуска после 1995 г.

Масла серии «ЛУКОЙЛ-Синтетик» уровня качества по API SJ/SH/CF, класса вязкости по SAE 5W-40 – полностью синтетическое моторное масло мирового уровня качества с наивысшими защитными свойствами. Рекомендуются для смазывания бензиновых и дизельных двигателей новых и перспективных поколений, при любых условиях эксплуатации, при температуре окружающей среды от –40 до +50°С.

При постоянном применении масел компании «ЛУКОЙЛ» замена масла производится без промывки двигателя.

## 7.8. Ассортимент и индексация трансмиссионных масел

В различных редукторах, коробках передач, раздаточных коробках, ведущих мостах, бортовых передачах применяют прямозубые и косозубые цилиндрические, конические, спирально-конические, гипоидные и червячные передачи. Вид передачи, особенности конструкции агрегата, условия его эксплуатации определяют требования к смазочным материалам.

### 7.8.1. Российская индексация трансмиссионных масел

Система обозначения трансмиссионных масел отечественного производства регламентирована ГОСТ 17.479.2–85 «Обозначение нефтепродуктов. Масла трансмиссионные» (ред. 1996 г.). Требования к значениям отдельных показателей для незагущенных трансмиссионных масел содержатся в ГОСТ 23652–79 «Масла трансмиссионные. Технические условия» (ред. 1999 г.).

Согласно ГОСТ 17.479.2–85 обозначение трансмиссионного масла состоит из групп знаков. Первый знак – буквенная аббревиатура «ТМ», которая определяет *вид* смазочного материала, в данном случае «Трансмиссионное Масло», и через дефис две группы цифр. Цифра, следующая за обозначением вида, характеризует *группу эксплуатационных свойств* (возможные направления использования масла). Последующая цифра указывает на принадлежность масла к определенному *классу вязкости*. Наряду с этим могут использоваться дополнительные знаки, характеризующие отличительные особенности масла. Для этого применяются строчные буквы, например, «рк» для *рабоче-консервационных* масел, «з» для масел, содержащих *загущивающую* (вязкостную) присадку.

ГОСТом предусмотрено 5 групп эксплуатационных свойств. В табл. 7.8 приведены назначение и возможные области применения каждой группы трансмиссионных масел.

Таблица 7.8

Группы трансмиссионных масел в зависимости от эксплуатационных свойств

Группа	Состав	Характеристика области применения
1	Минеральное масло без присадок	Цилиндрические, конические и червячные передачи, работающие при контактных напряжениях от 900 до 1600 МПа и температуре масла в объёме до 90 °С
2	Минеральное масло с противоизносными присадками	То же при контактных напряжениях до 2100 МПа и температуре масла в объёме до 130 °С
3	Минеральное масло с противозадирными присадками умеренной эффективности	Цилиндрические, спирально-конические и гипоидные передачи, работающие при контактных напряжениях до 2500 МПа и температуре масла в объёме до 150 °С
4	Минеральное масло с противозадирными присадками высокой эффективности	Цилиндрические, спирально-конические и гипоидные передачи, работающие при контактных напряжениях до 3000 МПа и температуре масла в объёме до 150 °С
5	Минеральное масло с противозадирными присадками высокой эффективности и многофункционального действия, а также универсальные масла	Гипоидные передачи, работающие с ударными нагрузками при контактных напряжениях выше 3000 МПа и температуре масла в объёме до 150 °С

Для трансмиссионных масел отечественного производства предусмотрено 4 класса вязкости (табл. 7.9). Для каждого класса вязкости указаны пределы кинематической вязкости при температуре 100 °С и, кроме того, для классов 9, 12 и 18 значения отрицательных температур, при которых обеспечивается удовлетворительный режим смазывания деталей.

Таблица 7.9

Классы вязкости трансмиссионных масел

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

Пример обозначения трансмиссионного масла: ТМ-5-12з(рк), ТМ – трансмиссионное масло, 5 – эксплуатационная группа (универсальное масло с противозадирными присадками высокой эффективности, в том числе для гипоидных передач), 12 – класс вязкости. Дополнительные знаки свидетельствуют о том, что «з» масло загущено, «рк» может использоваться в качестве рабоче-консервационного.

Кроме обозначений, предусмотренных по ГОСТ 17.479.2–85, конкретные масла, выпускаемые по нормативным документам (НД), чаще имеют другие обозначения, обусловленные этими документами (табл. 7.10).

Таблица 7.10

Соответствие обозначений трансмиссионных масел по ГОСТ 17.479.2–85 и общепринятых, предусмотренных соответствующей нормативно-технической документацией

Обозначение масла по ГОСТ 17479.2	Обозначение, предусмотренное НД	Нормативная документация
ТМ-1-18	ТС-14,5	ТУ 38.10.1110–81
ТМ-1-18	АК-15	ТУ 38.001280–76
ТМ-2-9	Тсп-10ЭФО	ТУ 38.101701–77
ТМ-2-18	Тэп-15	ГОСТ 23652–79
ТМ-2-34	ТС	ОСТ 38.01260–82
ТМ-3-9	ТСзп-8	ОСТ 38.01365–82
ТМ-3-9	ТСп-10	ГОСТ 23652–79
ТМ-3-18	ТСп-15к	ГОСТ 23652–79
ТМ-4-9	Тсз-9гип	ОСТ 38.01157–78
ТМ-4-18	Тсп-14гип	ГОСТ 23652–79
ТМ-4-34	ТС гип	ОСТ 38.01260–82
ТМ-5-12з(рк)	ТМ-5-12 рк	ТУ.38.101844–80
ТМ-5-18	ТАД-17 и	ГОСТ 23652–79

### 7.8.2. Мировая система индексации трансмиссионных масел

Наибольшее распространение за рубежом получила классификация трансмиссионных масел: вязкости по SAE J 306, а классификация качества – по API (США).

Вязкость трансмиссионных масел, как и моторных, оценивается по методу SAE. Также буквой «W» обозначаются зимние сорта, у летних буквенное обозначение отсутствует, а у всесезонных (загущенных) одно за другим (через дефис) следуют два обозначения – «зимнее» и «летнее». Принятые ступени вязкости, их количество и соответствующие им температурные нормативы приведены в табл. 7.11.

Таблица 7.11

## Нормы вязкости трансмиссионных масел по системе SAE

Назначение масла	Зимнее			Летнее		Всесезонное		
	75W	80W	85W	90	140	80W-90	85W-90	85W-140
Вязкость кинематическая 100 °С, мм <sup>2</sup> /с:								
не менее	4,1	7,0	11,0	13,5	24,0	13,5	13,5	24,0
не более	---	---	---	24,0	41,0	24,0	24,0	41,0
Температура, при которой динамическая вязкость достигает 150000 Па·с, °С не выше	-40	-26	-12	---	---	-26	-12	-12

Качественные, то есть эксплуатационно-потребительские, свойства указываются по шкале API. На сегодня в ней предусмотрены шесть ступеней, из которых первые три в современных машинах уже не применяются. Обозначения последующих групп и рекомендации по их применению таковы:

GL-4 – для коробок передач, а также главных передач без гипоидного зацепления;

GL-5 – для коробок передач и редукторов с гипоидным зацеплением;

GL-6 – то же, что и GL-5, но с улучшенными противозадирными свойствами и повышенной долговечностью.

Ориентировочное соответствие классов вязкости и групп качества, предусмотренных ГОСТ 17.479.2–85 и классификациями SAE J 306 и API, приведено в табл. 7.12.

Таблица 7.12

## Соответствие классов вязкости и групп качества трансмиссионных масел

Класс вязкости по ГОСТ 17479.2	Класс вязкости по SAE J 306	Группа масла по ГОСТ 17479.2	Группа масла по API
9	75W	TM-1	GL-1
12	80W/85W	TM-2	GL-2
18	90	TM-3	GL-3
34	140, 250*	TM-4	GL-4
9 или 12 или 18	75W-90, 80W-90, 85W-90, 85W-140	TM-5	GL-5

\*) редукторные масла повышенной вязкости для открытых и негерметичных коробок передач. В Российской Федерации не выпускаются, поскольку в этом случае рекомендуется применение пластичных полужидких смазок.

### 7.8.3. Ассортимент трансмиссионных масел

Ассортимент трансмиссионных масел приведён ниже на примере компании «ЛУКОЙЛ». Всесезонные минеральные масла с многофункциональным пакетом отечественных и импортных присадок:

**ЛУКОЙЛ-ТМ-5** применяют для смазывания агрегатов трансмиссии отечественных легковых автомобилей взамен и наравне с маслом ТАД-17и по ГОСТ 23652–79.

**ЛУКОЙЛ-ТМ-4-18** предназначено для автомобилей семейства ВАЗ 2110, в коробки передач которых заливаются только трансмиссионные масла, а также коробок передач автомобилей ВАЗ 2108 и ВАЗ 1111.

**ЛУКОЙЛ-ТМ-5-12** дополнительно имеет присадки, улучшающие трибологические характеристики, антиокислительные, антикоррозийные, депрессорные и антипенные свойства. Предназначено для первой заправки агрегатов трансмиссии всех моделей автомобилей ВАЗ, а также при эксплуатации и техническом обслуживании коробок передач переднеприводных моделей автомобилей ВАЗ.

**ЛУКОЙЛ-ТМ (ВЕЛС-ТМ)** – с пакетом присадок фирмы «Этил», **ЛУКОЙЛ-ТМ-5 (ВЕЛС транс 5)** – с пакетом присадок фирмы «Лубризол». Всесезонные минеральные масла для северных и средних климатических условий, применяют для смазывания агрегатов трансмиссий с гипоидными передачами и коробок передач легковых и грузовых автомобилей малой грузоподъемности. Обладают высоким уровнем противозадирных, противокоррозионных и антиржавийных свойств, снижают износ и предотвращают поломку зубьев. Масла стабильны к окислению и вспениванию, совместимы с материалами уплотнений и прокладок.

**ТЭп-15** – применяют для смазывания цилиндрических, конических и спирально-конических передач.

**ТАп-15В** – применяют для смазывания тяжело нагруженных цилиндрических, конических и спирально-конических передач.

**ТЭп-15М** – применяют для смазывания редукторов оборудования угольных и сланцевых шахт, а также для смазывания цилиндрических, конических и спирально-конических передач редукторов оборудования разрезов, обогатительных фабрик и различной техники (тракторов и др.) по согласованию с изготовителем техники.

**ЛУКОЙЛ-ТМ-3** – предназначено для смазки агрегатов трансмиссий отечественных грузовых автомобилей взамен и наравне маслам ТСП-15к и Тап-15В, Омскойл К, Велстранс 3, Новойл ТМЗ-18. Оно несовместимо, но взаимозаменяемо с маслами ТСП-15к и Тап-15В и совместимо с маслами Омскойл К, Велстранс 3, Новойл ТМЗ-18.

Всесезонные минеральные масла с применением только отечественных присадок (табл. 7.13).

## Масла трансмиссионные

Наименование (марка)	ГОСТ, ТУ	Класс вязк по SAE	Экспл класс по API	Экспл. класс по ГОСТ 17479.1	Вязкость при 100°C min	Индекс вязкости min	Температура вспышки, °C min	Температура застывания, °C min	Содержание элементов min		
									S	Cu	P
Тэп-15	ГОСТ 23652-79	90	GL-2	TM-2-18	14,0-16,0	---	185	-18	3,0		0,06
ТАп-15В	ГОСТ 23652-79	90	GL-3	TM-3-18	14,0-16,0	---	185	-20	1,2		
Тэп-15М	ТУ 38,301-29-62-95	90	GL-2	TM-2-18	14	---	180	-18	3,0	0,02	0,06
Лукойл-ТМ-3	ТУ 38.301-29-83-97	80W-90	GL-3	TM-3-18	14,0-16,0	90	191	-30	0,43		0,02

## 8. Технические жидкости

В современных автомобилях кроме топлива, масел и смазок широко используют технические жидкости. Они используются для охлаждения и запуска двигателя, торможения и амортизации автомобиля во время движения, управления и приведения в действие механизмов, силовых агрегатов и т. п. Причём эти требования к качеству жидкостей настолько жёстки, многообразны и специфичны, что для их приготовления вынуждены использовать многочисленные химические соединения: гликоли, углеводороды, спирты, глицериды, эфиры и другие. Эти химические соединения применяются как в чистом виде, так и в композициях с водой и нефтепродуктами.

### 8.1. Охлаждающие жидкости

При сгорании топлива не вся тепловая энергия переходит в полезную работу, значительная часть тепла идёт на нагревание деталей двигателя. При этом снижается их механическая прочность, увеличивается износ. Поэтому для обеспечения нормальной работы двигателя необходимо его охлаждать.

Через систему охлаждения отводится 25–35 % общего количества тепла, выделяющегося при сгорании топлива. Нежелательно и излишнее охлаждение, т. к. падает мощность, возрастает износ двигателя и потери на преодоление внутреннего трения в смазочных материалах. Несмотря на разнообразные условия работы двигателя, в нём

должен поддерживаться оптимальный тепловой режим 90–97 °С. При перегрузках кратковременно допускается температура до 120 °С.

В качестве охлаждающих агентов в автомобильных двигателях используется воздух или жидкости. Наибольшее распространение получили жидкостные системы охлаждения.

Детали двигателя и элементы жидкостной системы охлаждения – радиаторы, водяные насосы, термостаты, гильзы цилиндров – изготавливают из чёрных и цветных металлов или их сплава. В системе охлаждения используют пластмассовые, резиновые конструкционные, соединительные и уплотнительные детали.

Для обеспечения нормальной работы двигателей к охлаждающим жидкостям предъявляется ряд требований.

Жидкость должна иметь высокую теплоёмкость, теплопроводность, не замерзать, не кипеть при всех рабочих температурах двигателя, не воспламеняться, не вспениваться, не вызывать коррозию, не разъедать резиновых соединений и уплотнений.

Жидкости, которые полностью отвечали бы этим требованиям, пока не созданы. При положительных температурах воздуха этим требованиям наиболее полно соответствует дистиллированная вода. Во избежание замораживания воды зимой в ней растворяют или готовят смеси её с различными веществами, снижающими температуру застывания. Такие смеси-растворы получили название антифризы.

Впервые они появились в 20-е годы XX века. Сначала их готовили на основе трёхатомного спирта – глицерина, но он был слишком вязким и обладал низкой теплопроводностью. В нашей стране антифризы получили широкое распространение с появлением возможности круглогодичного использования личных легковых автомобилей ВАЗ. Наибольшее распространение получили гликолевые (от греческого «гликос» – сладкий) низкотемпературные жидкости, представляющие собой растворы этиленгликоля с водой. Они хорошо растворяются в ацетонах, спиртах и не растворяются в нефтепродуктах. Этиленгликоль – двухатомный спирт  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ , он представляет собой прозрачную, бесцветную или желтоватую жидкость без запаха. Этиленгликоль имеет температуру кипения 197 °С и температуру кристаллизации –13 °С. Смеси этиленгликоля с водой имеют значительно более низкие температуры кристаллизации (рис. 8.1).

Из графика следует, что температура кристаллизации водно-этиленгликолевых растворов постоянно снижается до минимального значения (–75 °С) при концентрации этиленгликоля около 66,7 %.



С увеличением содержания этиленгликоля температура кристаллизации смеси повышается. Меняя соотношение воды и этиленгликоля, можно получить смеси с температурой застывания от 0 до  $-(70-75)^\circ\text{C}$ .

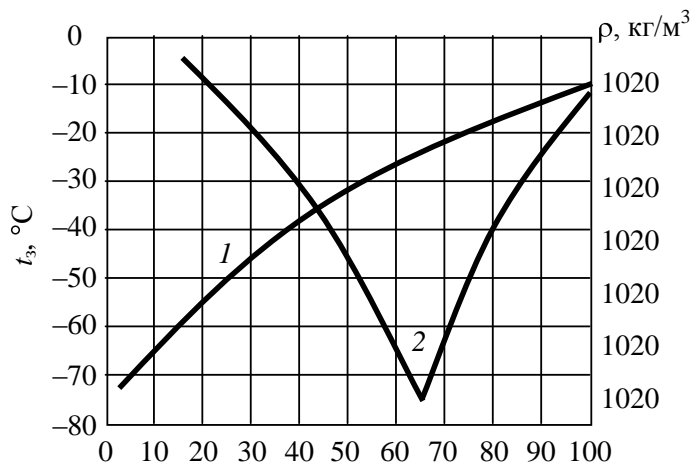


Рис. 8.1. Зависимость плотности – 1 и температуры замерзания – 2 водно-этиленгликолевой жидкости от её концентрации

Низкозамерзающие этиленгликолевые жидкости имеют ряд преимуществ перед водой: кроме низкой температуры застывания – высокую температуру кипения, хорошие вязкостные свойства; негорючи, имеют достаточно высокие теплоёмкость и теплопроводность. Даже при замерзании антифриза образуется рыхлая масса, которая практически не увеличивается в объёме, поэтому система охлаждения не разрушается.

Этиленгликоль и его водные растворы при нагревании сильно расширяются. Чтобы предотвратить выброс жидкости из системы охлаждения, их снабжают расширительными бачками, а автомобили, которые не имеют расширительных бачков, необходимо заполнять на 6–8 % меньше общего объёма.

Температуру кристаллизации и состав низкозамерзающих этиленгликолевых жидкостей определяют, измеряя величину их плотности. Этиленгликолевые антифризы имеют повышенную коррозионность по отношению к металлам и, кроме того, разрушают резину, что вызывает необходимость применения соединительных шлангов из специальной резины.

Для уменьшения коррозионности в состав антифризов введены противокоррозионные присадки: *декстрин* – углевод типа крахмала (1 г/л), предохраняющий от разрушения свинцово-оловянистый припой, алюминий и медь. Декстрин не полностью растворяется в антифризах, некоторая его часть (5–10 %) находится в коллоидном состоянии, вследствие чего антифризы могут быть слегка мутноваты. *Динатрий фосфат* – двухзамещенный фосфорнокислый натрий  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  – 2,5–3,5 г/л, защищающий чёрные металлы, медь и латунь, иногда вводят *молибденокислый натрий*, предотвращающий корро-

зию цинковых и хромовых покрытий на деталях системы охлаждения. Его добавляют в количестве 7,5–8,0 г/л только в простой антифриз. Наша промышленность выпускает низкотемпературную жидкость на основе этиленгликоля нескольких марок: многокомпонентный тосол и более простой и дешевый антифриз марок 40 и 65.

Антифриз марки 40 представляет собой смесь 53 % этиленгликоля и 47 % воды, имеет температуру замерзания не выше  $-40^{\circ}\text{C}$ . Антифриз марки 65 содержит 66 % этиленгликоля и 34 % воды и имеет температуру замерзания не выше  $-65^{\circ}\text{C}$ .

В состав всех антифризов вводятся противокоррозионные присадки. В тосол вводят ещё антипеняющую присадку и композицию антифрикционных присадок.

Для автомобилей выпускают три марки тосола: тосол А, тосол А-40М, тосол А-65М. Тосол А – это концентрированный этиленгликоль, содержащий присадки. Пользоваться тосолом А следует только после разведения его дистиллированной водой.

В процессе эксплуатации можно контролировать качество антифриза по его плотности.

В эти антифризы вводят нейтральный краситель, придающий концентрату тосола А и тосолу А-40 голубой цвет, а тосолу А-65 – красный. Концентраты простого антифриза 40 представляют собой светло-жёлтую, слегка мутную жидкость, а простой антифриз 65 – оранжевую.

Поскольку антифризы различают по рецептуре, смешивать разные марки между собой не следует, а при замене простого антифриза тосолом необходимо промыть систему охлаждения.

При использовании низкотемпературных жидкостей следует учитывать некоторые их особенности. Из этиленгликолевых жидкостей, находящихся в системе охлаждения, в первую очередь испаряется вода, которую следует периодически доливать.

Необходимо следить за тем, чтобы в этиленгликолевые жидкости не попадали бензин и другие нефтепродукты, так как они вызывают вспенивание и выброс жидкости через пробку радиатора.

В процессе эксплуатации изменяется внешний вид охлаждающих жидкостей, они мутнеют, в них появляются осадки. Это вызывается образованием шлама из остатков накипи и окрашиванием этиленгликоля продуктами коррозии. При сильном изменении цвета и значительном помутнении этиленгликолевую жидкость необходимо слить, промыть систему охлаждения водой и залить новую жидкость.

Срок службы тосола ограничивается, так как присадки в процессе эксплуатации распадаются, ухудшая качество жидкости. Опытным путем установлено, что тосол надёжно работает два года, а при интенсивной эксплуатации – в течение 60 тыс. км пробега.

При изготовлении тосола в него добавляют щёлочь, чтобы она нейтрализовала муравьиную и щавелевую кислоту, являющуюся продуктами старения (окисления) этиленгликоля. Когда весь запас щёлочи израсходуется на нейтрализацию кислот, начнется коррозия. Определить срок замены тосола можно с помощью универсальной индикаторной бумаги. Если она укажет на присутствие кислоты, значит, антифриз необходимо заменить.

В случае, если тосол отработал резерв щёлочности и не содержит механических примесей, масла или грязи, то его можно омолодить, добавив литр жидкости *отеры*, представляющей собой раствор концентрированных присадок. Омоложенный таким образом тосол сможет отработать ещё один гарантийный срок. В данной рекомендации речь идёт о системе охлаждения легкового автомобиля, а вообще надо пользоваться примерно таким соотношением: 1 литр *отеры* на 10 литров старого тосола. В больших количествах добавлять *отеру* не следует, т. к. это вызывает избыток присадок. Кроме тосола промышленность вырабатывает антифриз под названием «Лена». Этот продукт по потребительским качествам близок к тосолу и отличается от него лишь несколькими компонентами, входящими в состав присадки. Тосол и «Лену» допустимо смешивать в любых соотношениях. Антифриз «Лену» окрашивают в зелёный цвет.

Кроме тосола и «Лены» выпускается охлаждающая жидкость на базе пропиленгликоля ОЖ-25 ПГ. Условной температурой замерзания её считается температура  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , т. е. она пригодна для тех мест, где не бывает больших морозов. Но и большие морозы не причиняют вреда двигателю, поскольку жидкость не замерзает, а превращается в более или менее густую кашу, объём которой практически не отличается от объёма жидкости. В этом случае для облегчения пуска двигателя (вращения) необходимо ослабить ремень вентилятора.

Главные недостатки тосола, как и любого гликолевого антифриза, это его токсичность и агрессивность к лакокрасочным покрытиям. Если его вылить на землю, то в этом месте в течение года не растёт трава. В нашей стране ежегодно не утилизируется (выливается) несколько тысяч тонн гликолевых антифризов, которые проникают в грунтовые воды и растворяются в них.

Этиленгликоль – сильный пищевой яд, поэтому после контакта с ним необходимо тщательно мыть руки с мылом. Смертельная доза чистого этиленгликоля для взрослого человека – около ста граммов. Попадая в организм человека (орально), гликолевые антифризы вызывают вначале состояние опьянения, а затем наступает сильнейшее отравление, причём весьма вероятен летальный исход. Специальных мер защиты кожи и дыхательных путей при работе с низкозамерзающими жидкостями не требуется.

Антифризы – это дорогостоящие вещества, поэтому их применение требует особой бережливости, заливать антифриз можно только после удаления из системы охлаждения накипи, которая разрушает антикоррозионные присадки. Гликолевые антифризы разрушают лакокрасочные покрытия автомобилей.

В нашей стране доктором химических наук профессором В. Баранником разработан новый антифриз «Арктика», который не содержит этиленгликоля, а значит, не имеет его недостатков. Он состоит из раствора в воде относительно безвредных солей, которые растения воспринимают как удобрение. Изобретением В. Баранника является смесь солей с ингибитором, предотвращающим коррозию. Соли, входящие в состав «Арктики», не стареют (окисляются), поэтому периодической замены таких охлаждающих жидкостей не требуется. «Арктика» имеет незначительный коэффициент температурного расширения, поэтому в системах охлаждения не нужен расширительный бачок. «Арктика», по сравнению с тосолом, обладает большей теплоемкостью и теплопроводностью, что позволяет сделать систему охлаждения автомобилей меньших размеров, а следовательно, легче, что очень выгодно для легковых автомобилей.

У этой охлаждающей жидкости меньше требований к герметичности системы охлаждения. Просачиваясь через неплотности системы охлаждения, эта жидкость, испаряясь, образует кристаллы, которые со временем закупоривают щели. Температура замерзания «Арктики»  $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ , при более низких температурах она превращается в кашеобразную массу, уменьшающуюся в объёме, а следовательно, не разрушающую двигатель. «Арктику» и тосол можно смешивать в любых соотношениях.

## 8.2. Тормозные жидкости

Тормозная система с гидравлическим приводом устанавливается на всех легковых автомобилях и ряде грузовых малой и средней гру-

зоподъемности. Условия работы тормозных систем настолько тяжелы, что даже на большинстве легковых автомобилей для обеспечения необходимой безопасности применяют гидровакуумные усилители. В момент торможения в приводе гидравлической тормозной системы давление может достигать 10–12 МПа. Конструктивные особенности тормозной системы таковы, что и в расторможенной системе сохраняется и поддерживается избыточное давление 0,04–0,05 МПа, это препятствует проникновению воздуха внутрь системы. Попадание воздуха ведёт к нарушению работы тормозной системы, так как часть системы вместо практически несжимаемой жидкости заполняется легкосжимаемым воздухом.

Одновременно с изменением конструкции автомобилей, их скоростных и динамических качеств изменялись требования и к тормозным жидкостям. Так автомобили пятидесятых и шестидесятых годов вполне устраивали жидкости на касторовой основе.

В современных высокоскоростных автомобилях при торможении выделяется большое количество тепла, и жидкости на касторовой основе перестали удовлетворять требованиям из-за низкой температуры кипения входящих в их состав спиртов.

Так при остановке автомобиля массой 1000 кг, движущегося со скоростью 160 км/ч, выделяется около 965 кДж тепловой энергии. Такого количества тепла достаточно, чтобы расплавить килограммовую болванку серого чугуна. Это тепло в реальных автомобилях концентрируется в колесных тормозных механизмах, а их конструкции должны способствовать рассеиванию его в окружающей среде. Так оно и происходит, но детали тормозных систем и, в первую очередь, дисковые тормоза нагреваются довольно сильно. Средние показатели нагрева в реальной эксплуатации таковы: при спокойной езде по автомагистрали – 60–70 °С, при движении в городском транспортном потоке – 80–100 °С, на горных дорогах – 100–120 °С, а в экстремальных случаях при скоростной езде – до 150 °С. Отсюда следует, что тормозная жидкость, будучи нагретой до 140–150 °С, обязана сохранять свои рабочие свойства.

В равной мере тормозная система должна сохранять работоспособность и на морозе. С понижением температуры вязкость тормозной жидкости возрастает, и даже при –40 °С быстрое действие тормозной системы должно быть приемлемым.

В настоящее время наибольшее применение получили тормозные жидкости на гликолевой основе. Эти жидкости представляют со-

бой различные смеси гликолей – двухатомных спиртов с добавками. В чистом виде как тормозная жидкость гликоли не применяются, так как обладают повышенной коррозионной агрессивностью по отношению к чугуну.

Отдельную группу занимают многокомпонентные гликолевые жидкости «Нева» (ТУ 6-01-1163-73), «Томь» (ТУ 6-01-1276-82), «Роса» (ТУ 6-05-221-569-81), «Арктическая» ТУ 2451-096-05757618-2000. Основными их компонентами являются этиловые или метиловые эфиры *ди- и триэтиленгликолей*.

Эти жидкости имеют комплекс антикоррозионных присадок и красителей. Тормозная жидкость «Нева» – сложная композиция на основе этилкарбита. Кроме гликолей в её состав входят эфиры борной кислоты. Тормозная жидкость «Роса» представляет собой композицию на основе борсодержащих олигомеров алкиленоксидов. Необходимо отметить, что, несмотря на некоторые различия, их можно смешивать в любых пропорциях. Жидкости имеют хорошие вязкостно-температурные свойства, прокачиваемость, низкую испаряемость.

Основное различие этих жидкостей – в температуре кипения. Согласно ТУ она должна быть не ниже у «Невы» – 190 °С, «Томи» – 205 °С, «Росы» – 260 °С. Гликолевые соединения гигроскопичны, они активно поглощают влагу.

При содержании влаги 3,5 % в соответствии с ТУ начальные температуры кипения должны быть не ниже: у жидкости «Нева» – 137 °С, «Томь» – 141 °С, «Роса» – 155 °С.

Климатические и дорожные условия эксплуатации наших автомобилей таковы, что после двух лет эксплуатации у 60 % парка автомобилей содержание влаги в тормозной жидкости было более 3,5 %. Таким образом, рекомендации завода по периодической замене тормозной жидкости совершенно обоснованны. При этом дать чёткие сроки замены достаточно сложно.

Ориентироваться можно на следующие показатели: «Нева» – 2–3 года, «Томь» – 3–4 года, «Роса» – 4–5 лет. Необходимо отметить, что поглощающая способность – гигроскопичность тормозных жидкостей – разная и значительно уменьшается от «Невы» к «Росе».

При ремонте или техническом обслуживании тормозной системы, связанном с заменой жидкости, необходимо из трубопроводов и цилиндров удалить остатки старой тормозной жидкости. Для этого ввинчивают специальную пробку крышки главного тормозного цилиндра (пробку бачка) и присоединяют к ней шланг от компрессора,

заглушают на выходе все трубопроводы, за исключением одного, с которого обычно начинают прокачивать тормозную систему. Включают подачу сжатого воздуха и продувают трубопровод до полного удаления жидкости – отсутствия жидкостного тумана. Затем поочередно повторяют операции по схеме, предложенной инструкцией завода, для прокачивания тормозной системы. В той же последовательности промывают тормозную систему техническим спиртом.

Следует иметь в виду, что жидкости на гликолевой основе огнеопасны и токсичны, при попадании на кожу вызывают раздражение. Кроме того, они растворяют лакокрасочные покрытия, поэтому при работе с ними нужно соблюдать осторожность.

## Заключение

К эксплуатационным материалам относятся все материалы, которые расходуются в процессе эксплуатации автомобиля. Основные материалы, необходимые для поддержания жизнедеятельности двигателя и трансмиссии автомобиля, в этой работе рассмотрены. Однако для поддержания работоспособности автомобиля применяются и другие материалы, которые условно можно к ремонтно-конструкционным. Это материалы шин, накладок тормозных колодок, фрикционных дисков сцепления, материалы уплотнений и другие. Работа над совершенствованием этих материалов продолжается.

## Список используемой литературы

1. Гуреев, А. А. Применение автомобильных бензинов. – Москва : Химия, 1972.
2. Гуреев, А. А. Производство высококачественных бензинов / А. А. Гуреев, Ю. М. Жоров, Е. В. Смиримович. – Москва : Химия, 1981.
3. Гуреев, А. А. Испаряемость топлива для поршневых двигателей / А. А. Гуреев, Г. М. Камфер. – Москва : Химия, 1982.
4. Итинская, Н. И. Топливо, масла и технические жидкости / Н. И. Итинская, Н. А. Кузнецов. – Москва : ВО Агропромиздат, 1989.
5. Нефтепродукты для сельскохозяйственной техники / В. А. Борзенков, М. А. Воробьев, Н. А. Кузнецов, А. Н. Никифоров. – Москва : Химия, 1988.
6. Григорьев, Е. Г. Газобаллонные автомобили / Е. Г. Григорьев, Б. Д. Колубаев, В. И. Ерохов. – Москва : Машиностроение, 1989.
7. Золотницкий, В. А. Экономный автомобиль на газовом топливе. – Москва : Ливр, 2000.
8. Моторные масла / Р. Балтенас, А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, В. Шергаллис. – Москва ; Санкт-Петербург, 2000.
9. Трансмиссионные масла. Пластичные смазки / Р. Балтенас, А. С. Сафонов, А. И. Ушаков, В. Шергаллис. – Санкт-Петербург, 2001.
10. Гнатченко, И. И. Автомобильные масла, смазки, присадки / И. И. Гнатченко, В. А. Бородин, В. Р. Репников. – Санкт-Петербург ; Москва : Полигон АСТ, 2000.
11. Васильева, Л. С. Автомобильные эксплуатационные материалы. – Москва : Транспорт, 1986.
12. Колесник, П. А. Материаловедение на автомобильном транспорте. – Москва : Транспорт, 1987.
13. Итинская, Н. И. Автотракторные эксплуатационные материалы / Н. И. Итинская, Н. А. Кузнецов. – Москва : ВО Агропромиздат, 1987.
14. Обельницкий, А. М. Топливо, смазочные материалы и охлаждающие жидкости / А. М. Обельницкий, Е. А. Егорушкин, Ю. Н. Чернявский. – Москва : ИПО «Полигран», 1997.
15. Справочник по клеям / сост. Л. Х. Арапетян, В. Д. Заика, Л. Д. Елецкая, Л. А. Яншина. – Ленинград : Химия, 1980.
16. Калечиц, И. В. Синтетическое жидкое топливо из углей: виды на будущее / И. В. Калечиц, Г. С. Аслаян // ЭКО. – 1985. – № 8.
17. Чередниченко, Г. И. Физико-химические и теплофизические свойства смазочных материалов / Г. И. Чередниченко, Г. Б. Фройштетер, П. М. Ступак. – Ленинград : Химия, 1986.
18. Первушин, А. Эксплуатационные свойства моторных масел // АБС. – 2001. – № 3–6.
19. Кламан, Д. Смазки и родственные продукты. – Москва : Химия, 1988.
20. Климов, К. И. Антифрикционные пластичные смазки. – Москва : Химия, 1988.
21. Масленников, Р. Р. Технические жидкости. – Кемерово, 1990.
22. ГОСТ Р 51313–99. Бензины автомобильные. Общие технические требования / Госстандарт России. – Москва, 2000.



# Оглавление

<i>Р. Р. Масленников</i> .....	3
<i>В. Н. Ермак</i> .....	3
Эксплуатационные материалы .....	3
<b>Предисловие</b> .....	<b>3</b>
<b>1. Физико-химические свойства нефти</b> .....	<b>4</b>
1.1. <i>Химический состав и структура углеводородов нефти</i> .....	4
1.2. <i>Химический состав соединений, содержащих кислород, серу, азот</i> .....	9
<b>2. Основные способы переработки нефти</b> .....	<b>12</b>
2.1. <i>Получение топлив прямой перегонкой</i> .....	12
2.2. <i>Деструктивные методы переработки нефтепродуктов</i> .....	13
2.3. <i>Методы очистки нефтепродуктов</i> .....	16
2.4. <i>Производство смазочных масел</i> .....	17
2.5. <i>Производство пластичных смазок</i> .....	25
<b>3. Автомобильные бензины</b> .....	<b>26</b>
3.1. <i>Основные технико-эксплуатационные требования к качеству автомобильных бензинов</i> .....	26
3.2. <i>Физико-химические свойства бензина, характеризующие его эксплуатационные качества</i> .....	26
3.3. <i>Свойства бензина, влияющие на пуск и безотказную работу двигателя</i> .....	27
3.4. <i>Эксплуатационная оценка бензинов по фракционному составу</i> .....	31
3.5. <i>Свойства бензина, влияющие на мощность двигателя и расход топлива</i> .....	34
3.6. <i>Влияние конструктивных особенностей двигателя на требуемое октановое число топлива</i> .....	44
3.7. <i>Антидетонаторы</i> .....	46
3.8. <i>Свойства бензина, влияющие на износ, техническое обслуживание и ремонт двигателя</i> .....	50
3.9. <i>Показатели, влияющие на сохранение первоначальных качеств бензина</i> .....	54
3.10. <i>Токсичность бензина и влияние продуктов сгорания на окружающую среду</i> .....	55
<b>4. Автомобильные дизельные топлива</b> .....	<b>60</b>
4.1. <i>Основные эксплуатационные требования к качеству автомобильного дизельного топлива</i> .....	60
4.2. <i>Физико-химические свойства дизельного топлива, характеризующие его эксплуатационные качества</i> .....	61
4.2.1. <i>Свойства дизельного топлива, влияющие на бесперебойное поступление его в цилиндры двигателя</i> .....	61
4.2.2. <i>Свойства дизельного топлива, влияющие на смесеобразование в цилиндрах двигателя</i> .....	63
4.2.3. <i>Свойства дизельного топлива, влияющие на надежный пуск и мягкую работу двигателя</i> .....	66
4.2.4. <i>Свойства дизельного топлива, влияющие на окружающую среду, бездымную работу двигателя, образование нагара и отложений</i> .....	70
4.2.5. <i>Свойства дизельного топлива, влияющие на износ двигателя и детали топливной аппаратуры</i> .....	71
4.2.6. <i>Свойства дизельного топлива, влияющие на его способность длительное время сохранять первоначальные качества</i> .....	72
4.3. <i>Ассортимент дизельных топлив</i> .....	73
<b>5. Топливо для двигателей газобаллонных автомобилей</b> .....	<b>75</b>
5.1. <i>Состав и свойства газообразных топлив</i> .....	75
5.2. <i>Сжатые газовые топлива</i> .....	78
5.2.1. <i>Ассортимент природных газовых топлив</i> .....	79
5.3. <i>Сжиженные газовые топлива</i> .....	80
5.3.1. <i>Ассортимент сжиженных газовых топлив</i> .....	83
<b>6. Перспективные виды топлива для автомобилей</b> .....	<b>84</b>
6.1. <i>Топливо-энергетические ресурсы земли</i> .....	84
6.2. <i>Сравнительные оценки видов топлива</i> .....	86
6.2.1. <i>Спиртовые топлива</i> .....	86

6.2.2. Синтетическое жидкое топливо .....	90
6.2.3. Водородное топливо .....	91
6.3. Азотоводородные топлива.....	94
6.3.1. Азотоводородные топлива для воздушно-топливных двигателей.....	94
6.3.2. Азотоводородные топлива для безатмосферных двигателей .....	95
<b>7. Масла для двигателей и агрегатов трансмиссии автомобиля .....</b>	<b>99</b>
7.1. Классификация смазочных материалов.....	99
7.2. Назначение масел.....	100
7.3. Виды трения.....	100
7.4. Виды износа.....	104
7.5. Техничко-экономические требования к маслам.....	107
7.6. Физико-химические свойства масла, характеризующие его эксплуатационные качества .....	108
7.6.1. Показатели, характеризующие смазочные свойства масел.....	108
7.6.2. Показатели, характеризующие вязкостно-температурные свойства масел .....	114
7.6.3. Образование нагара и отложений в двигателе .....	119
7.6.4. Показатели свойства масла, влияющие на коррозионный износ деталей.....	123
7.6.5. Контрольные показатели, дополнительно характеризующие качество масла .....	125
7.7. Ассортимент и индексация моторных масел.....	126
7.7.1. Российская индексация моторных масел.....	127
7.7.2. Мировая система индексации моторных масел.....	129
7.7.3. Ассортимент моторных масел.....	132
7.8. Ассортимент и индексация трансмиссионных масел.....	134
7.8.1. Российская индексация трансмиссионных масел.....	134
7.8.2. Мировая система индексации трансмиссионных масел .....	136
7.8.3. Ассортимент трансмиссионных масел.....	138
<b>8. Технические жидкости .....</b>	<b>139</b>
8.1. Охлаждающие жидкости.....	139
8.2. Тормозные жидкости .....	144
<b>Заключение .....</b>	<b>147</b>
<b>Список используемой литературы .....</b>	<b>148</b>
Эксплуатационные материалы .....	3

Масленников Ростислав Ростиславович  
Ермак Владимир Николаевич

## Эксплуатационные материалы (автомобильные)

Учебное пособие

Редактор З. М. Савина

Подписано в печать 10.06.2013. Формат 60×84/16  
Бумага белая писчая. Отпечатано на ризографе  
Уч.-изд. л. 12,0. Тираж 500 экз. Заказ

КузГТУ, 650000, Кемерово, ул. Весенняя, 28  
Типография КузГТУ  
650000, Кемерово, ул. Д. Бедного, 4а