

# Эксплуатационные материалы



Кафедра «Технологии и оборудование  
переработки продукции АПК»

**Учебное пособие**

**Автор**

**Московский М.Н.**

## **Аннотация**

Рассмотрены основные свойства, показатели качества и условия применения основных автомобильных эксплуатационных материалов: различных видов топлива и смазочных масел. В приложении дано задание к курсовой работе по дисциплине «Эксплуатационные материалы и экономия топливно-энергетических ресурсов» и необходимые пояснения для ее выполнения. Курсовая работа включает расчет нормативного расхода топлив для заданного автомобильного парка с учетом дорожно-транспортных, климатических и других эксплуатационных факторов, расчет расхода автомобильных масел и смазок в течение календарного года; разработку химмотологической карты и выполнение схемы смазки для заданного автомобиля.

## **Автор**

**Московский Максим Николаевич –**

**к.т.н., доцент**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Введение.....</b>                      | <b>4</b>  |
| <b>1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ.....</b> | <b>5</b>  |
| 1.1 Автомобильные топлива .....           | 5         |
| 1.2. СМАЗОЧНЫЕ МАСЛА .....                | 36        |
| <b>ЛИТЕРАТУРА .....</b>                   | <b>57</b> |

## **Введение**

Изучение дисциплины «Эксплуатационные материалы» обеспечивает преемственность знаний предшествующих фундаментальных и общетехнических дисциплин: химии, физики, теоретической и прикладной механики, а также ряда специальных дисциплин, связанных с изучением конструкции и функционирования автомобиля и вносит значительный вклад в подготовку инженеров в области технической эксплуатации автотранспортных, и сельскохозяйственных средств. Знания, полученные при изучении данной дисциплины, служат основой для последующего изучения курсов по поддержанию и восстановлению работоспособности подвижного состава автомобильного транспорта, сельскохозяйственной техники в процессе ее эксплуатации и безопасности жизнедеятельности человека. Основная задача дисциплины заключается в технико-экономическом обосновании целесообразности и эффективности использования автомобильных материалов в процессе эксплуатации, обслуживании и ремонте автомобилей и сельхозтехники. Изучение дисциплины предусмотрено учебными планами специальностей: 190603,190206.

# 1. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

## 1.1 Автомобильные топлива

### 1.1.1. Производство автомобильных топлив

Основные виды топлива для автомобилей - продукты переработки нефти - бензины и дизельные топлива. Они представляют собой смеси углеводородов и присадок, предназначенных для улучшения их эксплуатационных свойств.

Нефть в качестве сырья для производства различных видов топлива и масел обладает рядом неоспоримых преимуществ, прежде всего высокой калорийностью, относительной простотой способов ее добычи, транспортирования и переработки.

Нефть и нефтепродукты в основном состоят из углерода — 83...87 %, водорода — 12... 14 % и серы — 3...4 %, остальное — азот и кислород, т.е. основу сложной по химическому составу и структуре жидкости составляют углеводороды (УВ): парафиновые, нафтеновые и ароматические. В обычных условиях углеводороды, содержащие от одного до четырех атомов углерода, являются газами.

В состав бензина и дизельного топлива входят жидкие углеводороды, имеющие от 5 до 15 атомов углерода.

**ПАРАФИНОВЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ (АЛКАНЫ).** Если они содержат от одного до четырех атомов углерода — это газы (метан, этан, пропан, бутан, изобутан), обладающие высокой детонационной стойкостью, т.е. их октановое число (ОЧ), определенное по моторному методу, составляет 100 и выше. При наличии в парафиновых углеводородах от 5 до 15 атомов углерода — это жидкие вещества, а при содержании свыше 15 атомов углерода — твердые. Топлива и смазочные материалы, содержащие большое количество алкановых углеводородов, отличаются высокой стабильностью. В высококачественных автомобильных бензинах желательное присутствие изопарафинов, которые устойчивы к действию кислорода при высоких температурах. Наличие же нормальных парафинов, легко окисляющихся при повышенных температурах, снимает детонационную стойкость бензинов, но, в то же время, уменьшая время с момента подачи топлива в двигатель до его воспламенения, способствует более плавному нарастанию давления и, следовательно, улучшению работы двигателя. Поэтому содержание нормальных парафинов предпочтительно в более тяжелых дизельных топливах, хотя в зимних сортах их количество тоже ограничивают. Смазочные материалы, содержащие парафиновые углеводороды, имеют высокие температуры застывания, поэтому их применение в холодное время также затруднено.

**НАФТЕНОВЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ (ЦИКЛАНЫ)** — циклические насыщенные углеводороды в нефти, содержатся в виде циклопентана и циклогексана.

Циклическое строение предопределяет высокую химическую прочность углеводородов этого ряда. Нафтеновые углеводороды выделяют меньше

## Эксплуатационные материалы

теплоты при сгорании по сравнению с парафиновыми углеводородами и имеют высокую детонационную стойкость, т.е. являются желательными компонентами в топливах для карбюраторных двигателей и зимних сортах дизельных топлив.

Наличие нафтеновых углеводородов в смазочных материалах определяет увеличение их вязкости и улучшение маслянистости.

АРОМАТИЧЕСКИЕ УГЛЕВОДОРОДЫ (АРЕНЫ) содержатся в нефти в виде бензола и его гомологов. Вследствие своей высокой термической устойчивости, ароматические углеводороды являются желательными составляющими в топливах для карбюраторных двигателей, которые должны иметь самые высокие октановые числа.

Из-за высокой нагарообразующей способности допустимое содержание аренов в бензинах составляет 40... 45 %. В дизельных топливах, вследствие термической стабильности аренов, их присутствие является нежелательным.

НЕПРЕДЕЛЬНЫЕ УГЛЕВОДОРОДЫ (ОЛЕФИНЫ) не содержатся в нефти, они образуются в процессе ее переработки. Непредельные соединения являются важнейшим сырьем при получении топлива методом нефтехимического и основного органического синтеза.

В условиях эксплуатации низкая химическая стойкость олефинов, содержащихся в нефтепродуктах, играет отрицательную роль, понижая их стабильность. Так, бензины термического крекинга из-за окисления их олефиновой части осмоляются при хранении, загрязняют жиклеры карбюраторов и впускной трубопровод, т.е. наличие олефинов нежелательно в любых нефтепродуктах.

СЕРНИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ. Нефть многих месторождений является сернистой или высокосернистой. Переработка такой нефти требует дополнительных затрат, так как при увеличении содержания серы в бензине с 0,033 до 0,15 % мощность двигателя снижается на 10,5 %, расход топлива увеличивается на 12 %, а число капитальных ремонтов возрастает в два раза. Кроме того, использование сернистых топлив наносит большой вред окружающей среде. Сернистые соединения подразделяются на активные и неактивные. К активным относятся соединения, способные вызвать коррозию металлов при нормальных условиях. Это сероводород, меркаптаны и элементарная сера. Находясь в растворенном или взвешенном состоянии, эти соединения способны вызвать сильную коррозию металлов при любых температурных условиях.

В соответствии со стандартами присутствие активных сернистых соединений в нефтепродуктах не допускается.

Неактивные сернистые соединения при нормальных условиях не вызывают коррозии металлов, но при полном сгорании топлива в двигателе образуют сернистый и серный ангидриды, дающие в соединении с водой сернистую и серную кислоты.

## Эксплуатационные материалы

В малосернистой нефти содержание сернистых соединений колеблется от 0,1 до 0,5 %, а в сернистой достигает 4 %.

КИСЛОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ в нефти представлены кислотами, фенолами, эфирами и другими компонентами. Основная их часть сосредоточена во фракциях нефти, кипящих при высокой температуре (высококипящих), т.е. начиная с керосиновой.

Простейшие кислородные соединения — это органические кислоты с общей формулой  $R-COON$ , где  $R$  — углеводородный радикал. В незначительном количестве они присутствуют в топливах и маслах в виде высококипящих (с температурой кипения выше  $200^{\circ}C$ ) маслянистых жидкостей, вызывающих сильную коррозию некоторых цветных металлов (свинца, цинка и др.), поэтому их количество в топливах и маслах строго ограничено ГОСТами.

СМОЛИСТО-АСФАЛЬТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ — это сложные смеси высокомолекулярных соединений, состоящие из азота, серы, кислорода и некоторых металлов. Содержание этих веществ в нефти может составлять от десятых долей до десятков процентов.

Например, нейтральные смолы, содержащиеся в нефти и имеющие цвет от коричневого до черного, обладают интенсивной красящей способностью, чем и обусловлена соответственно окраска получаемых товарных топлив и масел. Это очень неустойчивые, легко изменяющиеся и плохо испаряющиеся вещества, которые отрицательно влияют на свойства топлив и масел.

АЗОТИСТЫЕ СОЕДИНЕНИЯ имеются в нефти в крайне малых количествах и поэтому не оказывают заметного влияния на свойства топлив и смазочных материалов [4].

Промышленное производство топлив состоит из следующих основных этапов: первичная, вторичная переработка нефти и процессы смешения (компаундирования).

Первичная переработка (прямая перегонка)— разделение нефти на отдельные фракции (части) по температурам кипения при нагревании в специальных ректификационных колоннах. В результате получают бензиновые, керосиновые, дизельные фракции, которые используются для получения соответствующих видов топлив, а также мазут. Прямая перегонка позволяет получить небольшую часть (10-25 %) бензиновых фракций, в основном невысокого качества. Прямогонные бензины имеют, как правило, очень низкое ОЧ (не более 40-50). Для увеличения выхода топлива и улучшения его качества (например, повышения детонационной стойкости) используют деструктивные процессы.

Вторичная переработка (деструктивные процессы от лат. destructio — нарушение, разрушение структуры) изменяет химический состав и структуру углеводородов. Основным методом является крекинг (от англ. cracking — расщепление), главная реакция которого — расщепление крупных молекул мазута на более мелкие: под действием высоких температур без катализатора—

## Эксплуатационные материалы

термический крекинг, в присутствии катализатора — каталитический крекинг, катализатора и водорода — гидрокрекинг. Эти процессы позволяют увеличить выход бензиновых фракций из нефти до 60 %. Для получения высокооктановых компонентов товарных бензинов используют процессы каталитического риформинга (получение ароматических компонентов), алкилирования (получение алкилатов) и изомеризации (получение изомеризатов). Для удаления серы из топлив применяется гидроочистка (разновидность гидрокрекинга).

Смешение прямогонных фракций с компонентами вторичных процессов и присадок является завершающим процессом получения товарных автомобильных бензинов и дизельных топлив.

Бензины различных марок получают смешением различного количества компонентов первичной, вторичной переработки нефти и присадок.

Автомобильные бензины одной марки, изготовленные на разных предприятиях, имеют несколько различающийся состав, что связано с неодинаковым набором технологического оборудования. Однако они должны соответствовать нормативной документации. Усредненный компонентный состав бензинов разных марок приведен в табл. 1.

**Таблица 1. Усредненный компонентный состав бензинов**

| Компонент                       | Содержание, % массовые |       |       |       |
|---------------------------------|------------------------|-------|-------|-------|
|                                 | АИ-80                  | АИ-92 | АИ-95 | АИ-98 |
| Бензин каталитического          | 40-80                  | 60-90 | 45-90 | 25-90 |
| Бензин каталитического крекинга | 20-80                  | 10-85 | 10-50 | 0-20  |
| Изопентан                       | 1-10                   | 1-10  | 1-10  | 1-10  |
| Алкилат                         | -                      | 5-20  | 0-35  | 0-50  |
| Ароматические углеводороды      | -                      | 10-20 | 20-40 | 10-40 |
| МТБЭ                            | 0-8                    | 0-12  | 0-15  | 0-15  |
| Высокооктановые добавки         | 0-1                    | 0-1   | 0-1   | 0-1   |
| Бензин прямой перегонки         | 20-60                  | 10-20 | 0-5   | 0-5   |

Дизельные топлива получают смешением прямогонных и прошедших гидроочистку фракций в соотношениях, обеспечивающих требования стандарта по содержанию серы.

Для обеспечения низкотемпературных свойств зимнее и арктическое дизтоплива получают из более легких фракций, чем летнее, или проводят его депарафинизацию (извлечение парафинов), а в топливо марки ДЗп вводят депрессорные присадки. В арктическое дизтопливо для повышения ЦЧ вводят специальные присадки, повышающие его с 38 до 40.

Гидроочисткой дизельного получают экологически чистые топлива летней (ДЛЭЧ-В и ДЛЭЧ) и зимней марок (ДЗЭЧ), которые обладают пониженным содержанием серы [3].



### 1.1.2. Автомобильные бензины

Россия не является членом Европейского Комитета по Стандартизации (CEN), однако Рекомендации технического комитета CEN/TC "Нефтепродукты, смазки и связанные с ними продукты" учитывает в своих национальных стандартах.

**ГОСТ Р 51105-97** "Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированный бензин" регламентирует те же показатели качества, что и в ЕК 228, за исключением показателей: "Содержание углеводородов по типам: олефины, ароматика", "Содержание кислорода", "Содержание оксигенатов: метанол, этанол, изопропиловый спирт, изобутиловый спирт, третбутиловый спирт, эфиры, другие оксигенаты". Нормы на эти показатели определены в комплексе методов квалификационной оценки автомобильных бензинов (КМКО), утвержденном МВК при Госстандарте России 27.05.2000 г. Принципиальных отличий показателей качества, определяемых EN 228 в сравнении с ГОСТ Р 51105 и КМКО, нет.

**ГОСТ Р 51313-99 "Бензины автомобильные. Общие технические требования"**. Стандарт распространяется на группу однородной продукции - бензины для автомобильного транспорта (автомобильные бензины) - и устанавливает показатели качества, характеризующие безопасность продукции и подлежащие обязательному включению во все виды документации, по которой изготавливаются автомобильные бензины.

В зависимости от детонационной стойкости устанавливаются типы автомобильных бензинов.

Нормы по показателям качества, характеризующие безопасность автомобильных бензинов в документации, на конкретные марки должны быть в пределах минимальных и максимальных значений, предусмотренных настоящим стандартом (табл. 2).

## Эксплуатационные материалы

Таблица 2 Показатели качества, характеризующие безопасность автомобильных бензинов

| Наименование показателя  | Значение показателя для бензинов типа |            |            |            | Метод испытания          |
|--|---------------------------------------|------------|------------|------------|--------------------------|
|  | I                                     | II         | III        | IV         |                          |
| Детонационная стойкость:   |                                       |            |            |            |                          |
| октановое число по исследовательскому методу, не менее, или октановое число по моторному                       | 80                                    | 91         | 95         | 98         | ГОСТ 8226                |
| Концентрация свинца, г/дм <sup>3</sup> , не более, для бензина: неэтилированного этилированного                | 0,013<br>0,17                         | 0,013<br>- | 0,013<br>- | 0,013<br>- | ГОСТ 28828               |
| Давление насыщенных паров, кПа   | 35-100                                | 35-100     | 35-100     | 35-100     | ГОСТ 1756                |
| Фракционный состав:<br>90% бензина перегоняется при температуре, °С, не выше,<br>конец кипения бензина, °С, не | 190                                   | 190        | 190        | 190        | ГОСТ 2177                |
| Массовая доля серы, %, не более  | 0,1                                   | 0,05       | 0,05       | 0,05       | ГОСТ 19121<br>или ГОСТ Р |
| Объемная доля бензола, %, не более   | 5                                     | 5          | 5          | 5          | ГОСТ 29040               |

*Примечания:*

1. Минимальное и максимальное значения показателя давления насыщенных паров устанавливаются в документации на автомобильные бензины конкретных марок в зависимости от климатического района применения по ГОСТ 16350 и сезона эксплуатации.

2. Для автомобильных бензинов типа II, III, IV допускается до 1 января 2003 г. массовая доля серы не более 0,1 %.

3. Допускается до 1 января 2003 г., показатель "Объемная доля бензола" в документации на автомобильные бензины конкретных марок не включать. Указанные методы испытаний являются арбитражными и подлежат обязательному включению в документацию на автомобильные бензины конкретных марок. Допускается включение других методов испытаний, не уступающих по точности указанным.

Бензины, в силу своих физико-химических свойств, применяются в двигателях с принудительным зажиганием (от искры). Более тяжелые дизельные топлива, вследствие лучшей самовоспламеняемости, применяются в двигателях с воспламенением от сжатия, т.е. дизелях.

К автомобильным бензинам предъявляются следующие требования:

- бесперебойная подача бензина в систему питания двигателя;
- образование топливовоздушной смеси требуемого состава;
- нормальное (без детонации) и полное сгорание смеси в двигателях;

## Эксплуатационные материалы

- обеспечение быстрого и надежного пуска двигателя при различных температурах окружающего воздуха;
- отсутствие коррозии и коррозионных износов;
- минимальное образование отложений во впускном и выпускном трактах, камере сгорания;
- сохранение качества при хранении и транспортировке.

Для выполнения этих требований бензины должны обладать рядом свойств. Рассмотрим наиболее важные из них.

**Карбюраторные свойства.** Бензин, подаваемый в систему питания, смешивается с воздухом и образует топливовоздушную смесь. Для полного сгорания необходимо обеспечить однородность смеси с определенным соотношением паров бензина и воздуха.

На протекание процессов смесеобразования влияют следующие физико-химические свойства.

Плотность топлива - при +20°C должна составлять 690...750 кг/м<sup>3</sup>. При низкой плотности поплавков карбюратора тонет и бензин свободно вытекает из распылителя, переобогащая смесь.

Вязкость - с ее увеличением затрудняется протекание топлива через жиклеры, что ведет к обеднению смеси. Вязкость в значительной степени зависит от температуры. При изменении температуры от +40 до — 40°C расход бензина через жиклер меняется на 20...30 %.

Испаряемость - эксплуатационное свойство, характеризующее особенности и результат процесса перехода топлива из жидкого состояния в парообразное.

Испаряемость оказывает влияние на процессы образования горючей смеси в двигателе, воспламенение и горение, полноту сгорания, степень разжижения моторного масла, величину естественных потерь топлива при хранении, изменение качества топлива и экологию окружающей среды.

В зависимости от условий различают два вида испарения - статическое и динамическое. Испарение топлива с поверхности, неподвижной относительно окружающей среды, называется статическим. Если жидкость и газовая среда перемещаются относительно друг друга, испарение называется динамическим. При испарении всегда образуются конвективные потоки за счет разности молекулярных масс и температурного градиента в пограничном слое вблизи поверхности испарения.

Наиболее сложным видом является динамическое испарение распыленного топлива в турбулентном потоке нагретого воздуха. На развитие этого процесса влияют химические реакции топлива с кислородом воздуха, термодиффузия, передача тепла излучением и конвекцией. Аналитический расчет процесса испарения затруднен, поэтому его изучают на основе экспериментальных данных. Основной характеристикой процесса испарения является его скорость.

Скорость испарения - количество вещества, которое испаряется и переносится с единицы поверхности жидкости в окружающую среду в единицу времени. Скорость динамического испарения оценивается количеством

## Эксплуатационные материалы

вещества, которое испаряется в единицу времени в единице объема пространства.

Факторы, влияющие на скорость испарения. На скорость испарения оказывают влияние свойства топлива и условия испарения: размеры, форма и материал камеры, в которой осуществляется испарение; температура жидкости, давление и характер движения среды. При динамическом испарении факела распыленного топлива большое значение оказывают степень и однородность распыливания.

Размеры, форма и материал камеры влияют на температурный режим испарения. От них зависит температура среды, жидкости и время прогрева. С изменением температуры меняются все физические параметры процесса испарения.

Скорость испарения в факеле сильно зависит от степени распыливания топлива, которая влияет на величину поверхности испарения и количество испаряющегося топлива. С уменьшением размеров капли сокращается время ее прогрева и повышается скорость испарения.

Чем меньше однородность распыливания топлива, тем интенсивнее испарение в начальный период и продолжительнее период испарения.

Давление насыщенных паров и коэффициент диффузии влияют на скорость испарения. Процесс испарения протекает с затратой тепла. Если при испарении тепло не подводится, то температура окружающей среды и жидкости понижается тем сильнее, чем выше теплота испарения жидкости.

Теплоемкость и теплопроводность топлива оказывают влияние на температуру и время прогрева топлива. Особенно при испарении факела распыленного топлива в камере сгорания, когда время смесеобразования мало.

Вязкость и поверхностное натяжение топлива влияют на процесс испарения через характеристики распыливания. С увеличением вязкости и поверхностного натяжения распыливание становится более грубым и неоднородным.

Фракционный состав бензина определяют перегонкой на специальном приборе по стандартным показателям:

- температура начала перегонки;
- температуры 10, 50, 90 % об. выкипания;
- температура конца перегонки;
- объем остатка в колбе;
- объем потерь при перегонке.

Фракции бензина условно подразделяют на три части (рис. 1): пусковую - первые 10 % отгона, рабочую - 10-90 % отгона и концевую - последние 10 % отгона.

Температура перегонки 10% (об.) характеризует пусковые качества бензина и его способность к образованию паровых пробок.

При пуске холодного двигателя в системе смесеобразования испаряется лишь небольшая часть бензина, его самые легкие фракции. Остальная часть бензина попадает в цилиндры двигателя при пуске в виде жидкой пленки, в которой отсутствуют легкие фракции (рис. 2).

## Эксплуатационные материалы

Если в бензине недостаточно легких фракций, то бензиновоздушная смесь может оказаться вне пределов воспламенения и двигатель не заведется. Чем ниже температура окружающего воздуха, тем больше требуется легких фракций.

На прогревом двигателе часть легких фракций может испариться в бензопроводах и образовать паровые пробки, которые вызовут перебои в подаче бензина.

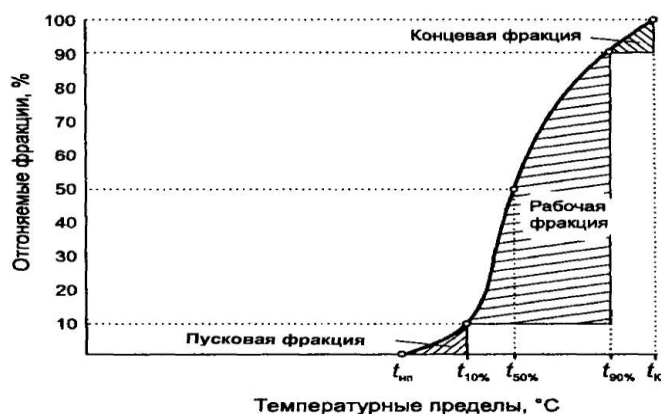


Рис.1. Основные фракции бензина

На прогревом двигателе часть легких фракций может испариться в бензопроводах и образовать паровые пробки, которые вызовут перебои в подаче бензина.

Температура перегонки 50 %-ной фракции топлива характеризует скорость прогрева двигателя, устойчивость его работы на малых оборотах и приемистость. Если температура перегонки 50 %-ной фракции высока, то испарение происходит неполно и с небольшой скоростью; горючая смесь получается обедненной, прогрев двигателя затягивается, двигатель на малых оборотах работает неустойчиво, а приемистость его ухудшается.

Приемистость двигателя предопределяет динамические качества машины, ее способность преодолевать подъемы без переключения передачи и небольшую длину разгона.

Температура перегонки 90 %-ной фракции и температура конца перегонки характеризуют наличие в бензине тяжелых фракций, которые не успевают испариться в впускном трубопроводе и доиспаряются в цилиндрах двигателя. Если тяжелых фракций много и температура их кипения высока, то они останутся в жидком состоянии. В результате этого мощность двигателя упадет, повысится удельный расход топлива и увеличатся рабочие износы двигателя вследствие смывания масла и разжижения его топливом.

## Эксплуатационные материалы

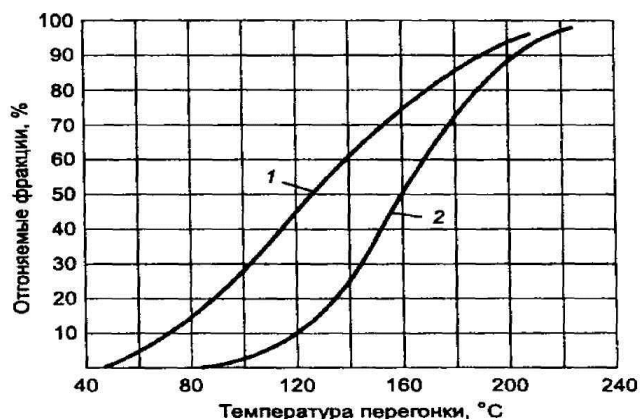


Рис. 2. Фракционный состав автомобильного бензина и жидкой пленки: 1 - автомобильный бензин; 2 - жидкая пленка

Пусковые свойства автомобильных бензинов характеризуются не только содержанием 10 % фракции бензина, но и более высококипящей - 20 % фракции.

Пусковые свойства бензинов в последнее время связывают с содержанием в них фракций, выкипающих до 70°C. Эта зависимость, в отличие от температур начала кипения, 10% и 20% выкипания, не является прямолинейной. С понижением температуры окружающего воздуха потребность во фракциях, выкипающих до 70°C, растет быстрее, чем при более высоких температурах (рис. 3).

Объем остатка в колбе (количество не испарившегося при перегонке бензина) характеризует наличие в бензине тяжелых, нелетучих углеводородов и примесей, которые оказывают вредное влияние на работу двигателя. Как правило, эти остатки, попадая в двигатель, полностью не сгорают и увеличивают удельный расход топлива и рабочие износы двигателя.

Объем потерь при перегонке характеризует склонность бензина к испарению при транспортировании и хранении. Повышенные потери при перегонке свидетельствуют о наличии особо легких фракций в бензине, которые будут интенсивно испаряться при транспортировании и хранении, особенно в жаркое время года.

## Эксплуатационные материалы

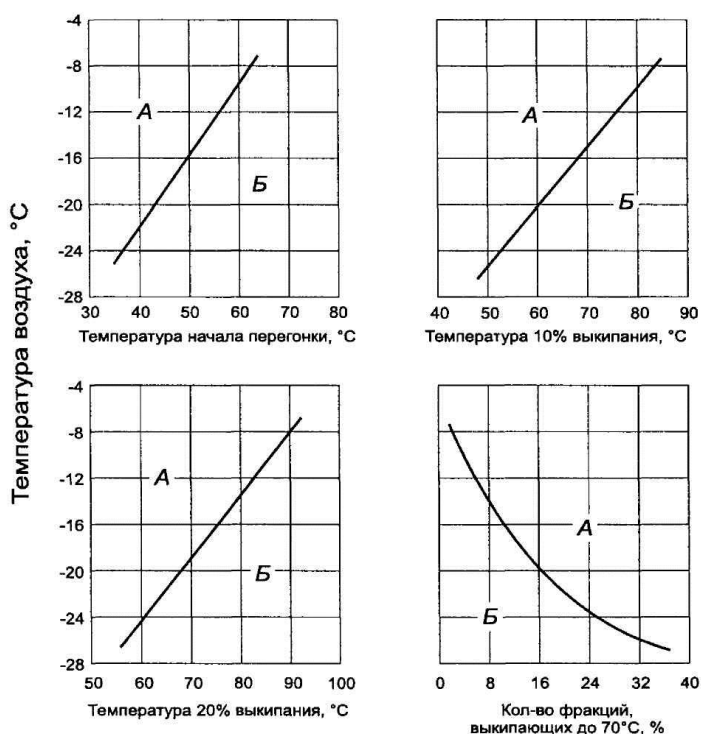


Рис. 3. Изменение области возможного запуска двигателя от температуры воздуха и фракционного состава автомобильных бензинов: А – область возможного пуска холодного двигателя; Б - область невозможного пуска холодного двигателя

Давление насыщенных паров - это максимальное давление паров топлива в воздухе, которое устанавливается при динамическом равновесии при определенных соотношениях жидкой и паровой фаз и температуре.

Давление насыщенных паров дополняет информацию фракционного состава об испаряемости бензина. По величине давления насыщенных паров можно судить о пусковых свойствах бензина, о склонности бензина к образованию в топливной системе двигателя паровых пробок, о возможных потерях от испарения. Давление насыщенных паров измеряют в Па и мм рт. ст.:  $1\text{Па} = 7,5024 \cdot 10^{-3} \text{ мм рт. ст.} = 1,02 \cdot 10^{-5} \text{ кгс/см}^2$ .

Давление насыщенных паров зависит от состава топлив, температуры и соотношения жидкой и паровой фаз для топлив неоднородного углеводородного состава.

Влияние соотношения паровой и жидкой фаз на величину давления насыщенных паров объясняется следующим. Когда объем паровой фазы по сравнению с объемом жидкой фазы невелик, то того количества легкоиспаряющихся углеводородов, которое содержится в бензине, бывает вполне достаточно, чтобы насытить паровую фазу. В этом случае при насыщении состав жидкой фазы практически не изменяется, и в равновесии находятся пар и бензин первоначального состава. Когда объем паровой фазы значительно превышает объем жидкой фазы, тогда для насыщения расходуется значительное количество легкоиспаряющихся углеводородов, при этом состав жидкой фазы меняется. В состоянии насыщения паровая фаза находится в равновесии с жидкостью

## Эксплуатационные материалы

уже измененного состава. Давление насыщенных паров в данном случае отличается от давления насыщенных паров, определенного при небольшом объеме паровой фазы.

С увеличением отношения паровой фазы к жидкой определяемое давление насыщенных паров будет уменьшаться.

Давление насыщенных паров очень сильно влияет на потери бензина при хранении и сливе-наливе. Чем выше давление насыщенных паров, тем больше потери бензина (табл. 3).

При понижении давления насыщенных паров до 250 мм рт.ст. пусковые свойства бензинов ухудшаются, а при дальнейшем снижении запуск двигателя становится невозможен. Товарные автомобильные бензины должны иметь давление насыщенных паров не менее 250 мм рт.ст. (в стандартных условиях). Склонность бензина к образованию паровых пробок в системе подачи топлива оценивается по отношению объемов паровой и жидкой фаз бензина, испарившегося при определенных условиях. Показателем склонности бензина к образованию паровых пробок является критическое значение показателя соотношения пар - жидкость, исключающее образование паровых пробок в широком диапазоне оборотов и нагрузок двигателя. На практике за показатель склонности бензина к образованию паровых пробок принимается температура, при которой достигается предельное соотношение пар-жидкость, обычно 20:1.

**Таблица 3 Потери бензина в зависимости от давления насыщенных паров**

| Давление насыщенных паров, | Потери при сливе-наливе, % по объему | Потери при наземном хранении за год, |
|----------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|
| 210                        | 0,03                                 | 0,25                                 |
| 360                        | 0,05                                 | 1,30                                 |
| 425                        | 0,07                                 | 2,10                                 |

Причиной образования паровых пробок в автомобильном двигателе является перегрев топлива, особенно в условиях жаркого климата.

Для обеспечения надежной эксплуатации автомобильного двигателя в различных климатических зонах в стандартах на автомобильные бензины стали предусматривать дополнительные требования к характеристикам испаряемости.

Наряду с традиционными показателями фракционного состава введены новые показатели:

- объем испарившегося бензина (%) при температуре: 70 °С, 100 °С, 180 °С;
- индекс испаряемости (индекс паровой пробки).

Чем выше давление насыщенных паров бензина, ниже температура перегонки 10 % и больше объем фракции, выкипающей до 70 °С, тем больше индекс паровой пробки (ИПП).



## Эксплуатационные материалы

Влияние бутанов на пусковые свойства бензинов. При добавлении в бензин бутановых углеводородов пусковые свойства бензинов улучшаются непропорционально изменению отдельных показателей их испаряемости. Пусковые свойства бензина, содержащего бутан, всегда лучше, чем пусковые свойства бензина без бутана, имеющего такое же давление насыщенных паров и температуру перегонки - 10 %. Предложенные выше формулы для бензинов, содержащих бутаны, дают завышенную температуру воздуха, при которой возможен холодный пуск двигателя. Присутствие бутана в бензине снижает температуру начала кипения бензина [5].

Низкотемпературные свойства характеризуют работоспособность топливоподающей системы зимой. При низких температурах происходит выпадение кристаллов льда в бензине и обледенение деталей карбюратора. В бензине в растворенном состоянии находится несколько сотых долей процента воды. С понижением температуры растворимость воды в бензине падает и она образует кристаллы льда, которые нарушают подачу бензина в двигатель.

Склонность к образованию отложений - эксплуатационное свойство, характеризующее особенности и результат процессов образования отложений продуктов превращения топлив при эксплуатации техники.

Отложения изменяют тепловой режим двигателя, ухудшают подачу топлива, увеличивают износ и надежность эксплуатации.

Отложения по своим свойствам делят на лаки, нагар и осадки.

Лаки — плотные продукты окислительных превращений на горячих поверхностях металла. Для предотвращения образования лаковых отложений топливо должно обладать хорошими моющими свойствами — способностью противостоять окислению и уплотнению продуктов окисления углеводородов, их адсорбции и коагуляции на горячей металлической поверхности.

Нагар — твердые продукты отложений, образующиеся на поверхности днища поршня и верхней части цилиндра, форсунке и выпускных клапанах. Нарушает тепловой режим двигателя, подачу топлива, увеличивает износ. Для предотвращения образования нагара топливо и масло должны иметь низкую нагарообразующую способность, что зависит от их основного углеводородного состава, наличия примесей, типа и концентрации присадок.

Осадки — липкие, мазеподобные вещества темно-коричневого или черного цвета, состоящие из продуктов низкотемпературного окисления углеводородов, продуктов уплотнения, механических примесей и воды. Забивают элементы топливосистем, ухудшают фильтрование и подачу топлива. Для предотвращения образования осадков топливо должно обладать высокой химической стабильностью [6].

Сгорание бензина. Под "сгоранием" применительно к автомобильным двигателям понимают быструю реакцию взаимодействия углеводородов топлива с кислородом воздуха с выделением значительного количества тепла. Температура паров при горении достигает 1500...2400 °С.

## Эксплуатационные материалы

Теплота сгорания (теплотворная способность) - количество тепла, которое выделяется при полном сгорании 1 кг жидкого или твердого и м<sup>3</sup> газообразного топлива (табл. 4).

**Таблица 4 Теплота сгорания различных топлив**

| Топливо           | Теплота сгорания, кДж/кг |
|-------------------|--------------------------|
| Бензин            | 44000                    |
| Дизельное топливо | 42700                    |
| Спирт этиловый    | 26000                    |

От теплоты сгорания зависит топливная экономичность: чем выше теплота, тем меньше топлива необходимо для м<sup>3</sup> смеси.

Нормальное и детонационное сгорание. При нормальном сгорании процесс протекает плавно с почти полным окислением топлива и скоростью распространения пламени 10...40 м/с. Когда скорость распространения пламени возрастает и достигает 1500...2000 м/с, возникает детонационное сгорание, характеризующееся неравномерным протеканием процесса, скачкообразным изменением скорости движения пламени и возникновением ударной волны.

Детонация вызывается самовоспламенением наиболее удаленной от запальной свечи части бензино-воздушной смеси, горение которой приобретает взрывной характер. Условия для детонации наиболее благоприятны в той части камеры сгорания, где выше температура и больше время пребывания смеси. Внешне детонация проявляется в появлении звонких металлических стуков - результата многократных отражений от стенок камеры сгорания образующихся ударных волн.

Возникновению детонации способствует повышение степени сжатия, увеличение угла опережения зажигания, повышенная температура окружающего воздуха и его низкая влажность, особенности конструкции камеры сгорания. Вероятность детонационного сгорания топлива возрастает при наличии нагара в камере сгорания и по мере ухудшения технического состояния двигателя. В результате детонации снижаются экономические показатели двигателя, уменьшается его мощность, ухудшаются токсические показатели отработавших газов [1].

Бездетонационная работа двигателя достигается применением бензина с соответствующей детонационной скоростью. Углеводороды, входящие в состав бензинов, различаются по детонационной стойкости. Наименее стойки к детонации нормальные парафиновые углеводороды, наиболее - ароматические. Остальные углеводороды, входящие в состав бензинов, по детонационной стойкости занимают промежуточное положение. Варьируя углеводородным составом, получают бензины с различной детонационной стойкостью, которая характеризуется октановым числом (ОЧ).

## Эксплуатационные материалы

ОЧ - это условный показатель детонационной стойкости бензина, численно равный процентному содержанию (по объему) изооктана в смеси с нормальным гептаном, равноценной по детонационной стойкости испытываемому топливу.

Для любого бензина октановое число определяют путем подбора смеси из двух эталонных углеводородов (нормального гептана с ОЧ=0 и изооктана с ОЧ=100), которая по детонационным свойствам эквивалентна испытываемому бензину. Процентное содержание в этой смеси изооктана принимают за ОЧ бензина.

Определение ОЧ производится на специальных моторных установках. Существуют два метода определения ОЧ - исследовательский (ОЧИ - октановое число по исследовательскому методу) и моторный (ОЧМ - октановое число по моторному методу).

Наиболее важным конструктивным фактором, определяющим требования двигателя к октановому числу, является степень сжатия. Повышение степени сжатия двигателей автомобилей позволяет улучшить их технико-экономические и эксплуатационные показатели. При этом возрастает мощность и снижается удельный расход топлива. Однако с увеличением степени сжатия необходимо повышать октановое число бензина. Поэтому важнейшим условием бездетонационной работы двигателей является соответствие требований к детонационной стойкости двигателей октановому числу применяемых бензинов [3].

В топлива, детонационная стойкость которых не соответствует требованиям, добавляют высокооктановые компоненты (бензол, этиловый спирт) или антидетонаторы.

### **Антидетонаторы**

**АЛКИЛСВИНЦОВЫЕ АНТИДЕТОНАТОРЫ.** Наиболее эффективной антидетонационной присадкой до конца XX столетия являлся тетраэтилсвинец (ТЭС). Способность ТЭС подавлять детонацию была открыта в 1921 г., а с 1923 г. начался массовый промышленный выпуск этого антидетонатора. В настоящее время (с июля 2004) в интересах экологической безопасности повсеместно запрещен.

Алкилсвинцовые антидетонаторы - тетраэтилсвинец и тетра-метилсвинец (ТМС) - применяются в виде жидкостей, включающих в свой состав, кроме металлоорганических соединений, выноситель, наполнитель и краситель. Наибольшее распространение получили жидкости Р-9, П-2 и 1-ТС.

Этиловая жидкость Р-9 состоит из 54 % ТЭС, 33 % бромистого этила (табл. 5) и 6 8+0,5 % монохлорнафталина в качестве выносителя свинца; 0,1 % красителя и наполнителя (керосин или бензин) до 100 %. Жидкость П-2 в качестве выносителя содержит дибромпропан, а жидкость 1-ТС - дибромэтан.

**Таблица 5 Физические свойства выносителей для свинцовых антидетонаторов**

| Показатели                                     | Дихлор-этан  | Бромистый этил | Дибром-этан  | Дибром-пропан | $\alpha$ -моно-хлор-нафталин |
|--|--------------|----------------|--------------|---------------|------------------------------|
| Формула  | $C_2H_4Cl_2$ | $C_2H_5Br$     | $C_2H_4Br_2$ | $C_3H_6Br_2$  | $C_{10}H_7Cl$                |
| Плотность при 20°C, г/м <sup>3</sup>           | 1,257        | 1,431          | 2,182        | 1,933         | 1,194                        |
| Температура кипения, °C                        | 83,5         | 38             | 135          | 142           | 259                          |
| Температура плавления, °C                      | -35,3        | -118           | 10           | -56           | -20                          |
| Давление насыщенных паров при 20°C, мм рт. ст. | 97,4         | 399            | 10           | 6             | 1,0                          |

Тетраэтилсвинец при повышенных температурах от 200°C начинает разлагаться с образованием металлического свинца и свободного радикала. При температуре 500-600°C происходит полное разложение ТЭС и окисление металлического свинца.

Окись свинца прерывает избыточное развитие перекисных цепочек, образующихся в рабочей смеси, тем самым предотвращая процесс взрывного горения. При сгорании бензина, содержащего ТЭС, образуется окись свинца с низкой летучестью ( $t_{пл} = 888^\circ C$ ), поэтому часть ее отлагается на стенках камеры сгорания, свечах, клапанах, что может вывести двигатель из строя.

Галоидоалкильные выносители (табл. 5) превращают металлический свинец и его окись в «летучие» галоидопроизводные, которые удаляются из двигателя вместе с отработавшими газами.

**МАРГАНЦЕВЫЕ АНТИДЕТОНАТОРЫ.** Относятся к новым, так называемым «сэндвичевым», соединениям, представляющим собой два циклопентадиенильных кольца, между которыми расположены атомы переходного металла - марганца, никеля, кобальта, железа и др. В марганцевых антидетонаторах переходным металлом является марганец. Наиболее эффективны два марганцевых «полусэндвича» - циклопентадиенил-трикарбонилмарганец (ЦТМ) и его метильное производное (МЦТМ).

Антидетонатор ЦТМ является легко сублимирующимся кристаллическим желтым порошком. Антидетонатор МЦТМ представляет собой маловязкую жидкость светло-янтарного цвета с травянистым запахом. Оба антидетонатора имеют примерно одинаковую эффективность и мало отличаются по эксплуатационным свойствам.

Марганцевые антидетонаторы (МА) в 300 раз менее токсичны, чем ТЭС. Хорошо растворимы в бензине и практически нерастворимы в воде. При низких температурах из бензиновых растворов не выпадают.

Эффективность МА в различных бензинах приблизительно одинакова со свинцовыми антидетонаторами (при равном содержании присадок) и превосходит их при одинаковой концентрации металлов. В присутствии МА

## Эксплуатационные материалы

увеличивается полнота сгорания бензинов и снижается токсичность отработавших газов. Общий износ и коррозия деталей от введения в бензин МА не изменяются. Нагарообразование в двигателе незначительно, преждевременное воспламенение почти отсутствует. Однако при работе на бензине с МА образующийся нагар вызывает перебой в работе свечей зажигания за счет утечки тока по поверхности изолятора свечи и образования токопроводящих нитей между электродами свечи. Продукты сгорания марганца имеют высокую электропроводность, возрастающую с повышением температуры. Проводятся исследования по изысканию преобразователей нагара, изменению конструкции свечей, применению новых материалов для изоляторов и электродов свечей.

В Канаде рекламируется новая антидетонационная присадка «Hitec 3000», которая добавляется в количестве 11 г Мп на тонну бензина. С повышением октанового числа бензина всего лишь на единицу присадка сокращает выброс автомобилем оксида углерода на 1,2 г/км пробега и NO<sub>x</sub> - на 0,06 г/км (20 %).

Использование МА в малых концентрациях является более дешевым способом повышения октановых чисел, чем изменения химического состава или применение МТБЭ.

Марганецсодержащие антидетонаторы в сочетании с преобразователями нагара и антидетонационными спиртовыми и азотсодержащими соединениями рассматриваются как перспективные средства улучшения качества товарных бензинов.

Производство бензинов и дизельных топлив включает целый комплекс технологических процессов, осуществляемых преимущественно на крупных нефтеперерабатывающих заводах (НПЗ).

Потребление высокооктановых бензинов (например, АИ-95, АИ-98) несколько больше, чем их производство на НПЗ. Это связано с низкой потребностью в этих бензинах в некоторых регионах страны, а малотоннажное производство крупным предприятиям невыгодно. В связи с этим товарные бензины производят небольшие фирмы, которые должны обладать для этого допуском, выданным межведомственной комиссией по испытанию топлив, смазок и специальных жидкостей при Госстандарте РФ. Они получают бензин из компонентов, изготовленных промышленным путем на НПЗ. Например, добавлением в АИ-92 или АИ-95 12-15 % метил-*трет*-бутилового эфира (МТБЭ) получают АИ-95 или АИ-98 (соответственно), которые имеют вполне приемлемое качество. Используют также высокооктановые добавки-антидетонаторы в допустимых концентрациях (табл. 6).

**Таблица 6 Предельно допустимые концентрации высокооктановых присадок и добавок в бензинах АИ-95 и АИ-98**

| Наименование                     | ПДК       |
|----------------------------------|-----------|
| Метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ) | 15% мас.  |
| Этанол                           | 5% мас.   |
| АДА, Феррада, АвтоВэм            | 1,3% мас. |
| ФерРоз, ФК-4, АПК                | 37% мас.  |

Недобросовестные "производители" идут на нарушение технологии производства. В основном это заключается в изготовлении суррогатных бензинов из низкооктановых компонентов путем добавления антидетонационных присадок в концентрациях, превышающих допустимые нормы. Использование такого топлива в большинстве случаев приводит к нарушению нормальной работы двигателя, и даже выходу его из строя. Например, превышение допустимых норм железосодержащих антидетонаторов вызывает отложение токопроводящего красного налета на свечах, распылительных отверстиях форсунок и т.д., который практически не удаляется и выводит эти элементы из строя.

Зимнее дизтопливо дороже летнего, поэтому вышеупомянутые "производители" для снижения температуры застывания добавляют зимой в летнюю марку бензины или керосины. У них довольно низкое цетановое число (у керосина — 20-40, у бензина — 14-24), что приводит к жесткой работе дизеля, соответственно к повышению износа и т. д.

Добавление в дизтопливо некачественных депрессорных присадок, понижающих только температуру застывания и не влияющих на предельную температуру фильтруемости, вызывает забивание фильтров.

Для определения детонационной стойкости бензинов, полученных смешением двух марок с различными октановыми числами (по моторному методу), используется формула

$$ОЧ = ОЧн + Дв(ОЧв - ОЧн)/100,$$

где ОЧн и ОЧв - октановые числа (по моторному методу) соответственно низко- и высокооктанового бензина; Дв - доля высокооктанового бензина в смеси, %.

Следует обратить внимание на то, что октановое число бензина АИ-93 по моторному методу составляет не менее 85, а бензина А-76 по исследовательскому методу - 80...82.

Отечественная промышленность выпускает бензины следующих марок: А-76, А-80, АИ-92, АИ-93, АИ-95, АИ-98.

Маркировка бензинов включает одну или две буквы и цифру: буква «А» - бензин автомобильный, «И» - исследовательский метод определения ОЧ (если нет «И» - то моторный), цифра указывает на октановое число.

Автомобильные бензины, за исключением марки АИ-98, подразделяются на виды:

## Эксплуатационные материалы

летний - для применения во всех районах, кроме северных и северо-восточных, в период с 1 апреля до 1 октября; в южных районах допускается применять летний вид бензина в течение всего года;

зимний - для применения в течение всех сезонов в северных и северо-восточных районах; в остальных районах - с 1 октября до 1 апреля.

В промышленно развитых странах применяется в основном четыре типа бензинов: обычный неэтилированный с ОЧ = 92...95, обычный этилированный с ОЧ = 92...95, «Супер» неэтилированный с ОЧ = 96...98, «Супер» этилированный с ОЧ = 96...98. В разных странах они называются по-разному, но, зная возможные варианты, можно всегда определить, к какому типу относится тот или иной бензин.

Например, в Германии используют следующие бензины: «Bleifrei» (дословный перевод «без свинца») с ОЧ = 95, «Verbleit» (дословный перевод «со свинцом») с ОЧ = 95, «Super bleifrei» с ОЧ = 96...98, «Super bleifrei» с ОЧ = 96...98, «Super plus bleifrei» с ОЧ = 98 [5].

### 1.1.3. Дизельные топлива

Дизельные двигатели, в силу особенностей рабочего процесса, на 25...30 % экономичнее бензиновых двигателей, что и предопределило их широкое применение. В настоящее время они устанавливаются на большинство грузовых автомобилей и автобусов, а также на часть легковых.

Эксплуатационные требования к дизельным топливам:

- бесперебойная подача топлива в систему питания двигателя;
- обеспечение хорошего смесеобразования;
- отсутствие коррозии и коррозионных износов;
- минимальное образование отложений в выпускном тракте, камере сгорания, на игле и распылителе форсунки;
- сохранение качества при хранении и транспортировке. Наиболее важными эксплуатационными свойствами дизельного топлива являются его испаряемость, воспламеняемость и низкотемпературные свойства.

Условия смесеобразования в дизеле существенно отличаются от бензинового двигателя. В дизелях рабочая смесь образуется за 20-40° поворота коленчатого вала и составляет 0,001-0,004 с, что примерно в 10-15 раз меньше времени, отводимого на испарение в карбюраторном двигателе. Испарение в дизеле происходит при высокой температуре 600-800 °С, при давлении 3,0-50 МПа в конце такта сжатия воздуха. При ограниченном времени однородная качественная горючая смесь может быть получена только при хорошем распылении и испаряемости топлива.

Испаряемость дизельных топлив в настоящее время оценивается только фракционным составом.

## Эксплуатационные материалы

Фракционный состав современных дизельных топлив изменяется в широком интервале температур (табл.7).

**Таблица 7 Зависимость фракционного состава современных дизельных топлив от температуры**

| Температура, °С  | Топливо                           |                                   |                            |
|------------------|-----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
|                  | расширенного фракционного состава | утяжеленного фракционного состава | стандартное по ГОСТ 305-82 |
| начала перегонки | 60-90                             | 200                               | 180-200                    |
| 10%              | 120-150                           | 240                               | 210-230                    |
| 50%              | 280                               | 290                               | 256-280                    |
| 90%              | 360                               | 360                               | 300-330                    |
| 96%              | 380                               | 380-400                           | до 360                     |

Единичные показатели фракционного состава нормируются по-разному в зависимости от состава и назначения топлива.

Для топлив, включающих бензиновые фракции или газовые конденсаты, с целью ограничения количества легких фракций и улучшения воспламеняемости нормируются температуры начала перегонки и 10 % выкипания. Для топлив с улучшенными экологическими характеристиками нормируется температура выкипания 96 % или конца кипения. Испаряемость топлив из прямогонных соляровых фракций оптимизируется двумя точками фракционного состава: 50 % и 90 % выкипания.

В связи с тем, что при атмосферном давлении трудно определить температуру конца кипения или 96 % выкипания, в некоторых стандартах определяют температуру перегонки 90 % или 85 % топлива.

Характеристики фракционного состава дизельного топлива оценивают не только испаряемость топлива и качество смесеобразования, но и другие эксплуатационные свойства: воспламеняемость, склонность к образованию отложений и др.

Облегчение фракционного состава, т.е. снижение температуры начала перегонки и 10 % выкипания, а также снижение температуры перегонки 96 %, кроме жесткой работы двигателя затрудняет его пуск и прогрев из-за увеличения теплоты испарения топливовоздушной смеси, снижения температуры в камере сгорания и возрастания периода задержки воспламенения легких углеводородов по сравнению с тяжелыми [2].

Утяжеление фракционного состава, т.е. повышение температуры выкипания 90 % и 96 %, приводит к неполному испарению топлива в процессе смесеобразования, и снижению теплоты сгорания тяжелых углеводородов по



## Эксплуатационные материалы

сравнению с легкими, и ухудшению экономичности двигателя. Несгоревшие тяжелые фракции топлива, стекая по стенкам цилиндра, смывают масло и увеличивают износ цилиндро-поршневой группы, а также вызывают разжижение масла в картере двигателя. Тяжелые фракции дизельного топлива положительно влияют на его воспламеняемость за счет снижения температуры самовоспламенения нестабильных тяжелых углеводородов.

Таким образом, недостаточную самовоспламеняемость легких фракций в дизельном топливе в определенной степени можно компенсировать хорошей самовоспламеняемостью тяжелых фракций углеводородов алканового строения.

Исходя из этого, перспективным решением топливной проблемы дизелизации автомобильного парка является использование единого дизельного топлива с температурой начала кипения 60-80 °С и температурой перегонки 90% -360 °С.

Воспламеняемость дизельного топлива характеризует его способность к самовоспламенению в камере сгорания. Это свойство в значительной мере определяет подготовительную фазу процесса сгорания - период задержки воспламенения, который, в свою очередь, складывается из времени, затрачиваемого на распад топливной струи на капли, частичное их испарение и смешение паров топлива с воздухом (физическая составляющая), а также времени, необходимого для завершения предпламенных реакций и формирования очагов самовоспламенения (химическая составляющая).

Физическая составляющая времени задержки воспламенения зависит от конструктивных особенностей двигателя, а химическая - от свойств применяемого топлива. Длительность периода задержки воспламенения существенно влияет на последующее течение всего процесса сгорания. При большой длительности периода задержки воспламенения увеличивается количество топлива, химически подготовленного для самовоспламенения. Сгорание топливовоздушной смеси в этом случае происходит с большей скоростью, что сопровождается резким нарастанием давления в камере сгорания. В этом случае дизель работает «жестко».

«Жесткость» работы оценивают по нарастанию давления на 1° поворота коленчатого вала (КВ). Двигатель работает мягко при нарастании давления 2,5...5,0 кгс/см<sup>2</sup> на 1° поворота КВ, жестко - при 6...9 кгс/см<sup>2</sup>, очень жестко - при нарастании давления более 9 кгс/см<sup>2</sup>. При жесткой работе поршень подвергается повышенному ударному воздействию. Это ведет к повышенному износу деталей кривошипно-шатунного механизма, снижает экономичность двигателя.

Склонность дизельных топлив к самовоспламенению оценивают по цетановому числу (ЦЧ).

## Эксплуатационные материалы

ЦЧ - это условный показатель воспламеняемости дизельного топлива, численно равный объемному проценту цетана в эталонной смеси с альфаметилнафталином, которая равноценна по воспламеняемости испытываемому топливу.

Для определения ЦЧ составляют эталонные смеси. В их состав входят цетан и  $\alpha$ -метилнафталин. Склонность цетана к самовоспламенению принимают за 100 единиц, а  $\alpha$ -метилнафталина - за 0 единиц. Цетановое число смеси, составленной из них, численно равно процентному содержанию (по объему) цетана.

Оценку самовоспламеняемости дизельного топлива производят аналогично методу оценки детонационной стойкости бензинов. Образец сопоставляется с эталонными топливами на одноцилиндровых двигателях ИТ-9.

Самовоспламеняемость дизельного топлива влияет на их склонность к образованию отложений, легкость пуска и работу двигателя. Для современных быстроходных дизелей применяются топлива с ЦЧ = 45...50. Применение топлив с ЦЧ ниже 40 ведет к жесткой работе двигателя. Повышение ЦЧ выше 50 нецелесообразно, так как из-за малого периода задержки самовоспламенения топливо сгорает, не успев распространиться по всему объему камеры сгорания. При этом воздух, находящийся далеко от форсунки, не участвует в горении, поэтому топливо сгорает не полностью. Экономичность дизеля ухудшается, наблюдается дымление.

ЦЧ влияет на пусковые качества дизельного топлива. При высоких ЦЧ время пуска снижается, особенно при низких температурах.

ЦЧ может быть повышено двумя способами: регулированием углеводородного состава и введением специальных присадок.

1-й способ. В порядке убывания ЦЧ углеводороды располагаются следующим образом: нормальные парафины - изопарафины - нафтены - ароматические УВ. ЦЧ можно существенно повысить, увеличивая концентрацию нормальных парафинов и снижая содержание ароматических.

2-й способ более эффективен. Вводят специальные кислородосодержащие присадки - органические перекиси, сложные эфиры азотной кислоты и др. Эти присадки являются сильными окислителями и способствуют зарождению и развитию процесса горения.

Пример: добавление 1 % изопропилнитрата повышает ЦЧ на 10... 12 единиц. Кроме того, эта присадка улучшает пусковые качества при низкой температуре и снижает нагарообразование.

*Ассортимент дизельных топлив:*

## Эксплуатационные материалы

•ДЛ - дизельное летнее - для эксплуатации при температуре окружающего воздуха не ниже 0 °С;

•ДЗ - дизельное зимнее - для эксплуатации при температуре окружающего воздуха не ниже -30 °С;

•ДА - дизельное арктическое - для эксплуатации при температуре окружающего воздуха не ниже -50 °С [5].

В 1999 г. Европейским Комитетом по Стандартизации (CEN) принят стандарт "Моторные топлива для двигателей внутреннего сгорания - дизель - требования и методы испытаний" prEN 590, регламентирующий требования и методы испытаний, относящиеся к реализуемому на рынках автомобильному дизельному топливу. В соответствии с prEN 590 определены общие нормы для автомобильного дизельного топлива (табл. 8).

Таблица 8 **Общие требования к автомобильному дизельному топливу**

| Характеристика                                | Единицы измерения  | Предельное значение |          | Метод испытания                         |
|---|--------------------|---------------------|----------|---|
|   |                    | Минимум             | Максимум |   |
| Цетановое число                               |                    | 51                  | -        | EN180 5165                              |
| Цетановый индекс                              |                    | 46                  |          | EN180 4264                              |
| Плотность при 15 °С                           | кг/м <sup>3</sup>  | 820                 | 845      | EN180 3675 EN ISO 12185                 |
| Полициклические ароматические углеводороды    | % масс.            | -                   | 11       | IP 391                                  |
| Содержание серы                               | мг/кг              | -                   | 350      | EN ISO 14596<br>EN ISO 8754<br>EN 24260 |
| Температура вспышки                           | °С                 | 55                  | -        | EN 22719                                |
| Зольность 10% остатка                         | % масс.            | -                   | 0,30     | EN ISO 10370                            |
| Зольность                                     | % масс.            | -                   | 0,01     | EN ISO 6245                             |
| Содержание воды                               | мг/кг              | -                   | 200      | PrEN ISO 12937                          |
| Осадок  | мг/кг              | -                   | 24       | EN 12662                                |
| Коррозия медной пластинки                     |                    | Класс 1             |          | EN ISO 2160                             |
| Окислительная стабильность                    | г/м <sup>3</sup>   | -                   | 25       | EN ISO 12205                            |
| Маслянистость, диаметр пятна износа при 60 °С | мкм                | -                   | 460      | ISO 12156-1                             |
| Вязкость при 40 °С                            | мм <sup>2</sup> /с | 2,0                 | 4,5      | EN ISO 3104                             |
| Фракционный состав: перегоняется до 250°С     |                    |                     |          | PrEN ISO 3405                           |

*Низкотемпературные свойства.*

При низких температурах высокоплавкие углеводороды, прежде всего нормальные парафины, кристаллизуются. По мере понижения температуры дизельное топливо проходит через три стадии: вначале мутнеет, затем достигает так называемого предела фильтруемости и, наконец, застывает. Связано это с тем, что сначала в топливе появляются разрозненные кристаллы, которые оседают на фильтрах и ухудшают подачу топлива. При дальнейшем охлаждении теряется подвижность нефтепродуктов вследствие образования из кристаллизующихся углеводородов каркаса.

Показатели, характеризующие начало кристаллизации углеводородов в топливе и потерю их подвижности, стандартизованы.

Температурой помутнения называют температуру, при которой дизтопливо теряет прозрачность в результате выпадения кристаллов углеводородов и льда. Бесперебойная работа двигателя обеспечивается при температуре помутнения топлива на 5...10 °С ниже температуры воздуха, при которой эксплуатируется автомобиль.

Температурой застывания называют температуру, при которой дизельное топливо теряет подвижность, что определяют в стандартном приборе, наклоненном под углом 45° к горизонтали, в течение 1 мин. Дизель работает бесперебойно при температуре застывания топлива на 5...10°С ниже температуры воздуха, при которой эксплуатируется автомобиль.

На нефтеперерабатывающих заводах температуру помутнения и температуру застывания понижают удалением избытка высокоплавких углеводородов (депарафинизация).

В эксплуатации такого же эффекта добиваются добавлением реактивного топлива. Например, при добавке 25 % топлива Т-1 температура застывания летнего дизельного топлива снижается на 8...12 °С.

Низкотемпературные свойства дизельного топлива могут быть улучшены путем добавления присадок-депрессаторов (присадка "А", АзНИИ-ЦИАТИМ-1, полиметакрилат "Д").

Кроме этого, дизельные топлива подразделяются на 6 сортов в зависимости от климатических условий применения для умеренного климата и 5 классов для арктического климата (табл. 9).

Таблица 9 **Климатически зависимые требования и методы испытаний**

| Умеренный климат   |                       |              |              |             |             |             |                             |
|--|-----------------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|-----------------------------|
| Свойство   | Пределы               |              |              |             |             |             | Метод<br>испытания          |
|  | Сорт А                | Сорт В       | Сорт С       | Сорт D      | СортЕ       | СортF       |                             |
| Предельная температура фильтруемости, °С                       | +5                    | 0            | -5           | -10         | -15         | -20         | EN 116                      |
| Арктический климат   |                       |              |              |             |             |             |                             |
| Свойство   | Ед.                   | Класс<br>0   | Класс<br>1   | Класс<br>2  | Класс<br>3  | Класс<br>4  |                             |
| Предельная температура фильтруемости                           | °С<br>макс.           | -20          | -26          | -32         | -38         | -44         | EN 116                      |
| Температура помутнения   | °С<br>макс.           | -10          | -16          | -22         | -28         | -34         | EN 23015                    |
| Плотность при 15 °С  | кг/м <sup>3</sup>     | 800-<br>84 5 | 800-<br>84 5 | 800-<br>840 | 800-<br>840 | 800-<br>840 | EN ISO 3675<br>EN ISO 12185 |
| Вязкость при 40 °С   | мм <sup>2</sup> /с    | 1,5-<br>4,0  | 1,5-<br>4,0  | 1,5-<br>4,0 | 1,4-<br>4,0 | 1,2-<br>4,0 | EN ISO 3104                 |
| Цетановое число  |                       | 49           | 49           | 48          | 47          | 47          | EN ISO 5165                 |
| Цетановый индекс   |                       | 46           | 46           | 46          | 43          | 43          | EN ISO 4264                 |
| Фракционный состав:<br>перегоняется:<br>до 180 °С<br>до 340 °С | %,<br>макс.<br>% мин. | 10<br>95     | 10<br>95     | 10<br>95    | 10<br>95    | 10<br>95    | PrEN ISO<br>3405            |

#### 1.1.4. Альтернативные топлива

Под альтернативным топливом понимают химическое топливо частично или полностью не нефтяного происхождения, характеризующееся целевым производством на основе нетрадиционных видов сырья. По физико-химическим свойствам и условиям хранения в транспортных средствах альтернативные топлива можно разделить на три группы:

1. Топлива на нефтяной основе с добавками не нефтяного происхождения (спирты, эфиры, растительные масла), которые по эксплуатационным свойствам близки к нефтяным дистиллятам.

## Эксплуатационные материалы

2. Синтетические жидкие топлива, близкие по свойствам к традиционным нефтяным топливам, получаемые при переработке жидкого, газообразного или твердого сырья (тяжелые нефти, природные битумы, уголь, горючие сланцы, продукты прямого синтеза из CO и H<sub>2</sub>).
3. Не нефтяные топлива, существенно отличающиеся по физико-химическим и эксплуатационным свойствам от жидких нефтяных топлив (спиртовые топлива: метанол, этанол и их смеси с высшими спиртами; газообразные топлива: природный сжатый и сжиженный газ, сжиженный нефтяной газ, аммиак, водород, генераторный и другие искусственные газы).

При использовании топлив первых двух групп возникают незначительные изменения, а в ряде случаев сохраняются технико-эксплуатационные характеристики автомобилей. Целесообразность применения этих топлив определяется ресурсной базой и технико-эксплуатационными показателями производства топлив.

При использовании топлив третьей группы необходимо модифицировать двигатели и создавать специальные бортовые системы хранения топлив. Эффективность применения этих топлив определяется технико-экономическими показателями производства топлив и транспортных средств.

Для сравнения различных видов топлива по теплоте сгорания используются единицы условного топлива, выраженные в угольном или нефтяном эквиваленте.

1 т условного топлива в угольном эквиваленте (сокращенно - ТУ т в уг. экв.) соответствует теплоте сгорания 1 т антрацита, равной 7 млн ккал или  $27,91 \cdot 10^3$  МДж.

1 т условного топлива в нефтяном эквиваленте (сокращенно - ТУ т неф. экв.) соответствует теплоте сгорания 1 т углеводородного топлива, равной 10 млн ккал или  $41,87 \cdot 10^3$  МДж.

Затраты энергии на производство всех видов альтернативных топлив, за исключением электричества, выше, чем на бензин и нефть (табл. 10).

**Таблица 10 Эффективность использования альтернативных топлив автотранспортом (в относительных единицах)**

| Вид топлива                  | Затраты энергии на производство* | Стоимость единицы пробега |
|------------------------------|----------------------------------|---------------------------|
| Бензин из нефти              | 100                              | 100                       |
| Синтетический бензин из угля | 160                              | 120                       |
| Сжиженный природный газ      | 125                              | 85                        |
| Пропан                       | 105                              | 70-90                     |
| Метанол                      | 160                              | 150                       |
| Этанол                       | 170                              | 180                       |

*\*В затратах энергии учтена добыча, переработка и транспортировка сырья, а также производство и распределение топлива.*

*Синтетические спирты*

## Эксплуатационные материалы

Все большее развитие получает синтез жидкого искусственного топлива, приближающегося по качеству к топливам нефтяного происхождения. Из угля, природного газа, известняка, отходов лесного хозяйства получают метиловый спирт — метанол, а из сахарного тростника, свеклы, зерновых культур вырабатывают этиловый спирт — этанол. Выпуск в нашей стране синтетического спирта метанола достиг в 1998 г. 44 млн т.

Наиболее перспективным сырьем для расширения производства метанола являются природный газ, нефтяные остатки и особенно уголь.

Для производства 1 т синтетического топлива необходимо большое количество угля — от 3 до 6 т, поэтому оно пока еще дороже бензина в 1,5...2 раза.

Метанол и этанол, используемые в качестве топлива для автомобильных двигателей, характеризуются высоким октановым числом, меньшей по сравнению с бензином теплотворной способностью, высокой скрытой теплотой испарения, низкими упругостью паров и температурой кипения. Кроме того, метанол как автомобильное топливо обуславливает рост мощности и КПД двигателя, снижение теплонапряженности деталей цилиндропоршневой группы, закоксовывания и нагарообразования. Также при использовании метанола (при том же уровне концентрации оксида углерода, что и при работе двигателя на бензине) наблюдается уменьшение в 1,5...2 раза содержания оксида азота и в 1,3... 1,7 раза — углеводородов в отработавших газах. Однако для повседневного использования метанола в качестве автомобильного топлива необходимы конструктивные изменения топливной аппаратуры двигателя и в какой-то мере самого автомобиля. Поэтому в настоящее время метанол лучше использовать в качестве добавки к бензину. Установлено, что добавка 3...5 % метанола обеспечивает экономию 2,5 % бензина при сохранении мощности двигателя, его динамических и экономических показателей, а также уровня токсичности выхлопных газов. При этом допустимо использовать бензин с несколько меньшим октановым числом или заменять этилированный бензин на неэтилированный.

Применение бензометанольной смеси (с добавкой 15 % метанола и 7 % стабилизатора — изобутилового спирта) позволяет повысить на 6 % динамические качества автомобиля и на 3... 5 % его мощность, одновременно уменьшить выброс оксида азота на 30—35 % и углеводородов на 20 %, а также получить экономию бензина до 14 %.

При использовании бензометанольной смеси М15 устойчивость запуска холодного двигателя обеспечивается при температуре воздуха -26 °С.

Предельно допустимая концентрация паров метанола в воздухе рабочей зоны двигателя значительно выше, чем при использовании таких антидетонаторов, как ТЭС и ТМС, и составляет 5 мг/м<sup>3</sup>.

## Эксплуатационные материалы

В целом, применение метанола как добавки к бензину, улучшающей ряд его эксплуатационных свойств, рассматривается как реальный фактор увеличения ресурсов автомобильного топлива.

Реальное улучшение эксплуатационных свойств дизельного топлива при добавлении спирта сопоставимо с улучшением свойств бензина, т.е. низкая температура самовоспламенения (низкое цетановое число) не исключает использования метанола и этанола в качестве добавки к дизельному топливу (при условии конструктивного изменения двигателя) в количестве, не превышающем 15...20 %.

*Метил-трет-бутиловый эфир*

В качестве добавки к бензину используют также метил-трет-бутиловый эфир (МТБЭ), получаемый путем синтеза 65 % изобутилена и 35 % метанола в присутствии катализаторов. Добавка МТБЭ к бензину обеспечивает:

- получение неэтилированных высокооктановых бензинов;
- повышение октанового числа (при добавке 10 % МТБЭ ОЧИ увеличивается на 2,1...5,9 единиц, а при добавке 20 % — на 4,6... 12,6 единиц);
- облегчение фракционного состава бензина и снижение температуры перегонки 50 % фракции (но при этом возможно образование паровых пробок);
- некоторое улучшение мощностных и экономических показателей двигателя;
- снижение токсичности отработавших газов примерно на 10 %;
- снижение расхода бензина на 4 %, а также снижение необходимого количества ТЭС почти в два раза.

Кроме того, при использовании МТБЭ нет необходимости изменять регулировку топливной аппаратуры, так как МТБЭ отличается высокой теплотворной способностью 37700 кДж/кг.

Использование МТБЭ в настоящее время одно из самых перспективных направлений расширения ресурсов высокооктановых неэтилированных бензинов.

*Газовые конденсаты*

Высокие темпы добычи природного газа обеспечивают значительный прирост добычи сопутствующего ему продукта — газового конденсата, который на нефтеперерабатывающих заводах совместно с нефтью перерабатывается в моторные топлива. В нашей стране крупнейшие газоконденсатные месторождения (ГКМ) находятся на Крайнем Севере, в Западной Сибири и Якутии.

Содержание газового конденсата по отдельным месторождениям колеблется от 52 до 300 г и выше на 1 м<sup>3</sup> добываемого природного газа.



## Эксплуатационные материалы

В зависимости от компонентного состава природного газа конденсат содержит до 20 % легких углеводородных газов (метана, этана, пропана и бутана).

Стабильный газовый конденсат нашел широкое применение как сырье для производства автомобильного бензина, дизельного и реактивного топлива.

В среднем выход ароматических углеводородов при каталитическом риформинге фракций газового конденсата на 20... 25 % выше, чем из соответствующих фракций, полученных при переработке нефти.

Содержание светлых нефтепродуктов (бензиновых и дизельных фракций) в газовых конденсатах составляет 90... 100 %, в то время как в нефти их не больше 30... 40 %.

Газовые конденсаты различных месторождений на 60... 80 % состоят из фракций, выкипающих до 200 °С. Плотность конденсатов колеблется от 0,676 до 0,791 г/см<sup>3</sup>, их кинематическая вязкость составляет при 20 °С от 0,540 до 2,02 мм /с, температура застывания изменяется в пределах от — 5 до — 70 °С.

На Уренгойском месторождении с 1979 г. действует малогабаритная промышленная установка для переработки конденсата с получением дизельного топлива.

С 1982 г. в городе Дудинка в эксплуатации находится промышленная установка с годовой производительностью по сырью до 50 тыс.т, с помощью которой конденсат разделяется на дизельную и бензиновую товарные фракции. В настоящее время разработаны малогабаритные установки для переработки конденсата с производительностью по сырью 12, 25 и 50 тыс. т в год.

Для эксплуатации автомобилей с карбюраторными двигателями в районах Уренгойского и Норильского месторождений применяют бензин, вырабатываемый прямой перегонкой из газовых конденсатов.

В настоящее время из газовых конденсатов в России вырабатываются бензины марок АГ-72 и АГ-76 (ТУ 51-126—83) и летний, и зимний бензины А-76 (ТУ 51-03-06—86).

По согласованию с потребителем для повышения октанового числа допускается вводить в газоконденсатный бензин в качестве добавки экстралин в количестве 1,5 % (ТУ 6-02-571—81).

Получаемая с помощью малогабаритной перерабатывающей установки из газоконденсата вместе с дизельным топливом бензиновая фракция с выходом порядка 50 % на сырье, за исключением октанового числа (68...72 по моторному методу), полностью соответствует требованиям ГОСТ 2084—77.

### *Водород*

В настоящее время ведутся работы по применению в качестве топлива для автомобилей водорода, а также его смеси с бензином. Водород самый легкий элемент, даже в жидком состоянии он примерно в 14 раз легче воды.

Водородовоздушная смесь воспламеняется при содержании водорода от 4 до 74 %. В то же время, из-за низкой теплотворной способности водородовоздушной смеси мощность работающего на ней двигателя на 15...20 % ниже, чем при работе на бензине. При поступлении водорода непосредственно в цилиндр двигателя в такте всасывания или в начале такта сжатия падения мощности можно избежать. Однако в этом случае необходимо значительное изменение конструкции системы подачи питания и самого двигателя.

При использовании водорода в качестве добавки к бензиновоздушной смеси не требуется изменения конструкции двигателя. Если же бензин добавлять на режиме холостого хода при малых и средних нагрузках, то обеспечиваются оптимальные мощностные и динамические показатели автомобиля. Причем если обычный расход бензина составляет 12,2 кг на 100 км, то в данном случае он снизится до 5,5 кг, а расход водорода составит всего 1,8 кг. Следовательно, 6,7 кг бензина заменяются 1,8 кг водорода, т.е. экономится 50...55 % бензина. При этом концентрация оксида углерода в отработавших газах снижается в 13 раз, оксидов азота — в 5 раз, углеводородов — на 30%.

По предложениям ученых, при городском режиме работы основным топливом для автомобиля должен быть водород, а бензин должен использоваться как добавка для стабилизации горения воздуха на режиме холостого хода, малых и средних нагрузках. При эксплуатации же автомобиля на трассе (при средних и полных нагрузках) двигатель должен работать на бензине с минимальной добавкой водорода.

Использование в качестве топлива для автомобилей бензиноводородных смесей в условиях интенсивного городского движения позволяет экономить топливо нефтяного происхождения и при этом снижать загрязнение окружающей среды токсичными продуктами отработавших газов. Следует также иметь в виду, что стоимость водородного топлива не выше, чем стоимость других синтетических топлив.

Известно, что жидкий водород занимает в 3,5 раза больший объем, чем эквивалентное по выделяемой энергии количество бензина, что усложняет его хранение и распределение. Необходима также надежная теплоизоляция баков, так как температура жидкого водорода —253 °С. Поэтому в качестве емкостей для транспортирования и хранения водорода приходится использовать криогенные баки с двойными стенками, пространство между которыми заполнено изолирующими материалами.

## Эксплуатационные материалы

Получают водород электролизом, термической диссоциацией и фотолизом воды, термохимическим способом из гидрида магния с добавкой 5 % никелевого катализатора при нагревании до 257 °С (порошкообразный гидрид магния занимает в 4,6 раза больший объем, чем эквивалентное количество бензина), что довольно сложно.

Учитывая, что смесь газообразного водорода с кислородом воздуха в широком диапазоне концентраций образует гремучий газ, который в закрытых емкостях или помещениях горит очень быстро при значительном повышении давления, создавая возможность взрыва и разрушений, необходима полная герметизация топливоподающей системы автомобиля и организация сброса избыточного давления водорода в баке с его последующей нейтрализацией на каталитических дожигателях. Специальная система, исключающая утечки жидких и газообразных фаз топлива, требуется и для заправки автомобиля жидким водородом.

Для комбинированного питания двигателя бензиноводородной смесью при невысоком содержании водорода (в пределах 20 %) возможно его использование в сжатом виде. Включение и отсечка подачи водорода в этом случае не вызывают затруднений и обычно производятся с помощью электромагнитного клапана.

В качестве наиболее перспективной формы использования водорода рассматриваются вторичные энергоносители, например водород, аккумулированный в составе металлогидридов. В этом случае успешно решается проблема безопасности эксплуатации водородного топлива и обеспечивается возможность создания приемлемого энергозапаса без высоких давлений или криогенных температур.

Выделение водорода происходит при подогреве гидридов горячей жидкостью из системы охлаждения или непосредственно отработавшими газами. Для зарядки гидридного аккумулятора через восстановленный металлический компонент пропускается водород под небольшим давлением и одновременно отводится образующееся тепло. Процесс зарядки может повторяться несколько тысяч циклов без ухудшения энергоемкости аккумулятора. В случае аварии и разрушения наружной оболочки емкости для хранения часть водорода быстро улетучивается, вызывая понижение температуры гидрида и прекращение выделения водорода. Благодаря этому, гидридный аккумулятор водорода во многих отношениях безопаснее бака с бензином.

Гидридный аккумулятор не требует особого ухода, быстро заряжается, его себестоимость ниже, а срок службы больше, чем у аккумуляторных батарей.

## Эксплуатационные материалы

Автомобили с гибридными аккумуляторами наиболее целесообразно использовать в городских условиях, где они могут успешно конкурировать с обычными автомобилями и электромобилями [4].

## 1.2. СМАЗОЧНЫЕ МАСЛА

### 1.2.1. Моторные масла

Моторное масло может длительно и надежно выполнять свои функции, обеспечивая заданный ресурс двигателя, только при точном соответствии его свойств тем термическим, механическим и химическим воздействиям, которым масло подвергается в смазочной системе двигателя и на поверхностях смазываемых и охлаждаемых деталей. Взаимное соответствие конструкции двигателя, условий его эксплуатации и свойств масла - одно из важнейших условий достижения высокой надежности двигателей. Современные моторные масла должны отвечать многим требованиям, главные из которых перечислены ниже:

- снижение трения и износа трущихся деталей двигателя за счет создания на их поверхностях прочной масляной пленки;
- уплотнение зазоров в сопряжениях, и в первую очередь деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ);
- отвод тепла от трущихся деталей, удаление продуктов износа из зон трения;
- защита рабочих поверхностей трущихся деталей от коррозии продуктами окисления масла и сгорания топлива;
- предотвращение всех видов отложений (нагары, лаки, зольные отложения).

Эксплуатационные требования к моторным маслам:

- оптимальная вязкость, определяющая надежную и экономичную работу агрегатов на всех режимах;
- хорошая смазывающая способность;
- устойчивость к испарению, вспениванию, выпадению присадок;
- отсутствие коррозии и коррозионных износов;
- малый расход масла при работе двигателя;
- большой срок службы масла до замены без ущерба для надежности двигателя;
- сохранение качества при хранении и транспортировке.

Для выполнения этих требований моторные масла обладают рядом свойств, к важнейшим из которых относятся вязкостные и низкотемпературные.

Вязкость — свойство масла, связанное с внутренним трением между его слоями. Она уменьшается с ростом температуры масла и наоборот. Диапазон рабочих температур всесезонных моторных масел составляет от  $-35^{\circ}\text{C}$  (холодный пуск зимой) до  $+150^{\circ}\text{C}$ - $180^{\circ}\text{C}$  (температура масла в поддоне картера двигателя летом при его работе с полной нагрузкой), что приводит к изменению вязкости в сотни раз. Если она будет слишком низкой при высоких температурах, прочность масляной пленки между трущимися поверхностями и

## Эксплуатационные материалы

давление в системе смазки будут недостаточными. Это приведет к увеличению износа пар трения. Чрезмерно высокая вязкость при отрицательных температурах может привести к тому, что стартер не прокрутит коленвал, будет невозможен пуск двигателя. Возможно также масляное "голодание" на первых минутах его работы из-за того, что масло не будет прокачиваться по системе смазки [3].

Температура масла в двигателе зависит от температуры окружающего воздуха и конструкции ДВС. Чем теплее на улице, тем больше оно нагрето, несмотря на то, что температура охлаждающей жидкости в двигателе поддерживается в определенных пределах.

В связи с вышеперечисленным, масла разбиты на классы по вязкости (см. ниже), для каждого из которых рекомендуются определенные температурные диапазоны применения, несколько различающиеся для разных моделей двигателей.

Зимние масла обладают небольшой вязкостью для обеспечения холодного пуска двигателя при низких температурах. Они не обеспечивают надежного смазывания двигателя в летних условиях эксплуатации.

Летние масла, благодаря большой вязкости, надежно смазывают двигатель при высоких температурах, но не обеспечивают холодный пуск при температуре окружающего воздуха ниже 0°C.

Всесезонные масла при низких температурах обладают вязкостными свойствами зимних, а при высоких — летних масел. Для достижения таких вязкостно-температурных характеристик маловязкие масла загущают специальными присадками, позволяющими им меньше "разжижаться" при высоких и "густеть" при низких температурах. Летние и зимние масла практически вытеснены всесезонными, так как нет необходимости заменять их при наступлении другого сезона. Кроме того, эти масла могут обладать энергосберегающими свойствами.

От вязкости зависят режим смазки, отвод тепла от рабочих поверхностей, уплотнение зазоров, энергетические потери в двигателе, быстрота запуска двигателя и т. д.

Вязкость моторных масел измеряют в следующих единицах:

- кинематическая вязкость  $\nu$  -  $1 \text{ мм}^2/\text{с} = \text{сСт}$  (сантистокс);
- динамическая вязкость  $\tau$  -  $1 \text{ Па}\cdot\text{с} = 10 \text{ П}$  (Пуаз);  $1 \text{ МПа}\cdot\text{с} = 1 \text{ сП}$  (сантипуаз).

На вязкость моторных масел существенно влияет температура. При ее снижении вязкость резко увеличивается. Так, в интервале температур от 100 до 0 °C вязкость различных масел может возрасти в 300 раз и более (табл. 11).

Степень изменения вязкости в зависимости от температуры характеризуется индексом вязкости (ИВ), определяемым по значениям вязкости масла при 50 и 100 °C.

Чем меньше изменение вязкости масла в заданном интервале температур, тем лучше его вязкостно-температурные свойства и тем больше индекс вязкости

## Эксплуатационные материалы

этого масла. Для летних масел индекс вязкости, как правило, не превышает 90, а для зимних и всесезонных (загущенных) он составляет 95-125 и выше.

При определенной температуре масло вообще теряет подвижность. Эта температура называется температурой застывания масла. Для моторных масел температура застывания, как правило, составляет: -15 °С - для летних, -25...-30 °С - для зимних, -35...-45 °С - для загущенных.

Вязкостно-температурные свойства, в первую очередь, определяют выбор моторного масла для конкретного типа двигателя и условий его эксплуатации.

При предельно высоких рабочих температурах в двигателе вязкость масла должна быть достаточной, чтобы обеспечить надежную смазку и работу узлов трения, низкий износ деталей, эффективное уплотнение сопряжений, малый прорыв картерных газов и расход масла на угар. При отрицательных температурах масло должно иметь относительно низкую вязкость, обеспечивающую эффективный пуск двигателя, своевременную подачу масла к парам трения и т. д.

**Таблица 11 Классы вязкости моторных масел по ГОСТ 17479.1-85**

| Класс вязкости | ν при 100°С, мм <sup>2</sup> /с |          | ν при +18°С, мм <sup>2</sup> /с | Класс вязкости | ν при 100°С, мм <sup>2</sup> /с |          | ν при +18°С, мм /с |
|----------------|---------------------------------|----------|---------------------------------|----------------|---------------------------------|----------|--------------------|
|                | не менее                        | не более |                                 |                | не менее                        | не более |                    |
| 3з             | 3,8                             | -        | 1250                            | 3з/8           | 7,0                             | 9,5 7,0  | 1250               |
| 4з             | 4,1                             | -        | 2600                            | 4з/6           | 5,6                             | 9,5      | 2600               |
| 5з             | 5,6                             | -        | 6000                            | 4з/8           | 7,0                             | 11,5     | 2600               |
| 6з 6           | 5,6                             | -        | 10400                           | 4з/10          | 9,5                             | 11,5     | 2600               |
| 8 10           | 5,6                             | 7,0 9,5  | -                               | 5з/10          | 9,5                             | 13,0     | 6000               |
| 12             | 7,0                             | 11,5     | -                               | 5з/12          | 11,5                            | 15,0     | 6000               |
| 14             | 9,5                             | 13,0     | -                               | 5з/14          | 13,0                            | 11,5     | 6000               |
| 16             | 11,5                            | 15,0     | -                               | 6з/10          | 9,5                             | 15,0     | 10400              |
| 20             | 13,0                            | 18,0     | -                               | 6з/14          | 13,0                            | 18,0     | 10400              |
| 24             | 15,0                            | 23,0     | -                               | 6з/16          | 15,0                            |          | 10400              |
|                | 18,0                            | 28,0     | -                               |                |                                 |          |                    |

Однако для обычных (незагущенных) минеральных масел - это трудносочетаемые требования. Поэтому масла с вязкостью 6...8 мм<sup>2</sup>/с при 100 °С применяют в зимний период, а более вязкие (10... 14 мм<sup>2</sup>/с при 100 °С) - в летний.

В настоящее время находят широкое применение всесезонные моторные масла, для которых при высоких температурах характерны значения вязкости летних образцов, а при отрицательных температурах - зимних.

Вид масла зависит от его основы (базового масла), в которую вводятся пакеты присадок для улучшения эксплуатационных свойств. В качестве

## Эксплуатационные материалы

базовых масел используются минеральные (полученные переработкой нефти), синтетические (полученные путем органического синтеза), а также их смесь. Соответственно моторные масла подразделяются на минеральные (Mineral), синтетические (Fully Synthetic) и частично синтетические (Semi Synthetic) — в обиходе полусинтетические. Минеральные имеют невысокую стоимость при приемлемых эксплуатационных качествах, но относительно узкий температурный диапазон применения. Большую стоимость "синтетики" определяет сложность технологических процессов изготовления, но этот вид масла обладает лучшими свойствами, прежде всего малым изменением вязкости от температуры. Частично синтетические масла являются компромиссом между названными выше видами, имея лучшие свойства, чем минеральные, при более низкой цене, чем "синтетика".

Классификация (обозначение) масел. Для правильного подбора моторного масла по вязкости к конкретному типу двигателя и условиям его эксплуатации следует руководствоваться ГОСТ 17479.1-85 "Масла моторные, трансмиссионные и жидкости гидравлические. Система обозначений". По этому ГОСТу моторные масла разделяют на различные классы по вязкости (табл. 17) и различают по сезонности применения, т.е. они дифференцируются на зимние (вязкость 6...8 мм<sup>2</sup>/с при 100 °С), летние (10...20 мм<sup>2</sup>/с при 100 °С) и всесезонные.

Для сезонных (незагущенных) масел нормируются значения вязкости при 100°С. Для всесезонных (загущенных) масел в знаменателе дробного обозначения указывается вязкость при 100 °С, цифра в числителе характеризует предельно допустимую вязкость при -18 °С.

При подборе масла для конкретного типа двигателя наряду с установлением требуемых вязкостных показателей определяют также необходимый для этого двигателя уровень качества масла, т.е. группу масла по эксплуатационным свойствам [5].

До 1974 г. в нашей стране деление масел по уровню качества не производилось. Масла выпускались с буквенным обозначением, характеризующим область их применения, - А, Д, М и МТ (А - для смазки карбюраторных двигателей, Д - автотракторных и судовых дизелей, М - поршневых авиационных двигателей, МТ - транспортных дизелей; особенности технологии получения масел указывались буквами: К - кислотная, С - селективная очистка, П - масло с присадками, З - загущенное масло). Например, автомобильное масло селективной очистки АС-8, авиационное масло МС-20, загущенные масла с присадками АКЗп-6 и АСЗп-10, масло для транспортных дизелей МТ-16п и т. д. Цифры в обозначении масел характеризовали их вязкость в сСт (мм<sup>2</sup>/с) при температуре 100 °С [3].

Обеспечение надежной и экономичной работы современных двигателей возможно только при условии применения в них моторных масел с определенными свойствами, отвечающими необходимым требованиям.

## Эксплуатационные материалы

Моторные масла по ГОСТ 17479.1-85 подразделяются на группы по эксплуатационным свойствам, характеризующие условия работы масла в двигателях конкретного уровня форсирования (табл. 12).

Зная уровень форсирования двигателя и условия его эксплуатации по табл. 18, производят выбор моторного масла требуемой группы качества. Одновременно, исходя из предполагаемого температурного диапазона работы масла, по табл. 17 устанавливают требуемый класс вязкости.

В зависимости от вязкости и эксплуатационных свойств ГОСТ 17479.1-85 устанавливает марки моторных масел (М-8В<sub>1</sub>, М-6з/12Г<sub>1</sub>, М-10Г<sub>2</sub>, М-10Д и т.д.), в условном обозначении которых заложены необходимые данные для правильного подбора масел для конкретного типа двигателя.

Например, масло М-8В<sub>1</sub> буква "М" обозначает моторное масло, цифра 8 характеризует его вязкость при 100 °С в мм<sup>2</sup>/с, буква "В" с индексом "1" указывает, что масло по эксплуатационным свойствам относится к группе В и предназначено для среднефорсированных карбюраторных двигателей.

Масло М-6з/12Г<sub>1</sub>: буква "М" - моторное масло, цифра 6 свидетельствует, что это масло относится к классу, у которого вязкость при -18 С не должна превышать 10400 мм<sup>2</sup>/с, индекс "з" обозначает, что масло содержит загущающие (вязкостные) присадки, цифра "12" после знака дроби показывает, что вязкость масла при температуре 100 °С равна 12 мм<sup>2</sup>/с, а буква "Г" с индексом "1" обозначает принадлежность масла по эксплуатационным свойствам к группе "Г" и указывает на возможность его использования для высокофорсированных карбюраторных двигателей.

Индекс "2" при буквенном обозначении группы указывает на то, что масло предназначено для дизелей, например М-8Г<sub>2</sub>.

Отсутствие цифрового индекса у масел группы Б, В, Г свидетельствует об универсальности масел и возможности их применения как в карбюраторных, так и дизельных двигателях (например, масло М-6з/12В).

**Таблица 12 Группы моторных масел в зависимости от уровня эксплуатационных свойств и области их применения**

| Группа         | Рекомендуемая область применения  |
|----------------|---|
| А              | Нефорсированные карбюраторные двигатели и дизели  |
| Б <sub>1</sub> | Малофорсированные карбюраторные двигатели, работающие в условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений и коррозии подшипников |
| Б <sub>2</sub> | Малофорсированные дизели  |



## Эксплуатационные материалы

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>В<sub>1</sub></b> | Среднефорсированные карбюраторные двигатели, работающие в неблагоприятных условиях, способствующих окислению масла и   |
| В <sub>3</sub>       | Среднефорсированные дизели, предъявляющие повышенные требования к антикоррозионным, противоизносным свойствам масел и их склонности к образованию высокотемпературных отложений  |
| Г <sub>1</sub>       | Высокофорсированные карбюраторные двигатели, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях, способствующих окислению масла, образованию всех видов отложений, коррозии и ржавлению  |
| Г <sub>2</sub>       | Высокофорсированные дизели без наддува или с умеренным наддувом, работающие в неблагоприятных эксплуатационных условиях, способствующих образованию высокотемпературных  |
| Д                    | Высокофорсированные дизели с наддувом, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях, или когда применяемое топливо требует использования масел с высокой нейтрализующей способностью, антикоррозионными и противоизносными |
| Е                    | Лубрикаторные системы смазки цилиндров дизелей, работающих на топливе с высоким содержанием серы   |

Отнесение масла к соответствующей группе свидетельствует об определенном уровне его эксплуатационных свойств (антиокислительных, моюще-диспергирующих, противокоррозионных, защитных и т.д.), характеризующем качество масел данной группы. Этот уровень в основном зависит от вида и концентрации вводимых присадок. Поэтому переход от масел низших групп (А, Б) к высшим (В, Г), как правило, достигается путем расширения ассортимента и количественного увеличения присадок в маслах.

Принадлежность масел к той или иной группе устанавливают на основании результатов моторных испытаний на специальных одноцилиндровых или полноразмерных двигателях. Для масел различных групп установлены нормы на оценочные показатели, предусмотренные методами испытаний на двигателях. Сопоставляя результаты моторных испытаний масла с нормами, устанавливают его принадлежность к соответствующей группе по эксплуатационным свойствам.

За рубежом подбор масел в зависимости от типа двигателя и условий его эксплуатации осуществляется также на основании соответствующих классификаций. Градацию масел по вязкости производят по классификации SAE (Общество американских инженеров-автомобилистов), а по условиям и областям применения - согласно классификации API (Американский нефтяной институт).

По классификации SAE J300DEC99 масла разделяют на зимние (обозначаются буквой W), летние и всесезонные. Классификация SAE J-300DEC99 разделяет моторные масла по вязкости на 6 зимних и 5 летних классов. Зимние имеют в обозначении букву W (от англ Winter — зима). Чем

## Эксплуатационные материалы

больше число, входящее в обозначение класса, тем выше вязкость относящихся к нему масел:

Зимние классы: SAE 0W, SAE 5W, SAE 10W, SAE 15W, SAE 20W, SAE 25W;

Летние классы: SAE 20, SAE 30, SAE 40, SAE 50, SAE 60.

Всесезонные масла имеют двойное обозначение, например SAE 10W-30, SAE 15W-40 и т. п.

Производители автомобилей дают собственные рекомендации по температурным диапазонам применения различных вязкостных классов масел. Это связано с особенностями конструкции двигателей.

Примерное соответствие классов вязкости моторных масел по ГОСТ 17479.1-85 и SAE J300DEC99 показано в табл. 13.

Классификация API подразделяет масла на две категории:

S -категория "сервис" и C - коммерческая категория. Масла категории S предназначены для бензиновых двигателей. Масла категории C предназначены для дизельных двигателей (рис. 4).

В каждой категории масла в зависимости от условий работы подразделяются на классы, также имеющие буквенную маркировку. Поэтому обозначение масел в соответствии с классификацией производится двумя буквами латинского алфавита, указывающими категорию и класс масел, например SE (для карбюраторных двигателей) или CD (для дизелей). Универсальные масла, относящиеся к обеим категориям классификации API, имеют маркировку двух разных категорий, например SE/CD. Классы дизельных масел подразделяются дополнительно для двухтактных (CO-2, CF-2) и четырехтактных дизелей (CF-4, CG-4, CH-4). В настоящее время API сертифицирует моторные масла классов SJ, SL, CF, CF-2, CF-4, CG-4, CH-4. Масла остальных классов по API, отмененных в США, следует использовать, если они допущены производителем автомобилей.

**Таблица 13 Соответствие классов вязкости моторных масел по ГОСТ 17479.1-85 и SAE J300DEC99**

| Основная (горячая) вязкость |     | Дополнительная (холодная) вязкость |     |
|-----------------------------|-----|------------------------------------|-----|
| ГОСТ 17479.1-85             | SAE | ГОСТ 17479.1-85                    | SAE |
| 6,8                         | 20  | -                                  | 0W  |
| 10,12                       | 30  | 3з                                 | 5W  |
| 14,16                       | 40  | 4з                                 | 10W |
| 20                          | 50  | 5з                                 | 15W |
| 24                          | 60  | 6                                  | 20W |
|                             |     |                                    | 25W |

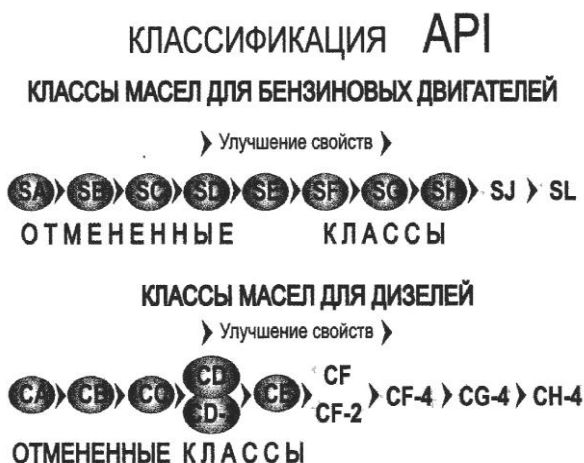


Рис. 4. Классификация API моторных масел

Разработанная Международным комитетом по одобрению и стандартизации смазочных материалов (ILSAC) классификация совместно с JAMA (Ассоциация производителей автомобилей Японии) и AAMA (Ассоциация производителей автомобилей Америки). ILSAC содержит три класса GF-1, GF-2, GF-3 для бензиновых двигателей легковых автомобилей. Последний введен недавно, и его свойства во многом совпадают с классом SL по API, но GF-3, как и все масла этой классификации, обязательно является энергосберегающим, а низкотемпературные характеристики у него ограничены классами SAE OW, SAE 5W, SAE 10W.

Для бензиновых двигателей легковых автомобилей японского производства лучше всего подходит эта классификация, для американских автомобилей равноценны как масла по ILSAC, так и по API.

В классификациях API и ACEA сформулированы минимальные базовые требования, которые согласованы между производителями масел, присадок к ним и изготовителями автомобилей. За последними оставлено право выдвигать собственные дополнительные требования к маслам, которые формулируются в спецификациях автопроизводителей.

Поскольку конструкции двигателей разных марок различаются между собой, условия работы масла в них не совсем подобны. Поэтому изготовители автомобилей проводят испытания масел на двигателях собственного производства. На основании этого указывают либо определенный класс по какой-либо классификации (например, ACEA), либо составляют собственные спецификации, в которых обозначены конкретные марки масел, допущенных к применению.

В инструкции по эксплуатации автомобиля обязательно присутствуют спецификации, а их номер наносится на упаковку масла, рядом с обозначением его класса эксплуатационных свойств.

При выборе моторного масла следует ориентироваться на спецификации (рекомендации) производителя автомобилей, изложенные в инструкции по эксплуатации. Желательно также принимать во внимание следующее:

## Эксплуатационные материалы

- перечень марок масел, допущенных к применению производителем автомобилей, постоянно изменяется. Получают допуск новые марки, некоторые масла его теряют;
- применять масло с более высоким уровнем свойств, чем указанный производителем автомобилей, не всегда целесообразно. Как правило, стоимость такого масла выше и комплекс его свойств несколько иной, что может отразиться на надежности работы элементов системы смазки;
- температурный диапазон применения, указанный на упаковке масла, носит лишь рекомендательный характер;
- не стоит ориентироваться на цвет масла. Большинство вводимых в него присадок делают его более темным;
- замену масла необходимо производить в сроки, установленные производителем автомобиля. При эксплуатации в городе, по бездорожью и т.д. движение осуществляется преимущественно на низших передачах, соответственно двигатель совершает большее количество оборотов на тысячу километров пробега, чем при движении по трассе. Поэтому в таких условиях эксплуатации менять моторное масло необходимо в 1,5-2 раза чаще, чем указано в инструкции (для автомобилей ВАЗ в городских условиях период замены — 5-7 тыс. км);
- для автомобилей со значительным пробегом замену масла производить чаще, так как условия его работы в изношенных двигателях более жесткие (прорыв раскаленных газов в картер из-за увеличенных зазоров между поршнями и цилиндрами и т.д.);
- смену масляного фильтра проводят вместе с заменой масла. При использовании топлива сомнительного качества и большом пробеге по запыленной местности желательно заменять его чаще, чем масло (в разумных пределах). Большое количество продуктов неполного сгорания топлива и пыли из воздуха может вывести фильтр из строя раньше времени;
- быстрое (через 1 -2 тыс. км пробега) изменение цвета масла в двигателе не обязательно указывает на потерю его эксплуатационных свойств. Этот эффект, как правило, связан с тем, что качественное моторное масло смывает различные отложения в двигателе (нагар, лакообразные отложения и т.п.) и накапливает в себе продукты неполного сгорания топлива;
- нежелательно смешивать минеральное и синтетические масла, а также доливать минеральное в частично синтетическое из-за разной растворимости присадок в минеральной и синтетической основах. Результатом смешивания может быть выпадение присадок в нерастворимый осадок. Поэтому такой "долив" допустим только в крайних случаях, например чтобы доехать до гаража или автосервиса, где смесь, находящуюся в двигателе, необходимо сразу заменить на подходящее масло;
- доливать следует тот же сорт масла, который залит в двигатель. Масла разных производителей содержат различные пакеты присадок, которые могут быть несовместимы;
- если в процессе эксплуатации масло заменялось своевременно и имело соответствующее качество, промывку двигателя проводить не надо;
- если неизвестно, какое масло заливал прежний владелец автомобиля, перед заменой необходимо промыть систему смазки специально предназначенным для этого промывочным маслом. В противном случае свежее

## Эксплуатационные материалы

высококачественное масло может смыть большое количество отложений, что приведет к быстрому засорению фильтра системы смазки;

- добавление в моторное масло различных препаратов может улучшить одни его свойства и резко ухудшить другие, что неблагоприятно скажется на состоянии двигателя. Это связано с тем, что в качественном масле пакет присадок точно сбалансирован, а добавление в него какого-либо препарата, как правило, нарушает этот баланс;

- в непрогретом до рабочей температуры масле присадки не успевают нейтрализовать кислоты, образующиеся из продуктов неполного сгорания топлива, что вызывает усиленный коррозионный износ поршней, их колец и цилиндров. Под нагрузкой (при движении автомобиля) двигатель прогревается быстрее. Поэтому в холодное время его прогрев "на месте" следует производить не более 3-5 мин.

**Синтетические моторные масла.** Одним из путей удовлетворения все возрастающих требований к качеству моторных масел является разработка и применение синтетических моторных масел. Синтетические масла представляют собой индивидуальные соединения или смеси нескольких соединений близкой химической структуры (поли-о-олефины и др.).

Синтетические масла имеют высокий индекс вязкости (150... 170). Температура потери подвижности синтетических масел ниже (до  $-65$  °C), чем у минеральных. Следовательно, пуск двигателей при отрицательных температурах при применении синтетических масел легче, чем на минеральных, и возможен при более низких температурах воздуха.

Вязкость синтетических масел при температурах 250...300 °C выше (до 2...3 раз), чем у равновязких им при 100 °C минеральных. Они имеют лучшую термическую стабильность, низкую испаряемость и малую склонность к образованию высокотемпературных отложений. Поэтому синтетические масла могут с успехом применяться в высокофорсированных теплонапряженных двигателях.

Синтетические масла, как правило, превосходят минеральные по антиокислительным свойствам, диспергирующей и механической стабильности, обладают равными или лучшими противоизносными и противозадирными свойствами. В связи с этим синтетические масла имеют срок службы более 20 тыс. км пробега автомобиля, а отдельные образцы служат 80... 100 тыс. км без смены.

Расход синтетических масел на угар на 30...40 % ниже, чем минеральных. За счет лучших вязкостно-температурных характеристик во всем интервале встречающихся в практике температур расход топлива при использовании синтетических масел снижается на 4...5 %.

Стоимость синтетических масел в 2...3 раза выше, чем минеральных. Однако высокие эксплуатационные свойства, большой срок службы в двигателях до замены, низкий расход на угар и вследствие этого меньший общий расход масла делают применение их целесообразным. Несмотря на это, в настоящее время минеральные масла остаются основными моторными маслами. В общем объеме моторных масел 75 % -минеральные масла.

Снижение производства минеральных моторных масел на ближайшие годы фирмами не планируется [5].

### 1.2.2. Трансмиссионные масла

К трансмиссионным относятся масла, применяемые для смазки зубчатых передач агрегатов трансмиссии, а также в гидротрансмиссиях.

В современных автомобилях применяют зубчатые передачи различных типов. Особенно широко распространены винтовые (гипоидные) передачи. Их преимущество перед передачами с прямыми зубьями состоит в большей прочности зубьев шестерен при равных габаритах, плавной и бесшумной работе. Но к маслам для винтовых шестерен предъявляют более высокие требования, чем к маслам для шестерен с прямыми зубьями, поскольку скорости скольжения в таких передачах больше.

В агрегатах трансмиссии трансмиссионные масла выполняют следующие функции:

- снижают износ деталей;
- уменьшают потери энергии на трение;
- увеличивают теплоотвод от трущихся поверхностей;
- снижают вибрацию и шум шестерен, а также защищают их от ударных нагрузок;
- защищают детали механизмов от коррозии;
- масла для гидромеханических передач, кроме того, выполняют функцию рабочего тела в гидротурбине, передающей мощность.

#### *Важнейшие свойства ТМ:*

- вязкостно-температурные;
- противоизносные, противозадирные, противопиттинговые;
- термическая и термоокислительная стабильность;
- стойкость к образованию эмульсий с водой;
- минимальное воздействие на резинотехнические изделия, лаки, краски и пластмассы;
- химическая и физическая стабильность при хранении и транспортировании.

В зависимости от конструктивных особенностей и назначения шестеренчатых передач к маслам могут предъявляться специфические требования. Так, масла для ведущих мостов с фрикционной блокировкой дифференциала должны обладать хорошими фрикционными свойствами, масла для трансмиссии автомобилей с периодической эксплуатацией - хорошими защитными свойствами и т. д.

Условия, в которых работает масло, определяются следующими факторами: температурным режимом, частотой вращения шестерен (скорость относительного скольжения трущихся поверхностей зубьев), удельным давлением в зоне контакта.

Рабочая температура масла в агрегатах трансмиссии меняется в широких пределах - от температуры окружающего воздуха в начале работы до 130°C, и даже 150 °C в процессе работы.

## Эксплуатационные материалы

В температурном режиме работы зубчатых передач различают три наиболее характерные температуры: минимальную - в момент начала работы передачи, равную наиболее низкой температуре окружающего воздуха; максимальную - соответствующую экстремальным условиям работы; среднеэксплуатационную - наиболее вероятную во время эксплуатации.

Минимальная температура масла в агрегатах трансмиссии автомобилей в холодной климатической зоне может достигать  $-60$  °С. Максимальная и среднеэксплуатационная температуры масла зависят от температуры воздуха, условий эксплуатации, вязкости масла и от других факторов. Среднеэксплуатационная температура в агрегатах трансмиссии автомобилей обычно составляет  $60...90$  °С. Фактическая температура масла в зоне контакта зубьев шестерен на  $150...200$  °С выше температуры масла в объеме. Заметное влияние на температуру оказывает скорость скольжения на поверхности зубьев в зоне их контакта. Скорости скольжения в цилиндрических и конических передачах составляют на входе в зацепление  $1.5...3$  м/с; в некоторых агрегатах они достигают  $9...12$  м/с; для гипоидных передач скорости скольжения составляют  $15$  м/с и более.

В цилиндрических и конических передачах удельные нагрузки в полюсе зацепления составляют обычно  $0,5...1,5$  ГПа, достигая в некоторых случаях  $2$  ГПа. В гипоидных передачах они в два раза выше. Под действием таких нагрузок условия для гидродинамической смазки ухудшаются [2].

Трансмиссионные масла представляют собой сложную коллоидную систему, включающую две группы компонентов: первая - основа масла, вторая - функциональные присадки для улучшения эксплуатационных свойств масел.

К числу перспективных следует отнести синтетические масла, которые характеризуются очень пологой вязкостно-температурной кривой.

*Классификация и ассортимент*

В агрегатах трансмиссии автомобилей применяется широкий ассортимент масел. Согласно ГОСТ 17479.2-85 "Масла моторные, трансмиссионные и жидкости гидравлические. Система обозначений" масла классифицированы по классам и группам в зависимости от них вязкости и эксплуатационных свойств (табл. 14 и 15).

С учетом деления на классы и группы трансмиссионные масла имеют условные обозначения. Например, обозначение ТМ5-12 расшифровывается следующим образом: «ТМ» - трансмиссионное масло, цифра «5» - группа по эксплуатационным свойствам, цифра «12» - класс вязкости.

Представителями группы ТМ-1 являются нигролы зимний и летний, применявшиеся в старых моделях автомобилей. Нигролы - это неочищенные остатки от прямой перегонки нефти, характеризуются неудовлетворительными противоизносными, антиокислительными и низкотемпературными свойствами. На современных автомобилях не применяются. К этой же группе могут быть отнесены базовые масла (ТБ-20, ТС-14,5), служащие основой для изготовления автомобильных трансмиссионных масел.

## Эксплуатационные материалы

Таблица 14 Классы вязкости трансмиссионных масел

| Класс вязкости | Кинематическая вязкость при 100°С, | Максимальная температура, при которой вязкости < |
|----------------|------------------------------------|--|
| 9              | 7,0... 10,9                        | -45  |
| 12             | 11,0...13,9                        | -35  |
| 18             | 14,0...24,9                        | -18  |
| 34             | 25,0...41,0                        | 0  |

К группе ТМ-2 относится масло для коробок передач и рулевого управления - ТС, класс 18. Это масло имеет низкие эксплуатационные свойства, применяется в ограниченных масштабах только на старых моделях легковых автомобилей.

В группу ТМ-3 входят масла Тен-10, ТАп-15В, ТСП-15К.

ТСП-10 применяют для смазывания тяжело нагруженных цилиндрических, конических и спирально-конических передач грузовых автомобилей. Служит в качестве зимнего для умеренной климатической зоны и всесезонного для северных районов страны.

ТАп-15В служит для смазывания тяжело нагруженных цилиндрических, конических и спирально-конических передач грузовых автомобилей.

Таблица 15 Классификация трансмиссионных масел по эксплуатационным свойствам

| Группа | Состав   | Рекомендуемая область применения   |
|--------|--|--|
| ТМ-1   | Минеральные масла без присадок   | Прямозубые, спирально-конические и червячные передачи, работающие при контактных напряжениях до 600 МПа и  |
| ТМ-2   | Минеральные масла с противоизносными присадками  | Прямозубые, спирально-конические и червячные передачи, работающие при контактных напряжениях до 1200 МПа и   |
| ТМ-3   | Минеральные масла с противозадирными присадками умеренной                                | Прямозубые, спирально-конические и червячные передачи, работающие при контактных напряжениях до 2000 МПа и   |
| ТМ-4   | Минеральные масла с противозадирными присадками высокой эффективности                    | Прямозубые, спирально-конические и червячные передачи, работающие при контактных напряжениях свыше 2000 МПа. Гипоидные передачи, работающие при высокой скорости и низком крутящем моменте или низкой скорости и высоком |
| ТМ-5   | Минеральные масла с противозадирными присадками высокой эффективности полифункциональные | Гипоидные передачи, работающие при высокой скорости, ударных нагрузках, высоком крутящем моменте и объемной температуре 130 °С и выше  |



## Эксплуатационные материалы

ТСп-15К имеет улучшенные по сравнению с маслом ТАп-15В противоизносные, антиокислительные и низкотемпературные свойства. Служит в качестве всесезонного для умеренной климатической зоны. Предназначено для тяжело нагруженных цилиндрических и спирально-конических передач, в том числе большегрузных автомобилей КамАЗ, КрАЗ, УралАЗ.

К группе ТМ-4 относятся масла Тсп-11гип, Тсз-9гип, Тсгип. ТСп-14гип (класс 18) применяется для гипоидных передач грузовых автомобилей всесезонно в умеренной и жаркой климатических зонах. Обладает высокими противозадирными, но недостаточными антиокислительными и антикоррозионными свойствами. Показатели масла резко ухудшаются при попадании в него воды; в этом случае масло следует немедленно заменить.

Тсз-9гип (класс 9) предназначено для применения в агрегатах трансмиссии грузовых автомобилей в районах Крайнего Севера при температуре воздуха до -50...-55 °С. Ввиду малой вязкости и ухудшения противоизносных свойств при высокой температуре, это масло применяется только в зимний период.

Тсгип предназначено для гипоидных передач старых моделей легковых автомобилей. Ввиду недостаточных низкотемпературных, противоизносных и антиокислительных свойств, для новых моделей автомобилей не рекомендуется.

В группу ТМ-5 входят масла ТАД-17И и ТМ5-12рк.

ТАД-17И (класс 18) получают смешением остаточного и дистиллятного масел с введением многофункциональной и депрессорной присадок. Масло обладает высокими эксплуатационными свойствами, является универсальным и может применяться в тяжело нагруженных цилиндрических, спирально-конических и гипоидных передачах грузовых и легковых автомобилей в умеренной и жаркой климатических зонах.

ТМ5-12рк (класс 12) получают из низко застывающего масла селективной очистки, загущенного полимерной присадкой, с введением многофункциональной присадки. Масло относится к числу универсальных для эксплуатации и консервации цилиндрических, спирально-конических и гипоидных передач грузовых автомобилей. Предназначено для применения в качестве всесезонного, в первую очередь для эксплуатации в северных районах.

Основным сортом, применяемым для автомобильных гидромеханических коробок передач, является масло марки А (ТУ 38.101179-79). Оно имеет температуру застывания - 40 °С, его применяют всесезонно в умеренной климатической зоне. Для автомобилей, эксплуатирующихся в северных районах страны, разработано масло МГТ (ТУ 38-401-494-84), которое по эксплуатационным свойствам соответствует маслу марки А, но имеет лучшие низкотемпературные показатели - работоспособно до - 50 °С.

Рекомендации по применению трансмиссионных масел приведены в табл. 16.

## Эксплуатационные материалы

Таблица 16 **Рекомендации по применению трансмиссионных масел**

| Масло     | Тип передачи  | Срок смены    | Минимальная температура |
|-----------|---|---------------|-------------------------|
| ТСгип     | Ведущие мосты старых моделей легковых автомобилей   | 24...30       | -20                     |
| ТАД-17И   | Коробки передач и ведущие мосты легковых и грузовых автомобилей   | 60...80       | -30                     |
| ТАп-15В   | Коробки передач грузовых автомобилей с карбюраторными двигателями; ведущие мосты с  | 24..72        | -25                     |
| ТСп-15К   | Коробки передач, ведущие мосты грузовых автомобилей с негипоидными передачами   | 36...72       | -30                     |
| ТСп-14гип | Ведущие мосты грузовых автомобилей с гипоидными передачами  | 36            | -30                     |
| ТСп-10    | Коробки передач грузовых автомобилей с карбюраторными двигателями; ведущие мосты грузовых автомобилей с негипоидными передачами | 35...50       | -45                     |
| ТСз-9гип  | Коробки передач и ведущие мосты автомобилей при эксплуатации на Севере  | Зимний период | -50                     |
| ТМ5-12рк  | Коробки передач и ведущие мосты грузовых автомобилей  | 50            | -50                     |

В гидрообъемных передачах автомобилей, в частности в гидроусилителях рулей, используют масло марки Р. Его применяют в качестве всесезонного в умеренной климатической зоне [5].

Из масел зарубежного производства в автоматических коробках передач используются только минеральные масла серии ATF, обычно марки "Дексрон" (Dexron) с различными числовыми индексами. Все они красного цвета и допускают смешение в различных пропорциях. Их ресурс до замены составляет 50...70 тыс. км. В последнее время используют масла желтого и зеленого цветов. Смешивать их с дексроном недопустимо.

За рубежом для маркировки трансмиссионных масел используют классификации SAE и API.

По классификации SAE масла подразделяются на летние (например, SAE140), зимние (75W) и всесезонные (75W90). Соответствие классов вязкости по ГОСТу и SAE приведено в табл. 17.

**Таблица 17** Примерное соответствие классов вязкости трансмиссионных масел по ГОСТу и SAE

| Класс вязкости масел по SAE | Вязкость при 99 °С, мм <sup>2</sup> с | Соответствие классу вязкости по ГОСТу |          |
|-----------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|----------|
|                             |                                       | не менее                              | не более |
| 75W                         | 4.2                                   | 1                                     | -        |
| 80 W                        | 7                                     | –                                     | 9        |
| 85 W                        | 11                                    | –                                     | –        |
| 90                          | 14                                    | 25                                    | 18       |
| 140                         | 25                                    | 43                                    | 34       |

По классификации API трансмиссионные масла подразделяются по уровню противоизносных и противозадирных свойств:

GL-1 - применяются в зубчатых зацеплениях при невысоких давлениях и скоростях скольжения (не содержат присадок);

GL-2 - содержат противоизносные присадки;

GL-3 - содержат противозадирные присадки, могут быть использованы для спирально-конических передач, в том числе гипоидных.

Всего 5 классов, которые соответствуют группам, обозначенным по ГОСТ ТМ-1,-2,-3,-4,-5 [5].

### 1.2.3. Пластичные смазки

Пластичные смазки используют для уменьшения трения и износа узлов, в которых создавать принудительную циркуляцию масла нецелесообразно или невозможно. Легко проникая в зону контакта трущихся деталей, смазки удерживаются на трущихся поверхностях, не стекая с них, как это происходит с маслом. Смазки применяются также в качестве защитных или уплотнительных материалов.

#### *Достоинства и недостатки смазок*

К достоинствам следует отнести способность удерживаться, не вытекать и не выдавливаться из негерметизированных узлов трения, более широкий, чем у масел, температурный диапазон применения. Перечисленные достоинства позволяют упростить конструкцию узлов трения, следовательно, уменьшить их металлоемкость и стоимость. Некоторые смазки обладают хорошей герметизирующей способностью и хорошими консервационными свойствами.

Основными недостатками являются удерживание продуктов механического и коррозионного износа, которые увеличивают скорость разрушения трущихся поверхностей, и плохой отвод тепла от смазываемых деталей.

Состав пластичных смазок. Масло является основой смазки, и на него приходится 70-90 % от ее массы. Свойства масла определяют основные свойства смазки. Загуститель создает пространственный каркас смазки.

---

### Эксплуатационные материалы

Упрощенно его можно сравнить с поролоном, удерживающим своими ячейками масло. Загуститель составляет 8-20 % от массы смазки.

Добавки необходимы для улучшения эксплуатационных свойств. К ним относятся:

- присадки — преимущественно те же, что используются в товарных маслах (моторных, трансмиссионных и т. п.). Представляют собой маслорастворимые поверхностно-активные вещества и составляют 0,1-5 % от массы смазки;
- наполнители — улучшают антифрикционные и герметизирующие свойства. Представляют собой твердые вещества, как правило, неорганического происхождения, нерастворимые в масле (дисульфид молибдена, графит, слюда и др.), составляют 1-20 % от массы смазки;
- модификаторы структуры — способствуют формированию более прочной и эластичной структуры смазки. Представляют собой поверхностно-активные вещества (кислоты, спирты и др.), составляют 0,1— 1 % от массы смазки.

#### *Основные показатели качества смазок*

Пенетрация (проникновение) — характеризует консистенцию (густоту) смазки по глубине погружения в нее конуса стандартных размеров и массы. Пенетрация измеряется при различных температурах и численно равна количеству миллиметров погружения конуса, умноженному на 10.

Температура каплепадения — температура падения первой капли смазки, нагреваемой в специальном измерительном приборе. Практически характеризует температуру плавления загустителя, разрушения структуры смазки и ее вытекания из смазываемых узлов (определяет верхний температурный предел работоспособности не для всех смазок).

Предел прочности при сдвиге — минимальная нагрузка, при которой происходит необратимое разрушение каркаса смазки и она ведет себя, как жидкость.

Водостойкость — применительно к пластичным смазкам обозначает несколько свойств: устойчивость к растворению в воде, способность поглощать влагу, проницаемость смазочного слоя для паров влаги, смываемость водой со смазываемых поверхностей.

Механическая стабильность — характеризует тиксотропные свойства, т.е. способность смазок практически мгновенно восстанавливать свою структуру (каркас) после выхода из зоны непосредственного контакта трущихся деталей. Благодаря этому уникальному свойству, смазка легко удерживается в негерметизированных узлах трения.

Термическая стабильность — способность смазки сохранять свои свойства при воздействии повышенных температур.

Коллоидная стабильность — характеризует выделение масла из смазки в процессе механического и температурного воздействия при хранении, транспортировке и применении.

## Эксплуатационные материалы

Химическая стабильность — характеризует в основном устойчивость смазок к окислению.

Испаряемость — оценивает количество масла, испарившегося из смазки за определенный промежуток времени, при ее нагреве до максимальной температуры применения.

Коррозионная активность — способность компонентов смазки вызывать коррозию металла узлов трения.

Защитные свойства — способность смазок защищать трущиеся поверхности металлов от воздействия коррозионно-активной внешней среды (вода, растворы солей и др.).

Вязкость — определяется величинами потерь на внутреннее трение в смазке. Фактически определяет пусковые характеристики механизмов, легкость подачи и заправки в узлы трения.

Пластичные смазки по консистенции занимают промежуточное положение между маслами и твердыми смазочными материалами (графитами). Несмотря на отсутствие в качестве критериев разбивки на классы других характеристик смазок, эта классификация признана основополагающей во всех странах. Некоторые производители указывают в документации не только класс смазки, но и уровень пенетрации.

*Классификация*

Пластичные смазки (ПС) - это густые мазеобразные продукты. Имеют два основных компонента - масляную основу (дисперсионная среда) и твердый загуститель (дисперсная среда). Для улучшения консервационных, противоизносных свойств, химической стабильности, термостойкости в смазки вводят присадки в количестве 0,001...5 %.

Следует отметить, что не все ниже перечисленные классификации являются общепринятыми для отечественных и зарубежных производителей.

В классификационном обозначении указывают:

- тип загустителя;
- рекомендуемый температурный диапазон применения;
- дисперсионную среду;
- консистенцию.

Загуститель обозначается первыми двумя буквами входящего в состав мыла катиона металла: "Ca" - кальциевое; "Na" - натриевое; "Li" - литиевое.

Рекомендуемый температурный диапазон применения указывают дробью: в числителе - уменьшенная в 10 раз минимальная температура без знака минус, в знаменателе - уменьшенная в 10 раз максимальная температура.

Тип дисперсионной среды и присутствие твердых добавок обозначают строчными буквами: "у" - синтетические углеводороды, "к" кремнийорганические жидкости, "г" - добавки графита, "д" - добавка дисульфита молибдена. Смазки на нефтяной основе индекса не имеют.

Классификация по типу масла (основы):

- на нефтяных маслах (полученных переработкой нефти);

## Эксплуатационные материалы

- на синтетических маслах (искусственно синтезированных);
- на растительных маслах;
- на смеси вышеперечисленных масел (в основном нефтяных и синтетических).

Классификация по природе загустителя.

- Мыльные — это смазки, для производства которых в качестве загустителя применяют мыла (соли высших карбоновых кислот). В свою очередь, их подразделяют на натриевые (созданы в 1872 г.), кальциевые и алюминиевые (созданы в 1882 г.), литиевые (созданы в 1942 г.), комплексные (например, комплексные кальциевые, комплексные литиевые) и др. На мыльные приходится более 80 % всего производства смазок.

- Углеводородные — смазки, для производства которых в качестве загустителя используются парафины, церезины, петролатумы и др.

- Неорганические — смазки, для производства которых в качестве загустителя используются силикагели, бентониты и др.

- Органические — смазки, для производства которых в качестве загустителя используются сажа, полимочевина, полимеры и др.

Классификация по области применения в соответствии с ГОСТ 23258-78 делит смазки на следующие группы.

Антифрикционные — снижают силу трения и износ различных трущихся поверхностей.

Консервационные — предотвращают коррозию металлических поверхностей механизмов при их хранении и эксплуатации. Консервационные - предназначены для предотвращения коррозии металлических поверхностей при хранении и эксплуатации, обозначаются индексом "З".

Уплотнительные — герметизируют и предотвращают износ резьбовых соединений и запорной арматуры (вентили, задвижки, краны). Уплотнительные делятся на три группы: А - арматурные; Р - резьбовые; В - вакуумные.

Канатные — предотвращают износ и коррозию стальных канатов. Канатные смазки обозначаются индексом "К".

В свою очередь, антифрикционная группа делится на подгруппы: С - общего назначения для температур до 70 °С, О - для повышенной температуры (до ПО °С), М - многоцелевые (-30...130 °С); Ж - термостойкие (150 °С и выше), Н - морозостойкие (ниже -40 °С); И - противозадирные и противоизносные; П - приборные; Д - приработочные; Х - химически стойкие. Пример. ПС Литол-24 (товарная марка) имеет следующее классификационное обозначение МЛи4/13-З: "М" - многоцелевая антифрикционная, работоспособна в условиях повышенной влажности; "Ли" - загущена литиевыми мылами; "4/13" - работоспособна в интервале температур от -40 до 130 °С, отсутствие индекса дисперсионной среды - приготовлена на нефтяном масле; "З" - условная характеристика густоты смазки.

Кальциевые смазки (солидолы) - антифрикционные пластические смазки. Они нерастворимы в воде, поэтому в условиях высокой влажности и при контакте с водой хорошо защищают металлические детали от коррозии. Недостаток - работоспособны при температурах до 60 °С.

## Эксплуатационные материалы

Солидолы синтетические (солидол С) - применяются в подшипниках качения и скольжения, в шарнирах, винтовых и цепных передачах. Их недостатки - низкая механическая стабильность, работоспособность при температурах до 50 °С.

*Применение*

В шарнирах рулевого управления, шкворнях поворотных кулаков, для пальцев рессор, оси педалей сцепления и тормоза, рычагов коробки передач, раздаточной коробки, валов разжимных кулаков тормозов, в механизмах лебедки, буксирных и седельных механизмах, шлицах и подшипниках карданных шарниров используются Литол-24, солидол С, пресс-солидол С. Узлы трения и применяемые в них смазки представлены в табл.18.

Для карданных шарниров равных угловых скоростей используется АМ карданная, Униол-1.

Подшипники ступиц колес, промежуточная опора карданного вала, выжимной подшипник сцепления, подшипники водяного насоса, передний подшипник первичного вала коробки передач, вал привода распределителя зажигания смазываются Литолом-24, ПС 1-13.

В подшипниках генератора, стартера, электродвигателей стеклоочистителя и отопителя используются Литол-24, N 158.

Шарниры привода стеклоочистителя, петли дверей смазываются Литолом-24, солидолом С.

Для рессор используется графитная смазка УСсА.

Клеммы аккумулятора смазываются Литолом-24, солидолом С, ВТВ-1, пушечной смазкой. Для гибкого вала спидометра используются ЦИАТИМ-201, моторное масло. Тросы стояночного тормоза и замка капота смазываются Литолом-24, ЦИАТИМ-201 [5].

**Таблица 18 Узлы трения и применяемые в них смазки**

| Узел трения   | Наименование смазки                         |
|---|---|
| Регулируемые подшипники ступицы, нерегулируемые подшипники полуоси  | Литол-24, ЛСЦ-15, Зимол, Лита               |
| Подшипники промежуточной опоры карданного вала  | Литол-24, ЛСЦ-15                            |
| Подшипники генератора, стартера и других электродвигателей, оси октан-корректора распределителя зажигания | Фиол-2М*, Литол-24, Зимол, №158, ЦИАТИМ-201 |
| Игольчатые подшипники карданных   | Фиол-2У*, ШРУС-4, № 158                     |
| Шарниры равных угловых скоростей  | ШРУС-4                                      |
| Шарниры подвески и рулевого управления, имеющие пресс масленки  | ШРБ-4, ШРУС-4, Литол-24                     |
| Герметизированные разборные шарниры   | ШРБ-4*                                      |

## Эксплуатационные материалы

|   |                               |
|---|-------------------------------|
| Герметизированные шарниры рулевого управления                   | ЛСЦ-15*                       |
| Герметизированные неразборные шарниры                           | ШРБ-4*                        |
| Шлицевые соединения   | ЛСЦ-15*, Литол-24             |
| Оси, валики, подшипники скольжения, петли, тросы в оболочках    | ЛСЦ-15*, Литол-24, ЦИАТИМ-201 |
| Гибкий вал спидометра   | ЦИАТИМ-201                    |
| Переключатель указателей поворота                               | КСБ*                          |
| Шарниры и оси привода педалей газа, выключения сцепления        | ЛСЦ-15*                       |
| Шарниры подвески и рулевого управления легковых автомобилей ГАЗ | ВНИИ НП-242*, ФИОЛ-2У*        |
| Рессоры   | Графитная, Лимол, ВНИИ НП-232 |
| Монтаж деталей, работающих в контакте резина - металл           | ДТ-1                          |
| Стеклоподъемники, замки, стопорные механизмы дверей             | ЛСЦ-15*                       |



## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильева Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учебник для вузов. -М.: Транспорт, 1996.
2. Топливо, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: Справ. / Под ред. В.М. Школьников. - М.: Техинформ, 1999.
3. Сидоркин В.И., Янчеленко В.А. Эксплуатационные материалы: Письменные лекции. - СПб.: СЗТУ, 2001.
4. Кириченко Н.Б. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учеб. пособие. -М.:Академия, 2003.
5. Гнатченко И. И., Бородин В. А., Репников В. Р. Автомобильные масла, смазки, присадки. Справочник автомобилиста. СПб.-М., 2000.
6. Козлов В. С, Меньшова В. П., Святкин И. А. Экологическая безопасность автомобильного транспорта. М., 2000.
7. Колесник П. А. Материаловедение на автомобильном транспорте. М., 1997.
8. Концова Л. В. Горючесмазочные материалы для автомобильной техники. Воронеж, 1993.
9. Манусаджанц О. И., Смаль В.Ф. Автомобильные эксплуатационные материалы. М., 1989.
10. Грамолин А. В., Кузнецов А. С. Топливо, масла, смазки, жидкости, материалы для эксплуатации и ремонта автомобилей. — М.: Машиностроение, 1995. — 63 с.
11. Чулков П.В., Чулков Н.П. Топлива и смазочные материалы: ассортимент, качество, применение, экономия, экология.- М: Политехника, 1996.-302с.
12. ГаевикД. Т. Как сэкономить топливо и смазку на автомобиле. — М.: Машиностроение, 1993. — 33 с.
13. ГаевикД. Т. Справочник смазчика. — М.: Машиностроение, 1990. —350 с.
14. Криницкий Е. Природный газ — перспективное и реальное моторное топливо. Автомобильный транспорт. — 2000 г.