

А.Н. Карташевич,  
А.В. Гордиенко  
В.С. Товстыка

## **ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ**

Под редакцией А.Н. Карташевича

*Допущено  
Министерством образования Республики Беларусь  
в качестве учебного пособия для учреждений, обеспечивающих  
получение среднего специального образования по специальности  
2-74 06 01 «Техническое обеспечение процессов сельскохозяйственного  
производства, (по направлениям)*

Минск  
РИПО  
2014

УДК 629.114.2.004:631.95

ББК

К

Р е ц е н з е н т ы:

**Карташевич, А. Н. Эксплуатационные материалы/ А.Н. Карташевич, А.В. Гордеенко, В.С. Товстыка. –Минск: РИПО, 2014. – с.: ил.**

ISBN 978-985-467-360-8

Изложены основные сведения о получении нефтепродуктов, эксплуатационных свойствах и методах оценки свойств топлив, смазочных материалов и технических жидкостей используемых для сельскохозяйственной техники. Даны сведения об их сортах, марках, области применения и рациональном использовании. Указаны основные тенденции повышения качества топлива, смазочных материалов и технических жидкостей.

Табл. , Ил. , Библиогр. 11.

**ISBN 978-985-467-360-8**

© А. Н. Карташевич,  
А.В. Гордеенко 2014  
В.С.Товстыка,  
© УО «Белорусская  
государственная  
сельскохозяйственная  
академия», 2014

## Введение

Автотракторная техника различного назначения с двигателями внутреннего сгорания является основным потребителем топливо-смазочных материалов.

При организации технически правильной, длительной и безотказной эксплуатации автотракторного транспорта необходимо постоянное и неослабное внимание уделять вопросам грамотного применения эксплуатационных материалов.

Самая совершенная по конструкции автотракторная техника будет показывать низкие эксплуатационные качества и может быстро выйти из строя при использовании несоответствующих или некачественных марок топлива, смазочных масел, пластичных смазок, а также специальных жидкостей.

Требования к качеству и свойствам топлива применяемого для автотракторной техники зависят от конструктивных особенностей и уровня развития двигателей, экологических требований к ним, температуры окружающей среды. От качества применяемого топлива во многом зависят мощность двигателя, его экономичность, надежность работы, расход топлива и масла, токсичность обработавших газов. Также в настоящее время идёт активный поиск альтернативных видов топлива. Некоторые из них уже используются в серийных моделях двигателей внутреннего сгорания.

В настоящее время отечественная промышленность выпускает широкий ассортимент смазочных материалов, отвечающий высоким требованиям современной техники. С другой стороны, рынок насыщен маслами практически всех зарубежных фирм-производителей. К сожалению, имеющаяся информация о смазочных материалах носит, в основном, рекламный характер, поэтому потребителю бывает трудно разобраться в обилии номенклатуры масел, особенно при недостатке или отсутствии профессиональных знаний и навыков, а также при трудностях с пониманием иностранных языков и специфичной маркировки масел.

Между тем для грамотной эксплуатации и продления срока службы автотракторной техники подбирать и использовать смазочные материалы следует осознанно. В то же время цены на нефтепродукты, а значит, и на смазочные материалы растут. Это связано, в том числе с совершенствованием методов переработки нефти, использованием нетрадиционных способов получения так называемых синтетических смазочных материалов, что повышает их качество и расширяет возможности применения.

В учебном пособии рассмотрены вопросы получения, эксплуатационные свойства и рационального использования топлива, смазочных масел, пластичных смазок и специальных жидкостей. Этими вопросами занимается наука химмотология.

## **1. Химмотология топлива**

Химмотология (от химия и лат. motor — приводящий в движение и греч. logos — наука) – область знаний о свойствах, качестве и рациональном использовании топлива и смазочных материалов (ТСМ) в технике (двигателях, особенно внутреннего сгорания, машинах и механизмах). Химмотология возникла и развивается на стыке органической, физической и коллоидной химии, нефтехимии, физики, экономики и экологии. Формирование химмотологии в самостоятельное направление науки обусловлено увеличением объемов потребления ТСМ, возрастанием их значения в обеспечении надежности и долговечности техники. Кроме того, перед химмотологией в последнее время остро встали две относительно новые проблемы:

- стабилизация добычи нефти и получение моторных топлив из альтернативного сырья;
- изучение и улучшение экологических свойств ТСМ в связи с тем, что влияние многочисленных видов транспорта на окружающую среду зависит от состава и свойств применяемых топлив и масел (прекращение производства этилированных бензинов, разработка городского дизельного топлива, снижение расхода смазочных масел на угар и т. д.).

Задачи химмотологии можно условно разделить на 3 группы.

Первая из них связана с оптимизацией качества ТСМ, обеспечением наиболее полного соответствия эксплуатационных свойств ГМС требованиям двигателей. Решение задач этой группы базируется на исследовании комплекса физико-химических процессов, протекающих при использовании ТСМ (испарение, смесеобразование, сгорание, лако- и нагарообразование, коррозионный и механический износ и т. д.). Эта же группа включает работы по оценке эффективности путей улучшения качества ТСМ (новые компоненты, методы очистки, присадки, добавки и др.) и расширения их ресурсов (например, альтернативные топлива, синтетические смазочные материалы).

Вторая группа направлена на повышение эффективности применения ТСМ в условиях эксплуатации. К этой группе относятся

разработка и научное обоснование норм расхода ТСМ, сроков их хранения, принципов классификации, унификации сортов и марок, взаимозаменяемости, методов восстановления качества некондиционных топлив и регенерации отработавших смазочных материалов.

Третья группа задач посвящена разработке и совершенствованию методов оценки качества ТСМ. В эту группу входят также исследования по совершенствованию приборов и методов аналитического контроля качества топлив и масел, совершенствованию стандартов и технических условий на них и методы их анализа.

### **1.1. Общие свойства нефти**

Нефть относится к группе горных осадочных пород вместе с песками, глинами, известняками, каменной солью и др. Нефть в качестве сырья для производства различных видов топлива и масел обладает рядом неоспоримых преимуществ, прежде всего высокой калорийностью (теплота сгорания нефти 43,7 – 46,2 МДж/кг), относительной простотой способ ее добычи, транспортирования и переработки. Среди других горючих ископаемых она имеет наивысшую теплотворную способность. В химическом отношении нефть – сложная смесь углеводородов и углеродистых соединений. Она состоит из следующих основных элементов: углерод (84 – 87%), водород (12 – 14%), кислород, азот, сера (1 – 2%). Содержание серы может достигать до 3 – 5%. В нефтях выделяют следующие части: углеводородную, асфальто-смолистую, парафины, серу и зольную.

Нефть представляет собой вязкую, маслянистую жидкость с характерным запахом. Цвет ее зависит от растворенных в ней смол: темно-бурая, буро-зеленоватая, а иногда светлая, почти бесцветная. На свету нефть слегка флуоресцирует. Под действием ультрафиолетового света нефть светится голубым или желто-бурым светом, это используют при поиске нефти.

В состав нефти входит около 425 углеводородов и 320 гетеросоединений. Так как нефть представляет сложную смесь индивидуальных углеводородов, то она не имеет определенных физических констант, таких, как температура кипения, температура застывания и др.

В среднем относительная плотность нефтей колеблется от 0,82 до 0,90, однако из доказанных мировых запасов нефти более 80% относится к тяжелому типу нефтей, характеризующихся высокой плотностью и большим содержанием асфальтенов, металлов (ванадий,

никель) и серы. Кинематическая вязкость большинства нефтей редко превышает 40 – 60 мм<sup>2</sup>/с при 20°С, что зависит от содержания в ней асфальтосмолистых веществ. В воде нефть не растворяется, поскольку она легче воды, то образует на водной поверхности растекающиеся пятна, а при интенсивном перемешивании образует стойкие, медленно расслаивающиеся эмульсии.

Содержание в нефти легких фракций сказывается на плотности больше, чем содержание смол, так как различие в плотности между легкими и средними фракциями больше, чем между средними фракциями и смолами.

Молекулярная масса – важнейшая физико-химическая характеристика вещества. Для нефтепродуктов этот показатель особенно важен, ибо дает «среднее» значение молекулярной массы веществ, входящих в состав той или иной фракции нефти. Молекулярная масса нефтепродуктов широко используется для расчетов аппаратуры нефтеперерабатывающих заводов – это один из важнейших показателей, позволяющий сделать заключение о составе нефтепродуктов.

При рассмотрении химических свойств нефти различают три вида ее составов: фракционный, групповой химический и элементный.

При атмосферном давлении и повышении температуры из нефти испаряются последовательно различные индивидуальные углеводороды. Фракцией называется группа углеводородов, выкипающая в определенном интервале температур. Бензиновая фракция 40 – 195°С (C<sub>5</sub> – C<sub>10</sub>); лигроиновая 120 – 235°С (C<sub>8</sub> – C<sub>14</sub>); керосиновая 200 – 300°С (C<sub>12</sub> – C<sub>18</sub>); газойль 280 – 360°С (C<sub>14</sub> – C<sub>20</sub>)<sup>2</sup>. После отгона фракций, выкипающих до 350°С, остается вязкая темная жидкость, называемая мазутом. Температура перегонки мазутных фракций выше, чем температура их термического разложения, т. е. разрыва молекул на части под действием температуры. Разделить мазут на фракции можно только при пониженном давлении (4 – 6 кПа). Этот процесс, называемый вакуумным, позволил получить из мазута соляровые фракции (C<sub>12</sub> – C<sub>20</sub>), дистиллятные смазочные масла (легкие, средние и тяжелые), в том числе и базовые масла для двигателей внутреннего сгорания, вазелин (C<sub>20</sub> – C<sub>50</sub>) и смесь твердых углеводородов – парафин (C<sub>19</sub> – C<sub>35</sub>).

После отгонки из мазута масляных фракции остается гудрон или полугудрон, которые используют для получения остаточных масел и битума.

Групповым химическим составом нефти называют содержание в ней углеводородов определенных химических групп, характеризующихся соотношением и структурой соединения атомов углерода и водорода.

По углеводородному составу нефти подразделяют:

- 1) метаново-нафтеновые;
- 2) нафтеново-метановые;
- 3) ароматическо-нафтеновые;
- 4) нафтеново-ароматические;
- 5) ароматическо-метановые;
- 6) метаново-ароматические;
- 7) метаново-ароматические-нафтеновые.

Первым ставится название углеводорода, которого в составе нефти больше.

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

Парафиновые углеводороды (алканы) имеют общую эмпирическую формулу  $C_nH_{2n+2}$ . 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 ( $C_{16}$  – гексадекан) – 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, снижает 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 с общей формулой  $C_nH_{2n}$  в нефти содержатся в виде циклопентана  $C_5H_{10}$  и циклогексана  $C_6H_{12}$ .

Циклическое строение предопределяет высокую химическую прочность углеводородов этого ряда. Нафтеновые углеводороды выделяют меньше 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) с общей формулой  $C_nH_{2n-6}$  содержатся в нефти в виде бензола  $C_6H_6$  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.

Общая формула олефиновых углеводородов  $C_nH_{2n}$ .

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  $H_2S$ , меркаптаны  $R - SH$  (где  $R$  – углеводородный радикал) и элементарная сера  $S$ . 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.

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–COOH, где R – углеводородный радикал. В незначительном количестве они присутствуют в топливах и маслах в виде высококипящих (с температурой кипения выше 200°C) маслянистых жидкостей, вызывающих сильную коррозию некоторых цветных металлов (свинца, цинка и др.), поэтому их количество в топливах и маслах строго ограничено.

**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.

## 1.2. Способы переработки нефти

Современные высокопроизводительные нефтегазо-перерабатывающие производства оснащены сложными по конструкции аппаратами и машинами, способными функционировать в условиях низких температур, глубокого вакуума и высоких давлений (до 20 МПа при гидрокрекинге нефтяного сырья) и часто в агрессивных средах.

Промышленная переработка нефти на современных НПЗ осуществляется путем сложной многоступенчатой физической и химической переработки на отдельных или комбинированных технологических установках, предназначенных для получения большого ассортимента нефтепродуктов.

Различают две группы способов переработки нефти с целью получения топлив и смазочных материалов: 1) способы, не изменяющие индивидуальных углеводородов; 2) способы термокаталитической деструкции индивидуальных углеводородов.

В первую группу входят процессы обессоливания и прямой перегонки. Перегонка необходима для получения естественных фракций бензина, дизельного топлива и других содержащихся в нефти фракций.

Вторая группа включает процессы вторичной переработки нефти, принцип которой основан на термическом разложении индивидуальных углеводородов, позволяющем существенно увеличить выход из нефти бензиновых и других фракций, улучшить их показатели качества (детонационную стойкость, химическую стабильность).

К способам вторичной переработки относят термический и каталитический крекинг, каталитический риформинг, пиролиз, гидрокрекинг, алкилирование и пр.

Перед переработкой поступающая с промыслов нефть с содержанием солей 100 – 700 мг/л и воды менее 1% по массе подвергается на НПЗ глубокой очистке от солей до содержания менее 3 мг/л и от воды до менее 0,1% по массе на электрообессоливающих установках (ЭЛОУ). Технологические процессы НПЗ подразделяются на физические (первичные) и химические (вторичные). Физическими процессами достигается разделение нефти на составляющие компоненты (топливные и масляные фракции) или удаление из фракций или остатков нефти нежелательных групповых химических компонентов. В химических процессах переработка нефтяного сырья осуществляется путем химических превращений с получением новых продуктов. Химические процессы на современных НПЗ подразделяются:

1) по способу активации химических реакций – на термические и каталитические;

2) по типу протекающих в них химических превращений – на деструктивные, гидрогенизационные и окислительные.

Главным процессом переработки нефти (после ЭЛОУ) является атмосферная перегонка, на которой отбираются топливные фракции

(бензиновые, осветительного керосина, реактивного и дизельного топлив) и мазут, используемый либо как компонент котельного топлива, либо как сырье для последующей глубокой переработки. Топливные фракции атмосферной перегонки далее подвергаются облагораживанию (гидроочистке от гетероатомных соединений), а бензины – каталитическому риформингу с целью повышения их качества или получения индивидуальных ароматических углеводородов – сырья нефтехимии: бензола, толуола, ксилолов и др. Из мазута путем вакуумной перегонки получают широкую фракцию (350 – 500°С) вакуумного газойля – сырья для последующей переработки на установках каталитического крекинга или гидрокрекинга с получением компонентов моторных топлив, узкие дистиллятные масляные фракции, направляемые далее на последующие процессы очистки (селективная очистка, депарафинизация и др.). Остаток вакуумной перегонки – гудрон – служит при необходимости для остаточных масел или как сырье для глубокой переработки с получением дополнительного количества моторных топлив, нефтяного кокса, дорожного и строительного битума или же в качестве компонента котельного топлива. Из химических процессов наибольшее распространение получили гидроочистка, риформинг и каталитический крекинг. Гидроочистка используется для повышения качества моторных топлив путем удаления (гидрогенолиза) сернистых, азотистых и кислородных соединений и гидрирования олефинов сырья в среде водорода на алюмокобальт- или никельмолибденовых катализаторах (при температуре 300 – 400°С и давлении 2 – 4 МПа). В процессе каталитического риформинга, проводимого при температуре 500°С, давлении 1 – 4 МПа в среде водорода на алюмоплатиновом катализаторе, осуществляются преимущественно химические превращения нафтеновых и парафиновых углеводородов в ароматические, в результате существенно повышается октановое число (достигая до 100 пунктов) продукта. Каталитический крекинг, проводимый при температуре 500 – 550°С без давления на цеолитсодержащих катализаторах, является наиболее эффективным, углубляющим нефтепереработку процессом, поскольку позволяет из высококипящих фракций мазута (вакуумного газойля) получить до 40 – 60% высокооктанового компонента автобензина, 10 – 25% жирного газа, используемого, в свою очередь, на установках алкилирования или производствах эфиров для получения высокооктановых компонентов авиа- или автобензинов. Основным способом переработки нефти является ее прямая перегонка.

Перегонка – дистилляция (отекание каплями) – разделение нефти на отличающиеся по составу фракции, основанное на различии в температурах кипения ее компонентов.

Прямая перегонка – это физический способ переработки нефти с помощью атмосферно-вакуумной установки (рис. 1.1), принцип работы которой заключается в следующем.

В результате нагрева нефти в специальной трубчатой печи 1 до 330 – 350°C образуется смесь паров нефти и неиспарившегося жидкого остатка, поступающая в ректификационную колонну 3 с теплообменниками 2.

В ректификационной колонне (рис. 1.2) происходит разделение нефтяных паров на фракции, составляющие различные нефтепродукты. При этом температура кипения смежных групп получаемых фракций может отличаться всего лишь на 5 – 8°C.

Тяжелые фракции нефти, поступаая в колонну в жидкой фазе, уже в нижней ее части отделяются от паров и отводятся из нее в виде мазута.

В зависимости от химического состава нефти используют две схемы получения топлива (рис. 1.1).

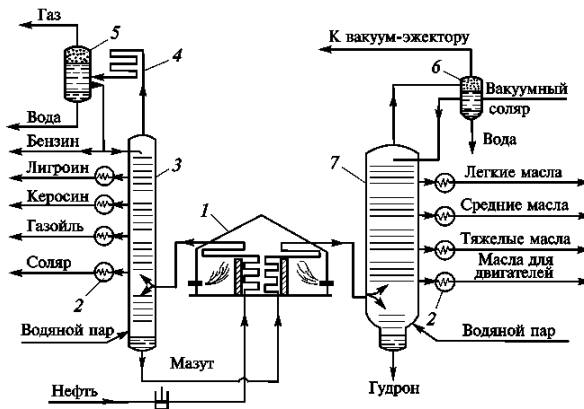


Рис. 1.1. Принципиальная схема атмосферно-вакуумной установки для прямой перегонки нефти: 1 – трубчатая печь; 2 – теплообменники; 3 – ректификационная колонна;

4 – конденсатор; 5 – сепаратор; 6 – сборник соляра; 7 – вакуумная колонна.

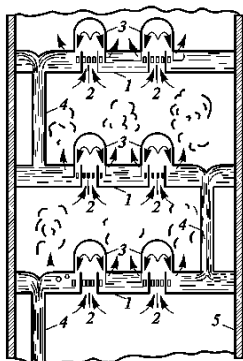


Рис. 1.2. Схема колпачков ректификационной колонны:

- 1 – металлические тарелки;
- 2 – отверстия для прохождения паров;
- 3 – колпачки; 4 – сливные трубки;
- 5 – цилиндрический корпус.

В первом случае в интервале температур кипения от 40 до 150°С отбирают авиационные бензины и в интервале от 150 до 300°С – керосин, из которого изготавливают реактивные топлива. Во втором случае в интервале температур кипения от 40 до 200°С отбирают автомобильные бензины и в интервале от 200 до 350°С – дизельные топлива.

Мазут, остающийся после отгона топливных фракций (60 – 80 % от исходной массы нефти), используют для получения масел и крекинг-бензинов.

Углеводороды с температурой кипения ниже 40°С (попутные газы) используют в качестве добавок к некоторым бензинам и в качестве сырья для получения ряда синтетических продуктов, а также как топливо для газобаллонных автомобилей.

Средний выход бензиновых фракций, зависящий от свойств добываемой нефти, колеблется от 15 до 25 %. На долю остальных топлив приходится 20 – 30 %.

Лигроин, имеющий несколько большую плотность, чем бензин (тяжелый бензин), используется как дизельное топливо и в качестве сырья для получения высокооктановых бензинов.

Использование для переработки нефти крекинг-процессов позволяет увеличить выход бензиновых фракций.



Рис. 1.3. Принципиальные схемы получения важнейших видов топлива для двигателей при перегонке нефти.

Крекинг-процесс переработки нефти и ее фракций, основанный на разложении (расщеплении) молекул сложных углеводородов в условиях высоких температур и давлений.

Существуют следующие виды крекинга: термический, каталитический, а также гидрокрекинг и каталитический риформинг.

Термический крекинг используют для получения бензина из мазута, керосина и дизельного топлива.

Бензин, получаемый посредством термического крекинга, имеет недостаточно высокое октановое число (66 – 74) и большое содержание непредельных углеводородов (30 – 40 %), т. е. он обладает плохой химической стабильностью, и его используют в основном только в качестве компонента при получении товарных бензинов.

Новые установки для термического крекинга в настоящее время уже не строят, так как получаемые с их помощью бензины при хранении окисляются с образованием смол и в них необходимо вводить специальные присадки (ингибиторы), резко снижающие темп осмоления.

Каталитический крекинг – это процесс получения бензина, основанный на расщеплении углеводородов и изменении их структуры под действием высокой температуры и катализатора.

В качестве сырья при каталитическом крекинге (рис. 1.4) используют газойлевую и соляровую фракции, получаемые при прямой перегонке нефти, которые нагревают до температуры 450 – 525°C под давлением 0,15 МПа в присутствии алюмосиликатного катализатора, который ускоряет процесс расщепления молекул сырья и изомеризует продукты распада, превращая их в изопарафиновые и ароматические углеводороды. При этом количество олефинов снижается до 9 – 10 %, а октановые числа получаемых бензинов, измеренные по моторному методу, равны 78 – 85.

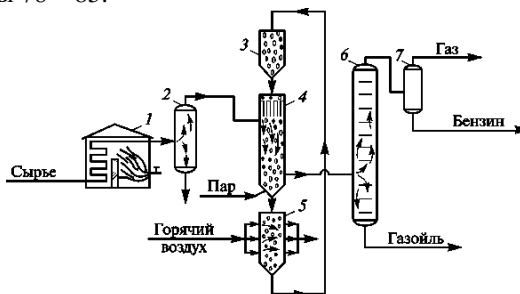


Рис. 1.4. Принципиальная схема каталитического крекинга.

1 – печь для нагрева сырья; 2 – испаритель; 3 – бункер с катализатором; 4 – реактор; 5 – регенератор; 6 – ректификационная колонна; 7 – газосепаратор.

К разновидностям крекинг-процесса относятся: риформинг, применяемый для улучшения качества нефтепродуктов путем понижения молекулярной массы углеводородов; деструктивная гидрогенизация – процесс, протекающий в присутствии водорода и катализатора при давлении 20 – 30 МПа, в результате чего происходит насыщение водородом продуктов расщепления; пиролиз, протекающий при температуре около 700°С с образованием ароматических углеводородов; гидроформинг, при котором происходит высокая ароматизация углеводородов (этот процесс протекает при температуре 480 – 530°С, давлении 2 – 3 МПа) в присутствии водорода и катализатора – оксидов молибдена, ванадия, хрома, нанесенных на оксиды алюминия, магния или другого вещества, при этом получают бензины высокого качества.

Гидрокрекинг – процесс переработки нефтепродуктов, сочетающий в себе крекирование и гидрирование сырья (газойлей, нефтяных остатков и др.). Такой процесс проводится под давлением водорода 15 – 20 МПа при температуре 370 – 450°С в присутствии алюмокобальтмолибденового или алюмоникельмолибденового катализаторов.

Октановые числа бензиновых фракций, получаемых в результате гидрокрекинга, 85 – 88 (по исследовательскому методу измерения). Гидрокрекинг повышает также выход светлых нефтепродуктов – бензина, дизельного и реактивного топлива.

В качестве сырья для каталитического риформинга обычно используют бензиновые фракции первичной перегонки нефти, выкипающие уже при 85 – 180°С.

Риформинг проводят в среде водородосодержащего газа (70 – 90 % водорода) при температуре 480 – 540°С и давлении 2 – 4 МПа в присутствии молибденового или платинового катализатора.

Риформинг при использовании молибденового катализатора называется гидроформинг, а при использовании платинового катализатора – платформинг. Последний, являющийся более простым и безопасным процессом, в настоящее время применяется значительно чаще.

Каталитический риформинг используют для получения высокооктанового компонента автомобильных бензинов (85 по моторному методу измерения и 95 – по исследовательскому).

Алкилирование – процесс получения высококачественного высокооктанового компонента автомобильного и авиационного

бензинов, состоящий практически целиком из изоалканов  $C_6 - C_9$ . Алкилбензин имеет октановое число 90 – 98 ед.

### 1.3 Способы получения смазочных масел

По способу производства различают дистиллятные и остаточные масла.

При получении дистиллятных масел мазут нагревают до 420 – 430°C (см. рис. 1.1), создавая в вакуумной колонне разрежение в 50 мм рт. ст.

Выход дистиллятных масел из мазута составляет около 50 %, остальное – гудрон.

Остаточные масла – это очищенные гудроны. Для их получения мазут или полугудрон смешивают с сжиженным пропаном (6 – 8 частей пропана на одну часть мазута) при температуре 40 – 60°C. Таким образом получают авиационные масла МК-22, МС-20 и трансмиссионное масло МТ-16. МК-22 рекомендовано и для смазки агрегатов некоторых грузовых автомобилей Минского автозавода.

В смазочных маслах, получаемых из мазута, кроме углеводородов обязательно содержатся нафтеновые кислоты, сернистые соединения и смолисто-асфальтовые вещества, поэтому их, как и топлива, необходимо очищать.

Для современных машин требуются масла более высокого качества, чем масла, полученные путем перегонки нефтяного мазута. К ним относятся синтетические масла, содержащие преимущественно парафиновые углеводороды. Наиболее широкое распространение получили полисилокса – новые масла, которые называют также силиконами. Они представляют собой полимерные кремний-органические соединения. Они обладают устойчивостью к воздействию высоких температур, низкой температурой застывания и хорошими антикоррозионными свойствами, мало изменяют вязкость при колебаниях температуры. Смазывающая способность у них несколько хуже, чем нефтяных масел. Улучшить это качество можно добавлением соответствующих присадок. Другой группой синтетических масел являются полиалкилгликоли, представляющие собой продукты конденсации двухатомных спиртов. Эти масла не образуют отложений на нагретых деталях, обладают хорошей смазывающей способностью и вязкостными свойствами, а также низкой температурой застывания (до –65°C). Из-за высокой стоимости такие масла не получили широкого распространения. Для работы в агрессивных средах, а также в условиях высоких температур

изготавливают фторуглеродные и хлоруглеродные масла. Недостаток их – резкое повышение вязкости при понижении температуры. Их используют при изготовлении специальных пластичных смазок и жидкостей для гидросистем.

#### **1.4. Основные способы очистки топлив и масел**

Для придания топливу необходимых эксплуатационных свойств его подвергают очистке с целью удаления вредных примесей и повышения стабильности. Существуют химические и физические методы очистки. В первом случае нежелательные соединения топлива вступают в химические реакции с реагентом, во втором - топливо очищают путем растворения нежелательных соединений или их адсорбции на поверхностно-активных веществах. К химическим способам относятся очистка сернокислотная, щелочная, п्लомбитами и хлоридами металлов, гидрогенизационная и т.д., к физическим – очистка селективными растворителями и различными адсорбентами.

Очистка топлива серной кислотой заключается в растворении различных сернистых соединений. Данный раствор называют кислым гудроном. При этом серная кислота не вступает в реакцию с парафиновыми, ароматическими и нафтеновыми углеводородами. Топливо термического крекинга с большим содержанием непредельных углеводородов очищают пломбитами и хлоридами металлов, так как при очистке серной кислотой непредельные углеводороды вступают с ней в реакцию. После такой очистки для удаления органических кислот, кислых эфиров, сульфокислот и остатков кислого гудрона очищаемое топливо обрабатывают водным раствором щелочи NaOH. Образующиеся при этом соли находятся в водном растворе щелочи, который отстаивают и сливают. Для полного удаления остатков солей топливо промывают водой и отстаивают.

Гидрогенизационная очистка является наиболее эффективным способом очистки от сернистых соединений и других вредных примесей. Очистку проводят в присутствии водорода и катализаторов (смеси оксидов хрома и молибдена, кобальта и молибдена) при давлении 1 – 4 МПа и температуре 375 – 415°C. Сернистые соединения в этих условиях под воздействием водорода переходят в газообразные продукты, которые легко удаляются. Например, при очистке дизельного топлива с содержанием сернистых соединений 1 – 1,3% выход товарного топлива составляет 97 – 98% с содержанием сернистых соединений 0,02 – 0,06%.

Очистка отбеливающими землями (адсорбентами) основан на явлении адсорбции, т.е. избирательном поглощении определенных

соединений, находящихся в очищаемом продукте. Адсорбентами служат аломосиликаты. Их применяют при очистке бензинов термического крекинга от непредельных углеводородов. Пары топлива пропускают через определенный слой отбеливающей земли. Расход адсорбента составляет 1 – 2% от массы топлива.

**Очистка масляных фракций.** Масляные дистилляты после перегонки мазутов, содержат целый ряд нежелательных веществ, таких, как смолисто-асфальтовые, органические кислоты, легко окисляющиеся и полимеризирующиеся непредельные углеводороды и т.п., резко снижающие качество смазочных масел. Наиболее широко применяются следующие способы очистки масляных дистиллятов: кислотнo-щелочная, кислотнo-контактная, селективная, а также деасфальтизация и депарафинизация.

**Кислотнo-щелочная очистка.** При кислотнo-щелочной очистке смолистые вещества масляного дистиллята, взаимодействуя с серной кислотой, частично растворяются, частично уплотняются с образованием: асфальгенов, которые переходят в кислый гудрон. После отстаивания и отделения кислого гудрона масло обрабатывают водным раствором щелочи NaOH. При этом нейтрализуются органические кислоты и остатки серной кислоты. Затем масло промывают водой для растворения и удаления солей. Далее, масло просушивают горячим воздухом.

**Кислотнo-контактная очистка** отбеливающими глинами заключается в том, что после очистки масла серной кислотой оно проходит контактную очистку отбеливающими глинами. При этом из масла адсорбируются нежелательные полярно – активные соединения, в том числе органические и сульфокислоты, остатки серной кислоты, кислого гудрона и т.д. Очистка отбеливающими глинами может быть контактной и перколяционной. В первом случае глину непосредственно перемешивают с очищаемым маслом, во втором – масло пропускают через слой гранулированного адсорбента при температуре 20 – 100°C (в зависимости от вязкости). В качестве отбеливающих глин применяют природные – гумбрин и другие, и искусственные силикагель. Количество адсорбента при очистке составляет 2 – 5% от массы очищаемого материала.

**Селективная очистка** заключается в обработке масла селективными (избирательными) растворителями, которые растворяют нежелательные элементы и не воздействуют на основные углеводороды. При последующем отстаивании смесь расслаивается на рафинатную часть (очищенное масло) и на экстрактную (смесь растворителя и вредных примесей). Экстрактную часть перегоняют,

отогнанный растворитель может быть использован повторно. На качество очистки оказывают большое влияние температура и количество взятого растворителя. Растворителями служат фурфурол, фенол, нитробензол, технический пропан и др., процесс проводят при температуре 50 – 120°С.

**Деасфальтизация** применяется для дистиллятных масел с высоким содержанием смолисто-асфальтовых веществ. При деасфальтизации используют специальные растворители, в частности жидкий пропан. Под действием растворителя смолисто асфальтовые вещества переходят в осадок, который после отстоя удаляют. После деасфальтизации масляный дистиллят поступает на основную очистку.

**Депарафинизация** проводится для масляных дистиллятов, получаемых из парафиновых нефтей. Из масла удаляются углеводороды, склонные к кристаллизации при понижении температуры. Процесс основан на том, что парафины и церезины значительно хуже растворяются в ряде легких растворителей, чем основные углеводороды масла, особенно при низкой температуре.

### **1.5. Общие свойства топлива**

По определению Д.И. Менделеева, «топливом называется горючее вещество, умышленно сжигаемое для получения теплоты». Топливо должно отвечать следующим основным требованиям: при сгорании выделять возможно большее количество теплоты, сравнительно легко загораться и развивать высокую температуру, быть широко распространенным в природе, доступным для разработки, дешевым при использовании, сохранять свои свойства во время хранения. Очень важно, чтобы в процессе сгорания топлива не выделялись вещества, представляющие опасность для окружающей среды.

Этим требованиям наиболее полно отвечают вещества органического происхождения: нефть, природные газы, ископаемые угли, дрова, горючие сланцы, торф. В табл. 1.1 дана общая классификация топлив.

Топливо состоит из горючей и негорючей частей. Горючая часть топлива представляет собой совокупность различных органических соединений, в которые входят: углерод, водород, кислород, азот, сера. Не горючая часть (балласт) состоит из минеральных примесей включающих золу и влагу.

Углерод С – основная горючая часть топлива, с увеличением его содержания тепловая ценность топлива повышается. Для различных топлив содержание углерода составляет от 50 до 97 %.

Водород Н является второй по значимости горючей составляющей топлива. Содержание водорода в топливе достигает 25%. Однако, при сгорании водорода выделяется в четыре раза больше теплоты, чем при сгорании углерода.

Таблица 1.1. **Общая классификация топлив**

Агрегатное состояние	Происхождение топлива	
	Естественное	Искусственное
Жидкое	Нефть	Бензин, керосин, дизельное топливо, мазут, спирт, бензол, смолы (каменноугольная, торфяная, сланцевая) и др.
Газообразное	Природный и нефтепромысловый	Генераторный, водяной, светильный, коксовый, полукоксовый, доменный, нефтеперерабатывающих заводов и др. газы
Твердое	Ископаемые угли, горючие сланцы, торф, дрова	Каменноугольные кокс и полукокс брикетированное и пылевидное топливо, древесный уголь и др.

Кислород О, входящий в состав топлива, не горит и не выделяет теплоты, поэтому является внутренним балластом топлива. Его содержание в зависимости от вида топлива колеблется в широких пределах (от 0,5 до 43 %).

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

Сера S, при сгорании которой выделяется определенное количество теплоты, является весьма нежелательной составной частью топлива, так как продукты его сгорания – сернистый SO<sub>2</sub> и серный SO<sub>3</sub> ангидриды вызывают сильную газовую или жидкостную коррозию металлических поверхностей. Содержание серы в твердом топливе достигает до 8 %, а в нефти – 0,1 – 4 %.

Зола А представляет собой негорючий твердый компонент, количество которого определяют после полного сгорания топлива. Она является нежелательной и даже вредной примесью, так как в ее присутствии усиливаются абразивные износы, усложняется эксплуатация котельных установок и т.д. Топливо с высоким содержанием золы имеет низкую теплоту сгорания и воспламенения.

Влага  $W$  является весьма нежелательной примесью топлива, так как, отбирая часть теплоты на испарение, снижает теплоту и температуру сгорания топлива, усложняет эксплуатацию установок (особенно в зимнее время), способствует коррозии и т.д.

Минеральные примеси (золу и влагу) принято подразделять на внешние и внутренние. Первые попадают в топливо из окружающей среды при его добыче, транспортировке или хранениях, а вторые входят в его химический состав.

Топливо, которое поступает к потребителю в естественном состоянии, и содержит, кроме горючей части, золу и влагу, называется рабочим. Для определения сухой массы топлива его высушивают при температуре  $105^{\circ}\text{C}$  для удаления влаги.

Состав газообразных топлив весьма разнообразен: Горючая часть его включает водород  $\text{H}$ , окись углерода  $\text{CO}$ , метан  $\text{CH}_4$  и другие газообразные углеводороды ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ) с числом углеводородных атомов до 4 включительно.

Тепловую ценность газообразного топлива представляют метан и более тяжелые углеводороды. Окись углерода при сгорании выделяет незначительное количество тепла. Балластную часть газообразных топлив составляют негорючие газы, такие, как азот  $\text{N}$ , углекислый  $\text{CO}_2$  и сернистый  $\text{SO}_2$ , кислород  $\text{O}$  и пары воды  $\text{H}_2\text{O}$ .

**Теплота сгорания топлива** является его основной качественной характеристикой. Для характеристики различных видов топлив служит удельная теплота сгорания, которая представляет собой количество теплоты, выделяемое при полном сгорании единицы массы ( $\text{кДж/кг}$ ).

Для газообразных топлив применяется показатель объемной теплоты сгорания, характеризующий количество теплоты, выделяемой при полном сгорании единицы объема ( $\text{кДж/м}^3$ ). Газообразное топливо оценивают также по молярной теплоте сгорания, то есть по количеству теплоты, выделяемой при полном сгорании одного моля газа ( $\text{кДж/моль}$ ).

Теплоту сгорания жидкого и твердого топлива вычисляют по формуле Д.И. Менделеева. Высшее удельное количество теплоты сгорания определяют по формуле:

$$Q_{\text{В}}=339\text{C}+1256\text{H} - 109(\text{O} - \text{S}). \quad (1.1)$$

Низшее (рабочее) удельное количество теплоты сгорания топлива определяют по выражению:

$$Q_{\text{Н}}=Q_{\text{В}} - 25(9\text{H}+\text{W}). \quad (1.2)$$

В указанных формулах содержание химических элементов выражается в процентах.

Низшая, или рабочая, теплота сгорания  $Q_n$  – это теплота сгорания, получаемая в практических условиях. Вычитаемое  $25(9H+W)$  представляет собой удельное количество теплоты, которое затрачивается на превращение в пар влаги, выделяющейся при сгорании топлива. Пар уносится с продуктами сгорания в атмосферу ( $9H$  – число массовых частей воды, образующихся при сгорании одной массовой части водорода;  $H$ ,  $W$  – содержание, в топливе соответственно водорода и воды, %). В приведенном выражении принято, что дымовые газы охлаждаются до  $+20^\circ\text{C}$ , оставаясь в газо- и парообразном состояниях. Значит, 1 кг пара при выносе в атмосферу будет забирать  $2671-(100-20)\cdot 2,0096=2512$  кДж/кг (2671 кДж/кг – количество теплоты, затрачиваемой на испарение 1 кг воды,  $(100-20)$  – условный перепад температуры паров воды,  $^\circ\text{C}$ ; 2,0096 кДж/кг·град – теплоемкость паров воды).

В автотратотных двигателях продукты сгорания отводят из цилиндров при температурах, значительно более высоких, чем температура конденсации паров воды. Поэтому рабочей теплотой сгорания бензинов и других жидких топлив считают  $Q_n$ .

Теплоту сгорания нефтепродуктов, кДж/кг, с достаточной степенью точности можно определить по формуле:

$$Q_n = 4,187(K - 2015 \rho_t^{20}), \quad (1.3)$$

где  $K$  – коэффициент, зависящий от плотности нефтепродукта при  $20^\circ\text{C}$  и определяемый по справочной таблице;

$\rho_t^{20}$  – относительная плотность нефтепродукта при  $20^\circ\text{C}$ .

Основной характеристикой газообразных топлив является объемная теплота сгорания (кДж/м<sup>3</sup>), которая определяется делением молярного количества теплоты сгорания на объем 1 киломоля газа. 1 киломоль любого газа при нормальных условиях ( $0^\circ\text{C}$  и 760 мм.рт.ст) занимает объем 22,4 м<sup>3</sup>.

Для сравнения топлив введено понятие «условное топливо». За единицу такого топлива принято топливо, которое при полном сгорании 1 кг или 1 м<sup>3</sup> выделяет 29307,6 кДж. Чтобы перевести любое топливо в условное и потом сравнить его с другими, нужно теплоту сгорания данного топлива разделить на теплоту сгорания условного топлива. Полученное число представляет собой калорийный эквивалент данного топлива и показывает, во сколько раз реальное топливо выделяет больше или меньше теплоты по сравнению с условным (табл. 1.2).

Таблица 1.2. Теплота сгорания и калорийные эквиваленты различных видов топлива

Вид топлива	Теплота сгорания, Дж/кг	Калорийный эквивалент
Условное топливо (днепровский каменный уголь)	29307	1,00
Антрацит	30230	1,03
Бурый уголь	14235	0,449
Торф	13440	0,46
Дрова	12560	0,43
Нефть	41867	1,42
Мазут	41448	1,40
Бензин автомобильный	43960	1,5
Дизельное топливо	42500	1,45
Керосин	42900	1,46

### 1.6. Классификация топлив и их краткая характеристика

Жидкое топливо производится преимущественно двумя способами: физическим и химическим. Первый протекает без нарушения структуры углеводородов, второй – с изменением ее. Физический способ или прямая перегонка нефти представляет собой процесс разделения ее на отдельные фракции, отличающиеся температурой кипения. Для этого нефть нагревают в нефтеперегонных установках до температуры 300 – 380°C, а образовавшиеся пары отбирают и конденсируют по частям в колонках. В результате перегонки получают топливные дистилляты и остаток, называемый мазутом, который может быть использован для химической переработки или получения смазочных масел. Легкокипящие фракции в паровой фазе достигают верха колонны и вместе с испарившимся оросителем отводятся из колонны в конденсатор – газоотделитель. Более тяжелые топливные фракции отводятся из колонны через холодильники и отбирают дистилляты: бензиновый – 40...200°C, керосиновый – 140...300°C, газойлевый – 230...330°C, соляровый – 280...380°C и в остатке мазут.

Жидкие топлива подразделяются на:

- карбюраторные топлива (авиационные и автомобильные);
- реактивное топливо;
- топливо для дизелей – дизельное топливо (зимние, летние, арктические), моторное топливо, соляровое масло;
- котельные топлива (мазут флотский, топочный мазут).

Карбюраторные топлива состоят из низко- и среднекипящих фракций нефти (фракции, выкипающие при температурах 35– 200°С) и легких продуктов вторичной переработки. В качестве топлив для карбюраторных двигателей используются также сжиженные углеводородные газы.

Топлива для авиационных карбюраторных двигателей представляют собой смесь бензиновых фракций каталитического крекинга и риформинга (фракции, выкипающие при температурах 40 – 180°С), алкилата и других высокооктановых компонентов с добавкой антидетанационных и антиокислительных присадок. Выпускаются авиационные бензины марок Б–100/130, Б–95/130, Б–91/115 (в числителе – октановое число, в знаменателе – сортность на богатой смеси). Октановое число определяется по моторному методу. Сортность – это тоже октановое число, оно оценивает прирост мощности по сравнению с чистым изооктаном.

Реактивные топлива (авиационные керосины) получают, как правило, прямой перегонкой нефти (фракции, выкипающие при температурах 200 – 300 °С). Выпускаются топлива для летательных аппаратов с дозвуковой скоростью полета (Т–1,Т-2,ТС–1) и для сверхзвуковых самолетов (Т–6,Т–8).

В реактивном двигателе процесс сгорания топлива происходит иначе, чем в двигателях внутреннего сгорания. В реактивном двигателе топливо подается непрерывно, сгорание происходит в потоке воздуха, двигающегося со скоростью 135 м/с. Поэтому главным фактором для нормальной работы является скорость и полнота сгорания топлива.

Дизельные топлива, применяемые в двигателях с воспламенением от сжатия, подразделяются на три группы: топливо для быстроходных дизелей (ДЗ, ДЛ, ДС), топлива для автотракторных, судовых дизелей (А, С); топлива для среднеоборотных дизелей (ДТ, ДМ). Дизельные топлива состоят из средних фракций нефти, перегоняющихся в пределах 180 – 350°С, легких газойлей каталитического и термического крекинга и гидрокрекинга.

### **1.7. Топлива для бензиновых двигателей**

Ассортимент и качество вырабатываемых и применяемых бензинов определяется структурой автомобильного парка страны (за последнее десятилетие количество автомобилей в стране возросло в 1,7 раза, при этом выросла доля иномарок), техническими возможностями отечественной нефтехимической промышленности, а также экологическими требованиями, которые в последнее время стали определяющими. С целью снижения вредных выбросов автомобилями

их стали оборудовать каталитическими системами нейтрализации отработавших газов, что потребовало ужесточения требований к качеству применяемого бензина.

Получение топлив для двигателей внутреннего сгорания – сложный процесс, включающий получение первичных его компонентов, их смешивание и улучшение присадками до товарных показателей качества в соответствии с требованиями стандартов. Смешение прямогонных фракций с компонентами вторичных процессов и присадок называется компаундирование.

Базовым компонентом для выработки автомобильных бензинов являются обычно бензины каталитического риформинга или каталитического крекинга. Бензины каталитического риформинга характеризуются низким содержанием серы, в их составе практически отсутствуют олефины, поэтому они высокостабильны при хранении. Однако повышенное содержание в них ароматических углеводородов с экологической точки зрения является лимитирующим фактором. К их недостаткам также относится неравномерность распределения детонационной стойкости по фракциям. В составе бензинового фонда России доля компонента каталитического риформинга превышает 50%.

Бензины каталитического крекинга характеризуются низкой массовой долей серы, октановыми числами по исследовательскому методу 90 – 93 единицы. Содержание в них ароматических углеводородов составляет 30–40 %, олефиновых – 10 – 25 %. Они обладают относительно высокой химической стабильностью (индукционный период 800 – 900 мин.). По сравнению с бензинами каталитического риформинга для бензинов каталитического крекинга характерно более равномерное распределение детонационной стойкости по фракциям. Поэтому в качестве базы для производства автомобильных бензинов используется смесь компонентов каталитического риформинга и каталитического крекинга.

### **1.7.1. Эксплуатационные требования, предъявляемые к качеству бензина**

Мощность бензинового двигателя, его экономичность, надежность работы, расход топлива и масла, токсичность отработавших газов во многом зависят от качества применяемого топлива.

Автомобильные бензины являются смесями бензиновых дистиллятов прямой перегонки, термического крекинга, платформинга и каталитического крекинга. По мере совершенствования процессов каталитического крекинга и риформинга доля дистиллятов этих

процессов в автомобильных бензинах увеличивается за счет снижения доли дистиллятов прямой перегонки и термического крекинга.

Для обеспечения надежной работы автомобильных двигателей на всех режимах бензины должны соответствовать определенным требованиям.

Сжигание бензина в смеси с воздухом в камере сгорания должно происходить с нормальной скоростью без возникновения детонации на всех режимах работы двигателя в любых климатических условиях. Это требование устанавливает нормы на детонационную стойкость бензина. С целью улучшения антидетонационных свойств в некоторые бензины добавляют антидетонационные присадки – антидетонаторы. В бензины, предназначенные для двигателей с высокой степенью сжатия, добавляют различные высокооктановые компоненты.

Необходимо, чтобы бензин имел высокую теплоту сгорания, минимальную склонность к образованию отложений в топливной и впускной системах, а также нагара в камере сгорания. Продукты сгорания не должны быть токсичными и коррозионно-агрессивными.

Испаряемость бензинов должна обеспечивать приготовление горючей смеси при любых температурах эксплуатации двигателей.

Это требование регламентирует такие свойства и показатели качества бензина, как фракционный состав, давление насыщенных паров, склонность к образованию паровых пробок.

Чтобы улучшить пусковые свойства двигателя, к бензинам добавляют газовые бензины.

Производство автомобильных бензинов осуществляется на сложном комплексе различных технологических процессов переработки нефти.

Требования к качеству вырабатываемых бензинов, обусловленные техническими возможностями отечественной нефтепереработки, накладывают ограничения на показатели фракционного и углеводородного состава, содержание серы и различных антидетонаторов.

В целях увеличения выхода бензина из перерабатываемого нефтяного сырья производство заинтересовано в повышении температуры конца кипения, а эффективное использование бензина в двигателе возможно при определенном ограничении содержания высококипящих фракций.

Нормы на показатель детонационной стойкости устанавливаются на уровне, достижимом с использованием имеющихся технологических процессов, компонентов и присадок, допущенных к применению в составе бензинов.

Требования производителей автомобилей очень часто идут вразрез с требованиями нефтепереработчиков, и в этих случаях необходимо

определить оптимальный экономически целесообразный уровень этих требований.

Требования, связанные с транспортированием и хранением бензинов, обусловлены необходимостью сохранения их качества в течение нескольких лет.

Автомобильный бензин с завода-изготовителя подается на крупные региональные перевалочные нефтебазы. С этих баз хранения бензин поступает на нефтебазы, снабжающие автозаправочные станции (АЗС), а далее автомобильными цистернами на АЗС.

Транспортирование, хранение и применение бензина непосредственно на автомобилях осуществляются в различных климатических условиях при температуре окружающего воздуха от  $-50$  до  $+45$  °С, при этом необходимо обеспечить нормальную работу двигателя.

Требования, связанные с транспортированием и хранением, регламентируют такие свойства автобензина, как физическая и химическая стабильность, склонность к потерям от испарения и образования паровых пробок, растворимость воды, содержание коррозионно-агрессивных соединений и т. д.

На длительное хранение, как правило, поступают бензины летнего вида с высокой химической стабильностью (индукционный период не менее 1200 мин).

Воздействие бензинов на окружающую среду при применении их на автомобильной технике связано с токсичностью соединений, попадающих в атмосферный воздух, воду, почву непосредственно из топлива (испарения, утечки) или с продуктами его сгорания.

Источниками токсичных выбросов автомобилей являются отработавшие газы, картерные газы и пары топлива из впускной системы и топливного бака. Отработавшие газы содержат оксид углерода, оксиды азота, серы, несгоревшие углеводороды и продукты их неполного окисления, элементарный углерод (сажа), продукты сгорания различных присадок, например оксиды свинца и галогениды свинца при использовании этилированных бензинов, а также азот и неизрасходованный на сгорание топлива кислород воздуха.

Для уменьшения выбросов вредных веществ современные автомобили оснащают каталитическими системами нейтрализации отработавших газов, позволяющими дожигать несгоревшие углеводороды и оксид углерода до  $\text{CO}_2$ , а оксиды азота – восстанавливать до азота.

Экологические свойства бензинов обеспечиваются ограничениями по содержанию отдельных токсичных веществ по групповому

углеводородному составу по содержанию низкокипящих углеводородов, а также серы и бензола.

Эти ограничения позволяют обеспечить надежную работу каталитической системы нейтрализации ОГ и способствуют уменьшению воздействия автомобильного парка на загрязнение окружающей среды.

Технология производства бензинов для автомобилей, отвечающих требованиям EURO-3, EURO-4, EURO-5 должна гарантировать установленные нормы на содержание серы, ароматических и обесвиновых углеводородов и бензола.

Таким образом, бензины в качестве топлива должны:

иметь хорошую испаряемость и образовывать горючую смесь, однородную по составу во всех цилиндрах;

обладать высокой детонационной стойкостью, т. е. сгорать без детонации при различных режимах работы двигателя;

обеспечивать легкий пуск и устойчивую работу двигателя на различных режимах, высокую экономичность;

иметь оптимальный фракционный состав;

иметь малое содержание смоло- и нагарообразующих соединений и коррозионно-агрессивных веществ;

иметь высокую физическую и химическую стабильность при хранении, транспортировке и т. п., не вызывать коррозии емкостей, средств заправки, двигателей (продукты сгорания бензина также не должны вызывать коррозии деталей двигателя);

полностью сгорать с минимальным образованием токсичных и канцерогенных веществ;

иметь минимальную склонность к образованию нагара на деталях двигателя;

обеспечивать максимальную мощность двигателя и минимальный расход масла;

обладать хорошими низкотемпературными свойствами;

не иметь повышенной гигроскопичности и склонности к образованию льда;

не содержать механических примесей и воды.

К свойствам бензинов, отвечающим в полном объеме всем эксплуатационным требованиям, относятся: физико-химические свойства, испаряемость и фракционный состав, детонационная стойкость, их стабильность и противокоррозионные свойства. В отдельную группу свойств бензинов выделены экологические требования.

## 1.7.2. Фракционный состав бензинов

Химический состав бензинов характеризуют групповым углеводородным составом, т. е. содержанием в них ароматических, олефиновых, нафтеновых и парафиновых углеводородов.

Кроме углеводородов в бензине в незначительном количестве содержатся гетероатомные углеводородные соединения, которые включают серу, кислород и азот. Они попадают в бензин из перерабатываемой нефти, а кислородные соединения образуются в процессе окисления углеводородов при хранении бензина.

Компоненты бензина не содержат металлоорганических соединений нефти, которые концентрируются, как правило, в высококипящих фракциях. С целью улучшения физико-химических и эксплуатационных свойств автомобильных бензинов в их состав в ограниченных количествах вовлекают кислородсодержащие компоненты (простые эфиры и спирты), а также специальные антидетонационные присадки, в том числе и металлсодержащие.

Для ограничения содержания антидетонационных присадок в спецификациях на бензины предусмотрены максимально допустимые концентрации свинца, марганца, железа.

К основным ограничениям на химический и углеводородный составы автомобильных бензинов относят: содержание серы, ароматических углеводородов и в первую очередь бензола, содержание олефиновых углеводородов, окисленатов (общее по концентрации кислорода и по отдельным спиртам и эфирам).

При увеличении содержания сернистых соединений в бензине происходит повышенное нагарообразование и износ деталей двигателя, старение моторного масла, кроме того, это оказывает существенное влияние на загрязнение окружающей среды.

Содержание бензола в отечественных автомобильных бензинах не должно превышать 5,0 %.

Суммарное содержание ароматических углеводородов контролируется при проведении квалификационных испытаний и не должно превышать 55%.

Максимальное содержание олефиновых углеводородов в товарных бензинах не должно превышать 18%, так как они являются основным источником образования смолистых веществ в бензине. Увеличение содержания олефиновых углеводородов также влияет на повышенные выбросы вредных веществ в окружающую среду с отработавшими газами.

Оксигенаты имеют высокую детонационную стойкость, что позволяет заменять ими ароматическое углеводороды, к тому же они способствуют снижению токсичности отработавших газов автомобилей.

Однако при содержании в бензине кислорода более 2,7% по кислороду наблюдается увеличение массового и удельного расхода топлива из-за их низкой теплоты сгорания, а также потеря мощности двигателем.

Поэтому из экологических предпосылок содержание кислорода в бензине должно составлять 2,0 – 2,7% по кислороду.

В спецификациях на автомобильные бензины введены также нормы на максимальное содержание отдельных кислорода.

Оценку физико-химических свойств автомобильных бензинов производят по внешнему виду, наличию механических примесей, водорастворимых кислот и щелочей, а также по их плотности. В этой же группе эксплуатационных требований к топливу рассматриваются и низкотемпературные свойства бензинов.

По внешнему виду бензина оценивают его цвет и прозрачность. Бензины бесцветны (желтоватый оттенок цвета бензина бывает вызван наличием в нем смолистых веществ).

Наличие воды в бензине особенно опасно зимой, когда образующиеся кристаллы льда нарушают дозировку бензина и даже могут вызвать полное прекращение его подачи. Кроме того, вода усиливает коррозионную активность бензина по отношению к металлическим деталям топливных систем.

Спецификацией на бензины предусмотрено отсутствие в нем воды. Однако вода в бензине может находиться в растворенном состоянии, а также попадать в топливные емкости и накапливаться в них в свободном состоянии. Количество воды, находящейся в свободном состоянии, зависит от условий транспортирования и хранения.

Поэтому для надежной эксплуатации техники, резервуаров хранения и средств прокачивания бензинов важно, чтобы они не только сами не были агрессивными, но и обладали способностью уменьшать скорость электрохимической коррозии в системе топливо – металл – вода.

Механические примеси могут попадать в бензин при использовании грязной или неисправной (негерметичной) тары или загрязненного заправочного оборудования. Наличие механических примесей определяют внешним осмотром пробы бензина также в стеклянной емкости. Присутствие даже мельчайших механических примесей в бензинах не допускается. Применение бензина, содержащего механические примеси, вызывает износ топливной

аппаратуры, засорение топливодозирующих систем, а при попадании в цилиндры двигателя – износ цилиндропоршневой группы двигателя.

В процессе применения автомобильные бензины соприкасаются с различными металлами и сплавами, подвергая их коррозионному разрушению. Коррозии подвергаются топливные баки, трубопроводы, детали ЦПГ и т.д.

Водорастворимые кислоты и щелочи, вызывающие коррозионный износ деталей двигателя, могут оказаться в бензине из-за нарушения технологии его очистки. Так, после сернокислотной очистки не исключено наличие в бензине остатков как самой кислоты, так и ее производных (сульфокислот и кислых эфиров) из-за неполной их нейтрализации. Щелочь попадает в бензин при плохой отмывке его в процессе очистки. Таким образом, органические кислоты остаются в бензине после переработки нефти, а также образуются в процессе окисления при хранении, и их содержание от момента производства бензина до его потребления увеличивается.

Органические кислоты особенно сильно разрушают цветные металлы – свинец и цинк. Кислоты, взаимодействуя с металлами, образуют нерастворимые в бензине мыла, которые выпадают в осадок в виде сгустков, засоряя систему питания двигателя.

Сернистые соединения, содержащиеся в бензинах, условно делят на активные и неактивные. К активным соединениям относятся элементарная сера, сероводород, меркаптаны, к неактивным – сульфиды, дисульфиды и др. Активные сернистые соединения корродируют металл даже при низких температурах, поэтому их присутствие в бензинах недопустимо.

Сами по себе неактивные сернистые соединения, находящиеся в бензине, не вызывают коррозии металлов. Высокой коррозионной агрессивностью обладают продукты сгорания сернистых соединений – серный и сернистый ангидриды. При пуске двигателя, особенно в холодное время года, при относительно низкой температуре продуктов сгорания, возможна конденсация водяных паров, образующихся в результате сгорания топлива. Ангидриды растворяются в воде, образуя серную и сернистую кислоты. Под действием этих кислот происходит низкотемпературная «жидкостная» коррозия металлов. Если температура продуктов сгорания достаточно высокая, то водяные пары не конденсируются, однако происходит высокотемпературная «газовая» коррозия. Оксиды серы в отработавших газах вызывают коррозию выпускной системы.

Коррозионный износ в значительной степени зависит от его технического состояния, качества масла, условий эксплуатации и от количества серы, содержащейся в топливе.

Максимальное содержание серы в отечественных автомобильных бензинах регламентируется СТБ ИСО 20846 и должно составлять не более 50 мг/кг.

### **1.7.3. Октановое число, методы его определения**

Одним из основных показателей качества автомобильных бензинов является их детонационная стойкость, от которой в наибольшей степени зависят надежность, повышение мощности, экономичность и продолжительность эксплуатации двигателя автомобиля.

В качестве показателя антидетонационных свойств бензинов, получившего название «октановое число» (ОЧ), принято содержание изооктана в смеси с нормальным гептаном, которая эквивалентна по своим антидетонационным качествам испытываемому топливу.

Разное строение при близких физических свойствах этих углеводородов обуславливает резкое отличие их детонационной стойкости. Октановое число (ОЧ) изооктана ( $C_8H_{18}$ ) – углеводорода парафинового ряда изомерного строения, отличающегося высокой детонационной стойкостью (начинает детонировать только в двигателях с очень высокой степенью сжатия), принято за 100 единиц. ОЧ сильно детонирующего гептана  $C_7H_{16}$  – углеводорода парафинового ряда, нормального цепочного строения, – принято за 0 единиц.

Составляя смеси изооктана с нормальным гептаном в объемных процентах, можно получить эталонные смеси с детонационной стойкостью от 0 до 100 единиц.

Детонационную стойкость автомобильных бензинов определяют на одноцилиндровых установках. При определении октановых чисел по моторному (ГОСТ 511–82) методу применяют установки УИТ-85 или ИТ9-2М, позволяющие проводить испытания с переменной степенью сжатия (от 4 до 10 единиц). На них сравнивают детонационную стойкость исследуемого бензина с эталонным топливом, в состав которого входят два углеводорода: изооктан и нормальный гептан. Смесь изооктана и нормального гептана имеет ОЧ, равное процентному содержанию в ней (по объему) изооктана.

Интенсивность детонации замеряют и регистрируют специальным прибором – детонометром.

Длительное время показателем детонационной стойкости автомобильных бензинов было октановое число, определяемое по

моторному методу. Однако на практике было установлено, что октановое число по моторному методу коррелирует с детонационными требованиями полноразмерных двигателей при работе на максимальных мощностях и напряженном тепловом режиме и недостаточно полно отражает всю характеристику детонационной стойкости автомобильных бензинов в условиях эксплуатации. В связи с этим был разработан исследовательский метод определения октановых чисел, который характеризует детонационную стойкость автомобильных бензинов в условиях работы двигателя на частичной нагрузке и меньшей тепловой напряженности (движение по городу).

Исследовательским методом (ГОСТ 8226–82) детонационную стойкость бензина определяют на установках УИТ-65 либо ИТ9-6 (установка ИТ9-6 позволяет определить октановые числа по обоим методам) отечественного производства и установках фирмы «Вокеша» (США). Причем детонационную стойкость определяют в режиме работы легкового автомобиля при его движении в условиях города. В этом случае в марку бензина включают букву И, например, АИ-95 – автомобильный бензин с октановым числом по исследовательскому методу не менее 95.

Разница между октановыми числами по исследовательскому и моторному методам одного и того же бензина составляет 7...10 единиц (при исследовательском методе величина ОЧ выше) и называется чувствительностью. Чем меньше чувствительность, тем лучше антидетонационные свойства бензина. Например, один бензин АИ–95 имеет октановое число по исследовательскому методу (и. м.) 95 ед., а по моторному методу (м. м.) – 86 ед., а второй бензин – 95,6 ед. по и. м. и 85 ед. по м. м. Чувствительность в первом случае меньше и, следовательно, антидетонационные свойства его лучше.

В топлива, антидетонационные свойства которых не соответствуют эксплуатационным требованиям, добавляют высокооктановые компоненты (изооктан, алкилбензин, толуол, изопентан) или антидетонаторы.

При добавлении 15...40 % высокооктановых компонентов к базовым сортам топлива получают бензины с высокой детонационной стойкостью.

Антидетонаторами называют металлоорганические соединения, при добавлении которых в незначительном количестве резко повышаются антидетонационные свойства бензинов.

Самые дешевые из них – тетраэтилсвинец (ТЭС) или тетраметилсвинец (ТМС) в составе этиловой жидкости, которые являются ядовитыми.

В качестве альтернативы ТЭС и ТСМ для повышения детонационной стойкости бензинов используют соединения марганца, пентакарбонил железа, дициклопентадиенил железа или ферроцицен, и диизобутиленовый комплекс пентакарбонила железа, а также кислородосодержащие соединения (ММА). В многофункциональные присадки и добавки вводят моющие, антиокислительные, антикоррозионные и другие компоненты.

#### **1.7.4. Сущность детонационного сгорания топлива**

*Детонация* вызывается самовоспламенением последней части рабочего заряда, до которой фронт пламени от свечи доходит в последнюю очередь. Причиной детонации являются промежуточные продукты окисления углеводородных молекул топлива – активные перекиси. Эти соединения имеют большую избыточную энергию и способны вызвать цепную реакцию большого числа молекул сразу.

Процесс активации быстро развивается при движении фронта пламени, когда еще несгоревшая часть смеси оказывается под воздействием больших температур и давлений. Особенно быстро протекает химическая реакция в последней части смеси, наиболее удаленной от источника зажигания. В результате чрезмерного повышения концентрации активных перекисей эта часть смеси воспламеняется и сгорает с большой скоростью, в результате чего резко повышаются давление и температура. Таким образом, наряду с волной горения появляется волна высокого давления (ударная волна), скорость которой достигает 1,5 – 2,0 км/с.

Основной внешний признак детонации – звонкий металлический стук, возникающий в результате многократных периодических отражений от стенок камеры сгорания ударных волн. При детонации наблюдается падение мощности и появление черного дыма в отработавших газах.

При детонационном сгорании возрастает теплоотдача от сгоревших газов в стенки цилиндра, что приводит к перегреву двигателя и разрушению отдельных деталей (обгорание кромок поршней, электродов свечи и т.д.). Значительное повышение температуры вызывает диссоциацию газов с выделением углерода, который, быстро охлаждаясь в процессе расширения, не успевает сгореть и выбрасывается в атмосферу в виде клубов черного дыма с искрами. Температура отработавших газов на выпуске при этом повышается, в результате чего повышаются механические нагрузки. Повышенные механические нагрузки могут вызвать разрушение поршней, вкладышей шатунных подшипников, усиливается износ верхней части гильзы цилиндров, т.к. ударные волны разрушают масляную пленку, покрывающую зеркало цилиндра.

Все факторы, увеличивавшие скорость развития реакции в последней части заряда, способствуют возникновению детонации. К

ним относятся: высокая реакционная способность топлива, характеризующая низким октановым числом; повышенная степень сжатия, вызывающая увеличение давления и температуры последней части заряда.

Препятствуют детонации факторы, ускоряющее сгорание последней части заряда и увеличивающие задержку самовоспламенения его последней порции. Это достигается увеличением частоты вращения, уменьшением нагрузки и угла опережения зажигания, применением топлив с необходимым октановым числом, добавлением антидетонационных присадок.

Уменьшению вероятности появления детонации способствует усиление турбулизации заряда, уменьшение диаметра цилиндра и пути, проходимого фронтом пламени от свечи до наиболее удаленных частей камеры сгорания.

Чем выше октановое число, тем выше антидетонационные свойства топлива. Октановое число легких фракций бензина меньше, чем у средних и тяжелых. При быстром открытии дроссельной заслонки (например, при интенсивном разгоне) тяжелые фракции поступают с некоторой задержкой, что приводит к детонации в начале разгона из-за временного снижения октанового числа топлива, поступающего в цилиндр.

### **1.7.5. Марки и основные характеристики бензинов**

В настоящее время на территории Республики Беларусь действует следующие нормативные документы, определяющие свойства автомобильных бензинов СТБ 1656-2011 «Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированные бензины», ГОСТ 31077-2002 «Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированные бензины», Технический регламент Республики Беларусь ТР 2008/011/ВУ «Автомобильный бензин и дизельное топливо. Безопасность», Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту».

На территории Российской Федерации приняты следующие стандарты на автомобильные бензины: ГОСТ Р 51313-99 «Бензины автомобильные. Общие технические требования»,

Рассмотрим основные требования к автомобильным бензинам согласно ГОСТ 31077-2002 (табл. 1.3).

Все автомобильные бензины, выпускаемые по техническим условиям, должны проходить сертификацию на соответствие общим техническим требованиям ГОСТ 31077-2002.

С целью повышения качества бензина до уровня европейских стандартов EN 228:2008 был разработан СТБ 1656-2011 (табл. 1.4). В

настоящем стандарте установлены марки неэтилированных бензинов и их виды. При этом требования к бензинам марки АИ-95-Евро вид I и марки АИ-98-Евро вид I соответствуют требованиям европейского стандарта. Требования к бензинам марки АИ-92-Евро, а также АИ-95-Евро и АИ-98-Евро вид II установлены дополнительно и учитывают положения технического регламента Республики Беларусь ТР 2008/011/ВУ.

Таблица 1.3. Показатели качества автомобильных бензинов (ГОСТ 31077-2002)

Показатели	«Нормаль-80»	«Регуляр-91»	«Регуляр-92»	«Премиум-95»	«Супер-98»
Октановое число, не менее, определенное: исследователем	80	91	92	95	98
методом					
моторным методом	76	82,5	83	85	88
Концентрация свинца, г/дм <sup>3</sup> , не более	0,005				
Концентрация марганца, мг/дм <sup>3</sup> , не более	50	18	–	–	–
Концентрация фактических смол, мг/100 см <sup>3</sup> , не более	5				
Индукционный период бензина, мин, не менее	360				
Плотность при 15 °С, кг/м <sup>3</sup>	700...750	725...780			
Массовая доля серы, %, не более	0,02				
Объемная доля бензола, %, не более	5				
Внешний вид	Чистый, прозрачный				

Автомобильные бензины должны соответствовать требованиям настоящего стандарта.

Согласно настоящего стандарта допускается использовать красители и вещества-метки при условии, что они не оказывают побочного вредного воздействия на двигатель и систему подачи топлива.

В маркировке бензинов АИ-92, АИ-95 и АИ-98 буква А означает, что бензин автомобильный, буква И с последующей цифрой – октановое число, определенное по исследовательскому методу.

Таблица 1.4. Показатели качества автомобильных бензинов (ТР 2008/011/ВУ)

Показатели	Ед. изм.	Предельные значения	
		мин.	макс.
Октановое число определённое по исследовательскому методу (моторному методу) АИ-92-Евро АИ-95-Евро АИ-98-Евро	–	92 (83) 95 (85) 98 (88)	– – –
Массовая концентрация свинца	мг/л	–	5
Плотность при 15 °С	кг/м <sup>3</sup>	720	775
Массовая доля серы:		–	
Вид I	мг/кг		10
Вид II			50
Концентрация смол	мг/100мл	–	5
Коррозия медной пластинки (3ч при 50°С)	Класс	Класс 1	
Массовая доля кислорода	%	–	2,7
Внешний вид		Прозрачный и чистый	
Массовая доля углеводородов:		–	
– олефиновых			18
– ароматических:	мг/кг		
Вид I			35
Вид II			42
Стойкость к окислению	мин	360	–
Объёмная доля бензола	%	–	1
Объёмная доля оксигенатов			
– метанол		–	1
– этанол		–	5
– изопропиловый спирт		–	10
– изобутиловый спирт		–	10
– третбутиловый спирт		–	7
– эфиров (5 или более атомов С)		–	15
– дрких оксигенатов		–	10

При сгорании бензола образуются полициклические ароматические углеводороды (бенз (α) пирены), которые обладают канцерогенными свойствами, т. е. вызывают раковые заболевания. Отработавшие газы, в составе которых содержится более 300 вредных соединений, также загрязняют окружающую среду.

Для обеспечения надёжной эксплуатации транспортных средств в различных сезонных и климатических условиях установлены 10 классов бензинов по испаряемости (А, В, С, С<sub>1</sub>, D, D<sub>1</sub>, E, E<sub>1</sub>, F, F<sub>1</sub>). С повышением класса возрастает минимальное и максимальное давление насыщенных паров, а также возрастает объёмная доля испарившегося бензина при 70°С. На территории Республики Беларусь рекомендуется применять следующие классы бензинов:

- класс В – в летний период (с 1 апреля по 30 сентября);
- класс D<sub>1</sub> – в переходный период (с 1 по 30 октября);

– класс В – в зимний период (с 1 ноября по 31 марта);

Одновременное использование летних и зимних сортов бензина или их смесей при переходе двигателей с летней эксплуатации на зимнюю и наоборот допускается в течение месяца. В остальное время бензин должен соответствовать климатическим условиям. Использование зимой летних сортов бензина, например, ведет к перерасходу топлива на 3...5%.

Бензин Нормаль-80 применяют в основном для грузовых автомобилей и устаревших моделей двигателей со степенью сжатия  $\epsilon = 6,5 - 7$ .

Бензины с октановыми числами 91, 92 определенными по исследовательскому методу, предназначены для среднефорсированных двигателей легковых автомобилей со степенью сжатия 8...11 и некоторых грузовых автомобилей. Бензины АИ-95, «Премиум-95», АИ-98, «Супер-98» используют в двигателях легковых автомобилей со степенью сжатия 8...12. Следует соблюдать соответствие марок автомобильных бензинов заводским инструкциям для данного автомобиля.

Бензины «Премиум-95» и «Супер-98» полностью отвечают европейским требованиям и предназначены в основном для импортных автомобилей.

### **1.8. Топливо для дизельных двигателей**

Дизельные двигатели в силу особенностей рабочего процесса на 25 – 30% экономичнее бензиновых двигателей, что и предопределило их широкое применение.

Экономичная работа дизелей достигается главным образом за счет высоких степеней сжатия. Получить дизельное топливо дешевле чем бензин, поскольку его получают в основном прямой перегонкой.

Дизельное топливо – это нефтяная фракция, основу которой составляют углеводороды с температурами кипения 200 – 350°C. Выглядит дизельное топливо как более вязкая, чем бензин, прозрачная жидкость желтого или светло-коричневого цвета в зависимости от содержания смол. Дизельное топливо так же, как и бензин, легче воды и практически не растворяется в ней.

Для быстроходных автомобильных дизельных двигателей с частотой вращения коленчатого вала более 1000 мин<sup>-1</sup> выпускаются топлива на базе керосиновых, газойлевых и соляровых дистиллятов прямой перегонки. Для снижения содержания серы используют гидроочистку и карбамидную депарафинизацию. В силу этого состав дизельных топлив ограничивается в основном алкановыми и

циклановыми углеводородами. Непредельных углеводородов в дизельных топливах практически нет. В некоторые сорта дизельных топлив добавляют не более 20 % каталитического газойля с содержанием ароматических углеводородов.

### 1.8.1. Свойства дизельных топлив

К свойствам дизельных топлив, отвечающим всем эксплуатационным требованиям, относятся: цетановое число, вязкость и плотность, низкотемпературные свойства, фракционный состав и испаряемость, противокоррозионные свойства и стабильность топлива, наличие механических примесей и воды, удовлетворение экологических требований.

**Испаряемость топлива** определяется фракционным составом (СТБ 1658-2006, ГОСТ 305-82). При облегчении топлива ухудшается пуск дизелей, так как легкие фракции имеют худшую по сравнению с тяжелыми фракциями самовоспламеняемость. Поэтому пусковые свойства дизельных топлив в некоторой степени определяет температура выкипания 50% топлива ( $t_{50\%}$ ). Чем эта температура ниже, тем более облегчен фракционный состав данного топлива, тем быстрее и полнее оно испаряется в камере сгорания. Однако после прогрева двигателя до рабочей температуры топливо с облегченным фракционным составом ведет к увеличению периода задержки самовоспламенения и вызывает жесткую работу дизеля.

Температура выкипания 96% топлива ( $t_{96\%}$ ) регламентирует содержание в топливе наиболее тяжелых фракций, увеличение которых ухудшает смесеобразование, снижает экономичность, повышает нагарообразование и дымность отработавших газов. Часть топлива в жидком виде стекает по стенкам цилиндра в масляный картер, смывая смазочный материал и повышая износ деталей двигателя. Поэтому чрезмерное утяжеление топлива, как и его облегчение, нежелательны.

Температура начала кипения отечественных дизельных топлив обычно находится в пределах 170 – 200°C,  $t_{50\%}$  составляет 255 – 280 °C, а температура конца перегонки ( $t_{96\%}$ ) примерно равна 330 – 360 °C.

В СТБ 1658-2006 фракционный состав топлива регламентируется по количеству отогнанного топлива при 250°C (должно быть менее 65 процентов по объёму), при 350°C (должно перегоняться не менее 85 процентов по объёму), 95 % объёма топлива должно отогнано при температуре не выше 350°C.

**Воспламеняемость** дизельного топлива характеризует его способность к самовоспламенению в камере сгорания. Воспламенение горючей смеси в дизельных двигателях происходит без постороннего источника зажигания. Смесь самовоспламеняется под действием высокой температуры в результате бурно протекающих в ней реакций окисления.

**Цетановое число (ЦЧ)** – показатель, указывающий скорость нарастания давления при сгорании жидкого нефтяного топлива в поршневых двигателях с воспламенением топливо-воздушной смеси от сжатия, выраженная в единицах эталонной шкалы. Цетановое число определяется по СТБ ИСО 5165 и ГОСТ 3122–67 на установках ИТ9-3 и ИТ9-3М. Установки имеют одноцилиндровый четырехтактный дизель с переменной степенью сжатия от 7 до 23. При проведении испытаний угол опережения впрыскивания топлива должен быть  $13^\circ$  до ВМТ, давление впрыскивания 10,4 МПа. При определении цетанового числа дизельных топлив частота вращения вала одноцилиндрового двигателя должна быть строго постоянной ( $n = 900 \pm 10 \text{ мин}^{-1}$ ).

Для определения ЦЧ составляют эталонные смеси. В их состав входят цетан  $\text{C}_{13}\text{H}_{34}$  и  $\alpha$ -метилнафталин  $\text{C}_{11}\text{H}_{10}$ . Склонность цетана к самовоспламенению принимают за 100 единиц, а  $\alpha$ -фаметилнафталина – за 0 единиц. Цетановое число смеси, составленной из них, численно равно процентному содержанию (по объему) цетана.

Так, если смесь состоит из 30 % цетана и 70 %  $\alpha$ -метилнафталина, то считается, что ее цетановое число равно 30.

ЦЧ – это условный, показатель воспламеняемости дизельного топлива, численно равный объемному проценту цетана (н-гексадекана) в эталонной смеси с  $\alpha$ -метилнафталином, которая равноценна, по воспламеняемости испытываемому топливу.

Цетановое число, определяемое по методу совпадения вспышек, обозначается: ЦЧ/СВ, например 45/СВ (СТ СЭВ 2877-81).

Цетан относится к нормальным углеводородам парафинового ряда, для которых характерны наиболее быстрый распад и окисление в сжатом воздухе под действием температуры и давления. У него очень небольшой период задержки воспламенения, что обеспечивает мягкую работу двигателя. Представитель углеводородов ароматического ряда  $\alpha$ -метилнафталин отличается наибольшим периодом задержки и высокой температурой воспламенения. Поэтому при большом содержании  $\alpha$ -метилнафталина (низком цетановом числе) происходит резкое нарастание давления в цилиндре двигателя на  $1^\circ\text{ПКВ}$  и жесткая работа дизеля.

Цетановое число дизельного топлива зависит от его химического состава, склонности к окислению. Наиболее быстро окисляются и распадаются парафиновые углеводороды нормального строения. Они имеют самые высокие цетановые числа. Ароматические углеводороды самовоспламеняются при более высоких температурах и за большой промежуток времени, имеют самые низкие цетановые числа.

По ГОСТ 305-82 цетановое число дизельного топлива должно быть не менее 45. Согласно СТБ 1658 цетановое число дизельного топлива должно быть не менее 51 для дизельного топлива применяемого для умеренного климата и 47 – 49 для дизельного топлива применяемого для арктического и холодного климата. Чем выше ЦЧ, тем лучше воспламеняемость топлива. В то же время при использовании топлива с повышенным цетановым числом происходит преждевременное воспламенение топливной смеси, которое снижает экономичность и мощность дизеля, вызывает обильное дымление. Применение топлива с цетановым числом менее 40 приводит к жесткой работе двигателя (возникает характерный металлический стук, напоминающей детонацию в бензиновом двигателе, вибрация, перегрев поршней и головок цилиндров и др.).

Цетановое число топлива может быть повышено регулированием углеводородного состава или введением в состав топлива специальных присадок. Однако увеличение концентрации нормальных парафинов (цетана) при снижении ароматических ограничено повышенной температурой плавления нормальных парафинов, поэтому их содержание в зимних марках дизельных топлив строго регламентировано. Для повышения цетанового числа дизельного топлива к нему добавляют специальные высокоцетановые присадки: синтин (продукт синтеза окиси углерода и водорода), перекис углеводородов, нитросоединения. **Цетановый индекс.** В соответствии с СТБ 1658-2006 (Топливо дизельное. Технические требования и методы испытаний) нормированию подлежит такой показатель как цетановый индекс. Минимальное его значение должно составлять 46. Расчёт цетанового индекса производится в соответствии с СТБ 4264-2003 (Нефтепродукты. Расчёт цетанового индекса средних дистиллятов по уравнению с четырьмя переменными).

Цетановым индексом называется значение, рассчитанное по уравнению с четырьмя переменными. Цетановый индекс не является альтернативным способом выражения цетанового числа; это дополнительный инструмент, который применяется надлежащим образом в отношении ограничений. Цетановый индекс используется для оценки цетанового числа дизельного топлива в тех случаях, когда

двигатель для испытаний не доступен для непосредственного определения данного показателя или когда в наличии имеется проба, несоответствующая требованиям метода с использованием двигателя. В случае, если цетановое число топлива было установлено ранее, цетановый индекс может использоваться для подтверждения цетанового числа других проб данного топлива при условии, что источник получения топлива и способ его производства остаются неизменными.

Сущность метода заключается в следующем. Плотность при температуре 15°C и температуры, при которых получены 10 %, 50 % и 90 % объема отогнанного продукта (температуры при перегонке), определяют посредством стандартных методов испытаний, а цетановый индекс рассчитывается на основании данных, полученных при испытании, с применением известных соотношений.

**Плотность.** Повышение плотности топлива сказывается на процессе смесеобразования следующим образом: возрастает длина топливной струи, ухудшается экономичность двигателя и увеличивается дымность. При малой плотности топлива уменьшается длина струи, ухудшается процесс смесеобразования. Поэтому плотность дизельного топлива должна быть оптимальной с учетом сезонности эксплуатации и других факторов и находиться в пределах 800...845 кг/м<sup>3</sup>.

По СТБ 1658-2006, соответствующему европейскому стандарту EN 590:2004 плотность дизельных топлив определяется при температуре 15°C и для умеренных климатических зон должна составлять 820 – 845 кг/м<sup>3</sup>, для арктических и холодных климатических зон – 800 –845 кг/м<sup>3</sup> в зависимости от класса.

В соответствии с ГОСТ 305–82 (Топливо дизельное. Технические условия) плотность дизельных топлив различных марок при температуре 20°C не должна превышать следующих значений: для марки Л – 860 кг/м<sup>3</sup>, для марки З – 840 кг/м<sup>3</sup> и для марки А – 830 кг/м<sup>3</sup>.

**Вязкость** – свойство частиц жидкости оказывать сопротивление взаимному перемещению под действием внешней силы. Различают динамическую и кинематическую вязкость. В практических условиях больше интересует кинематическая вязкость  $\nu$ , которая равна отношению динамической вязкости  $\eta$  к плотности  $\rho$ .

Единица кинематической вязкости в системе СИ – м<sup>2</sup>/с. На практике применяют меньшую единицу – мм<sup>2</sup>/с (или 10<sup>-6</sup> м<sup>2</sup>/с), а также сантистокс (1сСт=1 мм<sup>2</sup>/с).

Пониженное или повышенное значение кинематической вязкости (для топлив различных марок оптимальное значение лежит в пределах 1,5 –

4,5 мм<sup>2</sup>/с). В соответствии с СТБ 1658-2006 вязкость дизельных топлив для умеренных климатических зон должна составлять 2 – 4,5 мм<sup>2</sup>/с, для арктических и холодных климатических зон – 1,2 – 4 мм<sup>2</sup>/с в зависимости от класса.

Согласно ГОСТ 305–82 кинематической вязкости дизельных топлив нормируется при 20°С и равна (мм<sup>2</sup>/с): 3 – 6 для летних топлив; 1,8 – 5 для зимних и 1,5 – 4 для арктических.

Изменение кинематической вязкости приводит к нарушению работы топливopодающей аппаратуры, а также процессов смесеобразования и сгорания рабочей смеси.

При пониженной вязкости топливо вытекает через зазоры в плунжерных парах топливного насоса высокого давления, вследствие чего изменяется его дозировка, уменьшается цикловая подача, снижается давление впрыска, увеличивается нагарообразование. Снижение вязкости топлива ухудшает и его смазочные свойства, что приводит к увеличению интенсивности изнашивания прецизионных плунжерных пар ТНВД, так как их износ определяется физическим состоянием топлива. Кроме того, при этом увеличивается опасность подтекания и просачивания маловязкого топлива и, как следствие, роста его расхода. Падение мощности двигателя может быть вызвано снижением цикловой подачи топлива.

Повышенная вязкость топлива приводит к ухудшению качества смесеобразования, при распылении образуются крупные капли и длинная струя с малым углом топливного факела. При этом продолжительность процесса испарения возрастает, топливо сгорает не полностью, увеличивается его расход, повышается нагарообразование, возникает дымление (цвет отработавших газов становится темным). При повышении вязкости с 3 до 8 мм<sup>2</sup>/с коэффициент подачи топлива увеличивается на 15 ... 16 %.

**Низкотемпературные свойства.** Важными эксплуатационными характеристиками дизельного топлива также являются его низкотемпературные свойства, характеризующие подвижность топлива при отрицательной температуре, т.е. его способность поступать из топливного бака к двигателю бесперебойно. В дизельном топливе содержатся растворенные парафиновые углеводороды, которые при понижении температуры кристаллизуются. Выделяющиеся кристаллы могут засорить систему питания двигателя, особенно топливные фильтры. Низкотемпературные свойства оцениваются по значениям предельной температуры фильтрации, температуры помутнения и температуры застывания.

Температура помутнения – это температура, при которой меняется фазовый состав топлива, так как наряду с жидкой фазой появляется твердая. При этой температуре топливо в условиях испытания начинает мутнеть. При помутнении дизельное топливо не теряет текучести. Размеры кристаллов таковы, что они проходят через элементы фильтров тонкой очистки, образуя на них тонкую парафинистую пленку. Нарушение подачи топлива из-за его помутнения возможно при пуске и прогреве дизеля. Для обеспечения нормальной эксплуатации двигателя необходимо, чтобы температура помутнения дизельного топлива была ниже температуры окружающего воздуха. При предельной температуре фильтрации размеры кристаллов твердых углеводородов увеличиваются, и они не проходят через фильтры, т. е. текучесть топлива ухудшается. Температура помутнения и предельная температура фильтрации топлива характеризуют условия его применения. Если топливо не содержит депрессорных присадок, то предельная температура фильтрации равна температуре помутнения или ниже ее на 1 – 2°С.

Температура застывания – это температура, при которой топливо полностью теряет подвижность. Температура застывания ниже температуры помутнения на 5 – 10°С. При понижении температуры растущие кристаллы парафиновых углеводородов образуют пространственную решетку, внутри ячеек, которой находятся жидкие углеводороды топлива. При температуре застывания топлива кристаллическая структура настолько упрочняется, что топливо теряет текучесть и приобретает студнеобразный вид. Для обеспечения нормальной работы дизельного двигателя необходимо, чтобы температура застывания топлива была на 8...12°С ниже температуры окружающего воздуха.

Низкотемпературные свойства дизельных топлив улучшают двумя способами: удалением из их состава высокоплавких парафинов нормального строения или добавлением в них депрессорных присадок. На нефтеперерабатывающих заводах температуру помутнения и температуру застывания понижают удалением избытка высокоплавких углеводородов (депарафинизация).

Добавляя депрессорные присадки в сотых долях процента, можно снизить предельную температуру застывания на 15– 20°С. При введении депрессорных присадок температура помутнения топлива не изменяется. Механизм действия депрессорных присадок заключается в модификации структуры кристаллизующихся парафинов, уменьшении их размеров. Низкотемпературные свойства дизельных топлив с депрессорными присадками оценивают по температуре

помутнения и предельной температуре фильтрации, а топлив без депрессатора, по температурам помутнения и застывания.

Так, например, депрессорные присадки этилцеллозольва (жидкость «И») и ТГФ-М существенно снижают температуру застывания и предельную температуру фильтруемости и практически не изменяют температуру помутнения. Депрессорная присадка «Аспект-Д» вводится в летние и зимние топлива из расчета 2 г на 1 кг топлива. Присадка обеспечивает бесперебойную работу дизеля до температуры  $-20^{\circ}\text{C}$ , что значительно сокращает время пуска холодного двигателя (присадку следует добавлять в топливо, в котором нет выпавших кристаллов парафина).

Следует отметить, что дизельное топливо зимних сортов выпускают значительно меньше, чем летних. Нефтеперерабатывающие заводы вырабатывают около 11 % зимнего и 1 % арктического дизельного топлива от общего объема. Потребность в зимнем дизельном топливе обеспечена менее чем на 50 %. Поэтому зимние сорта топлива следует использовать только в холодное время и не допускать их смешивания с летними топливами.

Европейский стандарт EN 590 (действующий в странах Европейского экономического сообщества с 1996 г.) и соответствующий ему СТБ 1658-2006 предусматривает выпуск дизельных топлив для различных климатических регионов. Для районов с умеренным климатом выпускается 6 марок дизельных топлив (А, В, С, D, E и F), имеющих предельные температуры фильтруемости соответственно +5, 0, -5, -10, -15 и  $-20^{\circ}\text{C}$ . Для районов с холодным и арктическим климатом предусмотрен выпуск 5 классов (0, 1, 2, 3 и 4) дизельного топлива с низкотемпературными свойствами (табл. 1.5).

**Таблица 1.5. Характеристика дизельных топлив различных классов для районов с холодным климатом (по Европейскому стандарту EN 590)**

Наименование показателя	Класс топлива				
	0	1	2	3	4
Температура помутнения, $^{\circ}\text{C}$ , не выше	-10	-16	-22	-28	-34
Предельная температура фильтруемости (CFPP), $^{\circ}\text{C}$ , не выше	-20	-26	-32	-38	-44

Согласно СТБ-1658 допускается содержание метиловых эфиров жирных кислот (FAME) 5 % (объемная доля).

Пример записи дизельного топлива для умеренного климата с предельной температурой фильтруемости не выше минус 20°C, содержанием серы не более 10 мг/кг в других документах и(или) при заказе: «Топливо дизельное ЕВРО, сорт F, вид I по СТБ 1658».

Пример записи дизельного топлива для умеренного климата с номинальным значением объемной доли метиловых эфиров жирных кислот (FAME) 5 %, предельной температурой фильтруемости не выше минус 5 °С, содержанием серы не более 50 мг/кг в других документах и(или) при заказе: «Топливо биодизельное ЕВРО Б5, сорт С, вид II по СТБ 1658».

**Склонность к нагарообразованию** одно из важных эксплуатационных свойств дизельного топлива – способность обеспечивать чистоту двигателя и топливной аппаратуры. Это свойство зависит от химического и фракционного состава топлива. При сгорании топлива наблюдается нагарообразование на стенках камеры сгорания и впускных клапанах, а также на распылителях и иглах распылителей форсунок. На стенках камеры сгорания, днищах поршней и впускных клапанах образуется плотный твердый нагар темного цвета, а на распылителях и иглах распылителей форсунок – мягкий, смолистый нагар желтоватого цвета, иногда в виде светло-коричневой лаковой пленки.

Отложение нагара на стенках камеры сгорания ухудшает отвод теплоты в систему охлаждения двигателя. Наличие нагара на впускных клапанах приводит к их закоксовыванию, в результате чего нарушается правильная посадка тарелки клапана на седло. Происходят утечка раскаленных газов и обгорание посадочных поверхностей клапана и седла, а в отдельных случаях зависание клапана.

Наибольшие нарушения в работе дизельных двигателей связаны с отложениями нагара на форсунках. Из-за нагара на распылителях ухудшается качество распыления топлива и искривляется факел распыла. При ухудшении распыления топлива нарушается смесеобразование, происходит неполное его сгорание, что приводит к дымлению, снижению мощности дизеля и повышенному расходу топлива.

Выпадение смолистых отложений на иглах распылителей способствует их зависанию. Закоксовывание сопел и зависание игл распылителей сопровождаются подтеканием топлива, так как в этом случае игла не садится на уплотняющий конус распылителя и не перекрывает

его канал. При подтекании топлива также наблюдается снижение мощности и экономичности дизеля, его дымление.

Нагарообразование в двигателе зависит от следующих параметров применяемого дизельного топлива: содержания фактических смол и серы, фракционного состава, количества непредельных и ароматических углеводородов, зольности и коксуемости. С увеличением содержания фактических смол в топливе увеличивается нагарообразование на деталях двигателя, закоксовывание отверстий распылителей и зависание игл. Повышение содержания серы в топливе приводит при его сгорании к увеличению нагара и лака, причем плотность нагара значительно возрастает.

С увеличением зольности и коксуемости дизельного топлива растет его склонность к нагарообразованию. Зольность характеризует содержание в топливе несгораемых примесей, которые выпадают в нагар, увеличивая его абразивные свойства.

**Коксуемость** – важное эксплуатационное свойство дизельного топлива, которое характеризуется чистотой двигателя и топливopодающей аппаратуры.

Коксуемость – это свойство топлива при нагревании без доступа воздуха образовывать углистый осадок (кокс). Коксуемость определяют для 10%-го остатка после предварительной перегонки дизельного топлива. Коксуемость 10%-го остатка топлива зависит от его фракционного состава и содержания смолисто-асфальтовых соединений. Для дизельного топлива различных марок коксуемость находится в пределах 0,2...0,3 %.

**Противокоррозионными свойствами** дизельные топлива должны обладать для обеспечения минимального воздействия коррозионного разрушения деталей дизеля. Причины коррозионной агрессивности дизельных топлив те же, что и у бензинов: наличие в их составе сернистых соединений, водорастворимых кислот и щелочей, а также органических кислот.

При производстве дизельных топлив из сернистых нефтепродуктов получают газойлевые и соляровые дистилляты с содержанием серы до 1,0 – 1,3 %. Серу из дистиллятов удаляют каталитическим способом, позволяющим снизить ее содержание до 0,2 – 0,5 %. Повышенное до 0,6 % содержание серы в топливах приводит к увеличению износа гильз цилиндров и поршневых колец в среднем на 15 %, а повышение до 1 % ускоряет этот процесс в 1,5 раза. Ужесточающиеся требования к качеству дизельного топлива требуют снижения содержания серы. Так согласно нормам EN 590 действующим с 1993 по 1996 годы серы в дизельном должно быть не более 0,5 %. Нормами EN 590

действующими с 2000 года и принятым в Республике Беларусь СТБ 1658-2006 установлено содержание серы на уровне не превышающем 0,035 % (350 мг/кг). Ужесточённые требования EN 590 действующие с 2009 года ограничивают содержание серы на уровне 10...50 мг/кг.

Содержание органических кислот в дизельном топливе характеризует кислотность топлива, которая должна быть не более 5 мг КОН в 100 см<sup>3</sup> топлива. Повышение кислотности топлив приводит к увеличению коррозионного износа плунжерных пар

Установлено, что общий износ деталей двигателя приблизительно прямо пропорционален содержанию серы в дизельном топливе. При температуре охлаждающей жидкости в двигателе ниже 70°С возрастает степень коррозионного износа, поскольку увеличивается образование серной кислоты. Продукты сгорания топлива, содержащие сернистый и серный ангидриды, проникают через неплотности цилиндропоршневой группы в картер, где образуют с водой серную и сернистую кислоты. Смешиваясь с маслом, кислоты ухудшают его качество, в частности антикоррозионные свойства, вызывают быстрое старение. Химическому износу подвергаются вкладыши подшипников, шейки коленчатых валов и другие детали. Особенно сильной коррозии подвержены вкладыши из свинцовистой бронзы.

Смазывающая способность дизельных топлив определяет срок службы плунжерной пары насоса высокого давления. В глубокоочищенных дизельных топливах с низким содержанием серы смазывающая способность значительно снижается. В этом случае требуется добавка в топливо противоизносных присадок.

Содержание в топливах меркаптановой серы, не должно превышать 0,01 % (норма по ГОСТ). При повышении массовой доли меркаптановой серы до 0,06 % коррозионный износ плунжерных пар и деталей форсунок увеличивается в 2 раза. Поэтому при производстве дизельных топлив обязательно проводят их коррозионные испытания медной пластинкой. Если медная пластинка выдерживает испытания, то коррозионная агрессивность топлива отсутствует. Общая массовая доля серы в товарных дизельных топливах составляет 0,2...0,5 %.

Для улучшения экологии крупных населенных пунктов нашей страны предполагается снизить в топливах массовые доли серы (до 10...50 мг/кг) и ароматических углеводородов (до 8 %). Перспективные показатели качества дизельного топлива за рубежом следующие: в США – содержание серы не более 0,003 %, ароматических углеводородов не более 2 %; в Европе – соответственно не более 0,005 и 0,003 %.

**Водорастворимые кислоты и щелочи** могут остаться в дизельном топливе после очистки серной кислотой или щелочью на нефтеперерабатывающем заводе. Водорастворимые кислоты вызывают коррозию всех металлов, а водорастворимые щелочи – алюминия, поэтому присутствие даже следов этих соединений в топливе недопустимо.

Минеральные кислоты и щелочи обнаруживают по реакции водной вытяжки. Присутствие водорастворимых кислот и щелочей в дизельных топливах не допускается.

Количество **механических примесей и воды** в топливах для дизелей по СТБ 1658-2006 не должно превышать 24 мг/кг и 200 мг/кг соответственно. Согласно ГОСТ 305-82 содержание механических примесей и воды недопустимы.

Наличие воды и механических примесей в дизельном топливе служит одной из главных причин отказов топливной аппаратуры. Вода и механические примеси могут попадать в топливо, начиная от пути следования его из нефтезавода до использования в двигателе. При наличии в дизельном топливе механических примесей происходит засорение фильтрующих элементов, ускоренный износ топливopодающей аппаратуры. При понижении температуры из воды, находящейся в топливе, образуются кристаллы льда, которые забивают фильтрующие элементы, что уменьшает подачу топлива в двигатель. Применение дизельного топлива с водой при положительной температуре приводит к разрушению фильтрующих элементов.

Согласно ГОСТ 305-82 содержание механических примесей и воды недопустимы. Однако в связи с «чувствительностью» метода оценки содержания механических примесей (ГОСТ 6370-83, СТБ ИСО 12662) и воды (ГОСТ 2477-65, СТБ ИСО 12937) за отсутствием загрязнений принимаются содержание в топливе механических примесей до 0,005 % (ГОСТ 6370-83), до 24 мг/кг (СТБ ИСО 12662) и воды до 0,02...0,03 % (по массе). Содержание воды в нефтепродуктах до 0,025 % включительно называют «следами».

Большинство механических примесей имеют большую твердость и вызывают повышенный износ деталей двигателя. Особенно вредны примеси для топливных насосов высокого давления, насосов-форсунок, форсунок. В прецизионных парах зазор составляет 1,5 – 3 мкм, поэтому даже небольшое количество механических примесей, размер которых соизмерим с зазором плунжерных пар, вызывает их интенсивное изнашивание.

Механические примеси в дизельном топливе повышают смолообразование, вызывают засорение системы топливopодачи,

увеличивают количество отложений и нагара на форсунках, в камере сгорания и на других элементах, ухудшая надежность и долговечность системы топливоподачи, значительно увеличивая расход топлива и дымность отработавших газов. При использовании засоренного топлива срок службы топливной аппаратуры сокращается в 5 – 6 раз.

Перед заправкой в бак машины топливо должно отстаиваться не менее 10 дней. Чистота различных слоев топлива при этом будет неодинаковой. Даже при 10-дневном отстое в нижних слоях топлива остаются мельчайшие частички механических примесей, представляющие наибольшую опасность для топливной аппаратуры. Тракторы и автомобили необходимо заправлять топливом верхних слоев. Содержание механических примесей в дизельном топливе не допускается.

Не разрешается использовать топливо, содержащее воду, так как она приводит к нарушениям в работе двигателя, невозможности его пуска, повышенной коррозии, увеличению нагарообразования.

Чистоту дизельного топлива оценивают по коэффициенту фильтруемости (ГОСТ 1906–73), который определяет эффективность и надежность работы двигателя, особенно его топливной аппаратуры. Коэффициент фильтруемости находится как отношение времени фильтрования через фильтр из бумаги БФДТ при атмосферном давлении десятой порции фильтруемого топлива к первой. На фильтруемость топлива влияют наличие в нем механических примесей, воды, смолистых веществ, мыл нафтеновых кислот. Для дизельного топлива различных марок коэффициент фильтруемости колеблется от 2 до 3.

В результате микробного поражения топлива возможен отказ двигателей из-за засорения топливопроводов и топливных фильтров. В дизельном топливе встречаются 45 видов различных бактерий и около 20 видов различных грибов. Топлива загрязняются в резервуарах и трубопроводах, которые попеременно используют для различных нефтепродуктов. Микробное загрязнение топлива особенно часто происходит в резервуаре, на дне которого присутствует вода. Заражение дизельного топлива происходит путем проникновения бактерий и грибов извне с воздухом и водой или вследствие контакта с зараженным ранее топливом. Микроорганизмы распространяются вдоль поверхности раздела вода топливо и живут в воде, питаются топливом.

По мере развития бактерий и грибов качество топлива резко ухудшается, происходят неблагоприятные изменения топлива, которые вызывают его помутнение, микробиологическую коррозию, образование осадка, засорение фильтров и трубопроводов, разложение присадок и добавок.

Помутнение топлива происходит из-за повышения содержания в нем воды вследствие образования побочных продуктов жизнедеятельности микробов – поверхностно-активных веществ (ПАВ), которые увеличивают растворимость воды в топливе. Микробиологическая коррозия происходит в результате выделения бактериями сероводорода, который растворяется в топливе и вызывает сильную точечную коррозию топливных баков и трубопроводов. Микроорганизмы оседают на дне резервуаров и образуют слой, который способствует микробиологической коррозии. Осадок загрязняется жизнеспособными микробами и грибами и служит постоянным источником инфицирования. Различные добавки и присадки в дизельном топливе, особенно содержащие азот и фосфор, усваиваются микроорганизмами, и их эффективность снижается.

Для обеззараживания дизельного топлива и профилактики его заражения разработана добавка на основе производных изотиазолона и др.

### **1.8.2. Сгорание топлива в дизелях**

В дизелях топливо впрыскивается форсункой в воздушный заряд, сжатый до давления 3,5 – 5,0 МПа (с наддувом 6–8 МПа) и имеющий температуру 750 – 900 К. Для эффективного протекания горения топливо должно находиться в парообразном состоянии, но из-за недостатка времени на смесеобразование часть топлива не успевает испариться и находится в начале горения в капельно-жидком состоянии. Поэтому воспламенение и сгорание – сложные процессы, включающие в себя физико-химическую подготовку топлива, воспламенение и горение.

При сгорании в дизеле выделяют 4 фазы:

- 1– задержка воспламенения;
- 2– самовоспламенение и быстрое горение;
- 3– горение, сопровождаемое плавным изменением давления;
- 4– догорание.

Первая фаза начинается с момента поступления топлива в цилиндр. Впрыскивание топлива происходит до прихода поршня в ВМТ. Угол опережения впрыска топлива составляет – 20...35°п.к.в.

Во время впрыскивания струя топлива выходящая из форсунки под большим давлением, разбивается на мельчайшие капли, образуя факел распыления. При этом завихрения, которые придаются заряду сжимаемого воздуха, оказывают существенное влияние на развитие

этого факела. Концентрация топлива в таком факеле изменяется по переменному сечению и длине. В ядре факела находятся наиболее крупные, а на периферии – наиболее мелкие капли, находящиеся друг от друга на значительных расстояниях. Следовательно, структура рабочей смеси в дизелях крайне неоднородна. В течение времени задержки воспламенения происходит распад струи на капли, перемещение капель по объему камеры сгорания и их прогрев, частичное испарение и смешивание паров топлива с воздухом, развитие предпламенных процессов и возникновение очагов самовоспламенения.

Если период задержки воспламенения больше продолжительности впрыскивания, то все топливо оказывается поданным в цилиндр до начала воспламенения. При этом большая часть его успевает испариться и смешаться с воздухом. В результате объемного воспламенения этой части топлива в цилиндре развивается резкое повышение давления с высокими динамическими нагрузками на детали и повышенным уровнем шума. Поэтому длительный период задержки воспламенения нежелателен.

На длительность периода задержки самовоспламенения влияют химические свойства топлива (его воспламеняемость), давление и температура заряда в начале впрыскивания топлива, тип камеры сгорания и интенсивность направленного движения зарядов, характеристика впрыскивания топлива и качество его распыливания, нагрузочный и скоростной режимы работы.

При повышении температуры и давления заряда в начале впрыскивания топлива время периода задержки воспламенения уменьшается. Это проявляется в случае повышения степени сжатия, применения наддува и уменьшение угла опережения впрыскивания.

*Вторая фаза* начинается с момента отрыва кривой сгорания от линии сжатия до момента достижения максимального давления цикла. В первую очередь сгорают однородные слои смеси топлива и воздуха хорошо перемешанные между собой. Давление и температура во второй фазе быстро повышаются вследствие сгорания значительной части смеси испарившегося в первой фазе топлива с воздухом и топлива, впрыскиваемого во второй фазе. При этом фронт пламени распространяется очень быстро, в определенных случаях с образованием ударной волны, распространяющейся со скоростью звука. Но в отличие от карбюраторных ДВС, в дизелях эти волны не переходят в детонационные, так как структура смеси по всему объему камеры сгорания неравномерна, это позволяет использовать более высокую степень сжатия.

Максимальная скорость нарастания давления во второй фазе  $(dp/d\varphi)_{max}$  характеризует жесткость процесса сгорания. Для автотракторных дизелей  $(dp/d\varphi)_{max}=0,4 - 1,0$  МПа/° п.к.в.

Второй характеристикой этой фазы сгорания является степень

повышения давления  $\lambda_p = \frac{P_3}{P_2}$ . Чем выше  $(dp/d\varphi)_{max}$  и  $\lambda_p$ , тем экономичнее работа дизеля, но при этом возрастают нагрузки на детали и их износ.

На развитие и длительность второй фазы влияют: продолжительность первой фазы и количество топлива, поданного в цилиндр за время периода задержки воспламенения; характер топливоподачи во второй фазе; качество распыления топлива; скорость движения заряда в камере сгорания; скоростной и нагрузочный режим работы двигателя.

Чем больше подача топлива и мельче распыление, тем интенсивнее тепловыделение и рост давления.

Таким образом, чем лучше испаряемость топлива и дольше период задержки воспламенения, тем вероятнее самовоспламенение взрывного характера, сопровождающееся возникновением ударных волн и вибраций давления.

*Третья фаза* – окончание – момент соответствующий достижению максимальной средней температуры газов в цилиндре. К началу третьей фазы все несгоревшее топливо, поданное в цилиндр во время первых двух фаз, находится в виде капель или сгустков паров, которые отделены от зон со свободным кислородом фронтом пламени или продуктами горения. В результате происходит термическое разложение капель топлива (крекинг) с образованием частиц углерода в виде сажи, которая, покидая цилиндр вместе с отработавшими газами, вызывает сильное дымление на выпуске. Горение продолжается при постоянно увеличивающемся объеме камеры сгорания, поэтому давление плавно понижается.

*Четвертая фаза* (догорание) составляет значительную часть такта расширения, и ее завершение соответствует примерно 70...80° после ВМТ. В течение этой фазы догорает топливо, не успевшее сгореть в третьей фазе, причем происходит это в условиях недостатка кислорода, так как значительное его количество уже израсходовано. Поэтому догорание протекает медленно.

За время четвертой фазы при полной нагрузке дизеля выделяется 15–25% теплоты. Таким образом, общее количество тепловыделения к концу четвертой фазы составляет 90–95%. Остальные 5–10% теряются вследствие неполноты сгорания топлива. Продолжительность четвертой фазы 3,5–5 мс.

За период задержки воспламенения успевают полностью испариться капли диаметром 12 – 15мкм. Более крупные капли испаряются частично, образуя паровую оболочку, в центре которой остается жидкое ядро. При диаметре капли 50 – 100мкм их крупные жидкие ядра подвергаются термическому крекингу, в результате чего образуются частица твердого углеводорода, которая затем не окисляется. Для избежания потерь, обусловленных неполнотой

сгорания, размер капель не должен превышать 50 мкм.

При очень мелком распыливании может наблюдаться полное прекращение воспламенения, т.к. капли малого диаметра успевают полностью испариться до возникновения в камере сгорания оптимальных условий для самовоспламенения.

Т.е. для устойчивой работы дизеля структура факела топлива должна иметь оптимальную неравномерность, для того, чтобы при любом режиме работы образовывались обогащенные парами топлива зоны, в которых при прогреве могли возникать цепные процессы сгорания.

### **1.8.3. Сорты и марки топлив для дизельных двигателей**

В зависимости от типа дизелей дизельные топлива имеют различную маркировку. Топлива, применяемые в двигателях с воспламенением от сжатия, подразделяются на три группы. К первой группе относятся топлива для быстроходных дизелей, среди которых различают марки ДА, ДЗ, ДЛ, ДС. Ко второй группе принадлежат дизельные топлива для автотракторных, тепловозных и судовых двигателей, они имеют маркировку А, С, З, Л. Третью группу составляют топлива для среднеоборотных дизелей, их маркировка – ДТ и ДМ. Все дизельные топлива, выпускаемые в нашей стране в соответствии с действующим стандартом, предназначены для использования их в дизельных двигателях, которые установлены на тракторах, тепловозах, морских и речных судах, тяжеловесных грузовых автомобилях.

В соответствии с ТР ТС 013.2011 дизельное топливо может быть трех марок: Л – летнее, применяемое при температурах окружающего воздуха 0 °С и выше; З – зимнее, применяемое при температурах до минус 20 °С; марки А – арктическое, температура применения которого до минус 38 °С; марки Е – межсезонное, температура применения которого до минус 15 °С.

В соответствии с ТР ТС 013.2011 обозначение дизельного топлива включает следующие группы знаков, расположенные в определённой последовательности через дефис. Первые группа: буквы ДТ – обозначающие, дизельное топливо для автомобильных дизельных двигателей. Вторая группа: буквы Л (летнее), З (зимнее), А (арктическое), Е (межсезонное), обозначающие климатические условия применения. Третья группа: символы К2, К3, К4, К5, обозначающие экологический класс дизельного топлива.

В табл. 1.6 приведены требования к качеству дизельных топлив по стандарту EN 590. В Настоящее время отечественные

нефтеперерабатывающие заводы выпускают топливо соответствующее EN 590:2009 включая изменение к нему A1:2010.

Т а б л и ц а 1.6. Требования к качеству дизельных топлив по EN 590

Показатель	EN 590			
	1993-1996 гг.	1996-1999 гг.	Действующий с 2000 г.	С изменениями 2010 г.
Массовая доля серы, %, не более	0,5	0,3	0,035	0,001...0,005
Цетановое число, не менее	45	49	51	51
Плотность при 15°C, кг/м <sup>3</sup>	820...860	820...860	820...845	820... 845
Кинематическая вязкость при 40°C, мм <sup>2</sup> /с	2,0...4,5	2,0...4,5	2,0...4,0	2,0...4,0
Фракционный состав: 95% перегоняется до, °C	370	370	360	360
Содержание полициклических ароматических углеводородов, %, не более	Не норм.	Не норм.	11	8
Смазывающая способность, мкм, не более	Не норм.	Не норм.	460	460
Окислительная стабильность, г/м <sup>3</sup> , не более	Не норм.	Не норм.	25	25

### 1.9. Альтернативные топлива

Постоянное повышение цен в мире на традиционные источники энергии, политическая и экономическая нестабильность в странах, являющихся основными поставщиками нефти и газа на мировые рынки, заставляет ведущие страны мира искать другие виды источников энергии.

С каждым годом парк автотракторной и комбайновой техники растет, увеличивается единичная мощность и расширяется сфера применения машин.

Эволюция конструкции ДВС должна подчиняться современным требованиям норм охраны ОС. Эти требования касаются как самих двигателей, так и применяемых в них топлив. Развитие топлив идет по следующим направлениям: совершенствование технологии переработки нефти, поиск новых добавок к топливам, а также применение альтернативных топлив. Цель совершенствования состоит в том, чтобы новейшие технологии отвечали ужесточающимся нормам по охране окружающей среды.

Наряду с проблемой снижения выбросов вредных веществ с отработавшими газами в Республике Беларусь существует проблема обеспеченности собственными топливно-энергетическими ресурсами, так как разработка своих запасов нефти не удовлетворяет потребностей республики в углеводородном топливе. Являясь крупным производителем и поставщиком на постсоветском пространстве дизельных двигателей, тракторов и сельскохозяйственной техники, Беларусь практически не имеет собственных запасов углеводородного сырья для производства ДТ.

Для Республики Беларусь важное значение имеет снижение энергетической зависимости от нефтяного топлива. Поэтому изучение и разработка альтернативных топлив для автотракторной техники является перспективным для Беларуси.

### **1.9.1. Местные виды топлива**

Основные источники местных видов топлива:

- древесные отходы (отходы лесохозяйственных и строительных комбинатов);
- лесосечные отходы;
- лесные массивы с коротким циклом (ива, тополь, эвкалипт);
- солома;
- органические фракции коммунально-бытовых твердых отходов и осадки сточных вод;
- промышленные отходы (например, от бумажно-целлюлозной и пищевой промышленности);
- торфяные месторождения.

Как известно, в последние десятилетия в мире уделялось достаточно большое внимание расширению плантаций, в частности, плантаций ускоренного роста. Были достигнуты фантастические результаты по повышению интенсивности роста древесины. Так, средняя продуктивность сосны в Бразилии составляет  $28,5 \text{ м}^3$  с гектара в год, а эвкалипта –  $37 \text{ м}^3$  с гектара в год. На некоторых экспериментальных участках в Бразилии годовой прирост эвкалипта достиг  $119 \text{ м}^3$  с одного гектара в год. Однако анализ этих данных

показывает, что они относятся, в первую очередь, к Южному полушарию. Развитие плантаций ускоренного роста в Южном полушарии позволяет в стратегическом плане решить проблемы устойчивого лесопользования и обеспечения мировой целлюлозно-бумажной промышленности волокнистым сырьем на длительную перспективу.

Одним из перспективных направлений производства биотоплива признаны короткоцикловые плантационные посадки быстрорастущих пород ивы, для которых среднегодовой прирост биомассы превышает  $25 \text{ м}^3/\text{га}$ . Серьезное внимание использованию плантационных посадок древесных пород с коротким циклом ротации уделяется в США, где таких плантаций насчитывается около 23 тысяч. Они дают до 20 т/га сухого вещества в год, часть его используется для целлюлозно-бумажной промышленности, часть – для биоэнергетики. Канадские специалисты считают, что многоцелевые древесные плантации могут стать неиссякаемым источником энергетической биомассы. Вопрос ставится даже так, что существующая в настоящее время система сельскохозяйственного землепользования может быть существенно улучшена путем введения древесных плантаций для энергетических целей с коротким циклом ротации. В Западной Европе общая площадь таких посадок превышает 1 млн. гектаров. Имеется специальное постановление Европейского экономического сообщества №797/85 о выращивании быстрорастущих древесных пород для использования в промышленности и биоэнергетике (Carona Piermarino, 1993).

В странах СНГ выращивание быстрорастущих пород и кустарников в основном рекомендуется в качестве источника технического сырья для переработки. В России быстрорастущим породам уделяется весьма большое внимание. Их рассматривают в качестве резерва повышения продуктивности лесов, увеличения запасов древесины и сокращения сроков её выращивания. Защитные и озеленительные насаждения, созданные из быстрорастущих пород, достигают необходимых размеров за более короткий срок и выполняют свою служебную роль в сравнительно молодом возрасте. На Украине лесоводы намечают плантационные посадки быстрорастущих тополей.

Наряду с быстрорастущими породами древесины разрабатываются проекты и проводятся эксперименты по выращиванию быстрорастущих культур, биомасса которых могла бы использоваться для производства экологически чистого биотоплива. Одним из источников получения растительного сырья для производства биотоплива в условиях Беларуси может быть выращивание быстрорастущих травянистых культур семейства гречишных, обладающих следующими достоинствами:

- высокой продолжительностью жизни одного растения (до 15 и более лет), что значительно снижает затраты и трудоемкость производства биотоплива;

- высоким выходом биомассы, до 300 т зеленой массы с гектара;

- высокоразвитой корневой системой;

- зимостойкостью;

- высокой технологичностью всех операций от посева до производства биотоплива, что позволит механизировать работы на базе отечественных видов техники;

- способностью к извлечению из почвы радионуклидов, что особенно важно для освоения загрязненных и выведенных из оборота в результате аварии на ЧАЭС территорий Гомельской и Могилевской областей.

В процессе исследований, проведенных ИРЭП НАНБ в 2000 г., получены данные о возможности использования для целей производства биотоплива быстрорастущих травянистых культур семейства гречишных: горца сахалинского, горца забайкальского, горца Вейриха и сильфии пронзеннолистной.

Топливо на основе биомассы гречишных имеет благоприятные энерготехнологические свойства: теплота сгорания – 2431 ккал/кг (при влажности – 16 %), зольность – 1,1 %, содержание серы – 0,2 %, выход летучих – 76,5 %.

Также важным источником получения местных видов топлива являются торфяные месторождения. В Беларуси не все из них могут бесперебойно удовлетворять потребности предприятий энергетического профиля. Приблизительные расчеты показывают, что для обеспечения работы ТЭЦ мощностью 100 МВт расход торфяного топлива составит 700 тыс. т/год. Это около 30 % от ежегодно добываемого в республике объема торфа. Соответственно и геологические запасы торфа на таком месторождении должны составлять не менее 42 млн. тонн, что при существующих технологиях добычи эквивалентно 21 млн. тонн промышленных запасов. Это обеспечит функционирование ТЭЦ названной мощности на протяжении 25 – 30 лет. Торфопредприятие с учетом сезонов должно ежемесячно добывать 220 тыс. тонн торфа.

Энергию можно получать из коммунально-бытовых твердых отходов посредством улавливания газов на мусорных свалках или при помощи специализированных фабрик по анаэробному сбраживанию. Не менее важным способом утилизации отходов является сжигание мусора на специальных заводах или его использование в качестве

дополнительного топлива, сжигаемого на электростанциях и промышленных предприятиях.

Древесное топливо имеет малую зольность (0,4 – 1,5 %), незначительное содержание серы (менее 0,05 %) и углекислотную нейтральность, так как при его сжигании выделяется такое же количество диоксида углерода (CO<sub>2</sub>), как и при естественном гниении древесины.

Обезвоженная древесина отличается химической стабильностью органической массы, стабильной удельной теплотворной способностью  $Q=18,7 - 19,1$  МДж/кг для разных пород дерева, а также высоким содержанием летучих веществ (80–85%). Горючими веществами в древесине, как и в других видах растительной биомассы, являются углерод (около 51 %) и водород (около 6 %). Остальные вещества – это балласт. К тому же обезвоживание древесины требует значительных затрат энергии как при прямом сжигании, газификации и т.д., так и при предварительной сушке.

Энергетическое использование первичных вида древесного топлива (дров, щепы) с относительной влажностью 45 – 60 % в 1,8 – 3,5 раза снижает теплотворную способность древесины.

Биомасса может быть получена из лесных и сельскохозяйственных ресурсов, из отходов. Лесохозяйственные и деревообрабатывающие предприятия производят древесину, которая является крупнейшим источником твердой биомассы. Сюда входит целый ряд различных видов биотоплива, как, например, дрова, опилки, и с недавнего времени пеллеты. Древесные гранулы предоставляют великолепные возможности для развития мирового рынка биоэнергетики в связи с их высокой энергоемкостью и стандартизированными характеристиками.

Гранулы, или pellets, представляют из себя палочки диаметром 812 мм и длиной от 5 до 25 мм (наподобие обломков карандаша), желтого цвета, удельной массой 1300–1400 кг/м<sup>3</sup>.

Отметим, что теплоэнергетическая эффективность, подготовленного (концентрированного по горючей массе, имеющего стабильные физико-химические и механические характеристики), т. е. рафинированного древесного топлива, будет в несколько раз выше по сравнению с первичным древесным топливом.

Низкая влажность древесных топливных гранул, однородность и стабильность их физико-химических и механических характеристик влияют на увеличение теплотворной способности, повышают эффективность процессов горения, упрощают конструкцию теплоэнергоустановок, процессы регулирования и управления ими, повышают КПД.

Гранулирование используется для:

- повышения удельной теплотворной способности топлива;
- увеличения эффективности работы и полной автоматизации теплоэнергетических установок мощностью от 10 – 40 кВт до 10 – 20 МВт с реальным КПД 80 – 85 % (для теплоэнергоустановок большей мощности гранулы измельчаются в тонкодисперсный порошок, который сжигается в камерных топках по аналогии с технологией сжигания угля, при этом КПД повышается до 90 %);
- повышения физической и насыпной плотности топлива;
- упрощения оборудования для хранения топлива, включая технологический, межоперационный транспорт;
- существенного снижения затрат на транспортировку и хранение топлива, так как гранулы плотные, не боятся атмосферной влажности, что важно при транспортировке (обычно насыпью);
- возможности длительного хранения топлива без ухудшения его качественных характеристик, отрицательного влияния на окружающую среду, на здоровье обслуживающего персонала и пожаровзрывобезопасность;
- улучшения условий труда обслуживающего персонала.

Топливные гранулы производятся из древесных отходов: опилок, стружки, щепы любой породы древесины (хвойные, лиственные), а также из коры.

Технологическая цепочка производства гранул:

- подготовка исходного сырья: щепы или опилок;
- измельчение исходного сырья;
- сушка до технологически установленной влажности;
- дробление до мелкой фракции в молотковой дробилке (в древесную муку);
- гранулирование и охлаждение;
- направление на склад.

Солома – сложный вид топлива. Она неоднородна, сравнительно влажная и достаточно объемна в сравнении с энергоемкостью – объем соломы превышает примерно в 10 – 20 раз объем угля.

Для удобного сбора, транспортировки, хранения и доставки в котельную, используют прессование соломы в тюки. В энергетике применяют круглые и прямоугольные, среднего и большого размера тюки. Обычно высота круглых тюков – 1,2 м, а диаметр – 1,5 м. Масса в зависимости от уровня влажности меняется в пределах от 200 до 300 кг.

Теплотворная способность соломы прямо пропорциональна содержанию влажности. Как показывает практика, теплотворная

способность соломы уменьшается на 1,5% при увеличении влажности на 1%. Важно, чтобы солома для сжигания была достаточно сухой. В процессе сушки цвет соломы меняется с желтого на серый. Таким образом, уровень влажности соломы можно определить визуально по цвету соломы. Максимально допустимая влажность соломы 20 – 22%, оптимальная – 15%.

Топки котлов для сжигания соломы различны и предусмотрены для сжигания соломы как в тюке, так и разрыхленном виде. Использование разрыхленной соломы позволяет полностью автоматизировать подачу топлива и процесс горения.

При сжигании соломы остается зола, которая составляет приблизительно 4% от веса используемой соломы. Около 70% продуктов сгорания – это летучие газы. Высокое содержание летучих газов выдвигает особые требования для конструкции топок и горелок для сжигания соломы. В соломе много хлорсодержащих веществ, что может вызвать коррозию, особенно при высоких температурах. Из-за высокого содержания щелочных металлов температура размягчения и плавления золы соломы сравнительно низкая. При низких температурах могут появиться проблемы, связанные с образованием шлаков. Твердые куски шлаков очень трудно отделить и удалить из котла. Чтобы предупредить образование шлаков, пользуются добавками к топливу. Зола, в которой содержатся питательные вещества, в основном – натрий, можно использовать как удобрение.

Торф – горючее полезное ископаемое растительного происхождения, предшественник генетического ряда углей. Торф представляет собой органическое вещество, образовавшееся в результате отмирания и неполного распада болотных растений в условиях повышенной влажности и затрудненного доступа воздуха. Ежегодный прирост растительной массы зависит от вида растений, климатических условий, типа болота. В среднем он колеблется от 10 до 25 мм в год.

Торф является практически единственным возобновляемым природным минерально-сырьевым ресурсом. Прирост слоя торфяной залежи составляет от 0,8 до 1,2 мм в год в зависимости от режима питания торфяного болота и геоклиматических условий.

**Сжигание.** Сжигание биомассы является надревнейшим способом получения теплоты для приготовления пищи и обогрева жилья.

Сжигание древесины для производства тепла является основным процессом, применяемым в мировой биоэнергетике; при этом постоянно ведутся работы по его усовершенствованию и снижению выбросов. В зависимости от размера можно выделить несколько

систем. В небольших отопительных системах для домохозяйств, как правило, используются пеллеты или дрова. В средних системах целесообразно сжигать древесную щепу в решетчатых бойлерах. В крупных бойлерах можно сжигать широкий спектр топлив, включая древесные отходы и некондиционное топливо.

Производство электричества и когенерация тепловой и электрической энергии: в настоящее время основным методом здесь также является сжигание, однако при этом появляются и новые технологии, такие как газификация, а в среднесрочной перспективе и пиролиз.

Влагосодержание древесного топлива существенно влияет также на механизмы и эффективность процессов горения и теплообмена в энергогенерирующих установках. Устойчивое, стабильное горение происходит при влажности, например, топливной щепы до 40 – 45 %. Горение возможно также и при влажности щепы до 56 – 57 %, но оно неустойчиво. В отдельных дорогостоящих топочных устройствах можно сжигать щепу с предельно допустимой влажностью 60 и даже 65 % или использовать дополнительные источники тепла, сжигая другое топливо (газовая, мазутная подсветка и т.д.). Такие технологии целесообразно использовать для утилизации древесных отходов, а не для производства тепловой энергии.

Вторым важнейшим фактором, существенно влияющим на эффективность топочных процессов, являются неоднородность и непостоянство физико-механических характеристик первичных видов древесного топлива. Необходимо также отметить, что технологии энергетического использования первичного древесного топлива требуют дорогостоящего, сложного и громоздкого оборудования для его заготовки, измельчения, хранения и транспортировки.

Для эффективного использования древесного топлива необходимо должным образом подготовить исходную топливную древесину: высушить, гомогенизировать, т. е. придать ей стабильные физико-химические и механические параметры и свойства. Это позволит в 2 – 3 раза повысить удельную теплотворную способность древесины, оптимизировать топочные процессы, увеличить КПД теплогенерирующего оборудования, его эффективность (в 1,3 – 2,8 раза), а также снизить стоимость оборудования и затраты на его эксплуатацию. Использование рафинированных видов древесного топлива и эффективное теплопроизводящее оборудование позволят получить в 2 – 4 раза больше тепловой энергии из имеющегося потенциала топливной древесины по сравнению с технологиями сжигания, газификации и т. д. первичных видов древесного топлива.

**Пиролиз** – термическое разложение биомассы в процессе ее нагрева без кислорода или частичное сжигание при малом количестве кислорода.

Среди современных технологий энергетического использования растительной биомассы термохимическая конверсия (пиролиз или сухая перегонка) является наиболее универсальной. Она позволяет получать качественное, экологически безопасное твердое, жидкое и газообразное топливо из практически любого сырья (древесина, отходы при переработке древесины, твердые бытовые отходы, уголь, подсушенный навоз, включая полимеры искусственного происхождения), содержащего органические компоненты. При этом энергетические затраты на обеспечение термохимического процесса обычно не превышают 5% от теплотворной способности получаемых энергетических продуктов.

Чтобы процесс пиролиза шел успешно, должны соблюдаться определенные условия. Подаваемый материал предварительно сортируют для снижения негорючих примесей, подсушивают (следует в то же время избегать подачи пересушенного материала), измельчают. Критическим параметром, влияющим на температуру и на соотношение видов получаемых продуктов, является соотношение воздух–горючее. Проще всего управлять блоком, работающим при температуре ниже 600° С. При более высоких температурах (от 600 до 1000° С) блоком управлять труднее, но количество водорода в вырабатываемом газе увеличивается. При температуре ниже 600°С можно выделить четыре стадии перегонки.

1. 100–120°С – подаваемый в газогенератор материал, опускаясь вниз, освобождается от влаги.

2. 275°С – отходящие газы состоят в основном из  $N_2$ , СО и  $CO_2$ ; извлекаются уксусная кислота и метанол.

3. 280–350°С – начинаются экзотермические реакции, в процессе которых выделяется сложная смесь летучих химических веществ (кетоны, альдегиды, фенолы, эфиры).

4. Свыше 350°С – выделяются все типы летучих соединений; одновременно с образованием СО происходит увеличение образования  $H_2$ , часть углерода сохраняется в форме древесного угля, смешанного с зольными остатками.

Разновидности топлива, получаемого в результате пиролиза, обладают меньшей по сравнению с исходной биомассой суммарной энергией сгорания, но отличаются большей универсальностью применения.

*Твердый остаток* (максимальная массовая доля 25 – 35%). Современные установки для получения древесного угля, работающие при температуре 600°C, преобразуют в требуемый продукт от 25 до 35% сухой биомассы. Древесный уголь на 75 – 85% состоит из углерода, обладает теплотой сгорания около 30 МДж/кг.

*Жидкости* (конденсированные испарения, максимальная массовая доля около 30%). Делятся на вязкие фенольные смолы и текучие жидкости, пиролигенные кислоты, в основном уксусную кислоту, метанол (максимум 2%) и ацетон. Жидкости могут быть отсепарированы либо могут использоваться вместе в качестве необработанного топлива с теплотой сгорания около 22 МДж/кг.

*Газы* (максимальная массовая доля, получаемая в газогенераторах, составляет примерно 80%). Смесь выделяющихся при пиролизе газов с азотом известна как древесный газ, синтетический газ, генераторный газ или водяной газ. Теплота сгорания на воздухе составляет 5 – 10 МДж/кг (от 4 до 8 МДж/м<sup>3</sup> при нормальных условиях). Эти газы могут быть использованы непосредственно в дизелях или в карбюраторных двигателях с искровым зажиганием, при этом основная трудность – избежать попадания в цилиндры золы и конденсирующихся продуктов пиролиза. Газы в основном состоят из N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> и CO с малыми добавками CH<sub>4</sub> и CO<sub>2</sub>. Их можно накапливать в газгольдерах при давлении, близком к атмосферному.

Для повышения выхода пиролизного газа, технологический цикл может также включать стадию дополнительного нагрева парообразных продуктов до 900 – 1500°C. Дополнительный нагрев осуществляется непосредственно в реакторе пиролиза растительной биомассы или в отдельной камере. Путем изменения ограниченного количества технологических параметров, таких как температура и время обработки, удастся в широких пределах изменять химический состав продуктов и, соответственно, выход твердой, жидкой и газообразной фракций биотоплив.

Самое молодое направление термохимической технологии производства биотоплива – «быстрый» пиролиз – развивается чуть более двадцати лет. Экспериментально было показано, что при умеренных температурах (450 – 600°C) и небольшой продолжительности (в пределах 2 сек.) термического воздействия на растительную биомассу удастся повысить выход бιονефти – жидкого продукта технологического процесса – до 75 – 80 % от сухой массы исходного органического вещества. Было предложено несколько способов реализации процесса быстрого пиролиза, из которых наибольшее распространение получил метод кипящего слоя. Во

многим это объясняется тем, что к моменту зарождения быстрого пиролиза технология кипящего слоя уже давно и широко использовалась в котлах, работающих на твердом топливе. Реакторы кипящего слоя представляют собой достаточно громоздкие и сложные сооружения, требующие больших капиталовложений, которые окупаются только при достаточно большом объеме производства биотоплива. Оценки показывают, что установки, производительностью менее 0,5 тонн сухой массы в час, нерентабельны даже при нулевой стоимости растительного сырья.

**Термическая газификация.** Газификация – термальная обработка биомассы при помощи окислителя (например, воздуха) с ограниченной подачей кислорода, в результате чего образуется газовая смесь (содержащая CO и H<sub>2</sub>), которая может использоваться в энергетических нуждах.

В настоящее время имеются два освоенных в промышленных масштабах способа энергетического использования растительной биомассы: одностадийное (прямое) сжигание и двухстадийное сжигание.

Традиционный одностадийный способ сжигания широко применяется для получения тепловой энергии из древесины и отходов её переработки. Однако трудности в обеспечении полноты сгорания твердого топлива и неравномерность температурного поля в факеле пламени приводят к образованию вредных полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) и термических окислов азота. По данным различных исследователей, содержание ПАУ и NO<sub>x</sub> в продуктах сгорания влажной древесины может достигать соответственно до 400 мг/кг и 1000 мг/кг. В дымовых газах может также присутствовать значительное количество угарного газа (до 30 г/кг). Существенную долю в объеме растительной биомассы, доступной для использования, составляют сельскохозяйственные отходы (солома, лузга семян, кукурузные стержни и др.). При их сжигании в топочных устройствах часто возникают технические проблемы (шлакование колосников, унос мелкой фракции, отложения на поверхностях нагрева и др.), которые существенно снижают показатели работы оборудования.

Указанные выше недостатки практически полностью устраняются при использовании способа двухстадийного сжигания, включающего стадию термической переработки растительной биомассы в горючий газ (газификацию) и стадию сжигания генераторного газа. Так, по данным финских исследователей, выбросы вредных веществ при двухстадийном сжигании существенно снижаются, не превышая по

окси углерода 4 г/кг, а по ПАУ 100 мг/кг. Температура горения низкокалорийного генераторного газа не превышает 1500°С, что исключает образование термических окислов азота. Перевод топчного устройства, сжигающего жидкое или газовое топливо, на местные растительные отходы не связан со значительной реконструкцией топки, если реализуется двухстадийная схема. В этом случае модернизация топки сводится только к замене горелочного устройства. Эксплуатационные характеристики котлоагрегата на генераторном газе выше, чем на твердом топливе. Устраняется необходимость периодической остановки котла для очистки конвективных поверхностей нагрева от внешних отложений и для ремонта колосниковой решетки.

### 1.9.2. Диметиловый эфир

В нормальных условиях диметиловый эфир – это газ с запахом хлороформа. Он не вреден для озонового слоя, так как легко разрушается в тропосфере. Также является относительно инертным, бескоррозионным, неконцерогенным газом. Получают ДМЭ в основном из природного газа, но возможно и из биомассы. По своим свойствам близок к пропан-бутановой смеси (за исключением цетанового числа). Химическая формула ДМЭ –  $\text{CH}_3\text{-O-CH}_3$ .

Для подачи ДМЭ в цилиндры двигателя требуется модернизация топливной системы: вместо топливного бака используется баллон, топливная система должна быть полностью герметична, требуется увеличение ёмкости заправляемых баллонов в 1,6 раза. Подавать ДМЭ в дизель можно отдельно или в виде смеси с ДТ. Также эфир может смешиваться с топливами, имеющими низкое цетановое число, такими как метанолом, этанолом и метаном или выступать инициатором горения последних.

ДМЭ более экологически чистое топливо, чем дизельное. При его сгорании не происходит выделения сажи на всех режимах работы дизеля. Это связано с высоким содержанием кислорода в топливе (около 35%) и отсутствие связей углерод-углерод. Также снижается содержание  $\text{NO}_x$  в ОГ в 3 – 4 раза. Наблюдается увеличение выбросов угарного газа СО и углеводородов  $\text{C}_n\text{H}_m$ . КПД дизеля остаётся на уровне эксплуатации на ДТ. В связи с отсутствием серы в составе ДМЭ нет её и в ОГ дизеля.

Более высокое ЦЧ, более низкая температура самовоспламенения и температура кипения, чем у дизельного топлива обеспечивает быстрое формирование смеси в КС, сокращает задержку воспламенения и

обеспечивает более быстрый холодный пуск дизеля. Также это позволяет уменьшить оптимальный угол опережения впрыскивания. Топливо впрыскивается в КС при более высоких значениях давления и температуры. Это также способствует снижению задержки воспламенения, которое приводит к плавному нарастанию давления в КС и снижает выбросы  $\text{NO}_x$  и шум рабочего процесса на 10 дБ(А).

Недостатками ДМЭ является то, что он имеет более низкое значение теплоты сгорания, чем дизельное топливо, поэтому необходимо увеличение производительности ТНВД, чтобы подать ДМЭ по массе в 1,6 раз больше. ДМЭ обладает большей сжимаемостью, чем ДТ, что также негативно влияет на работу топливной аппаратуры. ДМЭ химически агрессивен по отношению к уплотняющим материалам и деталям, выполненным из пластмассы. Низкие смазывающие свойства ДМЭ увеличивают вероятность задиров или требуется добавление в него специальной присадки «Любризол 459А».

### 1.9.3. Использование спиртов в качестве топлива

К спиртовым топливам можно отнести метанол и этанол. Они получили наибольшее распространение в качестве моторного топлива.

Метанол (метилловый спирт), или древесный спирт, представляет собой бесцветную воспламеняющуюся жидкость со слабым спиртовым и чуть острым запахом. Хорошо смешивается с водой.

Этанол (этиловый спирт, метилкарбинол, винный спирт, часто просто «спирт») –  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$  или  $\text{CH}_3\text{—CH}_2\text{—OH}$ , второй представитель гомологического ряда одноатомных спиртов.

В настоящее время автомобильная и топливная экономика стимулирует развитие промышленного производства этанола из возобновляемых отходов лесоперерабатывающей и сельскохозяйственной отраслей, а также массовое внедрение двигателей внутреннего сгорания, работающих на смесях, содержащих более 50% этанола.

Этанол можно получать из различных технических культур. Выход этанола из некоторых культур представлен в табл. 1.7.

Кроме того, этанол можно вырабатывать из соломы, как это делают в Канаде, из опилок – технология, прижившаяся в Швеции, из кукурузы, сахарной свеклы или тростника.

Таблица 1.7. Выход этанола из технических культур

Культура	Выход этанола из 1 т. культуры,
----------	---------------------------------

	л/т
Сахарный тростник	70
Маниок	180
Сладкое сорго	86
Сладкий картофель	125
Зерновые (кукуруза)	370
Плодовые	160

Существуют два способа получения этанола.

1. Известный с давних времён способ получения этанола – спиртовое брожение органических продуктов, содержащих сахар (свёкла и т. п.). Аналогично выглядит переработка крахмала, картофеля, риса, кукурузы, древесины под действием фермента зимазы.

В результате брожения получается раствор, содержащий не более 20% этанола, так как в более концентрированных растворах дрожжи обычно гибнут. Полученный таким образом этанол нуждается в очистке и концентрировании, обычно путем дистилляции.

2. В промышленности, наряду с первым способом, используют гидратацию этилена. Гидратацию можно вести по двум схемам:

- прямая гидратация при температуре 300 °С, давлении 7 МПа, в качестве катализатора применяют ортофосфорную кислоту, нанесённую на силикагель, активированный уголь или асбест;

- гидратация через стадию промежуточного эфира серной кислоты с последующим его гидролизом (при температуре 80–90°С и давлении 3,5 МПа):

Этиловый спирт можно получать из целлюлозы, которую предварительно гидролизуют. Образующуюся при этом глюкозу подвергают в дальнейшем спиртовому брожению. Полученный спирт называют гидролизным.

В настоящее время осахариванию подвергают также другой полисахарид – целлюлозу (клетчатку), образующую главную массу древесины. Для этого целлюлозу подвергают гидролизу в присутствии кислот (например, древесные опилки при 150 – 170 °С обрабатывают 0,1 – 5%-ной серной кислотой под давлением 0,7 – 1,5 МПа). Полученный таким образом продукт также содержит глюкозу и сбраживается на спирт при помощи дрожжей. Из 5500 т сухих опилок (отходы лесопильного завода средней производительности за год) можно получить 790 т спирта (считая на 100%-ный).

Обезвоженный этанол – жидкость в интервале температур от –117 °С до +78 °С с температурой воспламенения 423 °С.

Важная особенность этанола – способность выдерживать ударные нагрузки без взрыва, т. е. он обладает антидетонационными свойствами, из-за этого он гораздо предпочтительнее добавок из тетраэтилсвинца.

Топливный биоэтанол почти не содержит воды (его концентрация 99,8%). Поэтому в технологии используется дополнительное обезвоживание при помощи молекулярных сит.

Топливо из смеси бензина с этанолом уменьшает образование нагара и снижает количество вредных веществ в двигателе автомобиля, сохраняя двигатель чистым и обеспечивая оптимальную его работу.

В двигателях внутреннего сгорания может применяться 95%-ный и обезвоженный 100%-ный этанол. При сжигании 95%-ного этанола требуется некоторая модернизация карбюратора. Смесь бензина с 20 – 22% обезвоженного этанола, называемую газохолом, используют в обычных карбюраторных двигателях. Добавки спирта устраняют необходимость введения в бензин такого антидетонатора, как свинец.

Этанол прекрасно горит, выдерживает ударные нагрузки без взрыва. Его октановое число равно 108 (по исследовательскому методу).

Проблемой применения спиртов как топлива для дизелей являются их низкие цетановые числа (метанол ЦЧ=5, этанол ЦЧ=8) и более чем в 4 раза высокой теплотой парообразования по сравнению с дизельным топливом, что приводит к большой продолжительности задержки воспламенения, а также к затруднению пуска дизеля. Помимо указанных выше недостатков использование спиртов в дизелях затрудняется из-за их плохих смазывающих свойств, что ведет к повышенному износу топливной аппаратуры. В связи с высокой коррозионной активностью элементы топливной системы двигателя, изготовленные из лёгких сплавов и неметаллических материалов, должны быть заменены. Так как низшая теплота сгорания спиртов ниже нефтяного топлива, то и расход его увеличится в 1,5 раза. В связи с облегчением топлива повышается шумность дизеля.

При использовании эмульсии метилового спирта в ДТ наблюдается снижение содержания сажи и твердых частиц в ОГ дизеля, что является следствием повышенного содержания кислорода в спирте. При использовании спирта температура отработавших газов снижается, соответственно уменьшаются выбросы  $\text{NO}_x$ . Содержание  $\text{CO}$  остаётся на уровне работы на ДТ. Наблюдается незначительное повышение  $\text{CO}_2$  и  $\text{C}_n\text{H}_m$ . Так же спиртам при сгорании свойственны повышенные выбросы альдегидов (формальдегиды для метанола и альдегиды для этанола). Но тем не менее спирты возможно получать из

возобновляемых источников и они расширяют спектр топлив для дизелей.

#### **1.9.4. Водородное топливо**

Специалисты считают водород одним из наиболее перспективных источников энергии. Его запасы на нашей планете практически безграничны. Кроме того, он содержит в единице веса почти в три раза больше тепловой энергии, чем, например, бензин.

В настоящее время существует достаточно много различных методов получения водорода.

1. Электрохимический метод получения водорода (электролиз воды, каталитическая конверсия природного газа и др.).

2. Получение водорода в термохимических циклах (термохимическое разложение воды на водород и кислород, термохимическое разложение йодата калия).

3. Комбинированные методы получения водорода.

4. Производство водорода фотокаталитическими методами.

5. Получение водорода из сероводорода.

6. Получение водорода из углеводородного сырья (метод паровой конверсии, метод каталитической конверсии лёгкого углеводородного сырья и газификации тяжёлых нефтяных остатков, плазменный риформинг).

7. Одноступенчатые методы разложения воды на водород и кислород.

Для промышленного получения водорода основными видами сырья являются природные горючие газы, коксовый газ и газы нефтепереработки, а также продукты газификации твёрдых и жидких топлив (главным образом угля). Важнейшими способами производства водорода из природного газа являются каталитическое взаимодействие углеводородов, главным образом метана, с водяным паром (конверсия).

Водород, добываемый из природного газа, самый дешёвый. Очень распространён способ производства водорода из водяного и паровоздушного газов, получаемых газификацией угля.

Получение водорода электролизом воды в настоящее время – процесс чрезвычайно дорогой. Однако в этом направлении ведутся постоянные исследования. Например, процесс разложения воды, используемый при производстве водорода, может быть ускорен за счет уникальных каталитических свойств углеродных нанотрубок. Кроме того, следует учитывать способ получения электроэнергии, необходимой для электролиза воды. Если электроэнергия вырабатывается на электростанциях, использующих в качестве

топлива природный газ или уголь, то экологичность применения водорода в качестве моторного топлива во многом теряет свои преимущества. Логичным было бы то, что источником энергии для получения водорода стал бы возобновляемый источник энергии. Таким источником может быть энергия ветра, солнца и т.п.

Водород (лат. Hydrogenium), H – химический элемент, первый по порядковому номеру в периодической системе Менделеева; атомная масса его составляет 1,00797. При обычных условиях водород – газ; не имеет цвета, запаха и вкуса. Водород – легчайшее из всех известных веществ (в 14,4 раза легче воздуха), плотность его составляет 0,0899 г/л при 0°C и 1 атм. Водород кипит (сжижается) и плавится (затвердевает) соответственно при –252,6°C и –259,1°C (только гелий имеет более низкие температуры плавления и кипения). Удельная теплоёмкость водорода при 0°C и 1 атм  $C_p = 14,208$  кДж/(кг·К). Водород мало растворим в воде (0,0182 мл/г при 20°C и 1 атм), но хорошо – во многих металлах (Ni, Pt, Pd и др.), особенно в палладии (850 объёмов на 1 объём Pd). Жидкий водород очень лёгок, его плотность при –253°C равна 0,0708 г/см<sup>3</sup>.

Один из путей постепенного внедрения водорода на автотранспорте – применение двухтопливного двигателя внутреннего сгорания (водород – бензин, водород – метан).

Перспективность применения водорода для автомобильных двигателей определяется прежде всего экологической чистотой, неограниченностью и возобновляемостью сырьевых запасов, относительно низкими затратами на транспортировку и, наконец, уникальными моторными свойствами, что открывает возможности его широкого применения как в современных автомобильных двигателях без их коренной перестройки, так и в принципиально новых транспортных энергоустановках с прямым преобразованием энергии типа электрохимических генераторов тока.

Проблема использования водорода в качестве топлива для автомобильных двигателей включает довольно обширный круг вопросов:

- разработку наиболее эффективных способов преобразования химической энергии водорода в энергию движения автомобиля;
- разработку безопасных и эффективных способов хранения водорода на борту автомобиля;
- решение ряда самостоятельных вопросов, прямо не связанных с автомобилем, но без учета которых идея перехода на водород неосуществима. Это проблемы получения водорода в необходимых количествах, его транспортировки и хранения, создания

инфраструктуры, обеспечивающей эксплуатацию автомобильного транспорта на водороде.

Использование водорода в качестве моторного топлива для автомобилей может осуществляться по нескольким вариантам:

- применение самого водорода;
- применение водорода совместно с традиционными нефтяными топливами;
- использование водорода как топлива в топливных элементах.

### **1.9.5. Топлива на основе растительных масел**

В мировой практике сложилось два основных направления по применению топлив из растительных масел: приближение свойств масел к свойствам ДТ и адаптация дизельного двигателя к применяемым топливам. Свойства растительных масел, в основном, изменяют за счёт их переработки в эфиры. Предпринимаются и другие попытки приблизить свойства растительного масла к свойствам нефтяного ДТ.

Очищенное и отбеленное соевое масло подвергли термическому крекингу с применением метода перегонки нефтепродуктов. Полученное топливо назвали TCSBO. В результате такой обработки масла увеличилось его цетановое число с 38 до 43 единиц и снизилась вязкость. Моторные испытания на полученном топливе при сравнении с ДТ показали снижение эффективной мощности и удельного расхода топлива, увеличение максимальной скорости повышения давления в цилиндре при высоких нагрузках, снижение выбросов  $\text{NO}_x$  с ОГ, но увеличение концентрации  $\text{C}_n\text{H}_m$ .

Проводят также пиролиз растительных масел. При этом из продуктов разложения масел можно выделить фракции подобные по свойствам ДТ.

В качестве моторного топлива в мировой практике использовались различные растительные масла: арахисовое, хлопковое, соевое, подсолнечное, рапсовое, кокосовое, пальмовое. В Европе наиболее перспективными считают топлива, полученные из рапсового масла, так как рапс относительно зимостоек и неприхотлив при выращивании.

В связи с различием свойств топлив на основе рапсового масла со свойствами ДТ будет разница и в процессах впрыскивания, распыливания и смесеобразования. Основными параметрами процесса впрыскивания являются: дальнобойность распыления топлива, начальная скорость топлива, вероятность разрыва струи, максимальная скорость капель топлива в неподвижной газовой среде, зависимость

дальнобойности вершины струи от времени, длина струи до момента её разрыва и угол распыления топлива.

Свойства топлива, влияющие на параметры процесса впрыскивания следующие: вязкость, плотности, сжимаемость, поверхностное натяжение, скорости распространения волн давления и давление паров.

При переводе работы дизеля с ДТ на рапсовое масло впрыск начинается позже на 3 – 3,5°ПКВ и продолжительность впрыскивания больше на 1,5 – 2,5°ПКВ, структура факела в поперечном сечении становится более неравномерной, угол раскрытия факела уменьшается, факел становится более дальнобойным. Остаточное давление в топливопроводе выше для рапсового масла. Для растительных масел время полного подъёма иглы более стабильно. Игла садится в седло в течении более длительного промежутка времени. При подаче растительного масла давление впрыска является более высоким. При использовании растительного топлива наблюдается более высокая скорость увеличения давления в топливопроводе высокого давления.

При переводе двигателя с ДТ на РМ наблюдается увеличение периода задержки воспламенения. Процесс сгорания на РМ протекает с меньшими скоростями чем на ДТ, поэтому на РМ двигатель работает менее шумно. При переводе дизеля ДТ на смесевые топлива на основе РМ наблюдается уменьшение среднего индикаторного давления, максимальных давления в цилиндре  $P_{zmax}$  и температуры цикла  $T_{zmax}$ .

Рабочий процесс на РМ уступает по экономичности дизельному. Процесс сгорания РМ отличается большей продолжительностью по сравнению со сгоранием ДТ.

Экологические показатели дизелей при использовании топлив с добавлением рапсового масла изменяются разнонаправлена и зависят от конструкции двигателя, его скоростного и нагрузочного режима.

**Метиловый эфир** – это топливо по своим характеристикам наиболее близко к ДТ. МЭРМ или биодизель хорошо смешивается с дизельным топливом.

Биодизель – это эфиры соответствующих масел, которые используются как дизельное топливо. Метиловый эфир обычно получают методом известным как «трансэфиризация». Молекула глицерольного эфира жирной кислоты расщепляется на молекулы метилового эфира. При этом масла и жиры реагируют со спиртом (обычно метанол), а катализатором является натриевый или содовый гидроксид (сода, щелок, поташ или едкий натрий). В результате этой реакции получают метиловый эфир рапсового или другого масла и глицерин. В процессе реакции для получения 1 т метилового эфира

расходуется 980 кг масла, 125 кг метилового спирта, 14,2 кг катализатора.

Метилловый эфир может подаваться в двигатель как в чистом виде, так и в смеси с ДТ через штатную топливоподающую систему. Необходима лишь замена некоторых уплотнительных материалов, к которым эфир агрессивен. По сравнению с дизельным топливом МЭРМ имеет ряд достоинств: высокое цетановое число, высокую температуру вспышки, лучшие смазывающие свойства.

Однако он имеет и ряд недостатков: низкая стабильность при хранении, отрицательное влияние на моторное масло. Метилловый эфир растворяет лакокрасочные покрытия и резину.

Так же при использовании смесевых топлив на основе эфира рапсового масла изменяются показатели рабочего процесса дизеля. При неизменных регулировках топливной аппаратуры с увеличением содержания эфира жёсткость и максимальное давление сгорания растут. Эти изменения заметны при работе дизеля на топливе с содержанием более 10% МЭРМ.

Присутствие кислорода в метиловом эфире (до 11%) улучшает процесс сгорания, что приводит к уменьшению выбросов  $C_nH_m$  на 10...56%, CO на 10...43%, CO<sub>2</sub> и сажи на 50...55%. В связи с практически полным отсутствием в МЭРМ серы (10...15 ppm) и ароматических соединений в ОГ дизеля практически нет оксидов серы и ПАУ. При этом наблюдается увеличение эмиссии NO<sub>x</sub> на 10%.

Биодизельное топливо может использоваться в дизельных двигателях в вместе со стандартным дизельным топливом:

- B5: смесь - 5% биодизель и 95% дизель.
- B20: смесь – 20% биодизель и 80% дизель.
- B100: чистый, 100% биодизель.

Согласно СТБ-1658 в дизельном топливе, выпускаемом в РБ допускается содержание метиловых эфиров жирных кислот (FAME) 5 % (объемная доля).

### **1.10. Газообразное топливо для двигателей**

При работе на газообразном топливе снижаются нагарообразование, расход моторного масла. Кроме того, газообразное топливо обладает высокими октановыми числами и теплотой сгорания. В табл. 2.13 приведены некоторые показатели качества газообразных углеводородов.

**Таблица 1.8. Показатели газообразных углеводородов**

Углеводород	Относительная плотность по воздуху	Критическая температура, °С	Низшая теплота сгорания, МДж/м <sup>3</sup>	Октановое число*
Метан (СН <sub>4</sub> )	0,554	-82,1	35,8	120
Этан (С <sub>2</sub> Н <sub>6</sub> )	1,138	32,3	63,7	116,3
Пропан (С <sub>3</sub> Н <sub>8</sub> )	1,523	95,7	91,2	111,6
Пропилен	1,453	91,6	86	102,6
норм.- Бутан	2,007	152,8	118,6	95,8
Бутилен	1,937	144,0	113,5	91,4
Изобутан	2,007	137,0	118,6	102,1

\* – исследовательский метод

**Сжиженный нефтяной газ (СНГ)**, или сжиженный углеводородный газ (СУГ) – смесь сжатых под давлением лёгких углеводородов с температурой кипения от –50 до 0 °С. Предназначены для применения в качестве топлива. Состав может существенно различаться, основные компоненты: пропан, пропилен, изобутан, изобутилен, н-бутан и бутилен.

СУГ является наиболее высококачественным продуктом переработки нефти и нефтяного попутного газа. Как моторное топливо СУГ обладают важным преимуществом при использовании в автомобильных двигателях. Эти газы обладают высокой теплотой сгорания, транспортабельны. При работе на сжиженных газах двигатели имеют высокие технико-экономические и санитарно-гигиенические показатели. Сжиженные газы переходят из газообразного состояния (паровой фазы) в жидкое (жидкую фазу) при температуре окружающего воздуха и относительно небольших давлениях.

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

Газ марки ПБА предназначен для всех климатических районов при температуре окружающего воздуха не ниже –20 °С, а марки ПА рекомендуемый температурный интервал применения газа от –20 до –35 °С. В весенний период с целью полного израсходования запасов сжиженного газа марку ПА допускается применять при температуре до 10 °С.

По ГОСТ 20448–88 выпускают сжиженные газы следующих марок: СПБТЗ – смесь пропана и бутана техническая зимняя для коммунально-бытового потребления; СПБТЛ – смесь пропана и бутана техническая летняя для коммунально-бытового потребления и других целей; БТ – бутан технический для коммунально-бытового потребления и других целей (табл. 1.9).

**Таблица 1.9. Основные нормативные показатели сжиженных газов разных марок**

Показатель	СПБТЗ	СПБТЛ	БТ
Массовая доля компонентов, %:			
сумма метана, этана и этилена, не более	4	6	6
сумма пропана и пропилена, не менее	75	-	
сумма бутанов и бутиленов:			
не менее	-	-	60
не более	-	60	-
Жидкий остаток (в том числе углеводороды C <sub>5</sub> и выше) при 20°С, % по объему, не более	1	2	2
Давление насыщенных паров избыточное, МПа, при температуре:			
+45°С, не более	1,6	1,6	1,6
-20°С, не менее	0,16	-	-
Массовая доля сероводорода и меркаптановой серы, %, не более	0,015	0,015	0,015
В том числе сероводорода	0,003	0,003	0,003

Основные компоненты сжиженного газа, обеспечивающие оптимальное давление насыщенных паров в газовом баллоне, – пропан и пропилен. Давление насыщенных паров существенно влияет на работу газовой установки автомобиля. Давление паров растет с повышением температуры, причем у пропана значительно быстрее, чем у бутана. Чем больше в пропанобутановой смеси пропана, тем выше упругость паров смеси. Зная давление смеси при определенной температуре, можно оценить процентное содержание в нем пропана и бутана.

Все компоненты сжиженного газа, кроме метана и этилена, тяжелее воздуха, поэтому при утечках они скапливаются в низких местах (на полу, в канавах, приямках), образуя взрывоопасную смесь. Сжиженные газы менее пожаро- и взрывоопасны, чем пары бензина. Сжиженные газы образуют с воздухом взрывоопасные смеси при концентрации паров пропана от 2,1 до 9,5 %, изобутана от 1,8 до 8,4 %, нормального бутана от 1,5 до 8,5 % по объему при температуре 15...20°С.

Температура самовоспламенения в воздухе при давлении 0,1 МПа (760 мм рт. ст.) составляет: пропана 466°C, изобутана 462°C, бутана 405°C. Предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны (в перерасчете на углерод): пропана 300 мг/м<sup>3</sup>, непредельных углеводородов 100 мг/м<sup>3</sup>.

Сжиженные газы обладают высокой детонационной стойкостью. Например, октановое число пропана, определенное по моторному методу, равно 96, бутана 90. Однако некоторые компоненты газа имеют сравнительно низкие октановые числа. Так, октановое число бутилена 80, а пропилена 85, вследствие чего их содержание в сжиженном газе ограничивают **[Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

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

Основные физико-химические характеристики – давление насыщенных паров, плотность газа, теплота сгорания, точка росы и элементарный состав. Физические свойства СНГ в значительной степени зависят от их химического состава.

**Теплота сгорания** – количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании 1 м<sup>3</sup> газа, при атмосферном давлении и температуре 20 °С является одним из важнейших количественных показателей топливно-энергетических возможностей СНГ.

Различают высшую  $Q_v$  и низшую  $Q_n$  теплоту сгорания газа. При определении высшей теплоты сгорания газа учитывают всю теплоту, выделившуюся во время сгорания и отведенную от продуктов сгорания путем их охлаждения до начальной температуры. На практике образовавшиеся пары воды не конденсируются и уносят часть теплоты, затраченной на нагревание 1 кг воды от 0 до 100°C, которая равна 418,6 кДж.

При сгорании на испарение влаги, содержащейся в топливе и полученной от сгорания водорода, затрачивается теплота. Поэтому для характеристики газовых топлив на практике применяют низшую теплоту сгорания газа, которая является стандартной величиной.

СНГ обладают сравнительно простыми структурами молекул, поэтому имеют более высокие октановые числа по сравнению с жидкими топливами нефтяного происхождения. Октановое число

отдельных компонентов СНГ находится в пределах 85 – 125. Влияние степени сжатия на мощностные и экономические показатели двигателя связано с высокой антидетонационной стойкостью газовых топлив. Поскольку СНГ поступает в двигатель только в газообразном состоянии, то в результате уменьшения коэффициента наполнения снижается мощность двигателя. Наиболее заметно (5 – 10%) снижается мощность двигателя при высокой частоте вращения коленчатого вала. Ранней установкой угла опережения зажигания до ВМТ на 3 – 5° этот недостаток можно несколько компенсировать.

**Природный газ** – смесь газов, образовавшаяся в недрах земли при анаэробном разложении органических веществ, и относится к полезным ископаемым. Природный газ в пластовых условиях (условиях залегания в земных недрах) находится в газообразном состоянии – в виде отдельных скоплений или в виде газовой шапки нефтегазовых месторождений, либо в растворённом состоянии в нефти или воде. В стандартных условиях (101,325 кПа и 20°C) природный газ находится только в газообразном состоянии.

Основную часть природного газа составляет метан ( $\text{CH}_4$ ) – до 98 %. В состав природного газа могут также входить более тяжёлые углеводороды – гомологи метана: этан ( $\text{C}_2\text{H}_6$ ), пропан ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ), бутан ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ), а также другие неуглеводородные вещества: водород ( $\text{H}_2$ ), сероводород ( $\text{H}_2\text{S}$ ), диоксид углерода ( $\text{CO}_2$ ), азот ( $\text{N}_2$ ), гелий (He).

Чистый природный газ не имеет цвета и запаха. Чтобы можно было определить утечку по запаху, в газ добавляют небольшое количество веществ, имеющих сильный неприятный запах – одорантов. Чаще всего в качестве одоранта применяется этилмеркаптан.

Компримированный природный газ (КПГ) ГОСТ 27577-2000 (сжатый природный газ, англ., Compressed natural gas CNG) — сжатый природный газ, используемый в качестве моторного топлива получают из природного газа (ПГ) непосредственно на газовых месторождениях или из попутных газов при разработке нефтяных месторождений. ПГ состоят в основном из метана (82 – 98 %) с небольшими примесями этана (до 6%), пропана (до 1,5%) и бутана (до 1 %).

По теплоте сгорания КПГ можно подразделить на высококалорийные ( $Q_n=23 - 37,7 \text{ МДж/м}^3$ ), среднекалорийные ( $Q_n=15 - 23 \text{ МДж/м}^3$ ) и низкокалорийные ( $Q_n=4,2 - 15 \text{ МДж/м}^3$ ). К высококалорийным газам относятся ПГ, канализационный или биогаз очищенный от углекислого газа; к среднекалорийным газам – коксовый газ, городской и некоторые промышленные газы; к низкокалорийным – доменный, генераторный газы.

Средне- и низкокалорийные горючие газы в настоящее время для автомобильного транспорта в сжатом виде не применяют. КПГ кроме горючих составляющих содержит некоторое количество негорючих компонентов – азот, углекислый газ, пары воды. Для выравнивания теплоты сгорания в КПГ могут вводиться добавки пропана и бутана.

Основной частью ПГ являются метан и группа более сложных углеводородов (этан, пропан, бутан).

Метан газ без цвета и запаха, мало растворим в воде, легче воздуха (относительная плотность по воздуху 0,55). Его относят к предельным углеводородам, молекулы которых состоят только из углерода и водорода. Высокое содержание водорода в КПГ обеспечивает более полное сгорание топлива в цилиндрах двигателя по сравнению с СНГ и бензином.

Метан представляет собой полноценное топливо для автомобилей с хорошими антидетонационными характеристиками и имеет достаточно высокий удельный термодинамический потенциал.

ПГ по своим свойствам пригоден для использования в качестве топлива для автомобильных двигателей без значительной технологической обработки. Однако, как и любое топливо, газ должен пройти предварительную подготовку не только для хранения на автомобиле, но и для регламентации параметров, влияющих на эксплуатационные качества автомобиля.

КПГ должен быть стабилен не только по компонентному составу, но и по содержанию различных примесей. Так, содержание жидкого остатка, представляющего собой группу тяжелых углеводородов, например, пентана, в газе, не прошедшем технологическую обработку, колеблется в широких пределах.

Наличие инертных газов в КПГ существенно влияет на стабильность показателей газовых двигателей. Зависимость теплоты сгорания горючей смеси от содержания в ней инертных газов имеет линейный характер. Если в горючей смеси содержится 1 % инертных газов при коэффициенте избытка воздуха  $\alpha = 1,0$ , то удельная теплота сгорания ее составляет 33 МДж/м<sup>3</sup>. Увеличение содержания инертных газов до 10 % обедняет состав горючей смеси ( $\alpha = 1,12$ ), а теплота ее сгорания уменьшается на 10 % **[Ошибка! Источник ссылки не найден., Ошибка! Источник ссылки не найден.]**.

Одна из наиболее важных проблем при применении ПГ на автотранспорте связана с содержанием влаги в природном газе и его осушкой, так как содержание влаги в ПГ, перекачиваемых по

магистральным трубопроводам, может достигать больших величин. Наличие влаги в газовом топливе для автомобилей не должно превышать  $9 \text{ мг/м}^3$ . Наличие влаги в ПГ вызывает образование ледяных пробок в системе питания двигателя. Опыт эксплуатации показывает, что подобные явления наступают при содержании  $15 - 30 \text{ мг/м}^3$  влаги. Точка росы водяных паров составляет  $-30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**Сжиженный природный газ (СПГ)** – природный газ, сжижаемый при охлаждении или под давлением для облегчения хранения и транспортировки.

Природный газ при нормальных условиях не может быть получен в жидком состоянии. В жидкое состояние ПГ может быть переведен только при глубоком охлаждении, сопровождающемся значительными затратами энергии.

СПГ представляет собой бесцветную жидкость без запаха, плотность которой в два раза меньше плотности воды. На  $75 - 99\%$  состоит из метана. Температура кипения –  $158...163 \text{ }^\circ\text{C}$ . Коэффициент сжижения от  $92\%$  до  $95\%$ .

Охлаждаемый до температуры  $-161,7 \text{ }^\circ\text{C}$  метан при атмосферном давлении переходит в жидкое состояние и уменьшается в объеме в 600 раз, плотность сжиженного природного газа (СПГ)  $0,7 \text{ кг/л}$ . Температура кипения сжиженного метана составляет  $-161,74 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Сжижают ПГ на специальных установках. Технология сжижения предусматривает и операции очистки, осушки, отделения тяжелых углеводородов, азота и других примесей. Номинальное рабочее давление в криогенном баллоне автомобиля, работающего на СПГ, в зависимости от конструкции баллона составляет  $0,07...0,7 \text{ МПа}$ .

Основными компонентами этого вида топлива являются метан ( $96 - 97\%$ ) и азот ( $3 - 4\%$ ). Другие составляющие ПГ содержатся в сжиженном виде в крайне незначительных количествах и ими можно пренебречь.

**Генераторный газ** – газ, который получают при перегонке твердого топлива с недостатком воздуха около  $60 \%$  в специальных устройствах – газогенераторах. В качестве твердого топлива используют каменный или бурый уголь, дрова, торф, брикеты из различных сельскохозяйственных отходов (опилок, подсолнечной лузги, льяной. костры и т. п.). В зависимости от вида применяемого для газификации твердого топлива состав генераторного газа, %, колеблется в следующих пределах:  $\text{CO} - 25...30$ ,  $\text{H}_2 - 12...15$ ,  $\text{CH}_4 - 0,5...3,5$ ,  $\text{CO}_2 - 5...8$ ,  $\text{O}_2 - 0,2...0,5$ ,  $\text{N}_2 - 45...50$ .

Возможность тех явлений, которые ведут к образованию генераторного газа, основывается на способности угля и углеродистого

топлива образовать в первый момент горения углекислый газ  $\text{CO}_2$ , и уголь, а вместе с тем образовавшемуся углекислому газу с накалившимся углем свойственно при отсутствии избытка воздуха образовать горючую окись углерода  $\text{CO}$ .

**Биогаз.** Смесь метана и диоксида углерода при наличии небольшого количества других газов называют биогазом. Его состав: 55...80%  $\text{CH}_4$ , 15...40%  $\text{CO}_2$ , 0...1%  $\text{H}_2\text{S}$ , 0...1%  $\text{N}_2$ , 0...1%  $\text{H}_2$ .

Получают биогаз практически из любых отходов (солома, зерно, отходы жизнедеятельности животных, силос, подстилка для скота, пищевые и другие отходы ферм, твердые бытовые отходы, отходы предприятий, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию). В результате переработки в биогаз отходов сельского хозяйства и других отраслей промышленности можно дополнительно получить до 10% производимой в мире энергии.

Практически метановому брожению могут быть подвергнуты органические отходы любой влажности – от 30 до 90 % (отходы жизнедеятельности животных, силос, солома, зерно, подстилка для скота, пищевые и другие отходы ферм, твердые бытовые отходы, отходы предприятий, перерабатывающих сельскохозяйственную продукцию). Но совершенно очевидно, что конструкции реакторов и технологии будут существенно различаться. Для брожения жидких (85 – 98 % влажности) отходов используются цилиндрические (вертикальные и горизонтальные) емкости. В таких реакторах процесс может осуществляться непрерывно или полупериодически.

Отходы, содержащие 75 – 80 % влажности, подвергаются брожению в установках батарейного типа, процесс осуществляется периодически, т. е. реактор загружается целиком сырьем данной влажности, обсеменяется необходимой микрофлорой и по окончании брожения полностью освобождается.

Производство биогаза с помощью анаэробного сбраживания происходит в три стадии: гидролизная, кислотная и метановая. На стадии гидролиза (осахаривания) происходит разложение очень больших молекул на маленькие, простые молекулы, которые способны пройти через бактериальные мембраны.

На биогазовых установках все три стадии протекают одновременно, и если какая-либо из них доминирует, то производство метана значительно затрудняется. При сильной кислотности метанобразующие бактерии не функционируют, поэтому рекомендуется поддерживать слабощелочную среду ( $\text{pH} = 6,8\text{--}7,2$ ).

Для реализации контролируемого анаэробного сбраживания созданы биоэнергетические установки различного масштаба для

применения в условиях индивидуальных хозяйств, где содержатся 2–6 голов крупного рогатого скота, или крупных животноводческих комплексов и птицефабрик. Технологическая схема одной из таких установок изображена на рис. 1.5.

Отходы содержания животных (птицы) поступают с фермы 1 (рис. 4) в накопитель 2. Из него исходное сырье с помощью погружного насоса 3 подается на отделитель грубых включений 4, а затем насосом-дозатором 5 в метантенк 6. Периодичность работы дозатора 5 определяется программным устройством. Метантенк 6 оборудован системой подогрева поступающей биомассы и поддержания необходимого температурного режима метановой генерации. В генераторе биогаза имеются перемешивающие устройства, а также система принудительного отвода биогаза и выгрузки переработанной биомассы.

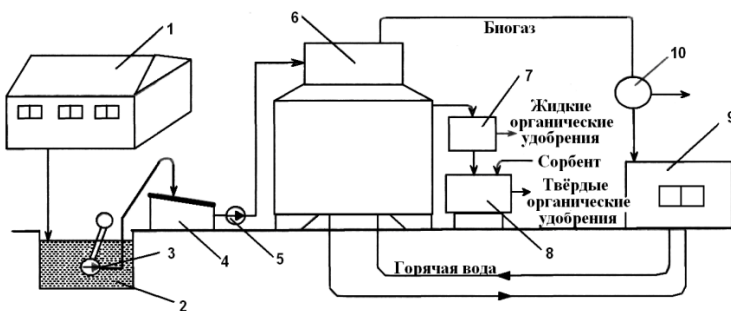


Рис. 1.5. Схема биогazовой установки:

1 – ферма, 2 – накопитель, 3 – насос, 4 – отделитель грубых включений, 5 – насос-дозатор, 6 – метантенк, 7 – гидрозатвор, 8 – концентратор-смеситель, 9 – блок-контейнер, 10 – газгольдер.

В метангенераторе под действием анаэробных микроорганизмов происходит сбраживание исходного субстрата без доступа воздуха. Результатом этого процесса является биогаз и обеззараженные жидкие органические удобрения без неприятного запаха. При этом семена сорных растений теряют всхожесть.

Жидкие органические удобрения удаляются из метантенка через гидрозатвор 7 и могут быть сразу же использованы для внутрипочвенного внесения либо подаваться на очистку в систему биопрудов, где выращиваются рачки и рыба. Для получения твердых удобрений, более удобных для хранения и транспортировки, сброшенная масса поступает в концентратор-смеситель 8, где доводится до пастообразного состояния при смешивании с сорбентом –

опилками, торфом и др. Твердые удобрения можно получить также путем отгонки на центрифуге.

Выработанный биогаз собирается в газгольдере 10. Частично он расходуется на собственные нужды установки (до 30 %), поступая в блок-контейнер 9, где размещены котел для подогрева воды, насос, средства контроля и автоматики. Остальной биогаз используется другими потребителями на бытовые и энергетические нужды.

Биогаз как альтернативный энергоноситель может служить высококалорийным топливом. Предназначен для улучшения технико-эксплуатационных и экологических показателей работы двигателя внутреннего сгорания (ДВС) и стационарных энергоустановок. После отмывки от углекислоты этот газ является достаточно однородным топливом, содержащим до 80% метана с теплотворной способностью более 25 МДж/м<sup>3</sup>. Применение биогаза в качестве топлива для ДВС осуществляется путем использования серийно выпускаемой топливной аппаратуры для природного газа с коррекцией соотношения “топливо-воздух”. Предлагаемая система в сравнении с газовым двигателем позволяет снизить выбросы оксидов азота на 25% и оксида углерода – на 20%, а также улучшить топливную экономичность на 12%. Некоторое снижение эффективной мощности, вызванное присутствием балластных компонентов, практически полностью компенсируется за счет высоких антидетонационных качеств биогаза путем соответствующего повышения степени сжатия. Присутствие небольшого количества водорода в биогазе положительно сказывается на качестве протекания рабочего процесса ДВС и не вызывает характерных для водородных двигателей преждевременного воспламенения рабочей смеси и так называемой обратной вспышки.

Биометан имеет более высокую детонационную стойкость, что позволяет снижать концентрацию вредных веществ в отработанных газах и уменьшать количество отложений в двигателе. Ввиду отсутствия жидкой фазы масляная пленка с цилиндров двигателя не смывается, износ деталей цилиндропоршневой группы уменьшается в два раза. Выброс токсических составляющих сокращается в 3 – 8 раз. Компанией «Volvo» реализуется проект перевода городских автобусов г. Гетеборга на биогаз (свалочный газ). Подтверждено, что при переводе автотранспорта на биогаз суммарные «парниковые» эмиссии сократились на 90 %.

Основным сдерживающим фактором широкого применения сжатого биометана в качестве моторного топлива, как и компримированного природного газа, является транспортировка толстостенных баллонов, составляющих до 96 % веса топливной

системы. На 100 км пути для 3-тонной автомашины потребуется более 30 м<sup>3</sup> газа. При давлении 20 МПа в баллон емкостью 50 л вмещается до 10 м<sup>3</sup> газа, следовательно, для суточного пробега необходимо иметь не менее восьми таких баллонов (вес около 700 кг).

Основные причины недостатков, связанных с применением биогаза вместо бензинов, такие:

1. Меньшие значения низшей теплоты сгорания биовоздушных смесей, а соответственно и худшие технико-экономические показатели работы двигателей, при простой замене бензинов биогазом потери мощности  $N_e$  достигают 20 – 22%, а экономичности – до 25%;

2. Меньшая скорость сгорания биосмесей, а в итоге этого – растягивание процесса сгорания на такт расширения и, как результат, уменьшение  $N_e$  и увеличение удельного эффективного расхода топлива,  $g_e$  (или уменьшение эффективного КПД,  $\eta_e$ );

3. Меньшее массовое наполнение цилиндров свежим зарядом из-за подогревания его при впуске, что также уменьшает  $N_e$  и увеличивает  $g_e$ ;

4. Более высокое значение температуры самовоспламенения, а отсюда затрудненный запуск ДВС, особенно при низких температурах;

5. Худшие антикоррозионные качества, особенно биогаза, а отсюда и меньшая эксплуатационная надежность деталей ДВС из-за значительной части в нем SO<sub>2</sub>.

Вместе с тем биотоплива имеют большее значение октанового числа (у биогаза ОЧ равно 126), что открывает возможность для устранения (частичного или полного) отмеченных выше недостатков.

При применении биометана в качестве топлива для дизелей снижаются дымность и выбросы СО и NO<sub>x</sub> с ОГ. Но в связи с низким цетановым числом и соответственно плохой воспламеняемостью возникают значительные трудности при организации рабочего процесса.

Для организации рабочего процесса в дизеле с использованием биометана требуется применение двойной системы топливоподдачи в которой порция газа воспламеняется с помощью запальной порции дизельного топлива. При этом замещается до 80 % ДТ.

Так же двигатель может дополняться системами принудительного зажигания и внешнего смесеобразования. Форму КС двигателя при этом изменяют с целью снижения степени сжатия. Камера сгорания должна приблизиться к сферической за счёт изменения конструкции днища поршня и головки двигателя.

Следующий способ конвертации – применение форкамерно-факельного зажигания. Вместо форсунки устанавливается форкамера

со свечей зажигания. Поступивший в форкамеру газ воспламеняется от свечи зажигания.

## **2. Химмотология смазочных материалов**

### **2.1. Общие сведения о трении и износе деталей машин**

#### **2.1.1. Назначение смазочных материалов, виды трения и их характеристики**

Основное назначение смазочных материалов – уменьшение износа трущихся деталей и снижение затрат энергии на преодоление трения. Под трением (внешним) понимают сопротивление относительному перемещению, возникающее между двумя телами в зонах соприкосновения поверхностей по касательным к ним. Кроме этих функций, смазочные материалы выполняют и другие: отводят тепло от трущихся деталей, предохраняют детали от коррозии, очищают поверхности трения от продуктов износа и других примесей, герметизируют узлы трения.

Процесс трения сопровождается износом трущихся поверхностей; при этом работа сил трения превращается в теплоту. Наличие сил трения, износ поверхностей трения и тепловыделение на них отрицательно влияют на эффективность и долговечность работы узлов и механизмов.

По характеру взаимного перемещения трущихся поверхностей деталей различают трение покоя (трение двух тел при предварительном их смещении) и трение движения (трение двух тел, находящихся в относительном движении). Трение движения, в свою очередь, по характеру движения делится на трение скольжения и трение качения. Сила трения качения всегда меньше силы трения скольжения, поэтому там, где это возможно, предпочтительнее применять подшипники качения.

В зависимости от наличия и количества смазочного материала между трущимися поверхностями различают следующие виды трения:

- сухое (ювенильное), когда между трущимися поверхностями отсутствует смазочное вещество;
- жидкостное, при котором трущиеся поверхности полностью разделены слоем смазочного вещества;
- граничное, когда трущиеся поверхности разделены тончайшим молекулярным слоем адсорбированных на них смазочных веществ;
- полужидкостное - переходное между жидкостным и граничными видами трения.

Сухое трение - самое опасное для узлов и механизмов, так как сопровождается резким увеличением износов, потерей энергии на трение, температур и т.д.

Жидкостное трение обеспечивается, если смазывающая жидкость полностью разделяет трущиеся поверхности, т. е. трения между твердыми телами заменяется трением между частицами жидкости. При этом в 10 – 15 раз снижаются затраты мощности на преодоление трения, резко уменьшаются износ и нагрев деталей, узел трения выдерживает более высокие нагрузки. Работа узла трения, а, следовательно, машины в целом становится более продолжительной, надежной.

Ювенильными называют поверхности твердых тел, не имеющих покрытий или загрязнений. Фрикционное взаимодействие таких поверхностей называют *ювенильным трением* (рисунок 2.1, а).

Два твердых тела, обладающих ювенильными поверхностями, контактируют друг с другом на отдельных участках – зонах микроконтакта. Общая площадь зон микроконтакта зависит от чистоты обработки поверхностей.

При относительном перемещении тел возникает их фрикционное взаимодействие, обусловливаемое деформированием материала в зонах микроконтакта и нарушением адгезионных связей, возникающих между материалами трущихся поверхностей. Адгезионные связи (адгезионные мостики) образуются и разрушаются при движении поверхностей; их величина и расположение постоянно изменяются. Однако в любой момент времени площадь контакта остается примерно постоянной.

Силы, затрачиваемые на преодоление адгезионных связей и на взаимную деформацию трущихся поверхностей, существенно уменьшаются при наличии на поверхностях трущихся материалов разделительных пленок. В этом случае все деформации, связанные с относительным перемещением поверхностей, происходят во внутреннем объеме пленки или на границе ее контакта с поверхностями и не затрагивают трущиеся поверхности.

Для обеспечения наименьших потерь энергии на преодоление сил трения пленка, разделяющая поверхности трения, должна обладать минимальным сопротивлением сдвигу в направлении, касательном поверхностям, а для исключения механического контакта между трущимися поверхностями и уменьшения сил адгезионного взаимодействия между ними – наибольшим сопротивлением сдвигу в нормальном направлении. Разделительную пленку, разграничивающую трущиеся поверхности, называют *границной*.

Трение при наличии граничной пленки называют *граничным* (рисунок 2.1, б).

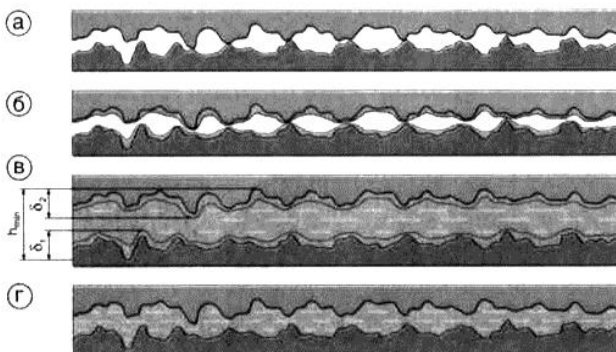


Рисунок 2.1 Виды трения по наличию смазочного материала  
 а – ювенильное трение(трение без смазки); б – граничное трение;  
 в– жидкостное трение; г– полужидкостное трение;  
 $h_{\min}$ – величина зазора между трущимися поверхностями;  
 $\delta_1, \delta_2$  – высота микронеровностей на трущихся поверхностях.

Граничное трение возникает в случае, когда поверхности трения разделены слоем смазки малой толщины (менее 0,1 мкм), не превышающей высоты микронеровностей (шероховатости) поверхности. При этом величина силы трения зависит от природы и состояния трущихся поверхностей.

Режим граничного трения очень неустойчив и характеризует предел работоспособности узла трения. Если граничный слой разрушается, а нагрузка превышает силы сцепления смазочного материала с рабочей поверхностью детали, то в месте контакта возникает сухое трение и, как следствие, задиры, заклинивания и другие аварийные повреждения деталей.

Толщина и прочность граничного слоя масла при трении рабочих поверхностей деталей двигателя зависит от химического состава масла и входящих в него присадок, химической структуры деталей (например, баббитовые или алюминиевые вкладыши коленчатого вала) и состояния поверхности трения (шлифование или суперфиниширование). При этом работоспособность граничного слоя масла не зависит от его вязкости, а определяется взаимодействием молекулярной пленки масла с трущейся поверхностью металла. Возникающие молекулярные пленки масла бывают физического (адсорбция) или химического (хемосорбция) происхождения.

Образование смазочных пленок силами адсорбции обусловлено наличием в смазочных материалах поверхностно-активных веществ

(ПАВ), несущих электрический заряд. К таким веществам относятся соединения, содержащие карбоксильные группы, спирты, различные эфиры, смолы, сернистые соединения. Смазочные материалы, содержащие ПАВ, обладают способностью адсорбироваться на поверхностях раздела двух сред: жидкости и твердого тела. Способность смазочных материалов, содержащих ПАВ, образовывать на смазываемых поверхностях достаточно прочные слои ориентированных молекул называют маслянистостью или смазывающей способностью масел. В некоторые масла для улучшения их смазывающей способности вводят противозадирные и противозадирные присадки.

Хемосорбированные пленки – устойчивые химические пленки фосфатов, хлоридов или сульфидов – создаются на поверхности металла благодаря присутствию в смазочных материалах соответствующих химических элементов. Большая скорость образования этих пленок обеспечивает их быстрое восстановление в местах разрушения граничного слоя. К пленкам этого типа относят также различные мыла, которые образуются из органических кислот, содержащихся в масле.

Адсорбированные и хемосорбированные пленки, обладая определенной прочностью и стойкостью, защищают поверхности трения от механических и тепловых воздействий, препятствуют взаимной адгезии трущихся поверхностей.

Принцип гидродинамического или жидкостного трения (рис. 2.1, в), называемого также гидродинамическим или жидкостным режимом смазки, характеризуется наличием между трущимися поверхностями достаточно толстого слоя смазочного вещества. В этом слое при относительном движении трущихся поверхностей появляются гидродинамические силы, препятствующие их контакту.

При жидкостном трении в смазочный слой полностью отделяет взаимоперемещающиеся рабочие поверхности одну от другой и имеет толщину, при которой проявляются нормальные объемные свойства масла.

При трении без смазки дополнительная энергия тратится на преодоление:

- взаимного механического зацепления неровностей (шероховатостей) трущихся поверхностей при их относительном перемещении;

- сил межмолекулярного притяжения;

– явления сваривания отдельных острых выступов поверхностей трущихся пар в условиях высоких удельных давлений и значительного выделения тепла.

Устойчивость смазочного слоя, необходимого для жидкостного трения, зависит от следующих факторов: конструкции узла трения; скорости взаимного перемещения трущихся поверхностей; величины и равномерности распределения нагрузки на трущиеся поверхности; вязкости смазочного материала; площади трущихся поверхностей; величины зазора между трущимися поверхностями; температурного состояния узла трения и др.

Механизм образования масляного клина (слоя) в коренном подшипнике коленчатого вала при пуске двигателя показан на рис. 2.2. В состоянии покоя вал опирается на вкладыш, между валом и подшипником имеется только тончайшая масляная пленка, зазор в месте соприкосновения практически равен нулю, а масло находится в серповидных зазорах по обе стороны вала (см. рисунок 2.2, а).

Когда вал начинает вращаться, частицы масла приводятся в движение. Слои масла, находящиеся на поверхности вала, и увлекают за собой прилегающие слои масла. В узкую серповидную часть (по ходу вращения вала) нагнетается все большее количество масла. Накапливающие в узкой части зазора слои масла создают гидродинамическое давление, и под действием его вал начинает приподниматься (другими словами, вал всплывает в подшипнике (см. рисунок 2.2, б), между валом и нижней частью подшипника создается масляный клин.

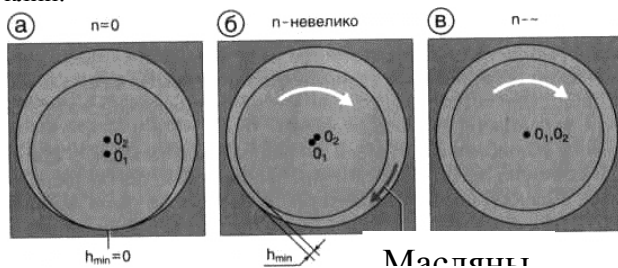


Рис.2.2. Образование масляного клина подшипника скольжения  
а – двигатель не работает; б – момент пуска двигателя; в – работа двигателя (постояное вращение коленчатого вала)

При увеличении частоты вращения вала большее количество масла увлекается вместе с валом. Гидродинамическое давление возрастает, что ведет к увеличению толщины масляного слоя, самое большое

давление возникает в нижней части вала. В таком положении вал уже не касается поверхности подшипника, весь зазор заполнен маслом (см. рисунок 2.2, в), трение между валом и вкладышем подшипника заменяется трением между частицами масла. Минимальный зазор при этом несколько смещается от вертикальной оси по ходу вращения вала. Образование масляного слоя возможно в том случае, когда возникающее гидродинамическое давление превышает удельные нагрузки, действующие на вал.

Надежность масляного слоя, а следовательно, несущая способность подшипников с повышением частоты вращения вала и вязкости масла уменьшается.

Для любых пар трущихся поверхностей вязкость масла должна быть наименьшей, но в то же время обеспечивающей жидкостное трение. Так, для подшипника скольжения коленчатого вала двигателей внутреннего сгорания кинематическая вязкость должна быть не менее  $4 - 5 \text{ мм}^2/\text{с}$ .

Коэффициент жидкостного трения составляет  $0,001 - 0,01$ , а минимальная толщина масляного слоя при жидкостном трении для автотракторных двигателей равна  $4 - 6 \text{ мкм}$ .

В ряде случаев двигатель может кратковременно работать в неблагоприятных условиях (резкое возрастание нагрузки, значительное снижение частоты вращения вала, перегрев двигателя, чрезмерное понижение вязкости масла и др.), при которых гидродинамический слой масла нарушается, и жидкостное трение переходит в граничное.

При этом между трущимися поверхностями остается очень тонкий слой масла.

Пленка масла на металлической поверхности прочно удерживается силами межмолекулярного взаимодействия. Оно зависит от смазывающей способности масла и физико-химических свойств поверхностей трения. Толщина слоя масла составляет  $0,1 - 1,0 \text{ мкм}$ . Коэффициент трения составляет  $0,01 - 0,1$ .

Полужидкостной смазкой называют такой режим трения, когда наряду с жидкостной имеет место и граничная смазка (например, при пуске и остановке двигателя, неустановившейся нагрузке, резком изменении скоростей). Полужидкостное трение будет наблюдаться при высоких удельных нагрузках и рабочих температурах, низкой вязкости масла, нарушении геометрической деталей, недостаточном поступлении масла, попадании в масло абразивных и механических примесей.

### **2.1.2. Виды изнашивания поверхностей**

**Изнашивание** – это процесс разрушения и отделения материала с поверхности твердой детали, накопления в ней остаточной деформации или постепенного изменения ее размеров или формы поверхностей под воздействием трения.

Количественной мерой оценки изнашивания является износ, который может выражаться в единицах длины, массы (поршневые кольца) или объема (угар масла).

Различают скорость изнашивания и интенсивность изнашивания. Скорость изнашивания определяют как отношение значения износа к интервалу времени, в течение которого он возник, а интенсивность изнашивания – как отношение значения износа к величине расстояния (пробега, измеряемого в км), на котором произошло изнашивание, или объему выполненной работы (т/км, м<sup>3</sup> и т.д.).

По характеру разрушения деталей различают следующие виды изнашивания: механическое, молекулярно-механическое и коррозионно-механическое.

**Механическое изнашивание**, возникающее в результате механических воздействий, подразделяется на абразивное, гидроабразивное, газоабразивное, усталостное, эрозионное и кавитационное.

**Абразивное изнашивание** становится результатом режущего или царапающего воздействия на поверхности трения относительно более твердых частиц, находящихся в свободном или закрепленном состоянии. Даже незначительное количество абразивных частиц ведет к очень быстрому изнашиванию трущихся поверхностей деталей автомобиля (например, песок, попавший в тормозные барабаны или картер сцепления).

**Гидроабразивное изнашивание**, как и газоабразивное, – результат воздействия на детали твердых частиц, увлекаемых соответственно жидкостью или газом. Такие загрязнения, как твердые продукты износа, частицы нагара, пыль и другие, попадая в двигатель, вызывают интенсивное изнашивание поверхностей трения деталей систем смазки и питания.

**Усталостное изнашивание** – следствие повторного деформирования микрообъемов материала, из-за которого возникают трещины, и происходит отделение частиц. Усталостное изнашивание может происходить как при трении качения (галтели поворотного кулака балки переднего моста автомобиля), так и при трении скольжения (галтели коленчатого вала двигателя).

**Эрозионное изнашивание** наблюдается при воздействии на поверхность трения жидкости или газа. Наиболее часто этот вид изнашивания встречается на поверхностях деталей охлаждающей и выпускной систем двигателя. Разновидностью эрозионного изнашивания является электроэрозионное изнашивание поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока. Наиболее часто от электроэрозионного изнашивания страдают (подгорают) контакты замка зажигания, прерывателя-распределителя, тягового реле стартера, электропривода насоса охлаждающей жидкости и т.п.

**Кавитационное изнашивание** возникает в условиях кавитации – процесса «схлопывания» пузырьков газа вблизи поверхности трения, создающего местное повышение давления или температуры. При кавитационном изнашивании наружные поверхности гильз цилиндров двигателя покрываются кратерами или вырывами, образовавшимися от разрывов пузырьков.

**Молекулярно-механическое изнашивание** (изнашивание при заклинивании) является результатом совместного действия механического изнашивания с молекулярными или атомными силами. В этом случае происходит глубинное вырывание материала, местное соединение (схватывание) двух твердых тел, перенос металла с одной поверхности трения на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность.

**Коррозионно-механическое изнашивание** возникает в результате механического воздействия на трущиеся поверхности, сопровождаемого химическим или в электрическом взаимодействием материала со средой. Коррозионные разрушения в этом случае развиваются при воздействии на трущиеся поверхности таких агрессивных веществ, как химически активные газы, кислотные примеси смазочных материалов и др. При этом изнашивание вызывается главным образом химической реакцией материала поверхности трения с кислородом или окисляющей окружающей средой, например, окисление выводов аккумуляторной батареи.

**Задание** - процесс возникновения и развития повреждений поверхностей трения вследствие схватывания и переноса материала.

**Выкашивание, или питтинг** - следствие контактной усталости металлов, работающих в условиях циклических нагрузок, под действием которых на поверхности металлов образуются микротрещины. В дальнейшем они развиваются, и происходит выкашивание кусочков металла с образованием оспинок на поверхности трения. Это приводит к уменьшению площади фактического контакта,

увеличению удельного давления и в конечном итоге к резкому возрастанию скорости изнашивания и ухудшению работы агрегатов трансмиссий

Природные полярно-активные вещества образуют масляную пленку и предотвращают изнашивание зубьев передач в условиях относительно небольших нагрузок и невысоких температур. При более тяжелых условиях работы агрегатов в масла вводят противоизносные и противозадирные присадки. Эффективность действия присадок различна. В универсальных маслах пятой эксплуатационной группы (ТМ-5-12рк, ТАД-17и) дорогие, но высокоэффективные присадки обеспечивают нормальную работу передач всех типов при любых рабочих температурах, различных нагрузках и скоростях скольжения.

**Схватывание** - явление местного соединения двух твердых тел, происходящее при трении вследствие молекулярных сил.

**Задир** - повреждение поверхности трения в виде широких и глубоких борозд в направлении скольжения.

При эксплуатации тракторов, автомобилей, комбайнов и других самоходных машин изнашивание деталей носит более сложный, комплексный характер. Например, изнашивание гильз цилиндров двигателя и поршневых колец происходит под действием абразива (дорожная или почвенная пыль), продуктов сгорания топлива, образующих агрессивную среду (серная кислота и т.д.), а также высокой температуры, давления и кислорода воздуха. Для этой группы деталей сочетаются закономерности всех трех видов износа.

Изучая характер изнашивания трущихся поверхностей, следует учитывать попадание в смазочное вещество влаги, пыли, продуктов изнашивания, органических кислот и другие явления.

**Заклинивание** двигателя становится следствием схватывания, как правило, коренного либо шатунного подшипника коленчатого вала из-за нарушения жидкостного трения.

### **2.1.3 Виды смазочных материалов по происхождению, назначению и применению**

Смазочные материалы предназначены для уменьшения интенсивности изнашивания и сил сопротивлений в узлах трения, а также для обеспечения нормального функционирования систем, содержащих смазки.

По происхождению масла различают:

– минеральные, или нефтяные, являются основной группой выпускаемых смазочных масел (более 90%). В зависимости от способа

получения они классифицируются на дистиллятные, остаточные, компаундированные или смешанные;

- растительные и животные, имеющие органическое происхождение. Растительные масла получают путем переработки семян определенных растений, вырабатываются касторовое, горчичное и сурепные масла. Животные масла вырабатывают из животных жиров (баранье и говяжье сало, технический рыбий жир, костное масло и др.). Органические масла по сравнению с нефтяными обладают более высокими смазывающими свойствами и более низкой термической устойчивостью. Поэтому их чаще используют в смеси с нефтяными;

- полусинтетические моторные масла – это минеральные масла, улучшенные благодаря специальной технологии очистки и содержащие синтетические добавки или 30 – 40 % синтетической основы.

- синтетические, получаемые из различного исходного сырья различными методами (каталитическая полимеризация жидких или газообразных углеводородов нефтяного и нефтяного сырья; синтез кремнийорганических соединений – полисилоксанов; получение фторуглеродных масел и т.д. Синтетические масла обладают всеми необходимыми свойствами, однако из-за высокой стоимости применяются только в самых ответственных узлах трения.

По агрегатному состоянию смазочные материалы делятся на:

- жидкие смазочные масла, которые в обычных условиях являются жидкостями, обладающими определенной текучестью (нефтяные и растительные масла);

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

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

По назначению смазочные материалы делятся на масла:

- моторные, предназначенные для двигателей внутреннего сгорания;
- трансмиссионные, применяемые в трансмиссиях тракторов, автомобилей, комбайнов, самоходных и других машин;
- гидравлические - для гидросистем различных машин.

По температуре применения различают;

- низкотемпературные, для температуры не более 60°C;
- среднетемпературные, применяемые при температурах 150 – 200°C;

– высокотемпературные, используемые в узлах, которые подвергаются воздействию температур до 300°C и выше (моторные масла).

Смазочные масла должны обладать соответствующими вязкостью и индексом вязкости; высокой термоокислительной устойчивостью и хорошими противокоррозионными свойствами; противоизносными качествами и хорошей прокачиваемостью при различных температурах окружающей среды. Масла должны обеспечивать максимально возможный срок службы и не образовывать на поверхностях деталей различные отложения.

Чтобы удовлетворить весь комплекс требований, предъявляемых к смазочным маслам широко используют специальные добавки (присадки).

#### **2.1.4 Общие сведения о присадках, их назначение**

Наиболее эффективным и достаточно дешевым методом улучшения эксплуатационных свойств смазочных масел является легирование их специальными присадками. Присадки – это сложные химические соединения различных веществ, которые вводятся в смазочные масла для улучшения их качества или придания маслу новых, заранее заданных свойств.

В зависимости от функционального действия присадки подразделяются на антиокислительные, противокоррозионные, моющие, диспергирующие, противоизносные, вязкостные, депрессорные, противопенные и др. Присадки могут вводиться в масло для улучшения или придания одного определенного свойства, например, депрессорную – для снижения температуры застывания. Но чаще всего используют многофункциональные присадки, улучшающие одновременно несколько свойств смазочного масла.

Присадки должны отвечать следующим требованиям: хорошо растворяться в маслах; не выпадать в осадок от изменения температуры и при хранении; быть термически и химически стабильными; не изменять своего функционального назначения при применении его в двигателе; не изменять других качеств масла и т.д.

Антиокислительные присадки улучшают стабильность масла против окисления при высоких температурах. В качестве антиокислительных присадок чаще всего используются алкилфенольные соединения (ионол, соединения, содержащие азот, азот и фенольный гидроксил, азот и фосфор и др.).

Эти присадки могут задерживать начало процесса окисления, разрушать образующиеся гидроперекиси и тем самым подавлять

реакции разветвления цепей, а также взаимодействовать с продуктами окисления углеводородов и образовывать новые вещества, обладающие антиокислительными свойствами. Марки: ДФ-11, ДФБ, ДФ-1, ВНИЦНП-354, ИХП-21, МНИИП-22К, КАСП-13, «Бория», ДБК, Агидол-2.

Противокоррозионные присадки добавляют в масла для снижения коррозии металлов, особенно сплавов цветных металлов (медно-свинцовые и др.). В качестве указанных присадок используются различные соединения: трибутилфосфит, трифенилфосфит, осерненное масло, алкилфеноляты щелочных и щелочноземельных металлов.

Механизм действия этих присадок сводится к образованию на металле защитных плёнок, которые препятствуют непосредственному воздействию коррозионно-активных веществ на металл. Другим направлением действия присадки может быть нейтрализация коррозионно-агрессивных продуктов, образующихся при сгорании сернистого топлива и окисления масла.

Марки: ДФ-1, ЛАКИ-317 и др.

Моющие и диспергирующие присадки препятствуют образованию лаков и нагаров на деталях цилиндропоршневой группы.

В качестве моющих присадок широкое применение получили соли различных сульфо- и карбоновых кислот, алкилфеноляты, беззольные, малозольные полимерные присадки и др.

Присадка СБ-3 относится к малозольным и низкощелочным сульфонатам, применяется в качестве моюще-диспергирующей, противоизносной; МАСК - многозольный алкилсалицилат кальция; ПМСЯ - многозольная сульфатная присадка; ВНИИП-360 - высокощелочная присадка (до 6%).

Механизм действия моюще-диспергирующих присадок заключается в переводе нагарообразующих веществ в суспензию и удерживании их в этом состоянии.

Противоизносные присадки содержат поверхностно-активные вещества, которые при повышении температуры образуют пленки, препятствующие схватыванию трущихся деталей. К ним относятся соединения, содержащие неактивную серу, а также эфиры фосфорных кислот.

При использовании противозадирных присадок продукты их разложения химически взаимодействуют с металлом при высоких температурах трения. При этом образуются соединения, обладающие меньшим сопротивлением срезу и более низкой температурой плавления, чем чистые металлы, что и препятствует заеданию трущихся поверхностей. В присадки входят сера, фосфор и хлор, в

некоторые из них - свинец, сурьма молибден в сочетании с серой или фосфором.

Противоизносные и противозадирные присадки одновременно обладают и антифрикционными свойствами. Марки: ДФ-11, ДФ-1, ВНИИНП-354, ДФБ, МНИИП-22К.

Вязкостные присадки вводят в смазочные масла, чтобы придать им необходимые вязкостно-температурные свойства, высокий индекс вязкости и хорошую прокачиваемость при отрицательных температурах. Такие присадки представляют собой высокомолекулярные соединения (полиизобутилены, поливинилалкиловые эфиры, полиметакрилаты и др.). Эти присадки в меньшей степени изменяют свои свойства под воздействием высоких температур и механических сил.

Масло, загущенные этими присадками, обладают хорошими вязкостными свойствами, обеспечивают легкий пуск двигателя при низких температурах и поэтому используется как всесезонные масла. Марки: КП-5, КП-10, КП-20, ПМА «В-1», ПМА «В-2», ВИНПОЛ ВБ-2, ИХП-234, Атопол.

Депрессорные присадки вводят в смазочные масла, чтобы сделать их пригодными для использования при низких температурах окружающей среды.

Депрессоры препятствуют образованию при низких температурах сплошных кристаллических сеток, благодаря чему, смазочное масло сохраняет подвижность. Марки: АЗНИИ, АЗНИИ-ЦИАТИМ-1, АФК, ПМА «Д». Их добавляют в моторные и трансмиссионные масла.

Противопенные присадки добавляют к маслам, применяемым в тех узлах, где происходит вспенивание масла, в результате чего резко ухудшаются условия смазки трущихся поверхностей. Эти вещества снижают прочность поверхностных пленок, которые разделяют газовые пузырьки и жидкую фазу. В качестве противопенных присадок используют полиметилсилоксан (ПМС-200А), полидиметилсилоксан, полиэтилсилоксан и др. Эти присадки вводятся совместно с моющими, поскольку последние способствуют вспениванию масла.

Для придания смазочному маслу комплекса определенных эксплуатационных свойств в него вводят несколько органических соединений, обладающих различными функциональными качествами.

Многофункциональные присадки сообщают маслу целый набор заданных эксплуатационных свойств: антиокислительные, противонагарные, противокоррозионные и др.

К многофункциональным присадкам относятся алкилфенольные, фенолсульфидные и полимерные соединения, содержащие фосфор и серу.

Алкилфенольные присадки БФК, КФК, ВНИИНП-370, ВНИИНП-371 обладают высокими противокоррозионными, моющими противонагарными и антиокислительными свойствами.

Фенолсульфидные присадки АЗНИИ, АЗНИИ-ЦИАТИМ-1, ЦИАТИМ-339 и др. обладают хорошими противокоррозионными и моющими свойствами, улучшают смазочную способность и снижают температуру застывания масла.

Полимерные присадки характеризуются высокими моющими и диспергирующими свойствами, а также в ряде случаев улучшают вязкостно-температурные качества и снижают температуру застывания, повышают антиокислительную способность и ослабляют коррозионную агрессивность.

Постоянно возрастающие требования к качеству смазочных материалов привели к необходимости применения композиций многофункциональных присадок, которые резко повышают многие эксплуатационные качества масла. При составлении композиций присадок происходит сложное химическое взаимодействие компонентов, в результате чего не только усиливаются определенные свойства, но и проявляются новые качества.

## **2.2. Масла моторные**

Масла, применяемые для смазывания поршневых двигателей внутреннего сгорания, называют *моторными*. В зависимости от назначения их подразделяют на масла для дизелей, масла для бензиновых двигателей и универсальные моторные масла, которые предназначены для смазывания двигателей обоих типов. Все современные моторные масла состоят из базовых масел и улучшающих их свойства присадок. В качестве базовых масел используют дистиллятные компоненты различной вязкости, остаточные компоненты, смеси остаточного и дистиллятных компонентов, а также синтетические продукты (поли-альфа-олефины, алкилбензолы, эфиры). Большинство всесезонных масел получают путем загущения маловязкой основы макрополимерными присадками. По составу базового масла моторные масла подразделяют на синтетические, минеральные и полусинтетические (смеси минерального и синтетических компонентов).

Условия работы масел в двигателях внутреннего сгорания постоянно ужесточаются. Форсирование нагрузочных и скоростных режимов двигателей, уменьшение удельной емкости системы смазки приводит к росту температуры основных деталей и, как следствие, к ускорению окисления масел.

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

- уплотнение зазоров в сопряжениях работающего двигателя и, в первую очередь, деталей цилиндропоршневой группы;

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

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

- предотвращение образования всех видов отложений (нагары, лаки, зольные отложения, шламы) на деталях двигателя при его работе на различных режимах;

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

- малый расход масла при работе двигателя;

- большой срок службы масла до замены без ущерба для надежной работы двигателя.

Для выполнения этих функций моторные масла должны удовлетворять следующим эксплуатационным требованиям:

- 1) оптимальные (в зависимости от уровня формирования двигателя) моющие, диспергирующие, нейтрализующие и антиокислительные свойства, благодаря которым обеспечивается чистота деталей двигателя в период эксплуатации;

- 2) высокие противоизносные, противозадирные и противокоррозионные свойства, обеспечивающие надежную, долговечную и экономичную работу двигателей в течении установленного моторесурса;

- 3) высокий индекс вязкости (особенно для зимних и всесезонных масел) для сохранения минимально допустимой толщины масляной пленки в нагруженных узлах двигателя при высоких температурах и хорошей прокачиваемости масла через зазоры в сопрягаемых узлах, обеспечивающий легкий пуск при отрицательных температурах;

4) совместимость моторных масел с различными по составу базовой основой и присадками.

К некоторым маслам предъявляют особые, дополнительные требования. Так, масла, загущенные макрополимерными присадками, должны обладать требуемой стойкостью к механической и термической деструкции; для судовых дизельных масел особенно важна влагостойкость присадок и малая эмульгируемость с водой; для энергосберегающих – антифрикционность, благоприятные реологические свойства.

### 2.2.1. Свойства моторных масел

**Моюще-диспергирующие свойства** характеризуют способность масла обеспечивать необходимую чистоту деталей двигателя, поддерживать продукты окисления и загрязнения во взвешенном состоянии. Чем выше моюще-диспергирующие свойства масла, тем больше нерастворимых веществ – продуктов старения может удерживаться в работающем масле без выпадения в осадок, тем меньше лакообразных отложений и нагаров образуется на горячих деталях, тем выше может быть допустимая температура деталей (степень форсирования двигателя). Кроме концентрации моюще-диспергирующих присадок на чистоту двигателя существенно влияет эффективность используемых присадок, их правильное сочетание с другими компонентами композиции, а также приемистость базового масла. В композициях моторных масел в качестве моющих присадок используют сульфонаты, алкилфеноляты, алкилсалицилаты и фосфонаты кальция или магния и реже (по экологическим соображениям) бария, а также рациональные сочетания этих зольных присадок друг с другом и с беззольными дисперсантами-присадками, снижающими, главным образом, склонность масла к образованию низкотемпературных отложений и скорость загрязнения фильтров тонкой очистки масла. Модифицированные термостойкие беззольные дисперсанты способствуют и уменьшению лако- и нагарообразования на поршнях.

Механизм действия моющих присадок объясняют их адсорбцией на поверхности не растворимых в масле частиц. В результате на каждой частице образуется оболочка из обращенных в объем масла углеводородных радикалов. Она препятствует коагуляции частиц загрязнений, их соприкосновению друг с другом. Полярные молекулы присадок образуют двойной электрический слой, придающий одноименные заряды частицам, на которых они адсорбировались.

Благодаря этому частицы отталкиваются и вероятность их объединения в крупные агрегаты уменьшается. При работе двигателей на топливах с повышенным содержанием серы моющие присадки, придающие маслу щелочность, препятствуют образованию отложений на деталях двигателей также и путем нейтрализации кислот, образующихся из продуктов сгорания топлива. Металлсодержащие моющие присадки повышают зольность масла, что может привести к образованию зольных отложений в камере сгорания, замыканию электродов свечей зажигания, преждевременному воспламенению рабочей смеси, прогару выпускных клапанов, снижению детонационной стойкости топлива, абразивному изнашиванию. Поэтому сульфатную зольность моторных масел ограничивают верхним пределом. Ее допустимое значение зависит от типа и конструкции двигателя, расхода масла на угар, условий эксплуатации, в частности, от вида применяемого топлива. Наименее зольные масла необходимы для смазывания двухтактных бензиновых двигателей и двигателей, работающих на газе. Наибольшую зольность имеют высокощелочные цилиндрические масла. Моющие свойства моторных масел в лабораторных условиях определяют на модельной установке ПЗВ, представляющей собой малоразмерный одноцилиндровый двигатель с электроприводом и электронагревателями. Стендовые моторные испытания для оценки моющих свойств проводят либо в полноразмерных двигателях, либо в одноцилиндровых моторных установках по стандартным методикам. Критериями оценки моющих свойств служит чистота поршня, масляных фильтров, роторов центрифуг, подвижность поршневых колец. Диспергирующие свойства масел оценивают в баллах от 0 до 6 по методу ПЗВ. Образование лаковых отложений на деталях двигателя, работающего на маслах с моющими присадками, уменьшается в 3 – 6 раз.

**Антиокислительные свойства** в значительной степени определяют стойкость масла к старению. Условия работы моторных масел в двигателях настолько жестки, что предотвратить их окисление полностью не представляется возможным. Соответствующей очисткой базовых масел от нежелательных соединений, присутствующих в сырье, использованием синтетических базовых компонентов, а также введением эффективных антиокислительных присадок можно значительно затормозить процессы окисления масла, которые приводят к росту его вязкости и коррозионности, склонности к образованию отложений, загрязнению масляных фильтров и другим неблагоприятным последствиям (затруднение холодного пуска, ухудшение прокачиваемости масла). Окисление масла в двигателе

наиболее интенсивно происходит в тонких пленках масла на поверхностях деталей, нагреваемых до высокой температуры и соприкасающихся с горячими газами (поршень, цилиндр, поршневые кольца, направляющие и стебли клапанов). В объеме масло окисляется менее интенсивно, так как в поддоне картера, радиаторе, маслопроводах температура ниже и поверхность контакта масла с окисляющей газовой средой меньше. Во внутренних полостях двигателя, заполненных масляным туманом, окисление более интенсивно. На скорость и глубину окислительных процессов значительно влияют попадающие в масло продукты неполного сгорания топлива. Они проникают в масло вместе с газами, прорывающимися из надпоршневого пространства в картер. Ускоряют окисление масла частицы металлов и загрязнений неорганического происхождения, которые накапливаются в масле в результате изнашивания деталей двигателя, недостаточной очистки всасываемого воздуха, нейтрализации присадками неорганических кислот, а также металлорганические соединения меди, железа и других металлов, образующиеся в результате коррозии деталей двигателя или взаимодействия частиц изношенного металла с органическими кислотами. Все эти вещества – катализаторы окисления.

Стойкость моторных масел к окислению повышают введением в их состав антиокислительных присадок. Наилучший антиокислительный эффект достигается при введении в масло присадок, обладающих различным механизмом действия. В качестве антиокислительных присадок к моторным маслам применяют диалкил- и диарилдитиофосфаты цинка, которые улучшают также антикоррозионные и противоизносные свойства. Их часто комбинируют друг с другом и с беззольными антиокислителями. К числу последних относят пространственно затрудненные фенолы, ароматические амины, беззольные дитиофосфаты и др. Довольно энергичными антиокислителями являются некоторые моюще-диспергирующие присадки, в частности алкилсалицилатные и алкилфенольные. При длительной работе масла в двигателе интенсивный рост вязкости, обусловленный окислением, начинается после практически полного истощения антиокислительных присадок. В стандартах и технических условиях на моторные масла их стойкость к окислению косвенно характеризуется индукционным периодом осадкообразования. При моторных испытаниях антиокислительные свойства масел оценивают по увеличению их вязкости за время работы в двигателе установки ИКМ (ГОСТ 20457–75) или Petter W-1.

**Противоизносные свойства** моторного масла зависят от химического состава и полярности базового масла, состава композиции присадок и вязкостно-температурной характеристики масла с присадками, которая в основном предопределяет температурные пределы его применимости (защита деталей от износа при пуске двигателя, при максимальных нагрузках и температурах окружающей среды). Особенно важны эффективная вязкость масла при температуре 130 – 180°C и градиенте скорости сдвига 105 – 107 с<sup>-1</sup>, зависимость вязкости от давления, свойства граничных слоев и способность химически модифицировать поверхностные слои сопряженных трущихся деталей. При работе на топливах с повышенным или высоким содержанием серы, а также в условиях, способствующих образованию азотной кислоты из продуктов сгорания (газовые двигатели, дизели с высоким наддувом), важнейшей характеристикой способности масла предотвращать коррозионный износ поршневых колец и цилиндров является его нейтрализующая способность, показателем которой в нормативной документации служит щелочное число. Различные узлы и детали двигателей смазываются обычно одним маслом, а условия трения, изнашивания и режим смазки существенно различны. Подшипники коленчатого вала, поршневые кольца в сопряжении с цилиндром работают преимущественно в условиях гидродинамической смазки. Зубчатые колеса привода агрегатов, масляных насосов и детали механизма привода клапанов работают в условиях эластогидродинамической смазки. Вблизи мертвых точек жидкостное трение поршневых колец по стенке цилиндра переходит в граничное.

Множественность факторов, влияющих на износ деталей двигателей, принципиальные различия режимов трения и изнашивания узлов затрудняют оптимизацию противоизносных свойств моторных масел. Придание маслу достаточной нейтрализующей способности и введение в его состав дитиофосфатов цинка часто оказывается достаточным для предотвращения коррозионно-механического изнашивания и модифицирования поверхностей деталей, тяжело нагруженных сопряжений во избежание задиров или усталостного выкрашивания. Однако тенденция к применению маловязких масел для достижения экономии топлива и ограничение поступления масла к верхней части цилиндра для уменьшения расхода на угар требуют улучшения противоизносных свойств масел при граничной смазке. Это достигается введением специальных противоизносных присадок, содержащих серу, фосфор, галогены, бор, а также введением беззольных дисперсантов, содержащих противоизносные фрагменты.

Большое влияние на износ оказывает наличие в масле абразивных загрязнений. Их наличие в свежем масле не допускается, а масло, работающее в двигателе, должно подвергаться очистке в фильтрах, центрифугах, сепараторах. Уменьшению вредного действия абразивных частиц способствуют высокие диспергирующие свойства масла. Трибологические характеристики, определяемые на четырехшариковой машине трения (ЧШМ), нормированы стандартами и техническими условиями на многие моторные масла для контроля процесса производства. Однако непосредственную связь между оценкой противоизносных и противозадирных свойств на машине трения и фактическими противоизносными свойствами моторных масел в реальных условиях применения установить не всегда возможно. При моторных испытаниях противоизносные свойства масел оценивают по потере массы поршневых колец, задиру или питтингу кулачков и толкателей, линейному износу этих деталей и цилиндров, состоянию поверхностей трения.

**Антикоррозионные свойства** моторных масел зависят от состава базовых компонентов, концентрации и эффективности антикоррозионных, антиокислительных присадок и деактиваторов металлов. В процессе старения коррозионность моторных масел возрастает. Более склонны к увеличению коррозионности масла из малосернистых нефтей с высоким содержанием парафиновых углеводородов, образующих в процессах окисления агрессивные органические кислоты, которые взаимодействуют с цветными металлами и их сплавами. Антикоррозионные присадки защищают антифрикционные материалы (свинцовистую бронзу), образуя на их поверхности прочную защитную пленку. Антиокислители препятствуют образованию агрессивных кислот. Иногда необходимо вводить в моторные масла присадки-деактиваторы, образующие хелатные соединения с медью, предохраняющие поверхность от коррозионного разрушения. Антикоррозионные присадки типа дитиофосфатов цинка, применяемые в большинстве моторных масел, не защищают от коррозии сплавы на основе серебра и фосфористые бронзы, а при высокой температуре активно способствуют их коррозии. В двигателях, в которых используют такие антифрикционные материалы, необходимо использовать специальные масла, не содержащие дитиофосфатов цинка. В лабораторных условиях антикоррозионные свойства моторных масел оценивают по методу СТБ ИСО 2160-2003 по потере массы медных пластин за 10 или 25 ч испытания при температуре 140°C. При моторных испытаниях антикоррозионные свойства масел оценивают по потере

массы вкладышей шатунных подшипников полноразмерных двигателей или одноцилиндровых установок ИКМ или Petter W-1, а также по состоянию их поверхностей трения (цвет, натиры, следы коррозии).

**Вязкостно-температурные свойства** – одна из важнейших характеристик моторного масла. От этих свойств зависит диапазон температуры окружающей среды, в котором данное масло обеспечивает пуск двигателя без предварительного подогрева, беспрепятственное прокачивание масла насосом по смазочной системе, надежное смазывание и охлаждение деталей двигателя при наибольших допустимых нагрузках и температуре окружающей среды. Даже в умеренных климатических условиях диапазон изменения температуры масла от холодного пуска зимой до максимального прогрева в подшипниках коленчатого вала или в зоне поршневых колец составляет до 180 – 190°C. Вязкость минеральных масел в интервале температур от –30 до +150°C изменяется в тысячи раз. Летние масла, имеющие достаточную вязкость при высокой температуре, обеспечивают пуск двигателя при температуре окружающей среды около 0°C. Зимние масла, обеспечивающие холодный пуск при отрицательных температурах, имеют недостаточную вязкость при высокой температуре. Таким образом, сезонные масла независимо от их наработки (пробега автомобиля) необходимо менять дважды в год. Это усложняет и удорожает эксплуатацию двигателей. Проблема решена созданием всесезонных масел, загущенных полимерными присадками (полиметакрилаты, сополимеры олефинов, полиизобутилены, гидрированные сополимеры стирола с диенами и др.). Вязкостно-температурные свойства загущенных масел таковы, что при отрицательных температурах они подобны зимним, а в области высоких температур – летним. Вязкостные присадки относительно мало повышают вязкость базового масла при низкой температуре, но значительно увеличивают ее при высокой температуре, что обусловлено увеличением объема макрополимерных молекул с повышением температуры и рядом иных эффектов. В отличие от сезонных загущенные всесезонные масла изменяют вязкость под влиянием не только температуры, но и скорости сдвига, причем это изменение временное. С уменьшением скорости относительного перемещения смазываемых деталей вязкость возрастает, а с увеличением – снижается. Этот эффект больше проявляется при низкой температуре, но сохраняется и при высокой, что имеет два позитивных последствия: снижение вязкости в начале проворачивания холодного двигателя стартером облегчает пуск, а небольшое снижение

вязкости масла в зазорах между поверхностями трения деталей прогретого двигателя уменьшает потери энергии на трение и дает экономию топлива. Характеристиками вязкостно-температурных свойств служат *кинематическая вязкость*, определяемая в капиллярных вискозиметрах, и динамическая вязкость, измеряемая при различных градиентах скорости сдвига в ротационных вискозиметрах, а также *индекс вязкости* – безразмерный показатель пологости вязкостно-температурной зависимости, рассчитываемый по значениям кинематической вязкости масла, измеренной при 40 и 100°С.

Под вязкостью понимают объемное свойство масла оказывать сопротивление при относительном перемещении его слоев. Для характеристики моторного масла наиболее широко применяются динамическая ( $\mu$ , Па·с) и кинематическая ( $\nu$ , мм<sup>2</sup>/с) вязкость. За единицу динамической вязкости  $\mu$  принимают вязкость, при которой для относительного перемещения со скоростью 1 м/с двух слоев жидкости площадью 1 м<sup>2</sup>, находящихся на расстоянии 1 м по нормали к направлению скорости, необходимо приложить усилие в 1 Н.

По вязкости моторные масла подразделяются на маловязкие (3 – 4 мм<sup>2</sup>/с при 100°С), средневязкие (4 – 6 мм<sup>2</sup>/с при 100°С) и вязкие (8 – 9 мм<sup>2</sup>/с при 100°С и выше). Вязкость моторного масла определяет толщину масляной пленки на поверхностях трения и, следовательно, износ деталей ДВС, его прокачиваемость при низких температурах и надежность смазывания при высоких температурах, а также потери на трение и расход топлива.

**Температура застывания.** Низкотемпературные свойства масла, его прокачиваемость при отрицательных температурах характеризуются температурой застывания. Температурой застывания считают температуру, при которой масло в пробирке, наклоненной под углом 45°, в течение 1 мин не изменяет своего положения. Для снижения температуры застывания в масла вводят депрессорные присадки. Температура застывания отечественных зимних сортов минеральных масел обычно не выше –25...–30°С. Полусинтетические и синтетические моторные масла имеют температуру застывания – 35...–50°С и ниже.

**Температура вспышки.** Данный показатель характеризует наличие в масле легкокипящих фракций и топлива и определяет испаряемость и расход масла, его взрывобезопасность и вредное воздействие на окружающую среду. Значение температуры вспышки минеральных масел обычно составляет 200 – 225°С, синтетических 230 – 240°С и выше. Для работавших масел предельное значение температуры вспышки равно в среднем 170 –180°С.

**Коксуемость.** Склонность масла к образованию нагара и лаковых отложений на деталях ДВС характеризуется коксуемостью масла. Коксуемость моторных масел определяется массой коксового остатка, полученного при прокаливании навески масла без доступа воздуха, и выражается в процентах от массы навески. Вводимые в базовое масло присадки повышают его коксуемость.

**Щелочное число.** Важнейшей характеристикой способности масла предотвращать коррозионный износ деталей двигателя является его нейтрализующая способность, показателем которой служит щелочное число. Щелочное число моторного масла определяется, как количество КОН (мг), эквивалентное количеству соляной кислоты, необходимой для нейтрализации всех основных соединений, содержащихся в 1 г анализируемого масла. Масла группы Г<sub>2</sub>, применяемые для автотракторных дизелей, имеют щелочное число не менее 6 – 7,5 мг КОН/г.

Кроме вышеперечисленных находят применение и такие показатели качества моторного масла, как термоокислительная стабильность, кислотное число, моющие свойства, коррозионность, зольность, стабильность по индукционному периоду осадкообразования, содержание активных элементов присадок, механических примесей и воды, и другие, определяемые по специальным методикам.

## 2.2.2. Классификация моторных масел

Руководство по эксплуатации автотракторной техники допускает применение моторных масел различных фирм-производителей, объединенных общей классификацией по вязкостным и эксплуатационным свойствам.

На упаковке с названием фирмы-изготовителя обязательно присутствуют буквенные и цифровые обозначения.

Классификация моторных масел согласно ГОСТ 17479.1– 85 подразделяет их на классы по вязкости и группы по значению и уровням эксплуатационных свойств. В соответствии с этим стандартом моторные масла по вязкости делятся на два класса (обычные и всесезонные), а по эксплуатационным свойствам – на шесть групп, обозначаемых буквами А, Б, В, Г, Д и Е.

Обычные масла делятся на зимние и летние по кинематической вязкости (с большей вязкостью применяются летом, а с меньшей – зимой) и нормируются вязкостью при +100 °С. Всесезонные масла обозначаются дробью, в числителе которой указывается класс вязкости зимнего, а в знаменателе – летнего масла (табл. 2.1). Ниже приведено

описание отечественной классификации моторных масел с учетом изменения №3 к ГОСТ 17479.1– 85, которым увеличено число классов вязкости и изменены их границы, введены новые группы по назначению и уровням эксплуатационных свойств, а также некоторые наименования.

Таблица 3.1. **Классы вязкости моторных масел**

Класс вязкости	Кинематическая вязкость, мм <sup>2</sup> /с, при температуре	
	100°С	–18°С, не более
3 <sub>3</sub>	3,8	12500
4 <sub>3</sub>	4,1	2600
5 <sub>3</sub>	5,6	6000
6 <sub>3</sub>	5,6	10400
6	св.5,6 до 7,0 включ.	10400
8	7,0 ... 9,3	10400
10	9,3 ... 11,5	10400
12	11,5 ... 12,5	10400
14	12,5 ... 14,5	10400
16	14,5 ... 16,3	10400
20	16,3 ... 21,9	10400
24	21,9 ... 26,1	10400
3 <sub>3</sub> /8	7,0 ... 9,3	1250
4 <sub>3</sub> /6	5,6 ... 7,0	2600
4 <sub>3</sub> /8	7,0 ... 9,3	2600
4 <sub>3</sub> /10	9,3 ... 11,5	2600
5 <sub>3</sub> /10	9,3 ... 11,5	6000
5 <sub>3</sub> /12	11,5 ... 12,5	6000
5 <sub>3</sub> /14	12,5 ... 14,5	6000
6 <sub>3</sub> /10	9,3 ... 11,5	10400
6 <sub>3</sub> /14	12,5 ... 14,5	10400
6 <sub>3</sub> /16	14,5 ... 16,3	10400

Согласно ГОСТ 17479.1–85 моторные масла по уровню эксплуатационных свойств разделены на шесть групп, обозначаемых первыми шестью буквами русского алфавита и цифровыми индексами. Чем дальше от начала алфавита отстоит буква в маркировке моторного масла, тем выше уровень его качества.

Соответствие масел той или иной группе устанавливается на основании результатов моторных и лабораторных испытания, включенных в Комплексы методов квалификационной оценки (КМКО), утвержденных Госстандартом РФ. Индексом "1" маркируются масла, предназначенные для эксплуатации бензиновых двигателей, индекс "2" предназначен для обозначения масел для дизелей. Универсальные масла, предназначенные для эксплуатации в обоих типах двигателей, цифрового индекса не имеют. В случае

соответствия масла сразу нескольким эксплуатационным классам, последние указываются друг за другом в порядке возрастания требований к качеству. Последним в маркировке моторного масла (в случае необходимости) стоит буквенно-цифровой индекс, характеризующий особенности применения данного конкретного масла.

Например, марка **М-6з/10В** указывает, что это моторное масло всесезонное, универсальное для среднефорсированных дизелей и бензиновых двигателей (группа В):

**М-4з/8-В<sub>2</sub>Г<sub>1</sub>** – моторное масло всесезонное, универсальное для среднефорсированных дизелей (группа В<sub>2</sub>) и высокофорсированных бензиновых двигателей (группа Г<sub>1</sub>);

**М-14Г<sub>2</sub>(цс)** – моторное масло класса вязкости 14, предназначено для высокофорсированных дизелей без наддува или с умеренным наддувом. В данном случае после основного обозначения в скобках указана дополнительная характеристика области применения ("цс" означает циркуляционное судовое);

**М-14Д (цл20)** – моторное масло для высокофорсированных дизелей с наддувом, работающих в тяжелых эксплуатационных условиях, («цл20» – применимое в циркуляционных и лубрикаторных смазочных системах и имеющее щелочное число 20 мг КОН/г).

В большинстве развитых стран мира общепринятой служит классификация моторных масел по вязкости, установленная SAE (Американским обществом автомобильных инженеров) в стандарте SAE J300 JUN 87 (табл. 2.2).

Таблица 2.2 Классификация моторных масел по ГОСТ 17479.1-85 и SAE J 300 JUN 87

Клас вязкости	Вязкость при -18 °С, сСт (мм <sup>2</sup> /с)	Вязкость при +100°С, сСт (мм <sup>2</sup> /с)	Клас вязкости по SAE J 300 JUN 87	Группы масел по эксплуатационным свойствам										
				А	Б		В		Г		Д		Е	
					Б <sub>1</sub>	Б <sub>2</sub>	В <sub>1</sub>	В <sub>2</sub>	Г <sub>1</sub>	Г <sub>2</sub>	Д <sub>1</sub>	Д <sub>2</sub>	Е <sub>1</sub>	Е <sub>2</sub>
3 <sub>з</sub>	не более 1250	не менее 3,8	5W											
4 <sub>з</sub>	1250-2600	не менее 4,1	10W											
5 <sub>з</sub>	2600-6000	не менее 5,6	15W											
6 <sub>з</sub>	6000-10400	не менее 5,6	20W											
Обычные дистиллятные, остаточные и смешанные масла														
6	—	5,6-7,0	20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
8	—	7,0-9,3	20	М-8-А	—	—	М-8-В		—	М-8-Г <sub>2</sub>	—	М-8-Д <sub>2</sub>	—	—
							—	М-8-В <sub>2</sub>						
10	—	9,3-11,5	30	—	—	—	—	М-10-В <sub>2</sub>	—	М-10-Г <sub>2</sub>	—	М-10-Д <sub>2</sub>	—	—
12	—	11,5-12,5	30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
14	—	12,5-14,5	40	—	—	М-14-В <sub>2</sub>	—	М-14-В <sub>2</sub>	—	М-14-Г <sub>2</sub>	—	М-14-Д <sub>2</sub>	—	—
16	—	14,5-16,3	40	—	—	М-16-В <sub>2</sub>	—	М-16-В <sub>2</sub>	—	М-16-Г <sub>2</sub>	—	М-16-Д <sub>2</sub>	—	—
20	—	16,3-21,9	50	М-20-А	—	—	—	М-20-В <sub>2</sub>	—	М-20-Г <sub>2</sub>	—	—	—	—
24	—	21,9-26,1	60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Загущенные масла														
3 <sub>з</sub> /8	не более 1250	7,0-9,3	5W-20	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4 <sub>з</sub> /6	1250-2600	5,6-7,0	10W-20	—	—	—	М-4з/10-В <sub>1</sub>	—	—	—	—	—	—	—
4 <sub>з</sub> /8	1250-2600	7,0-9,3	10W-20	—	—	—	—	—	М-4з/8-Г		—	—	—	—
4 <sub>з</sub> /10	1250-2600	9,3-11,5	10W-30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5 <sub>з</sub> /10	2600-6000	9,3-11,5	15W-30	—	—	—	—	—	М-5з/10-Г <sub>1</sub>	—	—	—	—	—
5 <sub>з</sub> /12	2600-6000	11,5-12,5	15W-30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
5 <sub>з</sub> /14	2600-6000	12,5-14,5	15W-40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
6 <sub>з</sub> /10	6000-10400	9,3-11,5	20W-30	—	—	М-6з/10-В <sub>2</sub>	М-6з/10-В	М-6з/10-Г <sub>1</sub>	—	—	—	—	—	—
6 <sub>з</sub> /14	6000-10400	12,5-14,5	20W-40	—	—	—	—	—	—	—	—	М-6з/14-Д <sub>2</sub>	—	—
6 <sub>з</sub> /16	6000-10400	14,5-16,3	20W-40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Данная классификация содержит 9 классов: 4 зимних –5w, 10w, 15w, 20w, (w – winter, зима) и 5 летних – 20, 30, 40, 50, 60. Всесезонные масла имеют двойное обозначение через дефис, причем первым указывается зимний (с индексом w) класс, а вторым – летний, например SAE 5w-40, SAE 10w-30 и т.д. Зимние масла характеризуют два максимальных значения низкотемпературной (динамической, в отличие от кинематической для ГОСТ) вязкости и нижний предел кинематической вязкости при 100°С. Летние масла характеризуют пределы кинематической вязкости при 100°С, а также минимальное значение динамической высокотемпературной (при 150°С) вязкости и градиенте скорости сдвига  $10^6 \text{ с}^{-1}$ .

В обеих вязкостных классификациях (ГОСТ, SAE), чем меньше цифра в числителе с индексом "з" (ГОСТ) или перед буквой "w" (SAE), тем меньше вязкость масла при низкой температуре и соответственно легче холодный пуск двигателя. Чем больше цифра, стоящая в знаменателе (ГОСТ) или после дефиса (SAE), тем больше вязкость масла при высокой температуре и надежнее смазывание двигателя в летнюю жару.

Наиболее известной международной классификацией моторных масел по областям применения и уровню эксплуатационных свойств является классификация API (*Американского института нефти*). Со времени введения (1947 г.) данная классификация неоднократно дополнялась, однако принцип деления масел на две категории (S и C) сохранился до настоящего времени.

В данной системе классификации моторные масла маркируются двухбуквенным индексом. Первая буква означает категорию: к категории "S" (Service) относятся масла для 4- тактных бензиновых двигателей, к категории "C" (Commercial) – масла, предназначенные для дизелей автомобильного транспорта, внедорожной строительной и сельскохозяйственной техники. Универсальными называют масла, которые могут применяться для смазывания бензиновых и дизельных двигателей. Второй буквой является показатель группы масла по уровню эксплуатационных свойств. Чем дальше от начала латинского алфавита расположена буква, тем выше уровень эксплуатационных свойств моторного масла.

В настоящее время в категории "S" классификация API включает 11 классов масел в следующем порядке возрастания требований к их качеству (SA, SB, SC, SD, SE, SF, SG, SH, SJ, SL, SM), а в категории "C" – 12 классов (CA, CB, CC, CD, CD-II, CE, CF, CF-4, CF-2, CG-4, CH-4 и CI-4). Цифры при обозначении

классов CD-II, CF-4, CF-2 и CG-4 дают дополнительную информацию об использовании данного класса масел в 2-тактных или 4-тактных дизелях соответственно. Для обозначения универсальных масел принята двойная маркировка, например, SF/CC, SG/CD, CF-4/SH и т.п.

По классификации ILSAC при испытаниях на стандартизованном моторном стенде SEQ IIIЕ, масла группы GF-1, должны экономить не менее 1,5% бензина (Energy Conserving I), а масла группы GF-2 (Energy Conserving II) – 2,3 % в сравнении с работой двигателя на эталонном масле класса вязкости 15W-40.

*Европейская ассоциация автомобильных производителей* (ACEA), в которую входят ведущие гиганты автомобилестроения: BMW, DAF, Ford of Europe, General Motors Europe, MAN, Mercedes-Benz, Peugeot, Porche, Renault, Rolss-Royce, Rover, Saab-Scania, Volkswagen, Volvo, FIAT, ввела с 1996 г. новую классификацию моторных масел, которая базируется на европейских методах испытаний, а также использует некоторые общепризнанные американские моторные и физико-химические методы испытаний по API, SAE и ASTM. Данная классификация заменила существовавшую с середины 90-х годов классификацию CCMC (Комитет автопроизводителей стран общего рынка).

С 1 марта 1998 г. требования к эксплуатационным свойствам моторных масел были ужесточены, что нашло отражение в новом европейском стандарте ACEA-98. В 1998–99 гг. происходило уточнение и дополнение классификации ACEA 98–99 с исключением старых и введением новых классов, требования которых обязательны к выполнению с 1 сентября 2000 г. В 2004 г. состоялся очередной пересмотр классификации моторных масел, оформленный в виде стандарта ACEA 2004.

В отличие от американской классификации API, в которой до сих пор не выделены в самостоятельный класс масла для дизелей легковых автомобилей, европейская – ACEA классифицирует моторные масла на три основные категории по назначению: А – для бензиновых двигателей; В – для дизельных двигателей легковых автомобилей; С – масла, совместимые с каталитическими нейтрализаторами отработавших газов; Е – для дизельных двигателей грузовых автомобилей.

Внутри каждой категории эксплуатационные свойства соответствующих масел выделены в отдельные группы, обозначаемые цифрой после буквы. Чем больше цифра, тем в более жестких условиях работает двигатель и соответственно выше

требования к качеству масла. Последние две цифры (через дефис) в маркировке масла обозначают год введения данной категории. Для некоторых новых классов оставлено обозначение старого класса, но с добавлением более позднего номера выпуска.

Примеры обозначений: A1-98; B3-98 выпуск 2; E3-96 выпуск 4; B5-02 и т.д.

В группы A1, B1, A5, B5 выделены специальные маловязкие, так называемые энергосберегающие масла, снижающие трение и позволяющие тем самым экономить не менее 2,5% топлива. При этом по остальным эксплуатационным свойствам эти масла должны быть не хуже уровня 2.

Маркировка моторного масла для европейского рынка должна содержать 4 параметра: вязкость (по SAE), эксплуатационные свойства по американской (API) и европейской (ACEA) классификациям, одобрение фирм-производителей автомобилей.

Пример маркировки моторного масла: SAE 5W-50; API SJ/CF ACEA A3/B3; MB 229.1, BMW, VW 501.01/505.00, Porsche.

Указанная маркировка означает:

- по вязкостно-температурным свойствам SAE 5W-50 данное моторное масло относится к всепогодным маслам, сочетающим в себе зимний (SAE 5W) и летний (SAE 50) классы вязкости;

- эксплуатационные свойства API SJ/CF по американской классификации API свидетельствуют, что масло может быть использовано для бензиновых двигателей легковых автомобилей, выпускаемых с конца 1996 г., (SJ), а также для дизелей легковых автомобилей, выпускаемых с 1993 г., (CF);

- эксплуатационные свойства ACEA A3 и B3 по европейской классификации ACEA свидетельствуют, что это масло экстракласса для бензиновых двигателей скоростных легковых автомобилей, предъявляющих особые требования к противоокислительным, вязкостным и противоизносным свойствам (A3), а также масло экстракласса для легковых дизельных двигателей с турбонаддувом (B3);

- коды одобрения фирм-производителей MB 229.1, BMW, VW 501.01/505.00 и Porsche указывают, что масло может быть использовано для двигателей легковых автомобилей фирмы Mercedes-Benz выпуска с 1997 г. (MB 229.1), одобрено к применения для двигателей BMW и Porsche, используется как всепогодное масло (VW 501.01) для двигателей автомобилей Volkswagen и Audi и двигателей с турбонаддувом (VW 505.00) этих же заводов-изготовителей.

### 2.2.3. Масла для бензиновых и дизельных двигателей

Четырехтактные бензиновые двигатели – преобладающий тип двигателей легковых автомобилей, микроавтобусов, легких и среднетоннажных грузовиков. Условия работы моторных масел в этих транспортных средствах характеризуются очень высокими термическими нагрузками при езде вне городов и резко переменными режимами работы при езде в городах, где часты остановки, поездки на короткие расстояния, при которых двигатель не прогревается до оптимальной температуры масла и охлаждающей жидкости. Этим обусловлены специфические требования к маслам для четырехтактных бензиновых двигателей: с одной стороны, способность предотвращать образование высокотемпературных отложений (нагары, лак на деталях цилиндра-поршневой группы), особо высокая стойкость к окислению; с другой стороны, способность предотвращать образование низкотемпературных отложений (осадки, шламы в картере, на сетке маслоприемника и других деталях) и защищать детали двигателя от ржавления под действием конденсирующихся в непрогретом или остывающем двигателе продуктов сгорания топлива.

При выборе масел для конкретных объектов техники следует руководствоваться инструкциями по эксплуатации, где указаны сроки смены масел и масляных фильтров и другие операции по техническому обслуживанию смазочной системы двигателя, а для двухтактных двигателей – рекомендуемое соотношение масло: топливо.

Моторные масла групп Г1, В и В1. Масла группы Г1 предназначены для использования в форсированных двигателях легковых автомобилей, которые работают на бензине с октановым числом по исследовательскому методу выше 90. Эти масла содержат высокоэффективные композиции отечественных присадок или пакеты импортных присадок. Их готовят на основе дистиллятных компонентов, загущенных макрополимерными присадками.

Масла групп В и В<sub>1</sub> предназначены для двигателей легковых и грузовых автомобилей, работающих на бензине с октановым числом до 80. Их применяют всесезонно. Они содержат композиции отечественных присадок или пакеты импортных присадок, добавляемых к дистиллятным или компаундированным базовым маслам.

**Моторное масло М-5з/10Г1** готовят на базовом масле И-20А. Используют в регионах с низкими температурами зимних месяцев как всесезонное.

**Моторное масло М-6з/12Г1** готовят на основе смеси дистиллятных компонентов различной вязкости с добавлением присадок, обеспечивающих высокие противоизносные свойства. Применяют всесезонно в регионах с умеренными климатическими условиями при температуре воздуха от  $-20$  до  $+45$  °С.

**Моторное масло М-4з/6В1** получают загущением базового масла (веретенное АУ) полиметакрилатной присадкой и добавлением композиции моющих, антиокислительной и противопенной присадок. Применяют всесезонно в северной климатической зоне и в районах с умеренными климатическими условиями только как зимнее масло. Обеспечивает холодный пуск двигателя при  $-30$  °С.

**моторное масло М-6з/10В** получают на основе высококачественного компаундированного базового масла и эффективной композиции присадок. Применяют всесезонно в среднефорсированных бензиновых двигателях и безнаддувных дизелях. Это универсальное масло отличается повышенной работоспособностью. В бензиновых двигателях грузовых автомобилей пробег до замены масла составляет 18 тыс. км, а в дизелях – до 500 моточасов.

**Моторное масло М-8В** готовят из смеси дистиллятного и остаточного компонентов или дистиллятного компонента узкого фракционного состава с эффективной композицией присадок. Используют всесезонно в среднефорсированных бензиновых двигателях легковых и грузовых автомобилей с периодичностью замены до 18 тыс. км пробега, а также как зимнее масло для среднефорсированных автотракторных дизелей.

Дизели отличаются от других двигателей внутреннего сгорания большим разнообразием конструкций, способов смесеобразования, назначений, условий эксплуатации и чрезвычайно широким диапазоном агрегатных мощностей (от нескольких киловатт до десятков тысяч). Поэтому ассортимент дизельных масел значительно различается по предъявляемым к ним требованиям и эксплуатационным свойствам. Важнейшие критерии, определяющие выбор смазочного масла, – тип и назначение дизеля, уровень его форсирования, степень жесткости условий эксплуатации, вид и качество применяемого топлива. Инструкции по эксплуатации техники содержат информацию о допущенных к

применению марках масел, регламентах обслуживания смазочных систем дизелей, включая сроки замены или показатели предельного состояния масел.

Все дизельные масла содержат присадки, вводимые в дистиллятные, компаундированные или остаточные базовые масла селективной очистки, выработанные из малосернистых или сернистых нефтей.

**Масла групп А и В<sub>2</sub>.** Масла групп А и В<sub>2</sub> предназначены для дизелей старых моделей, работающих на топливах с небольшим содержанием серы. Спрос на масла этих групп сохраняется в большинстве случаев в силу традиции и невысокой цены. За редкими исключениями масла групп А и В<sub>2</sub> могут быть заменены более эффективными маслами группы В<sub>2</sub> того же класса вязкости.

**Масла группы В<sub>2</sub>.** Масла группы В<sub>2</sub> вырабатывают из малосернистых и сернистых нефтей. Они содержат композиции присадок, придающие маслам эксплуатационные свойства, обеспечивающие надежное смазывание безнаддувных автотракторных дизелей старых моделей, а также судовых, тепловозных, стационарных и транспортных дизелей среднего уровня форсирования при работе на дистиллятных дизельных топливах с содержанием серы до 0,5 % (мас. доля).

**Масла М-8В<sub>2</sub> и М-10В<sub>2</sub>** готовят на основе смесей дистиллятного и остаточного компонентов, выработанных из сернистых нефтей. Применяют для смазывания автотракторных дизелей Д-240 зимой (М-8В<sub>2</sub>) и летом (М-10В<sub>2</sub>).

**Масло М-14В<sub>2</sub>** получают смешением дистиллятного и остаточного компонентов, выработанных из сернистых или малосернистых нефтей, с композицией присадок. Используют для смазывания двигателей карьерных автосамосвалов.

Масло **М-16В<sub>2</sub>** состоит из смеси остаточного и дистиллятного компонентов, получаемых из малосернистых нефтей, и композиции присадок. Предназначено для смазывания главных двигателей речных судов.

Масло **М-16ИХП-3** производят из смеси остаточного и дистиллятного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей. Содержит специфическую композицию присадок. Применяют для смазывания форсированных транспортных дизелей, включая и двигатели с наддувом.

**Масла группы Г<sub>2</sub>.** Масла группы Г<sub>2</sub> вырабатывают из сернистых и малосернистых нефтей. Все масла этой группы содержат значительно больше более эффективных присадок, чем

масла группы В<sub>2</sub>. Высокая степень легирования масел группы Г<sub>2</sub> позволяет применять их в более жестких условиях, где необходима высокая термическая стабильность, лучшие антиокислительные, моюще-диспергирующие, нейтрализующие и противоизносные свойства. Высокооборотные дизели, смазываемые маслами группы Г<sub>2</sub>, эксплуатируют на дистиллятных топливах с содержанием серы до 0,5 % (мас. доля), а средне- и малооборотные судовые дизели с большим диаметром цилиндра – до 1,5 % (мас. доля).

**Масла М-8Г<sub>2</sub> и М-10Г<sub>2</sub>** получают смешением дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, с композицией присадок. Используют соответственно для зимней и летней эксплуатации автотракторных дизелей без наддува или с невысоким наддувом. Масло М-10Г<sub>2</sub> применяют также для смазывания высокооборотных стационарных дизелей и дизель-генераторов.

**Масла М-8Г<sub>2</sub>к и М-10Г<sub>2</sub>к** отличаются от масел М-8Г<sub>2</sub> и М-10Г<sub>2</sub> только существенно более эффективными композициями присадок, что дает возможность увеличивать сроки замены масла, успешно использовать масла М-8Г<sub>2</sub>к и М-10Г<sub>2</sub>к в современных автомобилях КамАЗ, МАЗ.

**Масло М-14Г<sub>2</sub>к** имеет тот же состав, что и масла Г<sub>2</sub>к. Предназначено для четырехтактных транспортных дизелей. Можно применять вместо масла М-10Г<sub>2</sub>к для летней эксплуатации автотракторных дизелей в регионах с продолжительным и жарким летом.

**Масла М-8Г<sub>2</sub>у и М-10Г<sub>2</sub>у** получают смешением дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, с композицией присадок, отличающейся существенно повышенными и пролонгированными антиокислительными и моюще-диспергирующими свойствами. Предназначены для автотракторных и стационарных дизелей, в которых применяют масла М-8Г<sub>2</sub>к и М-10Г<sub>2</sub>к. Переход на масла марки Г<sub>2</sub>у дает возможность увеличить срок замены масла и элементов фильтров тонкой очистки в 2 раза, сократить расход масла и затраты на техническое обслуживание дизелей, уменьшить вдвое объем отработанных масел, что важно для экологии тех местностей, где нет условий для их утилизации.

В двигателях автомобилей КамАЗ замена масла необходима после пробега 25 – 30 тыс. км.

**Масла группы Д<sub>2</sub>**. Масла группы Д<sub>2</sub> вырабатывают на основе базовых компонентов, получаемых из сернистых нефтей, или с

применением синтетических компонентов. В составах масел группы Д<sub>2</sub> эффективные присадки используют в высоких концентрациях для достижения уровня эксплуатационных свойств, обеспечивающего длительную работоспособность наиболее форсированных двигателей в особо тяжелых эксплуатационных условиях, в частности при применении топлив с повышенным содержанием серы.

**Масла М-8ДМ и М-10ДМ** состоят из смесей дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, и новой композиции присадок, улучшающей антикоррозионные и противоизносные свойства масел марки ДМ. Предназначены соответственно для зимней и летней эксплуатации высокофорсированных дизелей с турбонаддувом, работающих в тяжелых условиях. Могут использоваться в дизелях без наддува со значительно увеличенным пробегом между заменами масла. Обеспечивают надежное смазывание отечественной и импортной техники (карьерные большегрузные самосвалы, промышленные тракторы большой мощности с двигателями водяного или воздушного охлаждения, экскаваторы, бульдозеры, автопогрузчики, трубокладчики).

**Масло М-14ДМ** отличается от масла М-10ДМ большей вязкостью базового масла, но имеет то же назначение. Предпочтительно применение в местностях с жарким продолжительным летом, а также в двигателях, для смазывания которых необходимо масло класса вязкости 14 (SAE 40).

**Масло М-6<sub>3</sub>/14ДМ** состоит из маловязкого базового масла, выработанного из сернистых нефтей и загущенного вязкостной присадкой, и композиции присадок. Это всесезонное масло может применяться круглый год в дизелях с наддувом, эксплуатируемых в тяжелых условиях, вместо двух сезонных масел М-8ДМ и М-10ДМ.

Масло **МТ-5<sub>3</sub>/10Д** готовят путем загущения маловязкого базового масла из сернистых нефтей полимерной вязкостной присадкой и добавления композиции присадок, придающей готовому продукту свойства высокоэффективного дизельного масла, трансмиссионного масла группы ТМ-4 (GL-4 по API) и гидравлической жидкости для гидросистем промышленных тракторов и сельскохозяйственных машин. Применяют всесезонно в регионах с умеренными климатическими условиями как единое моторно-трансмиссионно-гидравлическое масло, обеспечивающее надежное смазывание дизелей с наддувом, включая двигатели воздушного охлаждения, агрегатов тракторных трансмиссий и

гидросистем, управляющих рабочими органами машин. Аналогично импортным маслам, называемым STOU (Super Tractor Oil Universal).

**Масло МТ-4<sub>3</sub>/8ДС** готовят на основе синтетических базовых компонентов и специальной композиции присадок. Используют как всесезонное единое масло для двигателей, агрегатов трансмиссий и гидросистем промышленных тракторов в климатических условиях Севера. Применяют во всех объектах техники, смазываемых маслом МТ-5<sub>3</sub>/10Д при умеренных климатических условиях.

**Масло М-14ДР** состоит из смеси дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, и композиции присадок, придающих маслу повышенную стойкость к старению. Обеспечивает значительное увеличение пробега без замены масла и увеличение срока службы элементов фильтров тонкой очистки по сравнению с маслами М-14Г<sub>2</sub>. Аналогично импортным маслам четвертого поколения.

#### 2.2.4. Синтетические и полусинтетические моторные масла

Синтетические и полусинтетические моторные масла, обладающие по ряду эксплуатационных свойств лучшими, чем нефтяные (минеральные) масла, показателями, находят в настоящее время все большее применение.

Основные показатели нефтяного (минерального) масла и синтетических моторных масел представлены в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Основные показатели синтетических и минеральных моторных масел

Показатели	Минеральное масло	Синтетические масла			
		Дизельные	Полиалкил-гликолевые	Полисил-оксановые	Фторуглеродные
Кинематическая вязкость при 100 °С	2,5	3,2	3,2	3,5	–
Индекс вязкости	70	140...150	135...180	270	500
Температура застывания, °С	–40...–73	–43...–63	–53...–63	–63...–100	–3...–23
Температура вспышки, °С	149	232	193	315	–
Температурный предел работоспособности, °С	220	220	260...3000	250	400...500
Потери на испарение при 100 °С за 22 ч, %	8	0,1	0,1	0,1	0

К достоинствам синтетических и полусинтетических моторных масел относятся:

- значительно более высокий индекс вязкости, чем у минеральных масел аналогичных и даже лучших марок и сортов;

- лучшая вязкостно-температурная характеристика некоторых синтетических масел в зоне отрицательных температур, а также более низкая температура потери подвижности обеспечивают более легкий пуск двигателей при более низких температурах окружающего воздуха;

- меньшая склонность к образованию низкотемпературных отложений способствует нормальной эксплуатации двигателей в районах Крайнего Севера;

- высокие показатели вязкости при рабочих температурах 250 – 300 °С (в 3 – 5 раз выше равновязких им минеральных масел при температуре 100°С) обеспечивают гарантированные условия гидродинамической смазки до более высоких температур и термическую стабильность;

- низкая испаряемость и малая склонность к образованию высокотемпературных отложений позволяют использовать эти масла в высокофорсированных теплонагруженных двигателях и при эксплуатации автомобилей в условиях жаркого климата;

- синтетические масла обеспечивают хорошее состояние двигателя, так как характеризуются лучшими противоокислительными, диспергирующими свойствами и механической стабильностью, равными или лучшими (в зависимости от синтетической основы) противоизносными и противозадирными характеристиками;

- большой срок службы синтетического масла до замены и меньший расход на угар сокращает его эксплуатационный расход на 30 – 40 %;

- применение синтетических моторных масел на 4 – 5% снижает расход топлива благодаря созданию оптимальных условий трения.

Синтетические моторные масла в зависимости от основы бывают дизфирными (при их производстве используются сложные эфиры двухосновных карбоновых кислот), полиалкенгликолевыми, полисилоксановыми, фторуглеродными и хлорфторуглеродными.

Дизфирны, образующиеся при взаимодействии двухосновных кислот с одноатомными спиртами и одноосновных кислот с многоатомными спиртами, применяются при производстве

синтетических масел наиболее часто. Каталитические процессы этерификации при получении диэфира путем взаимодействия себациновой кислоты  $C_8H_{16}$ , вырабатываемой из касторового масла с изооктиловым спиртом  $C_8H_{17}OH$ .

Масла, получаемые на основе диэфиров, превосходят минеральные почти по всем важнейшим эксплуатационным свойствам: имеют более высокие индексы вязкости и низкие температуры застывания, меньшие испаряемость и огнеопасность. В то же время диэфирные масла более агрессивны по отношению к деталям из маслостойкой резины, вызывают набухание и размягчение резиновых прокладок, шлангов и др.

Полиалкенгликоли по своей структуре – простые полиэфиры с длинными цепями, получаемые взаимодействием различных гликолей и других спиртов с окисью этилена, окисью пропилена или их смесями. Молекула полигликоля может содержать одну или несколько свободных гидроксильных групп, замена которых на алкильную эфирную группу приводит к получению эфиров полигликолей. Различные радикалы, вводимые в молекулу полигликоля, влияют на свойства получаемых масел.

Полигликолевые масла, помимо лучших, чем у минеральных, противоизносных свойств, отличаются более пологой вязкостно-температурной характеристикой, более низкой температурой застывания, имеют высокий индекс вязкости, выдерживают высокие рабочие температуры, не провоцируют коррозии металлов, а также, в отличие от эфирных масел, не вызывают набухания и размягчения натуральной и синтетической резины. Широкое применение синтетических масел на полигликолевой основе ограничивается только высокой стоимостью их производства.

Полисилоксаны (силиконы) – полимерные кремнийорганические соединения, находящие все более широкое применение в качестве специальных смазочных масел и жидкостей. В их основе лежит цепочка из чередующихся атомов кремния и кислорода. Углеводородные и другие органические радикалы различного строения закрывают боковые цепи атомов кремния. Практическое применение в качестве смазочных масел имеют полимеры с метильными радикалами (метилполисилоксаны) и этильными радикалами (этилполисилоксаны).

Полисилоксаны отличаются низкой температурой застывания, имеют пологую вязкостно-температурную кривую, термостабильны. Эти масла и масла на их основе химически инертны, не вызывают

коррозию стали, чугуна, меди, латуни, бронзы, свинца и других металлов даже при нагревании до температуры 150°C. Однако у масел этой группы низкая смазывающая способность и противоизносные свойства, которые несколько улучшаются введением присадок. Поэтому полисилоксаны более перспективны в качестве рабочих жидкостей в гидравлических системах и гидроамортизаторах, а также для изготовления пластичных смазок.

Фторуглеродные масла получают путем замены в углеводородах всех атомов водорода фтором, а хлорфторуглеродные масла – путем замены атомов водорода частично хлором, а частично фтором.

Фторуглеродные масла обладают хорошими смазочными свойствами. Высокие термическая и химическая стабильность, инертность к кислотам и щелочам, минимальная коррозионная агрессивность позволяют использовать их в узлах трения, работающих при высоких температурах в атмосфере химически активных веществ. Однако низкая температура кипения и высокая температура замерзания при очень крутой вязкостно-температурной кривой исключают их применение в качестве моторных масел.

Хлорфторуглеродные масла характеризуются более высокой температурой кипения, лучшими вязкостно-температурными свойствами и смазывающей способностью, но несколько худшими термической и химической стабильностью.

Синтетические масла объединяют в себе свойства самых маловязких зимних и вязких летних классов (SAE 5W-50 и SAE 0W-40) и имеют обозначение Fully Synthetic, что переводится как «полностью синтетическое». Стоимость синтетических моторных масел в среднем в 2 – 3 раза выше минеральных. Тем не менее, применение их целесообразно не только с эксплуатационной точки зрения, но и с экономической, так как они обладают большим сроком службы в двигателях до замены и меньшим расходом на угар.

Полусинтетические моторные масла – это минеральные масла, улучшенные благодаря специальной технологии очистки и содержащие синтетические добавки или 30 – 40% синтетической основы (SAE 10W-30 и SAE 10W-40). Обозначаются они как Semi-Synthetic. Такие масла обладают лучшими эксплуатационными свойствами и, дороже минеральных, однако дешевле полностью синтетических.

Переход на хорошо очищенные минеральные, полусинтетические и синтетические масла облегчает пуск двигателя при низких (до –40

°С) температурах и экономит 2 – 5 % топлива за счет снижения потерь на трение в гидродинамическом режиме смазки.

## 2.3 Трансмиссионные масла

### 2.3.1 Назначение трансмиссионных масел и условия их работы

Двигатель автотракторного средства вырабатывает механическую энергию, снимаемую с коленчатого вала. Затем крутящий момент необходимо передать к ведущим колёсам или другим потребителям при этом. Эту задачу выполняет силовая передача (трансмиссия).

Энергетические потери в трансмиссии составляют до 20 % всей потребляемой мощности двигателя. В зависимости от назначения того или иного узла трансмиссии на автотракторной технике применяют различные способы передачи и преобразования крутящего момента:

1. *Зубчатые передачи.* Используются наиболее широко. Передаваемые параметры (крутящий момент и частота вращения) определяют типы зубчатых передач:

- цилиндрические прямозубые и косозубые;
- реечные;
- конические;
- червячные цилиндрические;
- глобоидные (глобоидальные).

Наиболее ответственными узлами агрегатов механических трансмиссий являются шестерёночные (зубчатые) передачи различной конструкции.

Широко используют цилиндрические передачи с параллельными осями ведущего и ведомого валов. Такие устройства имеют ряд преимуществ – большие передаточные числа, надёжность и долговечность. Недостаток – повышенная шумность. Поэтому при малых нагрузках применяют прямозубые шестерни, при больших – косозубые.

При необходимости передачи крутящего момента под углом, когда оси ведущего и ведомого валов пересекаются, применяют конические передачи с прямыми, косыми и криволинейными зубьями.

Червячные передачи представляют собой компактные редукторы со скрещивающимися осями. Бесшумны. Передают большие

крутящиеся моменты при относительно невысоких напряжениях, т. е. одновременно контактируют несколько зубьев.

Гипоидная (гиперболоидная) – вид винтовой зубчатой передачи, осуществляемый двумя коническими колесами со скрещивающимися, смещенными друг относительно друга осями. Нагрузочная способность гипоидных передач выше, чем в других передачах со скрещивающимися осями, благодаря линейному контакту и увеличению числа зубьев, находящихся в зацеплении. Отличаются плавной и бесшумной работой из-за хорошего притирания сопряженных поверхностей. Недостаток – повышенная опасность заедания как следствие скольжения контактирующих поверхностей с большими относительными скоростями вдоль линии контакта.

Условия работы зубчатых передач характеризуются высокими нагрузками в зоне контакта зубьев, относительно большими скоростями взаимного перемещения трущихся поверхностей и значительными температурами в зоне контакта.

Большинство зубчатых передач этих видов смазывается способом погружения механизма и последующим разбрызгиванием масла.

Рабочая температура масла в картере агрегата трансмиссии зависит от количества энергии, выделяемой при трении зубьев передач, температуры окружающего воздуха, вязкости масла, его уровня в картере и других факторов.

Минимальная температура масла определяется температурой окружающего воздуха в момент начала работы агрегата.

Средняя температура поддерживается на протяжении времени работы агрегата. Для большей части современных автомобилей в умеренной климатической зоне она достигает 120 – 130°C, а иногда до 150°C.

Максимальная температура устанавливается при экстремальных режимах и может достигать 200°C.

Температурный диапазон применения масел для гидромеханических передач шире, чем у механических. Начальная температура равна наружной. При работе, в моменты сцепления фрикционных дисков, температура их на поверхности составляет 200 – 300°C, при непродолжительных скачках до 350 – 550°C. Средние, рабочие температуры масел поднимаются до 150°C и выше.

Для обеспечения работы трансмиссии разработан класс смазочных материалов – трансмиссионные масла (ТМ).

Вышеизложенные условия работы узлов и агрегатов трансмиссии определяют предъявляемые к трансмиссионным маслам требования:

- предотвращать или уменьшать износ рабочих поверхностей зубьев шестерен и других высоконагруженных деталей;
- уменьшать потери на трения и обеспечивать высокий КПД зубчатых передач;
- хорошо отводить тепло и удалять с трущихся поверхностей продукты износа и механические примеси;
- обеспечивать работу поверхностей деталей механизмов трансмиссий без коррозии;
- не вспениваться;
- не изменять в процессе работы своих первоначальных свойств;
- обеспечивать плавное трогание машины при различных температурах окружающей среды.

Противоизносные и противозадирные свойства трансмиссионных масел являются основной их характеристикой. Они обеспечиваются высокой смазывающей способностью, при которой на трущихся поверхностях зубьев шестерен создается прочная пленка, благодаря наличию поверхностно-активных веществ, содержащихся в наибольшем количестве в высокосмолистых остаточных нефтепродуктов, из которых получают трансмиссионные масла. Для повышения противозадирных свойств в масла вводят специальные присадки, включающие соединения хлора, фосфора, серы и цинка. Эти вещества при большом давлении и высокой температуре образуют пленки оксидов, предохраняющие металл от схватывания в точках контакта.

С понижением температуры вязкость трансмиссионных масел резко увеличивается. Поэтому в зимнее время допускаются большие потери мощности в механизмах трансмиссии. Важным показателем, характеризующим пригодность трансмиссионного масла для применения в зимних условиях, является температура застывания. Для понижения температуры застывания широко применяется присадка – депрессор АзНИИ, которую добавляют в количестве 0,2 – 0,5%.

В трансмиссионных маслах не допускается содержание водорастворимых кислот и щелочей. Наличие серы в масле улучшает противоизносные и противозадирные свойства.

Важным эксплуатационным свойством трансмиссионного масла является не вспениваемость. В трансмиссионных маслах не допускается содержание воды и абразивных механических примесей.

### 2.3.2 Свойства трансмиссионных масел

**Вязкостно-температурные свойства** трансмиссионных масел непосредственно связаны со снижением потерь энергии на преодоление трения. Это обратная связь: чем меньше вязкость, тем больше КПД трансмиссии, который вообще-то весьма низок. Если 25% так называемой полезной мощности двигателя поступает к трансмиссии без учета потерь, то в общей системе агрегатов трансмиссии за счет собственных потерь в агрегатах эта мощность, передаваемая ведущим колесам, снижается уже до 12%. Однако стремление к применению масла низкой вязкости сдерживается необходимостью обеспечения высокой несущей способности масляной пленки и возможностью утечек маловязкого масла через уплотнения.

Применение качественных конструкционных материалов и совершенствование конструкций агрегатов трансмиссий позволило основным видам трения определить граничное, при котором вязкость масла теряет свое первостепенное значение. А снижение вязкости масла улучшает условия смазки в период начала движения при низких температурах.

Наиболее худшие температурные условия работы масла в ведущих мостах, ввиду интенсивного их охлаждения потоком встречного воздуха.

**Низкотемпературная вязкость** трансмиссионного масла выражается несколькими характеристиками:

- вязкость при наиболее низкой температуре, обеспечивающая работу трансмиссии в холодное время;
- вязкость при наиболее низкой температуре, обеспечивающая перекачку масла без подогрева;
- вязкость при низкой температуре и низкой скорости сдвига;
- условная низкотемпературная вязкость при низкой скорости сдвига.

**Высокотемпературная вязкость** выражается несколькими характеристиками:

- кинематической вязкостью при низкой скорости сдвига;

– кинематической вязкостью при высокой температуре и высокой температуре и высокой скорости сдвига, определяемая при 150°C и скорости сдвига 106 с<sup>-1</sup>;

– сдвиговой стабильностью, или способностью масла выдерживать стабильную вязкость при продолжительном действии высокой деформации сдвига.

Вязкость масла уменьшается при повышении температуры. Величина вязкости всецело определяется его групповым углеводородным и фракционным составом.

**Низкотемпературные свойства** трансмиссионного масла определяются температурой застывания. Это критическая точка, ниже которой масло теряет подвижность и не может выполнять функции смазывания.

Температурный режим трансмиссионных масел тяжелый. Рабочая температура агрегатов трансмиссии достигает 150°C и выше, а температура старта автомобиля может быть низкой, в зависимости от температуры окружающей среды. При высокой температуре масло должно быть достаточно вязким для поддержания прочности высоконагруженной масляной пленки. Индекс вязкости масел должен быть высоким. Повышение индекса вязкости путем введения полимерных загустителей для трансмиссионных масел не всегда приемлемо ввиду высоких деформаций сдвига в нагруженных элементах передач. Для повышения индекса вязкости высококачественных масел применяются минеральные базовые масла гидрокрекинга или синтетические.

По минимальной температуре масла определяют предельное значение вязкости, обеспечивающее пуск механизма без подогрева масла. Это значение устанавливается экспериментально для каждого вида трансмиссии и мощности двигателя. Для автомобильных трансмиссий предельное значение вязкости составляет 4500 П.

Средняя эксплуатационная температура позволяет выбрать вязкость масла с минимальными потерями энергии на трение.

Для автомобильных трансмиссий максимальная рабочая вязкость, не вызывающая значительных затрат на трение, составляет 10 – 20 П.

В гидромеханических трансмиссиях масло движется с большой скоростью (80 – 100 м/с) в узких каналах между лопатками насосного и направляющего колес и турбины. Для снижения энергетических затрат на преодоление внутреннего трения вязкость

масла должна быть возможно более низкой во всем диапазоне рабочих температур. Практически вязкость масел для гидромеханических трансмиссий должна быть 4 – 8 сСт.

Максимальная температура масла предопределяет выбор минимально допустимой вязкости для предотвращения значительных утечек через неплотности агрегатов трансмиссии. Если вязкость масла в автомобильных трансмиссиях не ниже 25 – 30 сСт, заметной утечки масла не происходит. Нижний предел вязкости масла для гидромеханических трансмиссий (который составляет 3 – 5 сСт) устанавливают по соображениям возникновения кавитации и подтекания масла через уплотнения.

По максимальному и минимальному значениям вязкости масла для агрегатов трансмиссий и кривой зависимости вязкости от температуры можно определить температурную область применения данного масла. Чем шире эта область, тем лучше эксплуатационное свойство масла.

Таким образом, вязкость трансмиссионных масел является комплексным показателем и характеризует поведение масла, как при температуре установившегося режима работы, так и при запуске холодного автомобиля. Она характеризуется двумя показателями:

- **кинематической вязкостью** при рабочей температуре в сСт при 100 °С.

- **минимальной температурой работоспособности масла**, ниже которой динамическая вязкость масла превышает 150 Па·с и не обеспечивает надежное смазывание трансмиссии.

**Термостабильность и стойкость к окислению.** В период работы зубчатых передач, подшипников и других узлов трансмиссий наблюдается повышение температуры масла за счет трения и перемешивания. Эта температура может достигать 150°С, а при экстремальных режимах и в агрегатах большегрузных многоосных машин и до 200 °С. При такой температуре происходит окисление масел и образование нерастворимых соединений, выпадающих в осадок. Кроме того, окисление масла вызывает изменение других физико-химических и эксплуатационных свойств (увеличение вязкости, кислотности, ухудшение противозносных свойств и др.)

Скорость и глубина окисления масла, кроме температуры, зависят от длительности окисления, каталитического действия металла, концентрации кислорода в воздухе.

Процессы окисления замедляются действием присадок, связывающих кислород воздуха, с образованием безвредных соединений, или препятствующих взаимодействию компонентов масла с кислородом. Окисление ускоряется при повышении температуры, увеличении доступа кислорода при перемешивании с воздухом, каталитическом воздействии ионов металлов (особенно цветных), механическом напряжении при большой скорости сдвига и др.

**Антикоррозионные свойства.** Коррозия металлов является основной причиной преждевременного разрушения конструкционных материалов трансмиссии. Коррозия сопровождает процессы образования отложений и изнашивания деталей механизмов. В конечном результате коррозия снижает эффективность и надежность техники, ухудшает эксплуатационные свойства масла.

Трансмиссионные масла должны исключать коррозию не только в процессе работы машины, но и в нерабочем состоянии.

Коррозионная стойкость масел оценивается методикой в условиях переменного контактирования с воздухом. Результат коррозии оценивается потерей массы испытуемой пластинки металла относительно ее поверхности в  $г/м^2$  в заданных условиях испытания.

Хорошими антикоррозионными свойствами обладают присадки, содержащие сульфонат кальция, окисленный петролатум, нейтрализованные нитрованные масла.

**Склонность к пенообразованию** – процесс образования пены при интенсивном перемешивании и взбалтывании работающего масла. Пена ухудшает смазывающие и защитные свойства масла, ускоряет окисление, уменьшает производительность масляного насоса. Интенсивность пенообразования и стабильность пены зависит от химического состава масла, вязкости, поверхностного натяжения, наличия присадок, условий эксплуатации и др. При повышении температуры и уменьшении плотности масла интенсивность пенообразования повышается, но стабильность пены уменьшается.

Меньше пенятся масла низкой вязкости. Моющие, вязкостные, противоизносные, антикоррозионные присадки усиливают пенообразование. Пенообразование проявляется как в моторных, так и в трансмиссионных маслах и гидравлических жидкостях. Причина пенообразования трансмиссионных масел при высоких оборотах шестерен - интенсивное перемешивание с воздухом.

### 2.3.4. Классификация трансмиссионных масел

Масла для силовых передач классифицируют согласно ГОСТ 17479.2-85 «Обозначение нефтепродуктов. Масла трансмиссионные».

В обозначении трансмиссионных масел, как и моторных, указывают их принадлежность к классам и группам в зависимости от их вязкостных и эксплуатационных свойств. Вначале две буквы «ТМ» определяют вид масла – трансмиссионное масло. Цифра, следующая через дефис за обозначением вида, характеризует группу эксплуатационных свойств. Группы различают по присадкам, добавляемым в минеральное масло и характеристикам областей применения (тип передач, рабочие температуры и контактные напряжения). Затем, через дефис, указывают класс вязкости (табл. 2.4). В зависимости от уровня кинематической вязкости при 100°С трансмиссионные масла разделяют на четыре класса.

Таблица 2.4 – Классы трансмиссионных масел

Класс вязкости	Кинематическая вязкость при 100°С, мм <sup>2</sup> /с	Температура, при которой динамическая вязкость не превышает 150 Па·с, не выше
9	6,00 – 10,99	–35
12	11,00 – 13,99	–26
18	14,00 – 24,99	–18
34	25,00 – 41,00	–

В соответствии с классом вязкости ограничены допустимые пределы кинематической вязкости при 100°С и отрицательная температура, при которой динамическая вязкость не превышает 150 Па·с. Эта вязкость считается предельной, так как при ней еще обеспечивается надежная работа агрегатов трансмиссий.

В зависимости от эксплуатационных свойств и возможных областей применения масла для трансмиссий автомобилей, тракторов и другой мобильной техники отнесены к пяти группам: ТМ-1 – ТМ-5.

**Маркировка масел** состоит из следующих знаков: первая группа знаков состоит из букв ТМ (трансмиссионное масло), вторая обозначается цифрами и характеризует принадлежность масла к группе эксплуатационных свойств, третья группа обозначается цифрами, характеризующими класс вязкости. Применяются

уточняющие обозначения: «З» - содержит загущающую присадку, «К» - консервационное, «РК» - рабочее консервационное масло.

Пример маркировки: **ТМ-5-12РК** - масло трансмиссионное пятой группы по эксплуатационным свойствам, 12 класса вязкости, одновременно является рабочеконсервационным.

### **2.3.5. Международные классификации трансмиссионных масел**

**Классификация по вязкости.** Для классификации трансмиссионных масел по вязкости наибольшее распространение и признание в мире получила система, разработанная Американским Обществом Автомобильных Инженеров - SAE. Она описывается стандартом SAE J306 «Классификация вязкости трансмиссионных масел для ведущих мостов и механических коробок передач». Вязкость масла выражается в условных единицах – степенях вязкости по SAE.

Информация о рекомендованных к применению вязкостях трансмиссионных масел заносится в руководство по обслуживанию автомобиля, на основании которого пользователь выбирает соответствующий продукт в ассортименте смазочных материалов.

Вязкость трансмиссионного масла должна выбираться с учетом наибольшей и наименьшей температур окружающей среды, при которых планируется эксплуатация автомобиля. Исходя из этих соображений классификация SAE J306 основана на показателях низкотемпературной и высокотемпературной вязкостей.

**Показатель низкотемпературной вязкости** оценивается путем определения температуры, при которой вязкость масла достигает значения 150000 сР. Это значение используется для определения низкотемпературных свойств трансмиссионных масел, выбрано по результатам серии реальных испытаний на мостах различной конструкции. Эти тесты показали, что при вязкости трансмиссионных масел более 150000 сР наблюдались разрушения подшипников вала-шестерни. Следует отметить, что подобные разрушения могут наблюдаться и при меньших вязкостях, в зависимости от конструкции мостов.

Требования к низкотемпературной вязкости масла, обеспечивающей бесперебойное переключение передач, в механических КПП значительно выше.

**Показатель высокотемпературной вязкости** оценивается на основе значения кинематической вязкости масла при температуре 100°С. Значение кинематической вязкости при высокой

температуре позволяет косвенно судить о величине нагрузочной способности защитной масляной пленки и ее достаточности для защиты передач в режиме высоких рабочих температур и нагрузок.

Степени вязкости SAE являются условными символами, которые до последней редакции стандарта классифицировали трансмиссионные масла только на основе значений вязкости. С июля 1998 года в стандарте J308 впервые было введено требование по стабильности высокотемпературных вязкостных характеристик.

#### **Требования маркировки по вязкости.**

По аналогии с классификацией моторных масел, степени вязкости трансмиссионных масел можно разделить на условные ряды:

- зимний ряд: SAE 70W, 75W, 80W, 85W;
- летний ряд: SAE 80, 85, 90, 140, 250.

Условность такого деления объясняется конструктивными особенностями агрегатов трансмиссий различных производителей. В зависимости от рабочих температур масла и нагрузок существуют агрегаты (механические коробки передач легковых автомобилей), для которых масла зимнего ряда будут обеспечивать достаточную степень защиты в широком диапазоне внешних температур. Нередки случаи рекомендации всесезонного использования масел зимнего ряда.

Последняя редакция стандарта SAE J306 включает раздел с требованиями по маркировке. Согласно данным требованиям, трансмиссионные масла должны маркироваться по следующим принципам:

- одна степень зимнего ряда W (например, SAE 75W);
- одна степень летнего ряда (например, SAE 85);
- комбинация из двух степеней, зимнего W и летнего ряда (SAE 75W-85).

Маркировка с двумя зимними степенями исключается (например, ранее были допустимы следующие обозначения: SAE 75W-80W, SAE 75W-85W, SAE 80W-85W и т.п.). Степени вязкости SAE 80 и SAE 85 являются новыми и впервые введены в классификацию.

Дополнительные степени вязкости и новые требования по маркировке вынуждают поставщиков смазочных материалов более четко определять уровень вязкостных свойств, а производитель трансмиссии получает возможность более четко сформулировать свои рекомендации. Например: SAE 80W (для эксплуатации в зимнее время); SAE 80 (для эксплуатации в летнее время); SAE 80W-80 (для всесезонной эксплуатации).

Учитывая диапазон условных значений, используемых для обозначения вязкости моторных масел (от 0 до 60), для обозначения степеней вязкости трансмиссионных масел выбраны значения из диапазона от 70 до 250. Это сделано во избежание возможных ошибок при выборе масла на основе вязкости.

**Классификация по назначению.** Единой системы классификации трансмиссионных масел по эксплуатационным свойствам, качеству и назначению нет. Общеизвестной во всем мире является система классификации API масел для механических трансмиссий. По этой системе масла обозначаются знаком класса API GL. Имеются пять классов от API GL-1 до API GL-5 и несколько проектных. В Европе применяется классификация ZF TE-ML («Zahnradfabrik Friedrichshafen»), которая охватывает все масла, включая жидкости для гидромеханических передач.

**Система классификации API.** По системе API GL масла подразделяются на классы качества. Основными признаками классификации являются конструкция и условия работы передачи, дополнительными признаками содержание противоизносных и противозадирных присадок.

Классы качества по API.

*API GL-1.* Масла для передач, работающих в легких условиях. Состоят из базовых масел без присадок. Иногда добавляются в небольшом количестве антиокислительные присадки, ингибиторы коррозии, легкие депрессорные и противопенные присадки. Предназначены для спирально-конусных, червячных передач и механических коробок передач (без синхронизаторов) грузовых автомобилей и сельскохозяйственных машин.

*API GL-2.* Масла для передач, работающих в условиях средней тяжести. Содержат противоизносные присадки. Предназначены для червячных передач транспортных средств. Обычно применяются для смазывания трансмиссии тракторов и сельскохозяйственных машин.

*API GL-3.* Масла для передач, работающих в условиях средней тяжести. Содержат до 2,7 % противоизносных присадок. Предназначены для смазывания конусных и других передач грузовых автомобилей. Не предназначены для гипоидных передач.

*API GL-4.* Масла для передач, работающих в условиях разной тяжести: от легких до тяжелых. Содержат 4,0 % эффективных противозадирных присадок. Предназначены для конусных и гипоидных передач, имеющих малое смещение осей, для коробок передач грузовых автомобилей, для агрегатов ведущего моста. Масла API GL-4 предназначены для несинхронизированных

коробок передач североамериканских грузовых автомобилей, тягачей и автобусов (коммерческих автомобилей), для главных и других передач всех автотранспортных средств. В настоящее время эти масла являются основными и для синхронизированных коробок передач, особенно в Европе. В таком случае на этикетке или в листе данных масла должны быть надписи о таком предназначении и подтверждение о соответствии требованиям производителей машин.

*API GL-5.* Масла для наиболее загруженных передач, работающих в суровых условиях. Содержат до 6,5 % эффективных противозадирных и других многофункциональных присадок. Основное предназначение - для гипоидных передач, имеющих значительное смещение осей. Применяются как универсальные масла для всех других агрегатов механической трансмиссии (кроме коробки передач). Для синхронизированной механической коробки передач применяются только масла, имеющие специальное подтверждение о соответствии требованиям производителей машин. Могут применяться для дифференциала повышенного трения, если соответствуют требованиям спецификаций MIL-L-2105D (в США) или ZF TE-ML-05 (в Европе). Тогда обозначение класса имеет дополнительные знаки, например, API GL-5+ или API GL-5 SL.

*API GL-6.* Масла для наиболее загруженных передач, работающих в очень тяжелых условиях (большие скорости скольжения и значительные ударные нагрузки). Содержат до 10 % высокоэффективных противозадирных присадок. Предназначены для гипоидных передач со значительным смещением осей. Соответствуют наивысшему уровню эксплуатационных свойств. В настоящее время класс GL-6 больше не применяется, так как считается, что класс API GL-5 достаточно хорошо удовлетворяет наиболее строгим требованиям.

#### **Новые классы API.**

*API MT-1.* Масла для высоконагруженных агрегатов. Предназначены для несинхронизированных механических коробок передач мощных коммерческих автомобилей (тягачей и автобусов). Эквивалентны маслам API GL-5, но обладают повышенной термической стабильностью.

*API PG-2 (проект).* Масла для передач ведущих мостов мощных коммерческих автомобилей (тягачей и автобусов) и мобильной техники. Эквивалентны маслам API GL-5, но обладают

повышенной термической стабильностью и улучшенной совместимостью с эластомерами.

Для механических коробок передач (кроме гипоидных) в основном применяются масла API GL-3 и API GL-4. Для гипоидной главной передачи: API GL-4 - для средненагруженных передач и API GL-5 - для сильнонагруженных передач, в том числе гипоидных со значительным смещением осей. Нефтекомпании выпускают универсальные масла, предназначенные одновременно как для коробки передач с синхронизаторами, так и для сильнонагруженных гипоидных передач.

**Система классификации ZF**, которая является одной из крупнейших и влиятельных в Европе компаний по производству передач и силовых агрегатов транспортных средств. Компания создала систему классификации всех видов автотранспортных передач. Каждый вид имеет свой список смазочных материалов. Эти списки обозначаются инициалами и цифрами от ZF TE-ML 01 до ZF TE-ML 14. В списках для каждого вида передач перечисляются:

- виды и классы качества смазочных материалов;
- классы вязкости;
- допущенные к применению продукты с указанием марки и производителя.

Европейские производители масел стараются получить апробацию ZF. Эта система классификации в Европе становится основной.

*ZFTE-ML01*. Назначение: механические несинхронизированные коробки передач коммерческих автомобилей с включением всех передач при помощи зубчатых муфт.

При использовании многофункциональных трансмиссионных масел базовое масло должно содержать не более чем 2 % растворимых присадок (модификатора индекса вязкости, депрессанта температуры застывания и др.) помимо противозадирных (EP) присадок.

*ZF TE-ML 02*. Назначение: механические и автоматические трансмиссии грузовых автомобилей и автобусов (Ecolite, Ecomid, Ecosplit, Transmatic, AS TRONIC).

Апробированные классы ZF TE-ML 02:

- ZF TE-ML 02A - масла для передач, классы API GL-4, MILL-2105; вязкость SAE 80W / 80W-85 / 80W-90;

- ZF TE-ML 02B - масла для передач, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13019; вязкость SAE 80W /80W-85 / 80W-90 / 75W-80 / 75W-85 / 75W-90;

- ZF TE-ML 02C - сезонные моторные масла, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13020; вязкость SAE 30 / 40;

- ZF TE-ML 02D - масла для передач, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13010 (базовое масло полусинтетическое или синтетическое); вязкость SAE 75W-80/75W-85 / 75W-90;

- ZF TE-ML 02F - жидкости для автоматической коробки передач (ATF), соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13015 и специальным требованиям.

*ZF TE-ML 102 «Long Drain» (проект).* Назначение: как и ZF TE-ML 02, только масло дополнительно проверяется на продленный интервал замены до 300000 км.

*ZF TE-ML 03.* Назначение: гидротрансформаторы (англ. torque converter, нем. Wandlergetriebe) мобильных рабочих машин.

*ZF TE-ML 04.* Назначение: судовые трансмиссии.

*ZF TE-ML 05.* Назначение: ведущие мосты внедорожной мобильной техники.

Апробированные классы ZF TE-ML 05:

- ZF TE-ML 05A - масла для передач, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13011 (базовое масло минеральное или полусинтетическое); вязкость SAE 75W-90 / 75W-140 / 80W-90 / 80W-140 / 85W-90 / 85W-140 / 90;

- ZF TE-ML 05B - масла для передач, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13011 (базовое масло синтетическое); вязкость SAE 75W-90 / 75W-140;

- ZF TE-ML 05C - масла для передач, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13011, с присадками ограниченного скольжения (базовое масло минеральное); вязкость SAE 75W-90 / 75W-140 / 80W-90 / 80W-140 / 85W-90 / 85W-140 / 90;

- ZF TE-ML 05D - масла для передач, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13011, с присадками ограниченного скольжения, (базовое масло синтетическое); вязкость SAE 75W-90 / 75W-140.

*ZF TE-ML 06.* Назначение: трансмиссия и гидравлические навесные системы тракторов.

Апробированные классы ZF TE-ML 06:

- ZF TE-ML 06A - моторные масла (API CD/CE/CF-4/CF/CG-4/SF/SG/SH/SJ или ACEA категории A/B/E);

- ZF TE-ML 06B – «суперуниверсальные» тракторные масла (STOU), соответствующие требованиям стандарта Концернa ZFN 13022 (тест тормозов); вязкость SAE 10W-30 / 10W-40 / 15W-30 / 15W-40 / 20W-40;

- ZF TE-ML 06C – «суперуниверсальные» тракторные масла (STOU), соответствующие требованиям стандарта Концернa ZFN 13022 (тест тормозов); вязкость SAE 10W-30 / 10W-40 / 15W-30 / 15W-40 / 20W-40.

*ZF TE-ML 07.* Назначение: гидрообъемный или механический приводы, системы электрических приводов (передачи, переключаемые под нагрузкой), привод мобильной мешалки (mobile mixer drives), передачи подъемных механизмов, приводы поворотных механизмов.

Апробированные классы ZF TE-ML 07:

- ZF TE-ML 07A - масла для передач, соответствующие требованиям стандарта Концернa ZFN 13016; вязкость SAE 80W-85 / 80W-90 / 80W-140 / 85W-90 / 85W-140 / 90; наряду с этими маслами допускаются к применению масла по спецификациям API GL-5 и MIL-L-2105D или MIL-PRF-2105E; вязкость SAE 80W-85 / 80W-90 / 80W-140 / 85W-90 / 85W-140/90;

- ZF TE-ML 07B – «суперуниверсальные» тракторные масла (STOU), соответствующие требованиям стандарта Концернa ZFN 13022; вязкость SAE 10W-30 / 10W-40 / 15W-30 / 15W-40 / 20W-40;

- ZF TE-ML 07C - моторные масла, соответствующие требованиям стандарта Концернa ZFN 13012; вязкость SAE 10W-30 / 10W-40 / 15W-30 / 15W-40;

- ZF TE-ML 07D - моторные масла API CD/CE/CF-4/CF/CG-4/SF/SG/SH/SJ или ACEA категории A/B/E;

*ZF TE-ML 08.* Назначение: системы рулевого управления ZF (без гидроусилителя) легковых и грузовых автомобилей, автобусов и внедорожной мобильной техники.

*ZF TE-ML 09.* Назначение: системы рулевого управления ZF (с гидроусилителем и масляным насосом) легковых и грузовых автомобилей, автобусов и внедорожной мобильной техники.

Апробированные классы ZF TE-ML 09:

- ZF TE-ML 09A - жидкости для автоматической коробки передач (ATF);

- ZF TE-ML 09B - жидкости для автоматической коробки передач (ATF).

*ZF TE-ML 10.* Назначение: механизмы типа «Transmatic» легковых и коммерческих автомобилей (с гидротрансформатором с

блокирующей фрикционной муфтой - WSK (англ. torque converter lock-up clutch, нем. Wandlerschaltkupplung)).

*ZF TE-ML 11.* Назначение: коробки передач легковых автомобилей ручного управления и автоматические.

Апробированные классы ZF TE-ML 11:

- ZF TE-ML ПА - жидкости для автоматической коробки передач (ATF);

- ZF TE-ML 11B - жидкости для автоматической коробки передач (ATF).

*ZF TE-ML 12.* Назначение: мосты легковых и коммерческих автомобилей и автобусов.

Апробированные классы ZF TE-ML 12:

- ZF TE-ML 12A - минеральные или полусинтетические масла для передач, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13016; вязкость SAE 75W-90 / 75W-140 / 80W-90 / 80W-140 / 85W-90 / 85W-140 / 90;

- ZF TE-ML 12B - синтетические масла для передач, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13016; вязкость SAE 75W-90 / 75W-140;

- ZF TE-ML 12C - минеральные масла для передач, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13016 с присадками ограниченного скольжения; вязкость SAE 75W-90 / 75W-140 / 80W-90 / 80W-140 / 85W-90 / 85W-140 / 90;

- ZF TE-ML 12D - синтетические масла для передач, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13016 с присадками ограниченного скольжения; вязкость SAE 75W-90 / 75W-140;

*ZF TE-ML 13.* Назначение: агрегаты ZF в специальных транспортных средствах НАТО (колесные и гусеничные машины).

*ZF TE-ML 14.* Назначение: автоматические коробки передач коммерческих автомобилей (Ecomat).

Апробированные классы ZF TE-ML 14:

- ZF TE-ML 14A - жидкости для автоматической коробки передач (ATF) на основе минерального базового масла, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFNM 13015;

- ZF TE-ML 14B - жидкости для автоматической коробки передач (ATF) на основе полусинтетического базового масла, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13015;

- ZF TE-ML 14C - жидкости для автоматической коробки передач (ATF) на основе синтетического базового масла, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN Я 13015.

Рекомендованные альтернативные масла из ассортимента масел для легковых автомобилей:

- ZF TE-ML 14D - жидкости для автоматической коробки передач (ATF) на основе минерального базового масла, соответствующие требованиям стандарта Концерна ZFN 13015.

*ZF TE-ML 15.* Назначение: тормозные системы специальных транспортных средств НАТО.

Трансмиссионные масла без присадок в последние годы производят и применяют чрезвычайно редко (для устаревших видов техники), и выработку таких масел осуществляют по специальным заказам покупателей. Так, на некоторых нефтеперерабатывающих заводах продолжается выпуск вязкого остатка от прямой перегонки нефти: нафтенового основания. Продукт реализуют под старым торговым названием Нигрол. Выпускают 2 вида Нигрола – зимний и летний, различающиеся между собой уровнем вязкости и температурами вспышки и застывания. Рассматривая рыночный ассортимент трансмиссионных масел сегодняшнего дня, следует, прежде всего, отметить его заметное сокращение. Так, совершенно перестали вырабатывать старые, хорошо известные масла АК-15, ТС-14,5, сократились объемы производства ранее широко используемых масел ТАп -15В, ТЭп-15 и др. Объясняется это значительным сокращением в эксплуатации старых автомобилей, тракторов, экскаваторов и других видов транспортных, строительных и сельскохозяйственных технических средств. В то же время нельзя не заметить появления на нефтяном рынке страны различных зарубежных трансмиссионных масел аналогичного назначения, которые в ряде случаев успешно конкурируют с маслами отечественного производства. Тем не менее, ряд маловязких, низкозастывающих масел специального назначения продолжают вырабатывать и успешно реализуют в сложных условиях современного рынка.

#### **Зарубежные трансмиссионные масла**

Ассортимент трансмиссионных масел в основном состоит из четырех эксплуатационных групп с условными названиями:

1. Для механической коробки передач (API GL-4);
2. Для заднего моста и гипоидной передачи (API GL-5);
3. Для автоматической коробки передач (ATF);
4. Для гидравлических механизмов и систем.

Для удовлетворения особенностей конструкций некоторых автомобилей имеются дополнительные сорта масел:

- для пятиступенчатой коробки передач;

- для самоблокирующегося дифференциала повышенного трения (API GL-5 LS);
- для тракторов и мобильных рабочих машин;
- для несинхронизированных коробок передач грузовых автомобилей (API MT-1);
- для трансмиссий некоторых моделей автомобилей «Citroen», BMW, VW, Ford и др.

Классификация масел на эксплуатационные группы облегчает составление торгового ассортимента с целью удовлетворения потребностей покупателей с наименьшим рациональным набором масел.

В описаниях марок масел выделяются особенности, которые могут оказать влияние на выбор масла покупателем:

- универсальные для всех видов механических передач;
- синтетические масла;
- масла продленного интервала замены;
- энергосберегающие масла;
- биологически разлагаемые масла и др.

**Масла для механической коробки передач легковых автомобилей.** Применяются в механических узлах и агрегатах трансмиссий, которые не предъявляют повышенных требований к устойчивости при высоких нагрузках.

Применяют в передачах, которые чувствительны к увеличению вязкости при низкой температуре (пятиступенчатые коробки передач, дифференциалы повышенного трения). Они не заменимы в условиях холодного климата. Синтетические масла обеспечивают хорошее смазывание при больших скоростях вращения передач. Они, как правило, энергосберегающие с продленным интервалом замены. Их цена намного превышает цену минеральных трансмиссионных масел.

Большинство механических коробок передач состоят из системы цилиндрических зубчатых колес и синхронизаторов. Зубчатые передачи сильно нагружены, и для снижения износа предпочтительнее применять вязкие масла с противоизносными присадками. Для работы синхронизаторов вязкость масла должна быть низкой. Кроме того, синхронизаторы изготавливаются из медных сплавов, поэтому противозадирные присадки могут вызывать их коррозию. Вследствие этого для механической коробки передач применяются масла средней вязкости и с умеренными присадками. Для гипоидной передачи необходимо высокоэффективное масло, подавляющее изнашивание. По этой причине трудно разработать

универсальные трансмиссионные масла для всех агрегатов трансмиссии, с высокой несущей способностью, обеспечивающие хорошую работу синхронизаторов и не вызывающие коррозии.

Современные легковые автомобили, как правило, снабжены синхронизированными коробками передач. Синхронизаторы изготавливаются из медных сплавов, что усложняет применение масел с высокоэффективными противозадирными присадками. Коробки передач современных легковых автомобилей имеют конструкционные особенности, размещены в одном корпусе с главной передачей в переднем ведущем мосту, пятиступенчатые и требуют специальных масел.

Синхронизация шестерней при переключении передач осуществляется путем прижатия блокирующего кольца синхронизатора к конусу зубчатого колеса. Их скорости вращения сравниваются, когда между ними масляная пленка выдавливается, смазывание становится полусухим и осуществляется фрикционное сцепление. Для этого требуются маловязкие масла не выше SAE 80W, а для пятиступенчатой коробки передач - SAE 75W и даже SAE 70W. Модификаторы трения, обеспечивающие необходимый коэффициент трения, усложняют применение этих масел в гипоидных передачах, для которых требуется маловязкое масло и без агрессивных для медных сплавов противозадирных присадок.

Новые синтетические базовые масла, будучи весьма маловязкими, обеспечивают хорошее смазывание и гипоидной передачи. Поэтому универсальные трансмиссионные масла, как правило, бывают синтетическими. Синтетические масла применяются и для пятиступенчатой коробки передач, так как только они имеют достаточно высокий индекс вязкости, необходимый для плавной работы при низкой температуре.

В системе качества API не предусмотрены испытания масел по износу и коррозии синхронизаторов коробки передач. Это связано с тем, что в Северной Америке 90 % всех тяжелых автомобилей снабжены ручными коробками передач без синхронизаторов. В Европе наблюдается обратная картина – 90 % тяжелых автомобилей имеют коробку передач с синхронизаторами. Поэтому в Европе класс API GL-4 рассматривают как типичный класс масел для коробок передач ручного управления и с синхронизаторами. На рынке Европы все масла этого класса должны удовлетворять требованиям с учетом наличия синхронизаторов. Европейские производители автомобилей через свою организацию CEC усовершенствуют требования и

тестирование масел API GL-4. С этой целью масла API GL-4 должны проходить дополнительные европейские испытания.

По рекомендациям «ZF» масла для механической коробки передач должны иметь категорию API GL-4 с дополнениями спецификаций ZF TE-ML 02 или других производителей, например, **MB 236.2, VW G 50, MAN 341**. Если масло можно применять одновременно и для коробки передач, и для гипоидной передачи, изготовитель масла информирует об этом пользователя специальной отметкой о том, что масло не вызывает коррозии деталей из меди и медных сплавов. Поэтому торговые организации и потребители масел должны быть очень внимательными при выборе одного масла для механической коробки передач и для главной передачи. В любом случае следует получить подтверждение изготовителя о целесообразности такого применения масла.

Разрабатываются новые спецификации трансмиссионных масел, в которых уже предусмотрена проверка совместимости масла с синхронизаторами.

Производители автомобилей рекомендуют применять в коробках передач некоторых своих легковых автомобилей не только трансмиссионные масла, но и жидкости для автоматической коробки передач (BMW, «Mercedes-Benz», «Volvo») или моторные масла («Austin-Rover», «Honda», «Isuzu», «Peugeot», SAAB).

Пятиступенчатые коробки передач требуют масел со слабой зависимостью вязкости от температуры. Такими свойствами обладают масла гидрокрекинга и синтетические. Они должны соответствовать требованиям **VW 501.50, Opel part №. 1940 7610, Ford ESD-M2C-175A** и других специальных спецификаций и иметь категорию **API GL-4** или **API GL-5**. Оптимальная вязкость таких масел - SAE 75W-90 или SAE 85W-90.

**Масла для механической коробки передач грузовых автомобилей.**

Мощные грузовые автомобили, автобусы, трактора и другие мобильные рабочие машины имеют механические коробки передач более сложной конструкции: несинхронизированная КПП с предварительным делителем или без него; синхронизированная КПП с предварительным делителем или без него; синхронизированная КПП с гидротрансформатором; синхронизированная КПП с гидротрансформатором и промежуточным гидродинамическим тормозом-замедлителем.

**Масла для переднего ведущего моста.**

Главная передача, дифференциал переднего моста, коробка передач и сцепление размещены в общем корпусе. Применяются маловязкие масла. Изготовители масел на этикетках отмечают возможность применения масла для переднего ведущего моста и коробки передач. Для этой цели применяются масла API GL-4 с отметкой о специальном назначении, а для некоторых автомобилей применяется моторное масло.

#### **Масла для раздаточной коробки передач.**

Для масел раздаточных коробок передач особых требований не предъявляется, и для них применяются те же масла, что и для механических коробок передач, ручного управления или передач ведущего моста.

#### **Масла для ведущего моста (главной передачи и дифференциала).**

Главная передача увеличивает вращательный момент, уменьшает скорость вращения и в заднем мосту меняет направление передаваемого момента вращения на 90°. Она соединяется с дифференциалом, в котором вращение передается на колеса посредством конусных сателлитных шестерен. При этом обе полуоси могут вращаться с разной скоростью, когда автомобиль поворачивается. Главная передача чаще всего состоит из пары гипоидных шестерен в легковых автомобилях и конусно – спиральной пары в большинстве грузовых автомобилей. Эти передачи во время работы бывают сильно нагруженными и скоростными. Контактное давление в них достигает 2000 МПа и более, а рабочая температура масла 120 – 130 °С. Для таких передач требуется вязкое масло (SAE 90 или SAE 140), которое содержит много серы (до 1,5 %) в противозадирных присадках. Применяются масла API GL-2 или API GL-4.

#### **Масла для гипоидной передачи.**

В гипоидной конусной передаче оси конусов не пересекаются. Скольжение зубьев тем больше, чем больше расстояние между осями. Поэтому одним из показателей масел для гипоидных передач является смещение осей конусов, выраженное в миллиметрах. Этот показатель часто приводится в описаниях масел и служит в качестве признака при классификации масел, предназначенных для гипоидных передач.

В гипоидной передаче условия работы особенно тяжелые. На зубья действует высокое контактное давление (до 4000 МПа), проявляются динамические нагрузки, удары, высокая скорость скольжения (до 15 м/с). Для эффективного смазывания

применяются противоизносные и разделяющие присадки. На поверхностях трения гипоидной передачи присадки разлагаются с выделением химически активных элементов и образуется хемосорбционная пленка, отличающаяся пластичностью и хорошим сцеплением с металлом. Присадки EP вводятся во все масла высокого качества. Они содержат органические соединения хлора и фосфора, которые могут вызвать коррозию цветных металлов.

Универсальные трансмиссионные масла, применяемые для гипоидной и механической коробки передач, имеют специальные разделяющие присадки, не вызывающие коррозии цветных металлов и обладающие хорошими смазывающими свойствами.

Показатели качества масел для гипоидных передач:

- вязкость: SAE 90, SAE 80W-90, SAE 80W-140, SAE 85W-140;
- класс качества API GL-5;

– спецификации изготовителей машин (OEM) и военного ведомства США:

#### **Масла для дифференциала.**

Дифференциал позволяет при повороте ведущим колесам вращаться с разной скоростью. Дифференциал имеет планетарную передачу, которая обеспечивает движения полуосей на разных скоростях. Какие-либо дополнительные требования для смазывания такого дифференциала не выдвигаются, и требование по смазке полностью удовлетворяется маслом для главной передачи, с которой он находится в одном корпусе.

#### **Масла для дифференциала повышенного трения.**

Для подавления проскальзывания и буксировки одного колеса на скользкой дороге все чаще применяются дифференциалы повышенного трения. Фрикционные муфты могут быть дисковые или конические. У всех используется одинаковый принцип блокировки: фрикционная муфта создает дополнительное трение между корпусом и шестерней полуоси, и при возникновении разницы во вращении часть крутящего момента передается на проскальзывающие колеса. Имеются и механизмы блокировки дифференциала замочного типа.

Для дифференциалов повышенного трения применяются масла с заданными фрикционными свойствами и пониженной вязкостью. Они должны хорошо смазывать гипоидную передачу и обеспечивать хорошую работу фрикционной муфты. Коэффициент трения должен быть небольшим при малой скорости скольжения и повышаться при ускорении скольжения. Это достигается добавлением специальных присадок. Единых требований к этим маслам пока нет ввиду

разнообразия конструкции дифференциала. Рекомендуется при выборе масла руководствоваться указаниями производителя автомобиля или поставщика масла. В описаниях масел имеется указание о его пригодности для такого дифференциала.

Вязкость и спецификации масла для дифференциала повышенного трения:

- вязкость: SAE 75W-90, SAE 80W-90, SAE 85W-90, SAE 90;
- класс качества API GL-5 LS;
- спецификации OEMs: ZF-TE-ML-05; MIL-L-2105 B; FordESW-M2C 104-A; ESP-M2C 154-A; Volvo 97311.

#### **Масла для вязкостной муфты.**

Фрикционная вязкостная муфта используется в некоторых легковых автомобилях с четырьмя ведущими колесами и представляет распределительный механизм вместо межосевого дифференциала или механизма блокировки межосевого дифференциала. Муфта автоматически распределяет силу между передними и задними ведущими колесами. Когда колеса на скользкой дороге начинают проскальзывать, диски муфты относительно друг друга проворачиваются, трение возрастает, от этого сила сцепления повышается и момент вращения передается на стоящие колеса. Для муфты применяются синтетические или полусинтетические масла API GL-5 с вязкостью SAE 80W, SAE 75W-90.

**Масла для рулевого механизма.** Для смазывания червячной передачи рулевого механизма применяется масло с низким коэффициентом трения, способное выдержать большие нагрузки при высокой (до 50 м/с) скорости скольжения, с высоким индексом вязкости, содержащее антиокислительные присадки. Желательно, чтобы во время эксплуатации масло не загущалось и интервал его замены был бы по возможности большим. Обычно масло в рулевом механизме не меняется в течение всего времени эксплуатации автомобиля. Масло может заменяться в ходе ремонта рулевого механизма или в результате его вытекания. Категория качества таких масел – API GL-2.

#### **Масла для автоматической коробки передач.**

Масла для автоматической коробки передач - особый вид масел. К ним предъявляются более высокие требования по вязкости, антифрикционным, противоизносным и противоокислительным свойствам, чем для других агрегатов. Поскольку автоматические коробки включают в себя несколько совершенно разнородных узлов - гидротрансформатор, шестеренчатую коробку передач, сложную

систему управления, - спектр функций масла весьма широк. Масло смазывает, охлаждает, передает вращающий момент и обеспечивает фрикционное сцепление. Динамические нагрузки меньше, чем в обычных коробках передач, из-за отсутствия жесткой связи между двигателем и трансмиссией.

Средняя рабочая температура масла в картере автоматической коробки составляет 80 – 95°C, а в жаркую погоду при городском движении она может подниматься до 150°C. Конструкция автоматической коробки такова, что если с двигателя снимается мощность большая, чем нужно для преодоления дорожного сопротивления, ее избыток расходуется на внутреннее трение масла, которое еще больше нагревается. Высокие скорости движения потоков масла в гидротрансформаторе и температура вызывают интенсивную аэрацию, приводящую к вспениванию, что создает благоприятные условия для окисления масла и коррозии металлов. Разнообразные материалы в парах трения (сталь-сталь, сталь-металлокерамика, сталь-бронза, сталь-фрикционная прокладка) затрудняет подбор антифрикционных присадок. Разнородные материалы деталей, кислород, вода, масло образуют электрохимические пары, активизирующие коррозионный износ.

В таких условиях масло должно не только сохранять свои эксплуатационные свойства, защищать поверхности трения, но и как передающая вращающий момент среда обеспечивать высокий КПД трансмиссии. В этом случае требования к вязкости прямо противоположны тем, что предъявляются, когда речь идет только о смазке. Для смазки шестерен нужна относительно высокая вязкость, а для нормальной работы гидротрансформатора – низкая (4 – 9 сСт при 100 °C).

Для автоматической коробки передач применяются масла двух типов, которые отвечают требованиям основных производителей автомобилей, - «General Motors» и «Ford». Они носят фирменные названия – Dexron® и Mercon®.

Сорта масел для автоматической коробки передач «Ford»:

M2C33-B, M2C33-D, M2C33-F (Type F), SQM-2C9007A M2C33-G (Type G), SQM-2C9010A M2C138-CJ (Type CJ), ESPM-2C166-H (Type H), Mercon V (M2C202 B, Type B).

Масла для автоматической коробки передач окрашиваются в красный цвет для отличия от других масел и для обнаружения места утечки.

Масла для коробок передач не разделяются по эксплуатационным свойствам и вязкости. Поэтому для всех

условий, любого рабочего режима, любой мощности машины, применяются одни и те же масла. Исключение составляют только климатические условия.

В зависимости от природы базового масла и состава депрессорных присадок, масла отличаются по индексу вязкости и температуре застывания. Для районов с суровой зимой для автоматической коробки передач, как и для остальных агрегатов трансмиссии, применяются синтетические масла.

Масла (жидкости) для автоматической коробки передач легковых автомобилей по своим свойствам отличаются от масел для мощных тягачей, автобусов, тракторов и других мобильных машин. Требования к качеству масел для мощных машин обычно предъявляются в спецификациях производителей машин, которые указываются в листах данных.

### **Трансмиссионные масла отечественного производства.**

#### **Масла для механических коробок передач.**

По эксплуатационным свойствам трансмиссионные масла делят на пять групп:

*К группе ТМ-1* относят *нигролы* зимний и летний, применявшиеся в агрегатах трансмиссий старых автомобилей. Это неочищенные остатки от прямой перегонки нефти. На современных автомобилях не применяются.

*К группе ТМ-2* относят масло для коробок передач и рулевого управления – класс вязкости 18. Ввиду низких эксплуатационных качеств применяется только на старых моделях легковых автомобилей.

*К группе ТМ-3* относятся масла ТСП-10, Тп-15В, ТСП-15к, выпускаемые по ГОСТ 23652-79.

*К группе ТМ-4* относят масла ТСз-9гип, ТСП-14гип и ТСгип.

*Группа ТМ-5* включает масла ТМ-5-12рк и ТАД-17и.

Отечественная классификация трансмиссионных масел отражена в ГОСТ 17479.2-85. Этот ГОСТ распространяется на минеральные масла, применяемые для смазывания агрегатов трансмиссией автомобилей, тракторов, тепловозов, сельскохозяйственных, дорожных, строительных машин и судовой техники.

В соответствии с ГОСТ 17479.2-85 трансмиссионные масла обозначаются следующим образом:

марка ТМ-5-9з, где ТМ - трансмиссионное масло: 5 - масло с противозадирными присадками высокой эффективности и

многофункционального действия; 9 - класс вязкости; 3 - масло содержит загущающую (вязкостную) присадку.

Масло **ТСп-15К** изготавливают из смеси дистиллятного и остаточного масел сернистых нефтей. Содержит противозадирную, противоизносную, депрессорную и антипенную присадки. Применяется для смазывания тяжело нагруженных цилиндрических, конических и спирально-конических передач большегрузных автомобилей КамАЗ, МАЗ, Урал и др. машин. Всесезонно для средней полосы, работоспособно при температуре до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Масло **ТАП-15В** изготавливают из смеси экстрактов остаточных масел фенольной очистки и дистиллятных масел или фильтрата обезмасливания парафина. Содержит противозадирную и депрессорную присадки. Применяется для смазывания тяжело нагруженных цилиндрических, конических и спиральноконических передач. Используется в трансмиссиях автомобилей, строительно-дорожных машинах, в различных редукторах при температуре окружающего воздуха до  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ , контактных напряжениях до  $2,5 - 10\text{ Па}$  и скоростях скольжения до  $15\text{ м/с}$ . Всесезонно для средней полосы, работоспособно при температуре до минус  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Масло **ТАД-17и** изготавливают из смеси дистиллятного и остаточного масел. Содержит многофункциональную серофосфорсодержащую, депрессорную и антипенную присадки. Применяется для смазывания цилиндрических, конических, червячных, спирально-конических и гипоидных передач автомобилей ВАЗ и другой техники. Всесезонно и работоспособно до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Масло **ТЭп-15** вырабатывают на базе ароматизированных остаточных продуктов и дистиллятных масел. Функциональные свойства масла улучшены благодаря введению противоизносной и депрессорной присадок. Применяют в качестве всесезонного трансмиссионного масла для тракторов и других сельскохозяйственных машин в районах с умеренным климатом. Рабочий температурный диапазон масла  $-20...+100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Масло **ТСп-14гип** изготавливают из смеси остаточного и дистиллятного компонентов сернистых нефтей. Содержит противозадирную, анти-окислительную, депрессорную и антипенную присадки. Применяется для гипоидных передач грузовых автомобилей. Всесезонно до  $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Масло **ТСп-10** вырабатывают из малосернистых нефтей, при этом используют высоковязкий остаточный деасфальтированный компонент и маловязкий дистиллятный компонент с низкой температурой застывания. Кроме противозадирной присадки, масло содержит депрессорную присадку. Масло применяют всесезонно в Северных районах и как зимнее в средних климатических зонах для смазывания прямозубых, спирально-конических и червячных передач, работающих при контактных напряжениях до 1500 – 2000 МПа и температурах масла в объеме до 100 –110°С.

Масло **ТСз-9гип** - загущенное минеральное масло, содержащее противозадирную, антикоррозионную, депрессорную и антипенную присадки. Предназначено для трансмиссий автотранспортной техники, в том числе с гипоидными в холодной климатической зоне при температуре до минус 50°С.

Масло **ТСгип** на осерненной минеральной основе. Содержит депрессорную присадку. Предназначено для гипоидных передач легковых автомобилей, редукторов и др. узлов вертолетов. Всесезонно для жаркой и умеренной климатических зон.

Масло **ТС** представляет собой смесь экстракта после селективной очистки остаточных масел (смолки), веретенного дистиллята и осерненного растительного масла с добавкой депрессатора. Масло применяют для смазывания коробок передач и рулевого управления автомобилей «Москвич» и др. Вырабатывается в ограниченном количестве, так как его успешно заменяет масло **ТАП-15В**.

Масло **ТСзп-8** представляет собой загущенное минеральное масло с противозадирной, противоизносной, антиокислительной и антипенной присадками. Применяется для смазывания трансмиссии транспортных машин, планетарных коробок передач, планетарных бортовых передач и систем гидроуправления гусеничных машин при эксплуатации в холодной климатической зоне при температуре до минус 50 °С.

Масло **ТМ-5-12(рк)**. Универсальное всесезонное рабоче-консервационное масло для цилиндрических, конических и гипоидных передач при эксплуатации техники до –55 °С.

## 2.4. Индустриальные масла

Технический прогресс в машиностроении – развитие высокопроизводительных, высокоточных и с числовым программным управлением автоматизированных модулей, роботов

и другого надежного оборудования потребовал создания качественно новых индустриальных масел.

Нефтеперерабатывающая промышленность производит большой ассортимент современных легированных индустриальных масел с улучшенными эксплуатационными свойствами: антиокислительными, смазывающими, защитными, деэмульгирующими и др.

Применение легированных индустриальных масел (с присадками) обеспечивает повышение надежности работы оборудования и его производительности, увеличение срока службы масел в 2 – 4 раза по сравнению с маслами без присадок. Ассортимент масел, применяемых для промышленного оборудования и машин, практически шире приведенного в данной главе.

В качестве индустриальных используют многие масла, отнесенные по основному назначению к моторным, гидравлическим, трансмиссионным, турбинным и другим группам. В ряде случаев возникает необходимость использования продуктов не нефтяного происхождения, получаемых на основе кремнийорганических, фосфор-, серу-, фторсодержащих соединений и др.

Разнообразие требований машиностроителей и широкий температурный диапазон применения индустриальных масел обусловили необходимость выделения их в самостоятельную группу.

На основе отечественного и зарубежного опыта по созданию классификаций смазочных масел, изучения технических требований к индустриальным маслам, опыта разработки и применения легированных масел впервые разработана технически обоснованная классификация индустриальных масел. В единой системе обозначений индустриальных масел учтено их применение в различном промышленном оборудовании, например, в ткацких и токарных станках, прессах, прокатных станах, в редукторах и узлах трения, гидравлических системах и т.п., при различных условиях эксплуатации. Индустриальные масла работают в узлах трения на открытом воздухе и в помещениях.

Классификация индустриальных масел отражена в ГОСТ 17479.4 «Масла индустриальные. Классификация и обозначение», который разработан с учетом требований международных стандартов ISO 3448 «Смазочные материалы индустриальные.

Классификация вязкости» и ISO 6743 «Классификация смазок и индустриальных масел».

Обозначение индустриальных масел включает группы знаков, разделенных между собой дефисом. Первая группа (буква «И») подтверждает принадлежность к индустриальным маслам, вторая группа знаков (прописные буквы) – принадлежность к группе по назначению, третья группа (прописная буква) – принадлежность к подгруппе по эксплуатационным свойствам и четвертая группа (цифра) – характеризует класс кинематической вязкости.

Пример обозначения индустриального масла: И-ГН-Е-68, где И – индустриальное масло, ГН –масло предназначено для гидравлических систем и направляющих скольжения, Е – масло с антиокислительными, антикоррозионными, адгезионными, противоизносными, противозадирными и противоскачковыми присадками для машин и механизмов с повышенными требованиями к условиям работы, 68 – класс вязкости.

По назначению индустриальные масла делят на 4 группы, по уровню эксплуатационных свойств – на 5 подгрупп (приложение 22 таблица 2), по величине кинематической вязкости при 40 °С – на 18 классов .

Весь ассортимент индустриальных масел делится на две большие группы:

1. Индустриальные масла общего назначения (без пластификаторов и других присадок). В эту категорию включены смазочные материалы из сернистой и малосернистой нефти селективной очистки, применяемые для смазывания наиболее распространенных технологических узлов и механизмов (подшипников, втулок, шпинделей металлообрабатывающих станков и т.д.). Кроме того, они служат основой для производства других масел, различных паст, мастик и пр. Их эксплуатационные свойства без присадок обуславливаются природными качествами нефти, к промышленным маслам данного класса не предъявляется особых требования. Соответственно, и стоят они недорого.

2. Легированные индустриальные масла (с присадками) общего назначения. Выпускаются из сернистой нефти глубокой очистки с добавлением антипенных, антикоррозионных, антиокислительных и износостойких присадок. Применяются для смазывания высокотехнологичного современного оборудования – там, где нужны смазочные материалы улучшенного качества.

**Масла общего назначения без присадок.** В эту группу входят нефтяные масла без присадок и с присадками (легированные)

вязкостью при 50 °С от 2,2 до 190 мм<sup>2</sup>/с, получаемые из малосернистых и сернистых нефтей. Такие масла служат для смазывания наиболее распространенных узлов и механизмов оборудования в различных отраслях промышленности. К маслам без присадок не предъявляют особых требований, их эксплуатационные свойства обеспечиваются естественной нефтяной природой масел. В группу легированных масел включены масла с определенным комплексом свойств, обеспечивающих универсальность их применения. Применяют в машинах и механизмах промышленного оборудования, условия работы которых не предъявляют особых требований к антиокислительным и антикоррозионным свойствам масел, а также в качестве гидравлических жидкостей.

Масла **И-5А, И-8А** - дистиллятные, из малосернистых и сернистых нефтей селективной очистки. Применяют в различных отраслях промышленности для смазывания наиболее широко распространенных легконагруженных, высокоскоростных узлов и механизмов, замазывания волокон и в производстве масел, смазок и резин. Кроме того, их применяют для жирования кож, изготовления паст, мастик, оконной замазки и др. Ряд отраслей народного хозяйства используют эти масла в качестве рабочей жидкости для гидравлических систем различных строительных машин.

Масла **И-12А, И-12А1** - дистиллятные из сернистых нефтей селективной очистки. Служат для смазывания втулок, подшипников веретен ровничных и других машин, узлов котлонных и кетельных машин, шпинделей металлорежущих станков, работающих с частотой вращения до 5 тыс. мин<sup>-1</sup>, для направляющих бабкок фильерно-расточных, фильерно-полировочных и других станков, для подшипников маломощных электродвигателей с кольцевой системой смазки, в качестве рабочих жидкостей в объемных гидроприводах, работающих в закрытом помещении и на открытом воздухе, для поршневой группы аммиачных компрессоров и для многих других видов оборудования. Используют также для изготовления масел с присадками, пластичных антифрикционных и консервационных смазок, эмульгирующих составов, технологических смазок и жидкостей. В зависимости от требований их можно заменить смесью одного из масел И-20А или И-30А с маловязкими маслами И-5А или И-8А.

Масла **И-20А, И-30А, И-40А, И-50А** - дистиллятные или смесь дистиллятного с остаточным из сернистых и малосернистых нефтей

селективной очистки. Их употребляют в качестве рабочих жидкостей в гидравлических системах станочного оборудования, автоматических линий, прессов, для смазывания легко- и средненагруженных зубчатых передач, направляющих качения и скольжения станков, где не требуются специальные масла, и других механизмов. Наиболее широко применяют масло И-20А в гидравлических системах промышленного оборудования, для строительных, дорожных и других машин, работающих на открытом воздухе. Применение указанных масел в тех или иных механизмах зависит от их вязкости: по мере ее увеличения масла используют в более нагруженных и менее быстроходных механизмах. Указанные масла можно заменить легированными маслами ИГП-18, ИГП-30, ИГП-38 и ИГП-49 (ТУ 38.101413-97) соответствующей вязкости.

### **Масла общего назначения с присадками (легированные).**

Масла индустриальные **И-Л-С** и **ИГП**. Это дистиллятные, остаточные или смесь дистиллятных и остаточных нефтяных масел из сернистых нефтей глубокой селективной очистки с антиокислительной, противоизносной, антикоррозионной и антипенной присадками. Применяют их в основном для смазывания современного отечественного и импортного оборудования в различных отраслях народного хозяйства, для эксплуатации которого необходимы масла с улучшенными эксплуатационными свойствами.

Основными показателями, характеризующими эксплуатационные свойства масел ИГП, являются вязкость, стабильность против окисления, антикоррозионные свойства и стойкость к пенообразованию.

В связи с применением в гидравлических системах современного промышленного оборудования фильтров тонкой очистки (25, 10 и 5 мкм), важное значение приобретает такое свойство нефтяных масел, особенно легированных, как фильтруемость.

Масла ИГП можно применять взамен соответствующих по вязкости масел общего назначения по ГОСТ 20799-88. Преимущества легированных масел ИГП в сравнении с маслами без присадок подтверждены многолетней практикой их производства и применения.

Масла **И-Л-С-5**, **И-Л-С-10**, **И-Л-С-22** (взамен ИГП-4, ИГП-6, ИГП-8, ИГП-14) применяют для смазывания легконагруженных высокоскоростных механизмов (шпиндели, подшипники и сопряженные с ними соединения).

Масла **ИГП-18, ИГП-30, ИГП-38, ИГП-49** служат рабочими жидкостями в гидравлических системах станков, автоматических линий, прессов. Используют для смазывания высокоскоростных коробок передач, мало- и средненагруженных редукторов и червячных передач, вариаторов, электромагнитных и зубчатых муфт, подшипниковых узлов, направляющих скольжения и качения и в других узлах и механизмах, где требуются масла с улучшенными антиокислительными и противоизносными свойствами.

Масла **ИГП-72, ИГП-91, ИГП-114** используют в гидравлических системах тяжелого прессового оборудования и для смазывания шестеренчатых передач, средненагруженных зубчатых и червячных редукторов, в циркуляционных системах смазки различного оборудования.

Масла **ИГП-152, ИГП-182** используют для смазывания нагруженных зубчатых и червячных передач, коробок скоростей, редукторов и других узлов.

## 2.5. Пластичные смазки

Пластичные смазочные материалы, как правило, применяют для смазывания узлов трения различных машин и механизмов, к которым по конструктивным признакам и экономическим соображениям затруднена или невозможна подача (отсутствие герметичности) и непрерывное пополнение запаса масла. Пластичные смазки служат также для длительной консервации машин и рабочих поверхностей деталей, герметизации подвижных уплотнений.

Пластичные смазки существенно отличаются от жидких минеральных масел. По механическим свойствам пластичные смазки занимают промежуточное положение между твердыми веществами и жидкостями. Под действием малых нагрузок они проявляют себя как твердые тела, а при больших напряжениях сдвига – как жидкости, т.е. обладают текучестью. Пластичные смазки представляют собой коллоидные системы, где кристаллы загустителя образуют структурный каркас, а масляная основа – дисперсионная среда.

Главные преимущества смазок перед маслами: способность удерживаться в негерметизированных узлах трения, лучшие смазочные и защитные свойства, высокая экономичность.

Недостатки пластичных смазок: плохая охлаждающая способность трущихся поверхностей, отсутствие выноса продуктов износа из зоны трения, сложность подачи к узлу трения.

Пластичная смазка состоит из двух компонентов: масляной основы (минерального, синтетического, растительного или другого масла) и твердого загустителя (мыльного или немыльного). Масляная основа (дисперсионная среда) составляет 70 –90% массы смазок, а загуститель 5 – 30%. Загуститель определяет основные эксплуатационные свойства смазок. Поэтому пластичные смазки и классифицируются по виду загустителя: мыльные, углеводородные и силикагелевые.

К мыльным загустителям относятся соли естественных или синтетических жирных кислот. Наиболее широкое применение получили кальциевые, литиевые, натриевые, бариевые и алюминийевые смазки, загущенные мылами соответствующих металлов. Эти смазки могут быть средне- и тугоплавкие.

К немыльным загустителям относятся твердые углеводородные (парафины и церезины), а также воски, озокериты и другие продукты. Смазки с немыльными загустителями влагостойки, но относительно низкоплавкие, и они поэтому применяются в основном как консервационные.

Для получения эксплуатационных свойств в смазки вводят следующие присадки: противоизносные, противозадирные, противокоррозионные, антиокислительные, депрессорные и др. Присадки в смазках составляют 0,01 – 5% (по массе).

Для сохранения однородности и коллоидной стабильности в смазки добавляют стабилизаторы, например воду.

В специальных смазках применяют наполнители: твердые нерастворимые порошкообразные продукты. Они увеличивают прочность смазки, повышают термостойкость, улучшают условия трения. В качестве наполнителя часто используют графит и дисульфид молибдена.

### **2.5.1. Наименование и обозначение пластичных смазок**

В соответствии с классификацией по ГОСТ 23258 - 78 пластичные смазки разделены на четыре группы: антифрикционные, консервационные (защитные), канатные и уплотнительные. В каждой группе имеются подгруппы, которым присвоены буквенные индексы.

Наиболее обширная группа смазок – антифрикционные – предназначены для снижения износа и трения. Антифрикционные смазки делятся на подгруппы, обозначаемые индексами: С – общего назначения для умеренных температур (до 70°С) – солидолы; О – для повышенных температур (до 110°С); М – многоцелевые, работоспособные при – 30...+130°С в условиях повышенной влажности; Ж – термостойкие, работоспособные до 150°С и выше; Н – морозостойкие, работоспособные ниже минус 40°С; И – противоизносные и противозадирные, работоспособные в подшипниках качения при контактных напряжениях выше 2500 МПа, а в подшипниках скольжения – выше 150 МПа; П – приборные; Т – редукторные (трансмиссионные); Д – прирабочные, содержащие дисульфид молибдена, и другие добавки; Х – химически стойкие к воздействию кислот, щелочей и т.п.; У – узкоспециализированные; Б – брикетные.

Консервационные смазки обозначаются буквой З и предназначены для защиты металлов от коррозии при хранении автотракторной техники, канатные – буквой К. Уплотнительные смазки используются для герметизации зазоров и подразделяются на подгруппы: А – арматурные, Р – резьбовые, В – вакуумные. Канатные и уплотнительные смазки имеют ограниченное применение при эксплуатации автотракторной техники.

Пластичные смазки классифицируются также в зависимости от вида загустителя: мыла, твердые углеводороды, неорганические и органические вещества. Наиболее распространены смазки загущенные мылами и твердыми углеводородами. В зависимости от металла, входящего в состав мыла, смазки бывают: Ка – кальциевые, На – натриевые, Ли – литиевые, Ал – алюминиевые, кМ – комплексные и др. Углеводородные смазки обозначаются буквой Т.

Рекомендуемый температурный диапазон применения указывают дробью: в числителе – уменьшенная в 10 раз минимальная минусовая температура, в знаменателе – уменьшенная в 10 раз максимальная температура применения. Температурный диапазон имеет ориентировочное значение, так как он зависит от конструкции узла и условий работы.

Дисперсионная среда, которая входит в состав смазки, обозначается буквами: н – нефтяное масло, у – синтетические углеводороды, к – кремнийорганические жидкости, э – сложные эфиры, г – графит и др.

Консистенцию смазки обозначают условным числом от 000 до 7 (всего 10 классов) по аналогии с зарубежной классификацией NLGI (Национальный институт смазочных веществ) см. таблицу 2.5.

NLGI –Обозначение пластичных смазок состоит из пяти буквенно-цифровых групп, расположенных в определенном порядке: 1- группа (подгруппа); 2 - загуститель; 3 - рекомендуемый температурный интервал применения; 4 - дисперсионная среда; 5 - индекс класса консистенции.

Таблица 2.5 – Классификация пластичных смазок по классам консистенции

Индекс класса консистенции	Диапазон пенетрации при 25°С	Индекс класса консистенции	Диапазон пенетрации при 25°С
000	445...475	3	220...250
00	400...430	4	175...205
0	355...385	5	130...160
1	310...340	6	85...115
2	265...295	7	менее 70

В качестве примеров приведем обозначение трех смазок и их расшифровку:

**Смазка МЛи 4/13-3,**

где М – многоцелевая смазка; Ли – загуститель – литиевое мыло; 4/13 – температурный диапазон применения от – 40 до + 130°С; 3 – класс консистенции (пенетрация при 25°С составляет 220...205);

**Смазка СКа 2/7-2,**

где С – антифрикционная смазка общего назначения, применяемая при температуре до 70°С (солидол); Ка – загуститель – кальциевое мыло; 2/7 – рекомендуемый температурный диапазон применения от – 20 до +70°С (вязкость смазки при – 20°С близка к 2000Па·с); индекс дисперсионной среды отсутствует, следовательно, смазка приготовлена на нефтяном масле; 2 – класс консистенции смазки (пенетрация при 25°С составляет 265...295);

**Смазка КТ 6/5к-г4,**

где К – канатная смазка; Т – загуститель – твердые углеводороды; 6/5 – температурный интервал эксплуатации от – 60 до + 50°С; к – смазка приготовлена на основе кремнийорганической жидкости; г – в качестве добавки использован графит; 4 – класс консистенции смазки (пенетрация при 25°С составляет 175...250).

Такое обозначение пластичных смазок отражает важную информацию о составе, свойствах и области применения конкретных смазок.

Однако в практике использования этих смазочных материалов существует и другая общепринятая маркировка пластичных смазок: солидол, литол - 24, ЦИАТИМ - 201 и др., ШРУС -4, ШРБ -4 и др. Данная маркировка смазок отражена в руководствах на эксплуатацию автотракторной и другой техники, в технической литературе, а также при продаже нефтепродуктов.

### **2.5.2. Характеристика пластичных смазок и их применение**

**Антифрикционные смазки.** Пластичные смазки, наряду с другими смазочными материалами, играют важную роль для обеспечения эффективной работы автотракторной техники. Пластичные смазки работают в различных узлах трения: подшипниках качения и скольжения, шаровых шарнирах и т.д.

При сборке сложной автотракторной техники пластичные смазки закладывают во многие узлы трения, количество которых составляет несколько десятков, а иногда и более сотни.

Кроме пластичных смазок белорусского и российского производства, при эксплуатации машин часто применяют смазки других развитых стран.

Главный компонент современных пластичных смазок – загуститель, который и определяет их основные эксплуатационные свойства. Для автотракторной техники применяют следующие типы смазок (по загустителю): мыльные (литиевые, комплексные литиевые, натриевые и натриево-кальциевые, безводные кальциевые, комплексные кальциевые, алюминиевые и др.), немыельные (неорганические и органические), углеводородные.

*Кальциевые смазки.* Кальциевыми принято называть только смазки, загущенные гидратированными кальциевыми мылами. Они известны под названием «Солидолы». Это наиболее массовые и дешевые антифрикционные пластичные смазки.

Солидолы загущают в основном мылами синтетических жирных кислот. Для стабилизации в них вводят 10 – 20% воды (в пересчете намыло). Все кальциевые гидратированные смазки нерастворимы в воде и очень водостойки. При нагревании выше 60 – 90°С солидолы любого типа теряют работоспособность. Даже в условиях высокой влажности и при контакте с водой солидолы хорошо защищают металлические детали от коррозии. Солидолы применяют в

сборочных единицах автомобилей, тракторов, комбайнов, с.х. машин, оборудования ферм и в станочном оборудовании. Температурный режим применения солидолов не выше 60 – 85 °С. Солидолы выпускаются двух видов: синтетические и жировые.

*Солидолы синтетические* представляют собой мягкие маслянистые мази с гладкой текстурой от светло- до темно-коричневого цвета. Их готовят загущением масел средней вязкости гидротированными кальциевыми мылами синтетических жирных кислот. Они отличаются хорошей коллоидной стабильностью. Синтетические солидолы можно использовать и в качестве консервационных смазок. *Солидол С* – наиболее массовый сорт, применяемый в подшипниках качения и скольжения, шарнирах, винтовых и цепных передачах и др. узлах трения. Его недостаток – низкая механическая стабильность. *Пресс-солидол С* в основном используют для смазывания узлов трения, работающих при температурах не выше 45 – 50 °С. Некоторые его образцы имеют низкий предел прочности при 20 °С.

*Солидолы жировые.* Выпускаются две марки жировых солидолов: *пресс-солидол Ж* и *солидол Ж*. Раньше они обозначались *УС-1* и *УС-2*. Жировые солидолы в отличие от синтетических готовят на гидратированных мылах естественных жиров. По внешнему виду и основным характеристикам жировые солидолы близки к синтетическим, но они меньше подвергаются уплотнению при хранении. Кроме этого тиксотропного упрочнения при их отдыхе после разрушения не наблюдается. Несколько лучшие вязкостно-температурные характеристики обуславливают преимущество жировых солидолов. Смазка предназначена для смазывания узлов трения качения и скольжения различных машин и механизмов, работающих при температурах от –25°С до 65°С. В достаточно мощных механизмах (подшипники, шарниры, блоки и т.д.) смазка работоспособна при температурах до –50°С.

*Графитная смазка УСсА* представляет собой мазь черного цвета. Это кальциевая смазка с добавлением 10% мягкого чешуйчатого графита. Несмотря на плохие низкотемпературные свойства, смазку используют все сезонно в тяжело нагруженных тихоходных механизмах, где увеличение сопротивления, вызываемое смазкой, не имеет практического значения (в рессорах автомобилей, открытых шестернях, торсионных подвесках гусеничных машин и др. Для точных соединений и подшипников она непригодна. Смазка работоспособна при температуре –20...+70°С.

Заменители – *солидол С*, *солидол Ж* или *Литол-24* с добавлением 10 % графита.

*Смазка 1-13 жировая* – представляет собой однородную слабозернистую мазь от светло- до темно-желтого цвета, загущена натриевыми мылами жирных кислот, входящих в состав касторового масла. Кроме того, в состав смазки входит немного кальциевого мыла тех же кислот. Недостатки смазки – низкая водостойкость и посредственные низкотемпературные свойства. Используют ее в разнообразных подшипниках качения (ступицы колес подшипники водяного насоса). Смазка работоспособна при температуре  $-20\dots+110$  °С.

*Консталин жировой* – плотная мазь желтого или светло-коричневого цвета с мелкозернистой или слабоволокнистой структурой. И по внешнему виду, и по составу консталин и смазка 1-13 не отличаются друг от друга (правда, в жировом консталине нет кальциевого мыла). Жировой консталин применяют в основном в подшипниках качения, работающих при температурах до 120°С. Ранее выпускались такие универсальные тугоплавкие смазки как Консталин –1 и Консталин-2, которые различались температурой каплепадения и числом пенетрации. В настоящее время эти смазки почти не применяются, так как уступают по качеству более современным аналогичным смазкам.

*Смазка КСБ*. Натриево-кальциевая смазка, представляющая собой желто-золотистую мазь. В смазку для обеспечения токопроводности добавлены чешуйки меди. Применяют ее для контактов переключателя указателя поворотов. Аналогов у нее нет.

*Литол -24* – многоцелевая смазка коричневого или вишневого цвета, представляющая собой минеральное масло, загущенное литиевым мылом стеариновой кислоты. В состав смазки входят вязкостная и антиокислительная присадки. Литол-24 обладает высокой влагостойкостью и не подвержена тиксотропному термоупрочнению. Имеет высокую коллоидную, химическую и механическую стабильность. Водостойка, не растворяется в кипящей воде. работоспособна при температуре  $-40\dots+120$  °С.

Смазку используют в узлах трения автомобилей, тракторов, гусеничных, электрических, дорожно-строительных, сельскохозяйственных и др. машин, успешно применяют в игольчатых подшипниках карданных шарниров.

В соединениях, не защищенных от грязи и воды, нецелесообразно применять смазку Литол-24, как и другие высококачественные смазки. Литол-24 заменяет многие смазки:

солидолы, карданную АМ и др. Если Литол-24 используют в закрытых сборочных единицах (ступицах колес, подшипниках водяных насосов и др.) взамен смазок общего назначения, то сроки проведения смазочных работ увеличивают более чем в 2 раза. Заменитель – Литол -24 РК.

*Литол-24 РК* – смесь минеральных масел, загущенных литиевым мылом гидроксистеариновой кислоты. В состав смазки входят антикоррозионная, вязкостная, антиокислительная и защитная присадки. Смазка водостойка, обеспечивает консервацию узлов трения в течение 10 лет, работоспособна при температуре – 40...+120 °С. Служит для смазывания подшипников качения и скольжения всех типов колесных и гусеничных транспортных средств, электрических машин. Смазка *Литол - 24РК* предназначена также для их консервации. Заменитель – *Литол-24*.

*Смазка №158 литиевая* представляет собой мягкую мазь гладкой текстуры синего цвета, содержит пигмент – фталоцианин меди (этим объясняется цвет смазки), играющий роль загустителя и антиокислительную присадку. Работоспособна при температурах от – 30...+100 °С. Плохие низкотемпературные свойства объясняются приготовлением ее на вязком авиационном масле. Применяется для смазывания подшипников электрооборудования (в течение нескольких лет работает без смены), в игольчатых подшипниках карданных шарниров, где можно не заменять в течение 300 тыс. км пробега. В ряде случаев смазку № 158 можно заменить на Литол-24 (кроме смазывания игольчатых подшипников). Недостатки смазки – интенсивное окрашивание в синий цвет кожи, одежды, инструмента и т.д.

*Лита* – морозостойкая многоцелевая литиевая смазка. Близка по свойствам к смазке *ЦИАТИМ – 201*. Приготовлена на масле веретенном АУ, а в качестве загустителя в нее дополнительно введен церезин 80. Смазка водостойка, обладает низкой механической стабильностью, лучше защищает от коррозии, чем смазка *ЦИАТИМ – 201*. Рекомендуется применять в разнообразных узлах трения машин и механизмов, эксплуатируемых в зимнее и летнее время во всех климатических зонах. Смазка работоспособна при температурах – 40...+120 °С.

*Смазка ЦИАТИМ-201*– мягкая мазь желтого или светло-коричневого цвета. Смазка на литиевой основе, ее можно применять до +150 °С, но в течении длительного времени она работоспособна при температурах не выше 80 – 90°С. По низкотемпературным свойствам является одной из лучших,

сохраняет работоспособность до  $-60^{\circ}\text{C}$ . Смазка водостойка, но в связи с мягкой консистенцией может механически смываться с открытых поверхностей. Обладает низкой коллоидной стабильностью, поэтому хранить и расфасовывать в тару более 1 литра нерационально, так как при хранении смазки может произойти отделение масла. Применяют ЦИАТИМ -201 в узлах трения всех типов (подшипники качения, скольжения, шарниры, трущиеся поверхности и др.) Не рекомендуется применять ее при больших удельных нагрузках.

*Смазка ЦИАТИМ -221* (ГОСТ 9433-80) – мягкая мазь белого или светло-серого цвета. Нерастворима в воде. Отличается хорошими низкотемпературными свойствами – ее можно применять до  $-60^{\circ}\text{C}$  (превосходит смазку *ЦИАТИМ-201*). Максимальная температура применения – около  $+150^{\circ}\text{C}$ , однако выдерживает кратковременный перегрев до  $180^{\circ}\text{C}$ . Смазка весьма стабильна химически и инертна по отношению к резине и полимерным материалам. Коллоидная стабильность смазки удовлетворительная, а испаряемость масла даже при  $150^{\circ}\text{C}$  ничтожна. Чаще всего неплохо работает в подшипниках качения, используется в парах трения резина-металл. Как приборную смазку ее можно использовать в диапазоне температур от  $-60^{\circ}$  до  $150^{\circ}\text{C}$ . Кроме этого выпускаются смазки *ЦИАТИМ – 202, 203* и др., которые предназначены для смазывания зубчатых, червячных передач редукторов, подшипников скольжения и качения, различных силовых приводов, винтовых пар, нагруженных редукторов, механизмов, эксплуатируемых на открытых площадках, узлов трения автомобилей.

Смазка *ЦИАТИМ-208* – применяется для смазывания тяжело нагруженных шестеренчатых редукторов гусеничной техники, работающей при температуре от  $-30$  до  $100^{\circ}\text{C}$ .

*Зимол* является многоцелевой морозостойкой смазкой по свойствам и назначению близкой к смазке *лита*. *Зимол* готовят загущением нефтяного масла АСВ-5, обладающего хорошими низкотемпературными свойствами и литиевым мылом 12-гидроксистеариновой кислоты. Смазка характеризуется низкой испаряемостью, хорошими смазывающими свойствами и механической стабильностью. Для смазки зимол нормируют индекс задира – не менее 30, и изменение объема резины марки 26-44 при  $70^{\circ}\text{C}$  за 125 ч не более чем на 8%. В смазку вводят комплекс присадок, которые улучшают противоизносные и защитные свойства, а также химическую стабильность. Смазка *зимол* является морозостойким аналогом *Литол-24* и предназначена для

применения в узлах трения наземной техники. *Зимол* допущен к всесезонному применению наряду со смазкой *Литол-24* во всех климатических зонах, но в первую очередь для районов с особо холодным климатом. *Зимол* заменяет *солидолы* всех марок, *консталины*, *смазки 1-13*, автомобильную (*ЯНЗ-2*), а также морозостойкие смазки *ЦИАТИМ- 201, 203* и некоторые другие.

Смазки серии *Фиол* по составу и основным характеристикам близки к смазке *Литол-24* и предназначены для смазывания разнообразных узлов трения автомобилей семейства ВАЗ. *Фиол-1* отличается от *Литол-24* менее вязкой смесью базовых масел и более низким содержанием загустителя. Этим объясняются ее меньшие, чем у *Литол-24* вязкость и предел прочности, а также лучшие низкотемпературные свойства. Смазка *Фиол - 1* – предназначена для смазывания узлов трения под давлением (через пресс-масленки) и для гибких тросов управления, имеющих облочку с внутренним диаметром менее 5мм.

Смазка *Фиол - 2* – более мягкая, по сравнению с *Литол-24*, мазь, предназначенная для смазывания узлов трения различных механизмов и машин (аналогично с *Литол-24*), работающих при средних нагрузках и температуре не выше 120°С.

*Фиол – 3* практически идентична смазке *Литол-24*, применяется для тех же узлов, что и *Фиол - 2*. Отличается от последней лучшей способностью удерживаться в узлах трения.

Смазки *Фиол - 1, 2, 3* практически во всех случаях могут быть заменены многоцелевой смазкой *Литол-24*. Производство четырех марок близких по составу и свойствам смазок явно нецелесообразно.

*Фиол - 2М* по составу близка к смазке *Фиол - 2*, но содержит меньшее количество (2%) дисульфида молибдена, а по остальным параметрам близка к серии *Фиол*. Смазка *Фиол-2М* используется для смазывания оси октан-корректора автомобилей семейства ВАЗ и др. Смазка является практически несменяемой, так как обеспечивает работу узла при пробегах автомобилей ВАЗ до 100 тыс. км.

*Униол-1*– мягкая смазка коричневого цвета, напоминающая по внешнему виду *солидол С*. Изготовлен на мылах высоко- и низкомолекулярных кислот с использованием недефицитного форового сырья – широкой фракции синтетических жирowych кислот водостоек даже в кипящей воде, термостоек. Отличается высокими противозадирными свойствами, хорошей коллоидной

стабильностью. Недостаток – склонность к упрочнению и гигроскопичность.

Смазка *ВНИИ НП-242* по свойствам близка к многоцелевым смазкам, однако на автомобильной технике в таком качестве не применяется из-за цены, которая в 4 раза выше, чем у смазки *литол-24*. Литиевая смазка *ВНИИ НП-242* содержит дисульфид молибдена и применяется в качестве несменяемой в шарнирах рулевой подвески и управления легковых автомобилей семейства ГАЗ. Она водостойка, обладает хорошими противоизносными свойствами и низкой испаряемостью, однако имеет низкую механическую стабильность.

Смазка *ЛСЦ-15* применяется в качестве несменяемой в шлицевых соединениях, шарнирах и осях приводов педалей газа и выключения сцепления, в механизмах привода сцепления и стеклоподъемников и других узлах трения легковых автомобилей. Возможно применение смазки *ЛСЦ-15* в ступицах колес наряду с *литол-24*. *ЛСЦ-15* готовится на тех же маслах и загустителях, что и смазки серии *фиол* и *литол-24*, но содержит до 17% окиси цинка и антиокислительную присадку, которые эффективно предотвращают ее окисление. Смазка обладает высокой водостойкостью, адгезией к металлу и хорошими консервационными свойствами. Температурный диапазон ее применения –40...+140°С.

Смазка *ШРБ-4* применяется в герметизированных шарнирах и подвесках рулевого управления различных марок автомобилей в качестве несменяемой заводского заложения. Смазка *ШРБ-4* является практически единственной выпускаемой в России комплексно-бариевой смазкой. Она обладает высокой температурой каплепадения, хорошими низкотемпературными свойствами, водостойка. Поскольку смазка работает в контакте с резиновыми уплотнениями, предусмотрен контроль ее действия на изменения объема резины – не более  $\pm 12\%$  после экспозиции в течение 70 часов при 70 °С. Диапазон рабочих температур ШРБ-4 – 40...+130°С.

Смазка *ШРУС-4* – мазь серебристо-черного цвета – разработана для шарниров равных угловых скоростей типа Бирфильд, устанавливаемых на автомобилях ВАЗ-2121 в качестве несменяемой смазки заводского заложения. Смазка *ШРУС-4* приготовлена на литиевом мыле – 12-гидроксистеарате лития, содержит в больших количествах дисульфид молибдена и комплекс присадок, улучшающих ее эксплуатационные свойства. Смазка сохраняет работоспособность до -40°С и даже до -50°С. Она водостойка,

испаряемость невелика, имеет хорошую механическую стабильность, высокие противозадирные и противоизносные свойства. *ШРУС-4* пока не получила широкого распространения на других моделях автомобилей из-за дефицитности сырья, на котором она готовится. Смазка может заменять смазки, применяемые в игольчатых подшипниках, включая *фиол-2у*.

Смазка *ЛЗ-31* применяется в закрытых подшипниках сцепления автомобилей семейств ГАЗ и ЗИЛ в качестве несменяемой заводского заложения. Она готовится загущением синтетического масла, полученного на основе сложных эфиров стеаратом лития. Смазка содержит антиокислительную и антикоррозионную присадки. *ЛЗ-31* неводостойкая, так как сложные эфиры при взаимодействии с водой гидролизуются, но обладает низкой испаряемостью и хорошими вязкостно-температурными свойствами. Температурный диапазон применения  $-40...+120^{\circ}\text{C}$ .

Смазка *Таврол-2* – смесь минеральных масел, загущенных литиевым мылом жирных кислот. Содержит вязкостную и антикоррозионную присадки. Обладает высокой термической и механической стабильностью. Работоспособна при температуре  $-40...+150^{\circ}\text{C}$ , кратковременно до  $170^{\circ}\text{C}$ . Служит для смазывания узлов трения транспортных средств и промышленного оборудования. Заменитель – *Литол-24*.

Смазка *Литин-2* – минеральное масло, загущенное литиевым мылом 12-оксистеариновой кислоты и аэросилом. Смазка содержит антиокислительную, противозадирную, противоизносную, адгезионную и противокоррозионную присадки, обладает высокими трибологическими и адгезионными свойствами. Работоспособна при температурах от  $-40...+120^{\circ}\text{C}$ . Предназначена для смазывания игольчатых подшипников карданных шарниров и других узлов трения автомобилей. Заменитель – *Литол -24*.

Смазка *Лимол*. Является перспективной дисульфид-молибденовой смазкой, которую применяют при сборке шаровых шарниров с тефлоном автомобилей ВАЗ. Все другие смазки не выдерживают нагрева, предусмотренного технологий сборки шарниров.

Промышленностью выпускаются специальные смазки для узлов трения имеющих малые нагрузки и высокие скорости вращения, как например *ЦИАТИМ-202*, *ВНИИНП-223* и др.

Смазка *ЦИАТИМ-202* – литиевая в качестве основы используют смесь масел трансформаторного и авиационного МС-14. применяется в приборных подшипниках, работающих с малыми нагрузками при скоростях до 30000 мин<sup>-1</sup> в диапазоне температур – 50...+120°С.

Смазка *ВНИИНП-223* состоит из комплексного натриевого мыла имеет высокую чистоту. Применяется в герметизированных подшипниках приборов при частотах вращения до 60000 мин<sup>-1</sup>.

**Консервационные смазки.** Важное место среди пластичных смазок занимают консервационные смазки, изготовление которых в основном сосредоточено на нефтеперерабатывающих заводах. Нерастворимые в воде, химически и коллоидностабильные антифрикционные смазки с низкой испаряемостью также можно использовать в качестве консервационных смазочных материалов, так как они обладают хорошими защитными свойствами (солидол, литол-24 и др.)

*Смазка пушечная* – густая липкая мазь коричневого цвета, изготовленная сплавлением петролатумов с вязким маслом. Дополнительно в смазку вводят 5% церезина и окисленный церезин в качестве присадки. Смазка сохраняет свою защитную способность и предотвращает коррозию вплоть до –50°С. При температуре выше 50°С она оплавляется и стекает с защищаемых поверхностей. Ее используют для защиты от коррозии металлических изделий любой формы и размеров.

*Вазелин технический волокнистый ВТВ-1* отличается хорошим сцеплением с металлом благодаря присутствию в нем адгезионной присадки. Изготовление ВТВ-1 на маловязком масле способствует лучшей морозостойкости по сравнению со смазкой ПВК. Создан и применяется для смазывания клемм аккумуляторов тракторной техники. Смазка не растворяется в электролите и воде.

*Смазки АМС-1 и АМС-3* приготовлены загущением цилиндрического масла алюминиевым мылом стеариновой и олеиновой кислот. Смазки защищают от коррозии металлические изделия даже при прямом контакте с морской водой. Смазки обладают высокой липкостью и влагостойкостью, не смываются водой.

Смазка *ГОИ-54* представляет собой индустриальное масло МВП, загущенное церезином с добавлением антикоррозионной присадки. Данная смазка работоспособна при температуре не выше 50°С. Ее используют для консервации точных механизмов и приборов на срок до 5 лет.

Смазка *НГ-203* предназначена для долговременной защиты от атмосферной коррозии изделий и механизмов, хранящихся под укрытием или в упаковке в условиях повышенной влажности. Данная смазка имеет также и другое название: масло консервационное *НГ-203*.

Консервационное масло представляет собой масляный раствор сульфоната кальция и окисленного нетролатума.

Смазка *НГ-204у* предназначена для долговременной защиты от атмосферной коррозии сельхозмашин, изделий станкоинструментальной и машиностроительной промышленности, цветных металлов и их сплавов в условиях эксплуатации и хранения. Другое название данной смазки – консервационное масло *НГ-204*. Масло представляет собой смесь нитрованного масла (М-8 и др.), окисленного петролатума, нефтяного парафина, синтетических кислот и алюминиевых квасцов.

Для защиты металлических изделий от коррозии применяют также и другие марки пластичных смазок, а также жидкие масла К-17, К19 и др.

*Защитные пленочные покрытия.* Перспективным классом консервационных и рабоче-консервационных смазочных материалов являются пленкообразующие ингибированные нефтяные составы (ПИНС). Они представляют собой растворенные в специальных растворителях композиции, которые после нанесения на металл и испарения растворителя образуют на поверхности изделий защитные пленки.

## **2.6. Простейшие методы определения качества нефтепродуктов**

Контроль качества топлив, смазочных материалов и технических жидкостей необходим для обеспечения надежной эксплуатации тракторов, автомобилей, мелиоративно-строительной и другой техники в течение длительного срока. Его проводят с целью определения соответствия показателей качества нефтепродуктов и технических жидкостей требованиям действующих стандартов и технических условий: обнаружения некондиционных нефтепродуктов и своевременного исправления их качества; предупреждения ухудшения свойств нефтепродуктов при транспортировании и хранении; применения топлива и смазочных материалов рекомендованных сортов и в связи с этим

своевременного проведения технического обслуживания автотракторной техники.

По результатам контроля качества предъявляют претензии снабжающим организациям за поставку нефтепродуктов, не соответствующих стандартам или техническим условиям или не отвечающих требованиям по ассортименту.

Для контроля качества нефтепродуктов в полевых условиях выпускают специальные лаборатории ПЛ-2М, РЛ, ЭЛАН и др. Наиболее широкое применение в сельскохозяйственных предприятиях страны получили полевая лаборатория ПЛ-2М и ручная лаборатория РЛ, общий вид которых приведен на рис. 4.1.

**Полевая лаборатория ПЛ-2М.** Корпус лаборатории представляет собой деревянный ящик, на петлях которого навешены двухстворчатые дверцы (рис. 2.2). Корпус и дверцы разделены перегородками на 26 отделений, в которых размещено оборудование, входящее в комплект лаборатории. Все отделения пронумерованы, дан перечень помещенного в них имущества. Приборы, посуда и химические реактивы размещаются в гнездах и закреплены при помощи поясков, вертушек и других приспособлений. Для отбора проб нефтепродуктов лаборатория снабжена четырьмя пробоотборниками, позволяющими отбирать пробы топлива и смазочных материалов из мелкой тары и светлых нефтепродуктов – из резервуаров и цистерн. Для приведения лаборатории ПЛ-2М в рабочее положение в отведенном помещении ее устанавливают на ножки, раскрывают дверцы корпуса и крышки стола, проверяют горизонтальность стола, вынимают необходимые приборы и реактивы и размещают их на столе.



*а*

*б*

Рис. 2.2: Полевая ПЛ-2М и ручная РЛ лаборатории: а – общий вид полевой лаборатории ПЛ-2М: 1 – корпус; 2 – документация; 3 – стол; 4 – лот-пробоотборник (комплект); 5 – дверцы; 6 – ниша для лота-пробоотборника; б – общий вид ручной лаборатории РЛ: 1 – крышка; 2 – корпус.

Перечень анализов, выполняемых при помощи лабораторий ПЛ-2М и РЛ, приведен в табл. 2.6. Анализы производятся в строгом соответствии со стандартной методикой, установленной для каждого

**Т а б л и ц а 2.6. Анализы, выполняемые при помощи лабораторий**

Показатель	Лаборатория ПЛ-2М			Лаборатория РЛ		
	топливо	масло	смазка	топливо	масло	смазка
Плотность (нефтеденсиметром)	+	+	-	+	+	-
Фракционный состав нефтепродуктов	+	-	-	-	-	-
Содержание водорастворимых кислот и щелочей (качественно)	+	+	-	+	+	-
Кислотность	+	+	-	-	-	-
Температура застывания и помутнения	+	+	-	-	-	-
Кинематическая вязкость	+	+	-	-	+	-
Температура вспышки в открытом тигле	+	+	-	-	-	-
Содержание воды (количественно или качественно)	+	+	+	+	+	+
Содержание механических примесей (качественно)	+	+	+	+	+	+
Температура каплепадения	-	-	+	-	-	-

Пр и м е ч а н и я: 1. Знак плюс – анализ можно выполнить, знак минус – анализ выполнить нельзя. 2. Лаборатория также укомплектована гигрометром для измерения состава и температуры застывания антифризов и спиртомером для определения крепости технического спирта.

**Ручная лаборатория РЛ.** Лаборатория РЛ помещается в деревянном ящике с откидной крышкой. Все оборудование находится в специальных гнездах и закреплено поясками и вертушками. Нефтеденсиметры и гидрометр размещены в откидном штативе, дно которого может быть использовано в качестве столика. Лаборатория позволяет замерять толщину слоя нефтепродуктов в резервуарах и отбирать пробы.

Лаборатория РЛ может быть развернута в помещении, палатке, под навесом или в другом укрытии, защищенном от ветра и атмосферных осадков. Для приведения лаборатории в рабочее

положение надо открыть крышку ящика, откинуть штатив с нефтеденсиметрами, вынуть и разместить на рабочем месте необходимые приборы и реактивы.

В комплект лаборатории РЛ входит лот, который служит для взятия проб из резервуаров, цистерн и других крупных емкостей.

*Для отбора проб из мелкой тары* предназначены пробоотборники, которые размещены на внутренней стороне крышки лаборатории. При помощи алюминиевой трубки 1 отбирают топливо, трубкой 2, которая с помощью переходника 3 соединяется с верхней частью пробоотборника, отбирают масла. Пластичные смазки берут с помощью пробоотборника 4, лопатку вставляют в пробоотборник и сдвигают пластичную смазку в банку.

**Особенности выполнения анализов с помощью полевых лабораторий.** Для определения содержания механических примесей и воды в ручной лаборатории имеется стеклянный отстойник (рис 2.3). Вместимость отстойника – 100 мл, в нижней части он переходит в узкую трубку, которая отградуирована до 10 мл через 0,05 мл (по этим делениям определяют количество воды и механических примесей), далее идут деления 25, 50 и 100 мл. Исследуемое топливо тщательно перемешивают, быстро наливают в отстойник до уровня 100 мл и выдерживают в отстойнике 25 мин. Отстойник должен находиться в вертикальном положении. Затем определяют количество механических примесей и воды в процентах, которое равно объему отстоя каждого компонента в миллилитрах.

Примеси в маслах осаждаются медленно, поэтому масла разбавляют бензином. Пробу масла наливают в отстойник до уровня 25 или 50 мл, а до 100 мл добавляют бензин, не содержащий механических примесей. Смесь тщательно перемешивают, и отстойник опускают в теплую воду. После отстаивания находят процентное содержание механических примесей и воды.

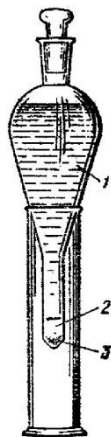


Рис. 2.3. Отстойник для определения механических примесей и воды в нефтепродуктах: 1 – топливо; 2 – вода; 3 – механические примеси.

В лаборатории присутствует марганцовокислый калий, с помощью которого определяют наличие воды на дне емкости. Это вещество не растворяется в нефтепродуктах, но легко растворяется в воде. Несколько кристаллов марганцовокислого калия заворачивают в белую ткань, затем опускают пакетик на дно емкости и выдерживают там 3–4 мин. Появление малинового окрашивания ткани указывает на наличие воды на дне резервуара.

*Содержание воды* в нефтепродуктах (качественно) также можно определить при помощи лота-пробоотборника и водочувствительной бумаги и пасты.

Ручная лаборатория снабжена также и другими приспособлениями и реактивами для определения качества нефтепродуктов простейшими способами.

*Механические примеси и воду* можно обнаружить в топливе, просматривая образец в пробирке из бесцветного стекла. Если в топливе присутствует вода во взвешенном состоянии, то топливо во всем объеме пробирки мутное. Капля масла, содержащая воду и нанесенная на стекло, в проходящем свете мутная.

*Наличие влаги в масле* можно определить пробой на потрескивание. Для этих целей 2–3 мл тщательно перемешанного масла наливают в пробирку, которую осторожно нагревают. При наличии воды слышно слабое потрескивание, масло пенится, на верхней холодной части пробирки конденсируются капельки воды.

*Присутствие абразивных механических примесей в маслах* определяют пробой на истирание. На плоское чистое стекло наносят одну-две капли испытуемого масла и закрывают вторым стеклом. Затем передвигают стекла одно относительно другого, плотно прижав их пальцами. Если в масле присутствуют абразивные механические примеси, слышен характерный резкий скрип.

*Наличие механических примесей в нефтепродуктах* также можно определить с помощью бумажного фильтра. При этом следует пробу нефтепродукта пропустить через бумажный фильтр. После фильтрации чистого топлива или масла фильтр будет только пропитан нефтепродуктом, а после загрязненного на нем будет осадок, по внешнему виду которого можно определить примерный состав примесей.

При выполнении данного опыта рекомендуется пробу смазочного масла предварительно разбавить чистым бензином в пропорции 1:3 или 1:4 в зависимости от вязкости масла.

Кроме того, наличие механических примесей можно установить по прозрачности капель масла, помещенных на чистое стекло. Капли чистого масла будут совершенно прозрачны. При наличии даже небольшого количества механических примесей капли масла будут мутными.

Количество смол в бензине определяют путем сжигания его пробы на вогнутом часовом стекле диаметром 55 – 60 мм и глубиной 4 – 5 мм. опыты проводят следующим образом. Тщательно промытое и высушенное стекло накладывают (с теплоизоляционной прокладкой) на кольцо, закрепленное на штативе. Затем на стекло пипеткой наливают точно 1 мл отфильтрованного испытуемого бензина и зажигают спичкой.

После выгорания бензина на стекле остается правильный круг темно-желтого или коричневого цвета. Чем больше в топливе смол, тем больше диаметр пятна. Для количественного определения содержания смол измеряют диаметр пятна в трех направлениях и вычисляют среднее значение. Затем с помощью эталонных данных, приведенных в табл. 2.7, определяют содержание смол в испытуемом образце бензина.

**Т а б л и ц а 2.7. Содержание смол в бензине в зависимости от размера пятна**

Диаметр пятна, мм, на часовом стекле	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	22
Содержание смол, мл/100 см <sup>3</sup> бензина	4	7	11	15	20	32	43	56	70	85	102

Если в топливе смолы отсутствуют, то на стекле остается небольшое белое малозаметное пятно. При наличии в топливе масляных загрязнений на краю стекла остаются коричневые капли.

Для определения плотности нефтепродуктов лаборатории ПЛ-2М и РЛ снабжены нефтенденсиметрами, для определения температуры застывания низкозамерзающих охлаждающих жидкостей (антифризов) – гидрометром, для определения кинематической вязкости масел – полевым вискозиметром. В комплект входят также реактивы и посуда для определения водорастворимых кислот и щелочей.

Методы проведения анализов по определению плотности нефтепродуктов, кинематической вязкости (капиллярными вискозиметрами, температуры вспышки, количественного определения воды), водорастворимых кислот и щелочей и другие изложены в литературных источниках.

Полевые лаборатории также укомплектованы полевыми шариковыми вискозиметрами (рис. 2.4).



**Рис. 2.4. Шариковый вискозиметр.**

Определение кинематической вязкости вискозиметром основано на сравнении скорости погружения стального шарика в испытуемом масле со скоростью погружения таких же шариков в эталонных маслах с известной вязкостью.

Вискозиметр оборудован девятью стеклянными пробирками, восемь из которых заполнены маслами с определенной вязкостью.

В заполненные пробирки с эталонными маслами помещено по одному шарик. Девятая пробирка пустая, на ней нанесены две метки. В эту пробирку наливают до нижней метки испытуемое масло, опускают в него шарик и закрывают резиновой пробкой, которая должна входить в пробирку до верхней метки. Далее пробирку вставляют в свободное гнездо вискозиметра и закрепляют ее пробкой с флажком. Размер воздушного пузырька в пробирке должен быть равен размерам пузырьков в пробирках с эталонными маслами. Его регулируют положением пробки. Вискозиметр выдерживают при окружающей температуре 10 мин. Устанавливают вискозиметр в вертикальное положение (пробками вверх) и дают всем шарикам опуститься на дно, после чего вискозиметр резко поворачивают на  $180^\circ$ . Шарик во всех пробирках начинают опускаться. Как только шарик в пробирке с испытуемым маслом достигнет риски, нанесенной на раму вискозиметра, прибор поворачивают на  $90^\circ$  вокруг горизонтальной оси.

Вязкость испытуемого масла находят сравнением положения шариков в испытуемом и эталонных маслах.

Также для экспресс анализа нефтепродуктов используют электронные анализаторы качества. Для примера рассмотрим анализатор качества SHATOX SX-300.

Анализатор качества нефтепродуктов предназначен для оперативного контроля качества ГСМ в полевых и лабораторных условиях.

Принцип работы прибора заключается в определении детонационной стойкости бензинов, само воспламеняемости дизельных топлив и параметров масел на основании измерения их диэлектрической проницаемости и удельного объемного сопротивления.

Электронный вычислительный блок обрабатывает сигнал датчика, производит все необходимые вычисления, а также непрерывно тестирует состояние основных функциональных узлов прибора. Внешний вид электронного вычислительного блока представлен на рис.2.5.

На левой боковой стороне находятся разъемы для подключения датчиков и разъем для подключения к компьютеру. На передней панели расположен жидкокристаллический дисплей и кнопки управления. Датчик прибора представляет собой неразборную конструкцию в виде стакана емкостью 75 мл (рис. 2.6). Его объем определяет характеристики сигнала генератора, размещенного в нижней части датчика. Также датчик имеет встроенный элемент, чувствительный к изменениям температуры образца топлива.

Датчик комплектуется имитатором, который позволяет произвести проверку работоспособности прибора без использования образцов топлив.

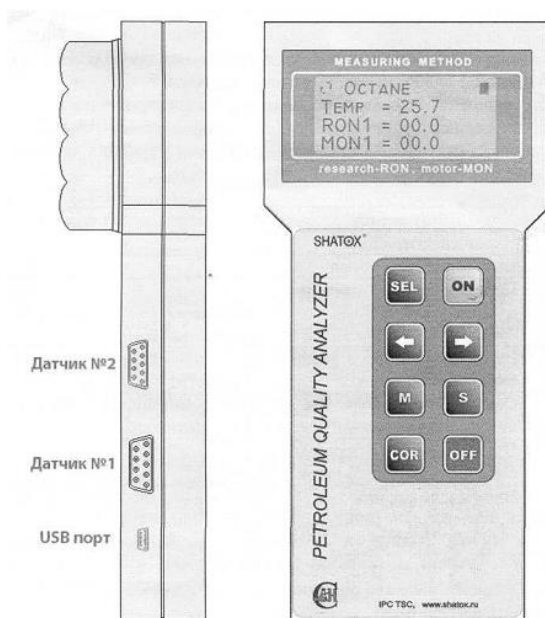


Рис. 2.5 Внешний вид прибора (электронный блок).

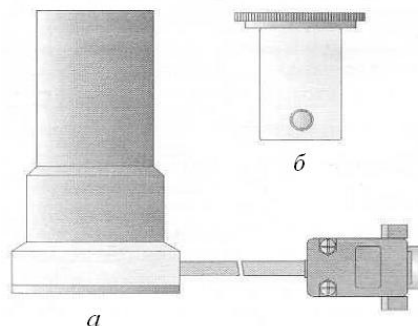


Рис. 2.6. Датчик (а) и имитатор пробы топлива (б).

На передней панели расположен жидкокристаллический дисплей и кнопки управления.

Запрещается заливать в датчик прибора иные жидкости, кроме бензинов, дизельных топлив и масел.

Эксплуатация прибора допускается при температуре окружающего воздуха от  $-10^{\circ}\text{C}$  до  $+45^{\circ}\text{C}$ . При измерениях вне указанного температурного диапазона значение измеренной температуры будет мигать.

При более низких температурах возможно замерзание жидкокристаллического дисплея. Проведение измерений при более высоких температурах может привести к искажениям результатов ввиду интенсивного испарения легких фракций исследуемого образца топлива.

## 2.7. Организация рационального использования нефтепродуктов

Обеспечение нефтепродуктами машинно-тракторного парка и других потребителей сельскохозяйственного производства является обязательным условием процессов эксплуатации и обслуживания техники АПК. Качество обеспечения нефтепродуктами определяется организационной структурой и уровнем технического оснащения нефтехозяйств сельскохозяйственных предприятий, выполняющих операции по транспортированию, хранению, выдаче и учету нефтепродуктов, необходимых для нормального функционирования техники.

Выбор оборудования нефтехозяйств обуславливается специфическими свойствами нефтепродуктов, величиной их расхода, численностью машинно-тракторного парка и т. д.

Важной задачей при эксплуатации нефтехозяйств сельскохозяйственных предприятий является сохранение качества и уменьшение потерь нефтепродуктов. Этому способствует правильная организация их транспортировки, хранения и заправки, применение для этих целей современных методов и технических средств.

В состав технологического оборудования нефтескладов для транспортирования, хранения и выдачи нефтепродуктов потребителям входят:

- средства транспортирования (автомобильные цистерны, транспортные резервуары и тара);
- средства хранения (вертикальные и горизонтальные резервуары, тара);
- средства перекачки (мотонасосные агрегаты, электро- и пневмонасосы);
- средства заправки (автотопливо- и маслозаправщики, заправочные агрегаты и установки, топливо- и маслораздаточные колонки, заправочный инвентарь);
- средства измерения (счетчики, мерники, рулетки);
- средства очистки (отстойники, фильтры, фильтры-сепараторы, центробежные установки);
- средства контроля качества (стационарные и передвижные лаборатории, переносные приборы, индикаторные устройства);
- складские трубопроводы (линейное оборудование, запорная арматура, резинотканевые рукава);
- средства сбора и регенерации отработанных масел.

**Средства транспортирования.** Доставка нефтепродуктов от баз до складов колхозов, совхозов и других сельскохозяйственных предприятий осуществляется специализированным подвижным составом. Специализированный автомобильный транспорт классифицируется в зависимости от конструкции, назначения и проходимости базового шасси. По конструкции различают автомобильные цистерны, прицепы-цистерны, полуприцепы-цистерны; по назначению – средства перевозки светлых и вязких нефтепродуктов; по проходимости – транспорт обычный и повышенной проходимости.

Транспортные автоцистерны предназначены для транспортирования светлых нефтепродуктов по дорогам с

твердым покрытием. Цистерна, откалиброванная на полную вместимость по уровень тарировочной планки заводом-изготовителем, комплектуется дыхательным клапаном, отстойником-водоотделителем, двумя напорно-всасывающими рукавами, самовсасывающим насосом СЦЛ-00 или СВН-80 с приводом от двигателя через коробку отбора мощности, углекислотно-бромэтиловым огнетушителем ОУБ-3. Оборудование транспортной автоцистерны позволяет наполнять цистерну топливом из посторонней емкости при помощи собственного насоса, перекачивать топливо из одной емкости в другую, минуя собственную цистерну, сливать топливо из цистерн с помощью насоса или самотеком в резервуары для хранения нефтепродуктов.

#### **Средства хранения нефтепродуктов.**

Наибольшее распространение для хранения нефтепродуктов с внутренним избыточным давлением не более 0,07 МПа и вакуумметрическим давлением не более 0,001 МПа получили стальные горизонтальные резервуары вместимостью 5, 10, 25, 50, 75 м<sup>3</sup>. В зависимости от назначения нефтерезервуары поставляются в двух исполнениях: для наземного и подземного хранения нефтепродуктов. Нефтерезервуары, предназначенные для подземной установки, усиливаются дополнительными диафрагмами. Нефтерезервуары поставляются с полным комплектом арматуры: дыхательным клапаном, совмещенным с замерным люком, вентилем ВФ-50 или краном БК.-50. Нефтерезервуары емкостью 5, 10, 25 м<sup>3</sup> комплектуются водогрязеспускными пробками 03-3062. Нефтерезервуары емкостью 50 и 75 м<sup>3</sup> комплектуются пробками по требованию заказчика. На каждый резервуар заводом-изготовителем составляется паспорт и калибровочная таблица.

Бочки стальные сварные с обручами катания на обечайке предназначены для транспортирования и хранения нефтяных и жидких продуктов. Изготавливаются двух типов: со сливо-наливной горловиной на днище и со сливноналивной и воздушной горловиной на днище. Бочки рассчитаны на рабочее давление 0,05 МПа, вакуум 0,025 МПа и температуру окружающего воздуха от плюс 50° до минус 50°С.

Канистры стальные предназначены для транспортирования и хранения горючего и масел. Изготавливаются трех типов – вместимостью 20, 10 и 5 л с одинаковыми по конструкции и размерам горловиной, крышкой и рычажным затвором.

Основные эксплуатационные параметры не должны быть более: рабочее давление – 0,03 МПа, вакуум – 0,01 МПа, температура окружающего воздуха – от минус 50 до плюс 50°С.

**Средства заправки.** Средства заправки подразделяются на стационарные и передвижные. Заправка автомобилей, тракторов и других самоходных машин в стационарных условиях – на заправочных пунктах и постах осуществляется, как правило, с помощью стационарных заправочных колонок, которые в зависимости от вида выдаваемого продукта подразделяются на топливо-, смеси- и маслораздаточные; их дополняют топливо- и масло-заправочные установки.

Стационарные топливораздаточные колонки со счетчиками жидкости выпускаются с электроприводом и ручным управлением типа КЭР: КЭР-50-0;5-1 (Нара-2, -11, -12, -21, -23, Ливны-1, Ока-1) и КЭР-1,0-1 (Ока-11), а также с дистанционным управлением, типа КЭД: КЭД-50-0,5-1; КЭД-100-0,5-2 (Нара-61). Управление колонками КЭД-50-0,5-1 осуществляется с помощью 12-канального пульта дистанционного управления «Прогресс М» и 1-канального «Электроника-1 ЭКЦ».

На стационарах наряду с автономными топливораздаточными колонками действуют топливораздаточные установки (станции). Так, например, установка 03-18019 имеет дистанционное управление выдачей топлива, а на установках 03-5963, 03-16386, 03-18008 при заправке машин предусматривается самообслуживание с автоматическим дистанционным учетом количества выданного топлива.

На сельскохозяйственных предприятиях чаще всего применяются маслораздаточные колонки 367М4, 367М, 367МЗ, 3155. Колонки 367МЗ, 3155 и установка 03-23816 предназначены для отпуска масел из подземных резервуаров. Они укомплектованы насосной установкой погружного типа (модель 3160). Колонка 367МЗ монтируется стационарно в отопляемом помещении.

Для заправки в полевых условиях используют автотопливозаправщики АТЗ-3,8-130, АТЗ-3,8-53А, АТЗ-2,4-52, МЗ-3904, МЗ-3905, модель 4611 и заправочные установки 03-2842, 03-4795, 03-3607.

**Средства перекачки.** В настоящее время для перекачки нефтепродуктов на нефтескладах сельскохозяйственных предприятий применяются центробежные (СЦН-57, СЦН-60М, ЦС-65, СЦН-20-40), вихревые (СВЧ-80), центробежно-вихревые (СЦЛ-00, ЦВС-53, ЦВС-10, СЦЛ-20-24), винтовые (ВН-8, ВН-50, ВС-100,

ВС-200), ручные поршневые, крыльчатые (НКР-2, НКР-4, НРП-40) и другие насосы, а также мотонасосные установки.

**Средства измерения.** Метршток используется для измерения уровня нефтепродуктов в транспортных и стационарных резервуарах с последующим определением по калибровочным таблицам фактического объема нефтепродуктов. Метршток состоит из трех телескопических звеньев стальных тонкостенных труб с нанесенными миллиметровыми делениями. Длина метрштока в развернутом положении – 3500, шкалы – 3300 мм. При измерении уровня нефтепродуктов звенья труб раздвигают и закрепляют механическим способом. В целях предохранения от искрообразования и изменения срока службы на нижнем звене закреплен наконечник из цветного металла или искусственного материала.

Счетчик жидкости ШЖУ25-6 служит для измерения количества нефтепродуктов с вязкостью от 0,55 до 300 сСт, при температурах от минус 40 до плюс 40°С и давлении до 0,64 МПа. Счетчик устанавливают на передвижных механизированных и стационарных агрегатах для заправки тракторов, комбайнов и других машин топливом.

Винтовой кран-счетчик КС-1 предназначен для заправки автотракторными массами картеров автомобилей, тракторов и самоходных сельскохозяйственных машин с одновременным учетом количества масел в объемных единицах. Кран-счетчик устанавливается на передвижных и стационарных заправочных агрегатах.

**Средства очистки нефтепродуктов от механических загрязнений.** Для очистки светлых нефтепродуктов на нефтебазах и нефтескладах сельскохозяйственных предприятий в настоящее время применяются главным образом фильтры с фильтрующими пакетами чечевично-дискового типа из нетканого материала.

Фильтры типов ФДГ-30ТМ и ФГН сходны по конструкции фильтрующих чехлов. Расхождение в тонкости фильтрования объясняется пропиткой нетканого материала различными составами, однако тонкость очистки на уровне 15 – 20 мкм (при пропитке нетканого материала латексом) не вполне удовлетворяет существующим требованиям к чистоте топлива для современных дизельных двигателей.

Для очистки масел от загрязнений иногда применяются центрифуги, например, сепарационная установка СМУ-3000 и др.

**Организация хранения нефтепродуктов.** Наружные поверхности наземных емкостей, трубопроводов и другого нефтеоборудования нефтесклада окрашиваются масляной краской в светлый цвет, хорошо отражающий солнечные лучи. В табл. 2.6. приводятся отражающие свойства красок различного цвета, нанесенных на поверхность емкостей.

На каждом резервуаре должны быть нанесены масляной краской номер резервуара и сорт хранимого нефтепродукта. Резервуары, поступающие с заводов-изготовителей, снабжаются калибровочными таблицами.

К каждому резервуару прокладываются трубопроводы, что должно исключить смешение нефтепродуктов разных сортов и марок при приеме, хранении, выдаче и обеспечить возможность внутрискладских перекачек нефтепродуктов (из одного резервуара в другой) для частичного или полного опорожнения резервуара с одноименным нефтепродуктом.

**Т а б л и ц а 5.1. Отражательная способность резервуаров, окрашенных в различные цвета**

Цвет краски	Отражение лучей солнца, %	Цвет краски	Отражение лучей солнца, %
Черный	0	Серый	47,0
Сажевый	7,5	Светло-серый	57,0
Неокрашенной стали	10,6	Кремниевый	72,8
Темно-коричневый	21,3	Светло-зеленый	78,5
Алюминиевый	35...67	Серо-глянцевый	81,0
Светло-розовый	86,5	Голубой	85,0
Светло-кремовый	88,5	Белый	90,0
		Зеркальный	100,0

Горизонтальный наземный резервуар должен быть оборудован крышкой горловины, комплектом арматуры (замерным люком, огневым предохранителем, дыхательным клапаном), задвижкой или краном, водогрязеспускной пробкой. Каждый резервуар или группу резервуаров оборудуют металлической лестницей и замерной площадкой у горловины, а группа резервуаров соединяется между собой переходными площадками с поручнями.

Резервуары и тару заполняют с учетом возможного объемного расширения, наливаемого в них нефтепродукта. Вертикальные резервуары заполняют на 95% емкости. Горизонтальные резервуары не доливают до нижней кромки наливной горловины на 15 – 20, бочки – на 5 – 7 см.

Резервуары и тара с нефтепродуктами должны герметически закрываться. Бочки должны быть закрыты металлическими пробками с прокладками. Применять деревянные пробки запрещается. На горизонтальных резервуарах (наземного и подземного расположения), предназначенных для хранения жидких масел, дыхательный клапан и огневой предохранитель допускается заменять вентиляционной трубкой с набивкой из металлической сетки или проволоки. На эти резервуары хлопушка с управлением не ставится.

Масла хранятся, как правило, в подземных резервуарах или в резервуарах в утепленных помещениях и выдаются через маслораздаточную колонку типа 367М. На маслоскладе устанавливают резервуары для сбора и хранения отработанных масел. Пустые бочки и тару хранят на тарном складе или под навесом.

На нефтескладе в хозяйстве устанавливают резервуары емкостью 5...10 м<sup>3</sup> для заправки автомобилей, тракторов (заправочные пункты предусмотрены в типовых проектах) нефтепродуктами. В раздаточные резервуары рекомендуется устанавливать плавающие топливоприемники, что предотвращает загрязнение и обводнение выдаваемых топлив. Резервуары и тару, используемые для хранения нефтепродуктов, периодически следует очищать и промывать от отложений и загрязнений. Зачистку резервуаров из-под дизельного топлива необходимо проводить ежегодно, а из-под бензина – не реже одного раза в 2 года. Отстой сливают и откачивают ежегодно. Зачищают резервуар каждый раз перед выполнением работ по ремонту резервуара и при смене хранимого нефтепродукта.

### **2.7.1. Организация учета нефтепродуктов**

При отпуске незатаренных нефтепродуктов (бензин, дизельное топливо, масла и т. д.) нефтесбытовые организации выписывают пропуск-отвес, счет или накладную, где отмечают марку, сорт и количество нефтепродукта в весовых или объемных единицах. Если количество нефтепродукта измерено в объемных единицах, то необходимо указать и его плотность.

Нефтепродукты на центральном нефтескладе хозяйства принимает заведующий нефтехозяйством, который проверяет наличие и правильность товарно-транспортной накладной (или пропуска-отвеса) и паспорта качества на нефтепродукт. На

основании этих документов в книге складского учета нефтепродуктов отмечают количество полученных нефтепродуктов.

Запись в книге ведет заведующий нефтехозяйством или другое материально-ответственное лицо по номенклатуре нефтепродуктов, находящихся на складе. После каждой операции (поступление или расход) в книге выводится остаток. Запись в книге складского учета производится на основании заборной ведомости, пропуска-отвеса, счета-фактуры или требования-накладной.

Основной первичный документ для списания отпущенных нефтепродуктов на нефтескладах и постах заправки колхозов и совхозов – лимитно-заборная ведомость, которую заводят на каждую машину и заполняют при каждой заправочной операции. Правильность записи подтверждается подписью трактористов. По лимитно-заборной ведомости получают нефтепродукты водители-заправщики передвижных заправочных агрегатов.

При заправке машин с помощью передвижных заправочных агрегатов водитель-заправщик записывает количество отпущенных нефтепродуктов по произвольной форме. Однако он может пользоваться формой № 1, в которой запись количества отпущенных нефтепродуктов по видам ведется с указанием марки, хозяйственного номера и фамилии тракториста. Правильность записи подтверждает подпись тракториста.

Водитель-заправщик ежедневно отчитывается перед заведующим нефтехозяйством, который на основании заправочной ведомости делает разницу расхода нефтепродуктов в лимитно-заборной ведомости по каждой машине. На основании лимитно-заборных ведомостей бухгалтерия колхоза (совхоза) списывает нефтепродукты с водителя-заправщика и переводит их на трактористов-машинистов.

Первичный учет отпущенных нефтепродуктов в ряде колхозов и совхозов совмещают с планированием проведения технических обслуживании тракторов. Это позволяет контролировать своевременность проведении периодического технического обслуживания. С этой целью отпуск дизельного топлива строго лимитируется, о чем делается соответствующая запись в лимитно-заборной ведомости. В дальнейшем топливо отпускают только после проведения очередного технического обслуживания.

Находит применение заправка тракторов по жетонам, которые выдаются мастером-наладчиком трактористу из расчета расхода топлива до очередного технического обслуживания №1.

Наиболее распространенной формой следует считать талонную систему, по которой на каждый трактор выдается лимитная книжка талонов. По этим талонам тракторист получает топливо только до очередного технического обслуживания. В дальнейшем топливо отпускают только после отметки мастера-наладчика в лимитной книжке. Талоны одновременно служат ежедневным отчетным документом водителя-заправщика за полученные на нефтескладе нефтепродукты.

Основным первичным документом по учету расхода горюче-смазочных материалов тракторами и самоходными сельскохозяйственными машинами является учетный лист тракториста-машиниста, которые одновременно с лимитно-заборными ведомостями записывается количество отпущенных нефтепродуктов.

Ежемесячно на нефтескладе или посту заправки следует проводить инвентаризацию остатков нефтепродуктов. По результатам инвентаризации комиссия при участии работников бухгалтерии составляет акт о фактических остатках нефтепродуктов на нефтескладе или посту заправки на отчетное число месяца и передает акт в бухгалтерию для составления сличительных ведомостей.

В установленные сроки учетчик тракторной бригады или отделения представляет в бухгалтерию отчет (сальдовую ведомость) вместе с учетными листами трактористов-машинистов и путевыми листами водителей автомобилей. В бухгалтерии хозяйства на каждого тракториста и водителя должна быть заведена лицевая карточка учета планового и фактического расхода нефтепродуктов, а также их экономии и перерасхода. Нефтепродукты на другие производственные нужды (работа стационарных двигателей, теплогенераторов, котлов и т.д.) учитываются по лимитно-заборным ведомостям или требованиям-накладным.

На основании всех приходно-расходных документов в бухгалтерии ведется книга лицевых счетов учета горюче-смазочных материалов, в которой учитывается движение всех нефтепродуктов дифференцированно по месяцам. По книге лицевых счетов отмечают списание горюче-смазочных

материалов на выполнение работы, а также заполняют соответствующие формы годового отчета и периодических отчетов, отправляемых в районные статистические управления.

### **2.7.2. Способы определения потребности в нефтепродуктах**

Нормой расхода нефтепродуктов называется плановая мера их производственного потребления, определяющая максимально допустимую величину расхода на выполнение работ в условиях прогрессивной технологии и организации производства.

Нормы расхода нефтепродуктов классифицируют по следующим основным признакам: степени укрупнения (индивидуальные и групповые), периоду действия (оперативно-текущие и перспективные), уровню планирования (для хозяйства, района, области и т.д.).

Индивидуальной нормой расхода нефтепродуктов называется норма их расхода, устанавливаемая применительно к частным для данного уровня планирования условиям работы машины (вид работы, марка машины, состав агрегата, природно-климатическая характеристика и т.д.). По индивидуальным нормам определяют и контролируют расход нефтепродуктов отдельной машиной и разрабатывают групповые нормы расхода.

Групповой нормой расхода нефтепродуктов называется норма их расхода, охватывающая все разнообразные условия работы машин на длительном уровне планирования. Она определяется, как средневзвешенная величина из индивидуальных норм с учетом структурных соотношений различных видов работ и техники, применяемой на этих работах. Групповые нормы по уровням планирования подразделяются на хозяйственные, районные, областные, республиканские и отраслевые.

Главной задачей технического нормирования расхода нефтепродуктов является установление и внедрение в производство научно обоснованных норм расхода топлива, масел и смазок, максимально способствующих рациональному их использованию и повышению эффективности сельскохозяйственного производства.

С позиции нормирования полевые работы, выполняемые машинно-тракторными агрегатами, можно разделить на следующие группы:

– пахотные и непашотные работы, выполняемые прицепными машинами-орудиями;

- пахотные и непахотные работы, выполняемые навесными машинами-орудиями;
- работы, выполняемые агрегатами с приводом механизмов от вала отбора мощности (ВОМ);
- работы, выполняемые самоходными комбайнами.

Индивидуальные нормы расхода топлива (кг/га, кг/ц, кг/т) разрабатываются по видам работ и составам агрегатов для производства всех видов сельскохозяйственных работ для конкретных условий работы машинно-тракторных агрегатов. Эти нормы рассчитывают на основе исходных данных и показателей, называемых нормативами.

**Расчёт групповых (плановых) норм расхода топлива на тракторных работах.** В связи с переходом всех сельскохозяйственных предприятий на систему учета работы машинно-тракторного парка (МТП) в условных эталонных гектарах (усл. га) появилась необходимость в установлении норм расхода топлива на условный га тракторных работ.

Групповые нормы расхода устанавливаются на всех уровнях:

- на полевые тракторные работы – на условный гектар;
- на тракторно-транспортные работы – на усл. га и тонно-киллометр;
- на тракторные работы в целом – на условный гектар.

Нормы расхода топлива на условный га зависят от структуры посевных площадей, состава машинно-тракторного парка, применяемой технологии работ и природно-производственных условий, определяющих значения норм расхода топлива по видам работ и составам агрегатов и сменной эталонной наработки тракторов. В связи с этим нормы расхода топлива на условный га устанавливаются отдельно для каждого хозяйства, района, области, республики или в целом по отрасли.

В основу разработки норм расхода топлива на условный га принят нормативный метод, в соответствии с которым нормы разрабатываются на базе предварительно рассчитанных нормативов плотности тракторных работ и расхода топлива на условный га по культурам.

Плотностью тракторных работ называется количество условный га наработки тракторов, приходящихся на 1 га пашни или посевной площади возделываемой культуры.

Нормативы плотности тракторных работ и расхода топлива на условный га тракторных работ по культурам разрабатываются и устанавливаются по технологическим картам.

Для разработки нормативов необходимы следующие исходные материалы:

- типовые и хозяйственные технологические карты возделывания сельскохозяйственных культур;
- нормы выработки и расхода топлива на механизированные полевые работы;
- сменная эталонная наработка тракторов.

**Нормирование расхода топлива на работу автомобильного транспорта.** Для грузовых бортовых автомобилей и автопоездов, работа которых учитывается в тонно-колометрах индивидуальные нормы расхода топлива слагаются из линейной нормы на 100 км пробега и нормы на производственную транспортную работу из расчета 2,0 л для автомобилей с бензиновыми двигателями и 1,3 л для автомобилей с дизельными двигателями на каждые 100 т.км (для нормальных дорожных и климатических условий работы).

Для грузовых бортовых автомобилей, работающих с почасовой оплатой, работа которых не учитывается в т.км, индивидуальные нормы расхода топлива устанавливаются только с учетом общего пробега автомобиля. При этом для автомобилей, использование которых допускается с почасовой оплатой, индивидуальная (линейная) норма расхода топлива на 100 км пробега может быть увеличена до 10%.

Для грузовых автомобилей, работающих с прицепами или полуприцепами в составе автопоездов, норма расхода топлива так же, как и для одиночных автомобилей, слагается из линейной нормы на пробег и нормы на транспортную работу. Но в отличие от одиночных автомобилей норма на 100 км пробега автопоезда увеличивается на каждую тонну собственной массы прицепа (прицепов) для автомобилей с бензиновыми двигателями на 2,0 л, для автомобилей с дизельными двигателями на 1,3 л.

Для легковых автомобилей и автобусов применяются нормы расхода топлива, установленные с учетом только общего пробега автомобиля.

**Расчёт потребности в топливе и смазочных материалах для сельскохозяйственного предприятия.** Потребность в топливе и смазочных материалах определяют по технически обоснованным нормам расхода на единицу работы, адаптированных для условий прогрессивной технологии и орга-низации выполнения механизированных работ.

По признакам классификации нормы расхода топлива на уровне хозяйства разделяют на индивидуальные и групповые.

По индивидуальным нормам планируют потребность в топливе на выполнение отдельных видов работ, осуществляют контроль за правильным расходом топлива конкретных машин и разрабатывают групповые нормы расхода топлива.

Групповая норма учитывает все многообразие условий работы машин. Численное значение групповой нормы находят путем расчета средневзвешенной величины из индивидуальных норм, учитывающей структуру работ и набор применяемых машин.

Потребность в топливе и смазочных материалах определяют умножением норм расхода топлива на объем работ.

Потребность дизельного топлива подсчитывают исходя из объема работ тракторов, комбайнов и других самоходных машин, автомобилей с дизельным двигателем, самоходной землеройной техники (бульдозеров, экскаваторов, грейдеров, скреперов) стационарных двигателей, передвижных насосных станций и электрических станций, работающих от двигателей внутреннего сгорания, на обкатку, ремонты и техническое обслуживание, а также на другие производственные нужды.

При расчете расхода дизельного топлива по тракторам пользуются индивидуальными нормами расхода топлива, установленными на полевые тракторные и тракторно-транспортные работы. Расход топлива на полевых тракторных работах определяют умножением нормы расхода топлива в килограммах на 1 га, на физический объем работ в соответствии с технологическими картами.

Нормы расхода топлива на полевых механизированных работах разработаны с учетом марки трактора, применяемых орудий (навесных или прицепных) и их количества в агрегате, длины гона, удельного сопротивления почвы, угла склона, степени каменистости полей, сложности конфигурации, высоты над уровнем моря.

Расход топлива по видам тракторно-транспортных работ подсчитывают умножением индивидуальной нормы расхода топлива в килограммах на 1 т, на объем перевозок в тоннах. Нормы расхода топлива на тракторно-транспортных работах дифференцированы по составу агрегата, расстоянию перевозок, группе дорожных условий и способу погрузки и разгрузки.

Для расчета потребности тракторов в топливе для выполнения полевых механизированных работ необходимо иметь следующие материалы:

- технологические карты возделывания и уборки сельскохозяйственных культур и продукции многолетних насаждений;

- действующие нормы выработки и расхода топлива на механизированные полевые работы;

- структуру посевных площадей.

Потребность топлива для тракторов определяется по этим материалам по каждой культуре и в целом по отрасли растениеводства.

Наряду с планированием расхода топлива по индивидуальным нормам в практике сельскохозяйственных предприятий получило широкое распространение определение потребности в топливе по групповым нормам.

Групповые нормы расхода дизельного топлива применяются на всех уровнях планирования.

Групповая норма расхода топлива устанавливается на условный эталонный гектар в связи с переходом сельскохозяйственных и государственных предприятий с 1 января 1978 г. на измерения объема работы МТП через эталонную выработку тракторов за смену и количество нормо-смен.

Групповые нормы расхода топлива учитывают структуру посевных площадей, технологию и организацию производства, основные нормообразующие факторы, структуру МТП и устанавливаются на условный эталонный гектар и тонно-километр тракторно-транспортных работ.

Порядок расчета средневзвешенной групповой нормы расхода топлива на тракторных механизированных работах включает:

- а) уточнение по технологическим картам и ротации севооборотов перечня работ и агротехнических требований, а также по ожидаемому наличию технических средств состава агрегатов и распределения объема работ по ним;

- б) уточнение нормы выработки и нормы расхода топлива на планируемый период исходя из реальных условий машиноиспользования;

- в) расчет расхода топлива умножением нормы расхода на объем работ;

- г) расчет количества нормо-смен путем деления объема работ на норму выработки;

д) определение эталонной выработки умножением количества нормо-смен на эталонную выработку трактора;

е) определение средневзвешенной групповой нормы расхода топлива по культуре путем отношения суммы расхода топлива по видам работ к сумме эталонной выработки по тем же видам работ отдельно на полевых механизированных работах и тракторно-транспортных работах;

ж) расчет средневзвешенной нормы расхода топлива по отрасли растениеводства в целом производится путем взвешивания по структуре посевных площадей средневзвешенных норм расхода топлива по каждой культуре как на полевых механизированных и тракторно-транспортных, так и в целом на тракторных работах.

Средневзвешенную норму расхода топлива на тракторно-транспортных работах определяют также делением общего расхода топлива на объем перевозок в тонно-километрах.

Потребность в дизельном топливе для тракторов определяется исходя из средневзвешенной групповой нормы расхода топлива на условный эталонный гектар, по плану работ в растениеводстве, животноводстве, строительстве, мелиорации, лесном хозяйстве и других вспомогательных производствах.

Потребность в топливе для работы комбайнов определяют по индивидуальным нормам расхода топлива на прямом комбайнировании, кашении в валки, подборе и обмолоте валков в соответствии с планом распределения площади по двум технологиям уборки: однофазной и двухфазной (раздельной).

Планирование завоза топлива для автомобильного транспорта основано на следующих нормах расхода топлива:

на 100 км пробега, утвержденных индивидуально для автомобилей определенной марки (линейная норма);

на 100 т.км для автомобилей и автопоездов, выполняющих работу, учитываемую в тонно-километрах (1,3 л – для автомобилей с дизельным двигателем и 2,0 л – для автомобилей с бензиновым двигателем);

на каждую езду с грузом, установленным дополнительно к линейным нормам для грузовых автомобилей-самосвалов, в количестве 0,25 л;

на заполнение и слив (обдув) одной цистерны – для автоцистерн;

на час работы – авторефрижераторов, автомобилей с дезинфекционной установкой и автомастерских.

Потребность в топливе для грузовых автомобилей рассчитывают, исходя из объема перевозок в тонно-километрах и средневзвешенной нормы расхода топлива на 1 т-км.

Последовательность расчета средневзвешенной нормы расхода топлива на 1 т-км грузоперевозок автотранспорта включает:

а) определение ожидаемого парка автомобилей по маркам на начало планируемого периода;

б) расчет расхода топлива по парку автомобилей, используя линейные нормы расхода топлива, при коэффициенте полезной работы 0,5;

в) определение общей грузоподъемности автомобильного парка умножением ожидаемого наличия на грузоподъемность автомобилей каждой марки;

г) расчет средневзвешенной нормы расхода топлива на 100 км пробега путем отношения суммы расхода топлива по маркам автомобилей к их количеству в парке;

д) расчет средневзвешенной грузоподъемности путем деления суммарной грузоподъемности по парку на количество автомобилей;

е) определение средневзвешенной нормы расхода топлива на единицу транспортной работы путем деления средневзвешенной нормы расхода топлива на 100 км пробега на средневзвешенную грузоподъемность автомобиля, умноженную на коэффициент полезной работы.

Потребность топлива для стационарных и передвижных двигателей и силовых установок рассчитывают отдельно по каждому двигателю (силовой установке) исходя из установленных норм расхода топлива на 1 л.с. в час, мощности двигателя и продолжительности работы его в течение года (сезона). Норма расхода топлива и мощность двигателя принимаются по заводским инструкциям, прилагаемых к двигателю.

Расход топлива и смазочных материалов на ремонт, обкатку тракторов, комбайнов и автомобилей, на технические уходы за ними, холостые проезды устанавливаются в соответствии с планом ремонта машин в мастерской хозяйства и нормами расхода на эти цели.

Расход масел и пластических смазок на эксплуатацию и техническое обслуживание машин определяют в соответствии с нормами их расхода, разработанных в процентах к израсходованному основному топливу.

Для планирования потребности в маслах разрабатываются групповые нормы расхода масел для хозяйства, учитывающие

индивидуальные нормы расхода масел и ожидаемую структуру тракторного парка в планируемом периоде.

Расход топлива для других производств и прочих нужд определяют исходя из наличия в хозяйстве различных установок и агрегатов, работающих на жидком топливе, количество часов работы их в год и норм расхода топлива согласно заводским инструкциям.

### **2.7.3. Влияние технического состояния машин на расход топлива**

Основной фактор, оказывающий влияние на расход топлива при эксплуатации тракторов, комбайнов и автомобилей, – техническое состояние и уровень эксплуатации систем и механизмов, прямым или косвенным образом влияющих на работу двигателя. Так, неисправность или неправильная регулировка одной форсунки дизельного двигателя увеличивает расход топлива на 15 – 20%. Понижение температуры охлаждающей жидкости на 30 – 40°C приводит к увеличению расхода топлива на 5 – 10% из-за ухудшения процесса сгорания. При отклонении угла подачи топлива на 3 – 5° удельный расход возрастает на 4 – 8%. Накипь на стенках системы охлаждения в 1,1 мм увеличивает расход топлива на 7 – 8%. При затуплении рабочих органов плугов и культиваторов их тяговое сопротивление увеличивается, что вызывает снижение производительности и повышение расхода топлива на 15 – 20%.

В целях экономии топлива при эксплуатации тракторов, автомобилей, комбайнов и сельхозмашин составные части этой техники должны быть в технически исправном состоянии. Поэтому необходимо:

- постоянно контролировать стабильность экономико-мощностных показателей двигателей методами технической диагностики;
- систематически регулировать тормоза, проверять сходимость передних колес и поддерживать нормальное давление в шинах колесных машин;
- поддерживать нормальный тепловой режим работы двигателей, особенно при работе в холодное время, применять нефтепродукты в соответствии с временем года;
- периодически удалять накипь из системы охлаждения, нагар и смолистые отложения из трубопроводов и глушителя;

- пользоваться средствами, обеспечивающими пуск двигателя при низких температурах;
- своевременно и в полном объеме проводить техническое обслуживание, поддерживать составные части машин в технически исправном состоянии;
- соблюдать правила технической эксплуатации прицепных и навесных сельскохозяйственных машин.

Основные пути снижения расхода топлива в зависимости от условий и организации использования машин:

- проведение мероприятий, обеспечивающих повышение производительности машинно-тракторного агрегата (МТА);
- загрузка двигателя, при которой достигаются оптимальные значения часового и удельного расхода топлива;
- применение оптимального скоростного режима работы двигателя и использование всережимного регулятора;
- проведение мероприятий, способствующих лучшему использованию времени смены.

Для того чтобы трактор работал высокопроизводительно и с наименьшим расходом топлива, необходимо полное использование тягово-сцепных свойств трактора.

При комплектовании агрегатов необходимо стремиться к тому, чтобы загрузить трактор по тяговому усилию на 85 – 95%. При меньших загрузках на всех видах работ снижается производительность и увеличивается расход топлива.

Маневрирование скоростями – резерв снижения расхода топлива при работе на полях с неравномерным сопротивлением.

При работе трактора с полной нагрузкой, когда требуется кратковременно снизить скорость движения, следует не переключать трактор на низшую передачу, а снизить число оборотов двигателя. Этим приемом можно пользоваться и в тех случаях, когда по требованиям агротехники или состоянию поля агрегат не может работать на высокой скорости, а при низкой скорости и малой ширине захвата трактор работает с большой недогрузкой.

Чтобы не допустить перерасхода топлива, в этом случае следует включить более высокую передачу, а требуемую скорость движения получить за счет снижения числа оборотов двигателя.

При эксплуатации автомобильного транспорта снизить расход нефтепродуктов можно по нескольким направлениям: исправное техническое состояние всех систем и механизмов автомобиля, оптимальная загрузка, рациональная организация грузоперевозок,

поддержанию хорошего состояния дорог, повышении квалификации водителей.

Однако решения задач одного или нескольких направлений не приводит к заметному снижению расхода. Только одновременным улучшением всех показателей можно добиться существенной экономии топлива при эксплуатации автомобилей.

#### **2.7.4. Снижение потерь нефтепродуктов при приёмке, хранении и отпуске**

**При заполнении автоцистерны и перевозке.** Использование автоцистерны для перевозки топлива и масел является наиболее рациональным и экономически выгодным способом. Такой способ уменьшает испарение и исключает разлив, обеспечивает чистоту нефтепродуктов.

Однако при заполнении автоцистерны топливом открытой струей часть топлива разбрызгивается и испаряется, поэтому заправлять автоцистерны (а также и бочки) следует только закрытым способом. При таком способе потери бензина сокращаются в 3 раза.

Потери топлива при его наливе в автоцистерну или механизированный заправочный агрегат происходят также из-за вытеснения смеси паров топлива с воздухом из цистерны при ее заполнении топливом. Эти потери составляют до 2 – 3 кг на 1 т топлива.

Последнее время применяют автоцистерны, оборудованные устройством для нижнего налива топлива «под уровень». Трубопровод автоцистерны к раздаточному рукаву приемораздаточного стояка присоединяется при помощи шаровой быстроразъемной муфты, которая предотвращает вытекание остатков топлива из раздаточного шланга стояка и приемного трубопровода автоцистерны после их разъединения по окончании налива.

Потери топлива при перевозке в автоцистернах происходят из-за негерметичности автоцистерн, неисправности их дыхательных клапанов и из-за переполнения автоцистерны при ее заполнении.

Во время технического обслуживания и ежедневного осмотра автоцистерны особое внимание должно быть обращено на исправность дыхательного клапана и герметичность крышки автоцистерны. Малейшее подтекание через неплотные соединения и краны должно быть устранено.

Чтобы сократить потери, происходящие из-за вытеснения смеси паров топлива с воздухом при заполнении автоцистерны, применяют «газовую обвязку». При этом способе приемораздаточный стояк ОЗ-9721, кроме соединения трубопроводов, по которым поступает топливо, имеет шланг для присоединения к автоцистерне. По данному шлангу паровоздушная смесь из цистерны поступает в тот резервуар, из которого происходит наполнение топливом цистерны. В этом случае паровоздушная смесь из цистерны в атмосферу не поступает, а, следовательно, исключаются потери топлива, содержащегося в паровоздушной смеси.

При хранении топлива может происходить его утечка: разлив или испарение.

Причины потерь: неисправность трубопроводов, насосных установок, резервуарного оборудования (дыхательных клапанов, кранов, задвижек, грязеспускных пробок и негерметичности люков и крышек), трещины в корпусе резервуаров, перелив нефтепродуктов при заполнении резервуара, цистерн, бочек, «малые дыхания» от нагрева и охлаждения резервуаров и т.д.

Малозаметные капли, струйки, просачивание через трещины (потение) и неплотные соединения трубопроводов, кранов превращаются в тонны потерянного топлива.

Утечки нефтепродуктов, видимые всегда, могут и должны быть устранены немедленно.

Хранение бензина в резервуаре, имеющем даже небольшие отверстия в крышке или щель, ведет к большим потерям.

Через открытую горловину наземного резервуара емкостью 5 м<sup>3</sup> за один летний месяц теряется до 300 кг бензина. В первую очередь испаряются наиболее легкие составные фракции, и вследствие этого меняется фракционный состав бензина. Он становится тяжелым и непригодным для нормальной работы в том двигателе, для которого предназначен.

Запустить двигатель на бензине, который длительное время хранился в открытой таре особенно в холодное время года трудно, а иногда и не возможно.

Основной и невидимой причиной потерь топлива при хранении в резервуарах является испарение.

Чтобы сократить и ликвидировать данные потери, можно использовать ряд мероприятий: уменьшить объем газового пространства резервуара; сократить число резервуаров за счет рационального увеличения их емкости; сократить амплитуды и

количество колебаний температуры газового пространства и топлива в резервуаре; хранить топливо под некоторым давлением.

Потери от испарения зависят от погоды, операций и совершенства оборудования и делятся на потери: от вытеснения паров наливанием топлива; от теплового расширения паровоздушной смеси в газовом пространстве резервуара; от теплового расширения топлива; от снижения атмосферного давления; от быстроты насыщения парового пространства парами топлива при наливке открытой или закрытой струей; от выдувания паров топлива; от газового сифона; от диффузии паров при открытом или неплотно закрытом резервуаре.

Потери топлива при сливе (большие дыхания) можно сократить, уменьшив объем вытесненных паров и улавливая их путем «газовой обвязки резервуаров».

Заполнять резервуары рационально в прохладное время суток, а опорожнять (забор) – в жаркое время.

Объем газового пространства в резервуаре зависит от того, насколько заполнен резервуар топливом. Чем больше топлива в резервуаре, тем меньше объем газового пространства.

При повышении температуры внутри резервуара давление в газовом пространстве резко увеличивается, и паровоздушная смесь выходит через дыхательный клапан. Происходит малый «выдох». При снижении температуры давление в газовом пространстве снижается и атмосферный воздух, для выравнивания давления через открытый дыхательный клапан, входит в резервуар. Происходит малый «вдох». При малом «выдохе» с паровоздушной смесью выходят пары топлива. В каждом кубическом метре паровоздушной смеси, выходящей из резервуара, может содержаться до 2,5 кг бензина. Потери топлива от испарения зависят от поверхности испарения, поэтому естественная убыль (норма потерь) при хранении исчисляется с  $1\text{ м}^2$  поверхности испарения.

Малые дыхания резервуаров с нефтепродуктами вызываются в основном суточными изменениями температуры окружающего воздуха и от действия солнечной радиации.

Потери от теплового расширения топлива и паровоздушной смеси (потери при малом дыхании) можно значительно сократить за счет снижения интенсивности нагрева резервуара.

Хранение бензина в резервуарах, расположенных под землей, – наилучший способ борьбы с потерями от испарения.

Потери бензина в подземных резервуарах примерно в 3 раза меньше, чем при хранении бензина в наземных резервуарах.

Испарение бывает значительно меньшим, если наземные резервуары окрашивают в светлый цвет или защищают от солнечных лучей лесными насаждениями.

Наиболее распространенным цветом краски в сельском хозяйстве является алюминиевый, имеющий отражательную способность 59 – 67%.

Установлено, что за годичный срок хранения от испарения теряется бензина (%) при окраске резервуара: в черный цвет – 1,24; в красный – 1,14; в серый – 1,03; в серебристый – 0,83. Следовательно, чтобы уменьшить потери топлива от испарения, резервуары надо окрашивать только в светлые цвета.

**При заправке машин топливом** при помощи неисправного и несовершенного инвентаря потери топлива составляют до 1 – 2%. Особенно велики потери топлива при заправке открытой струей. Заправлять машины нефтепродуктами следует только закрытым способом через рукава раздаточных кранов при помощи механических насосов.

Во время заправки топливо теряется от испарения, случайного разлива. Заправка машин топливом при помощи рукава, но без раздаточного крана неизбежно ведет к потерям, достигающим 0,40 – 0,45%.

Заправка через рукав с раздаточным краном ОЗ-1551 сокращает потери до 0,18 – 0,20%. Дальнейшее снижение потерь при заправке можно достичь в результате применения топливораздаточного крана ОЗ-4382, который автоматически закрывается в момент полного заполнения бака. Заправка машин топливом через автоматический кран полностью устраняет переполнение баков машин топливом.

Учитывая свойство нефтепродуктов при нагревании расширяться, топливные баки машин следует заполнять на 90 – 95% их емкости, т. е. не доливать 3 – 5 л. Если раздаточный кран опущен в горловину бака, то потери от испарения и разлива могут быть сведены до 0,06%.

Потери при немеханизированной заправке в 12 – 20 раз больше, чем при механизированной.

Во время заправки машин много топлива расходуется на проведение технического обслуживания, промывку фильтров, деталей узлов и картера двигателя при смене масла. Этот расход можно значительно сократить, если не выливать топливо после

разовой промывки, а использовать его после фильтрации несколько раз. Это позволит сэкономить за сезон до 150 кг топлива на трактор.

### **3. Химмотология технических жидкостей**

#### **3.1. Жидкости для охлаждения двигателей внутреннего сгорания.**

В процессе работы двигателя внутреннего сгорания для обеспечения его нормального теплового состояния необходимо постоянно отводить теплоту от нагреваемых деталей (головка цилиндров, поршни, клапаны, цилиндры и др.). Для охлаждения автотракторных двигателей главным образом используют жидкостные системы охлаждения с принудительной циркулирующей охлаждающей жидкости. Через систему охлаждения отводится 25...35% от общего количества теплоты, выделяющейся при сгорании топлива.

Хорошая работа системы охлаждения зависит от правильного выбора и качества охлаждающей жидкости. Охлаждающие жидкости должны отвечать следующим требованиям: иметь низкую температуру замерзания, высокие температуры кипения и самовоспламенения (для безопасности эксплуатации), большие теплоемкость и теплопроводность, не образовывать накипи и отложений в системе охлаждения, не влиять на резиновые изделия, не вызывать коррозии металлов, обладать высокими антипенными свойствами, быть нетоксичными, дешевыми, обеспечивать минимальный расход топлива и масла.

Для охлаждения двигателей применяют обычно два вида жидкостей: воду и антифриз. Каждая из этих жидкостей, при использовании в системах охлаждения двигателей, имеет свои преимущества и недостатки.

Вода обладает наибольшей охлаждающей способностью, имеет самую высокую теплоемкость (4,19 кДж/кг<sup>0</sup>С), большую теплопроводность, небольшую вязкость ( $\nu_{20}=1$  мм<sup>2</sup>/с), большую теплоту испарения, она пожаробезопасна, не ядовита, дешева.

Однако вода обладает и существенными недостатками, затрудняющими ее применение в качестве охлаждающей жидкости. При 0<sup>0</sup>С она замерзает со значительным увеличением объема (до 10%). Это может вызвать размораживание системы охлаждения, что приведет к аварии двигателя. Кроме этого при использовании воды в системе охлаждения активно образуется накипь, что затрудняет нормальную эксплуатацию двигателя.

В силу указанных выше преимуществ вода, как охлаждающая жидкость для двигателей внутреннего сгорания весьма часто используется при эксплуатации автотракторной техники в агропромышленном комплексе страны.

В настоящее время при эксплуатации современных автомобилей и другой техники для охлаждения двигателей широко применяют антифризы.

*Антифризы* – это низкозамерзающие охлаждающие жидкости, которые применяются всесезонно в системах охлаждения автомобилей, тракторов и других машин. Использование антифризов в холодное время года в системах охлаждения двигателей вместо воды дает следующие преимущества: низкая температура застывания (до  $-75^{\circ}\text{C}$ ), высокая температура кипения, при замерзании антифриза его масса не увеличивается в объеме, поэтому система охлаждения не выходит из строя. Упрощается эксплуатация автомобилей и другой техники в зимнее время, так как не обязательно иметь в хозяйствах гаражи с отоплением и относительно легко решается проблема открытых автостоянок в городах. Нет необходимости в холодное время года осуществлять прогревание двигателей и это позволяет экономить топливо.

Наибольшее распространение при эксплуатации современных автомобилей и другой техники получили антифризы, которые состоят из смеси этиленгликоля с дистиллированной водой, а также 3 – 5% специальных присадок. Температура замерзания такой жидкости зависит от соотношения этиленгликоля и воды. Этиленгликоль в чистом виде жидкость бесцветная, прозрачная, без запаха и имеет температуру замерзания минус  $11,5^{\circ}\text{C}$ . Если смешать 33,3% воды и 66,7 % этиленгликоля, то температура замерзания полученной смеси будет  $-75^{\circ}\text{C}$ . При любых других соотношениях названных компонентов температура замерзания смеси будет выше. Промышленность производит чистый этиленгликоль, а также выпускает специальные водозтиленгликолевые смеси (антифризы) двух марок: 40 и 65 (цифра означает температуру замерзания смеси). Антифриз марки 40 – жидкость светло-желтого цвета, содержит 53 – 55 % этиленгликоля (остальное вода и 3 – 5% присадок), имеет температуру замерзания минус  $40^{\circ}\text{C}$  и предназначен для эксплуатации двигателей в зимнее, а также и в летнее время года. Антифриз марки 65 – жидкость оранжевого цвета, содержит 65% этиленгликоля (остальное вода и 3 – 5 % присадок), применяют в районах Сибири и Севера.

Этиленгликоль является коррозионно-агрессивным веществом, поэтому в антифризы вводят антикоррозионные присадки. Для антикоррозионной защиты деталей двигателя из алюминия, меди и свинцовооловянистого припоя в 1 л антифриза вводят 1 г декстрина, для антикоррозионной защиты деталей двигателя из стали чугуна, латуни и меди в 1л антифриза вводят 2,5 – 3,5 г динатрийфосфата. С целью предотвращения вспенивания при попадании нефтепродуктов в антифризы вводят антипенные присадки. Кроме антифризов марки 40 и марки 65 отечественная промышленность выпускает следующие низкотемпературные охлаждающие жидкости для автомобильных и других двигателей: Тосол и «Лена». В названии жидкости Тосол отражена технология его получения (Тосол – технология органического синтеза).

В настоящее время промышленностью выпускаются Тосол АМ, Тосол А-40М и Тосол А-65М. Тосол АМ и Тосол А-40М имеет голубой цвет, а Тосол А-65М имеет красный цвет. Тосол АМ представляет собой концентрированный этиленгликоль, содержащий присадки. Пользоваться Тосолом АМ следует после разведения его дистиллированной водой в необходимой пропорции. Смесь Тосола АМ и воды в соотношении 1:1 имеет температуру начала кристаллизации  $-35^{\circ}\text{C}$ .

Водный раствор Тосола АМ с температурой застывания  $-40^{\circ}\text{C}$  маркируют как Тосол А-40 М, а с температурой  $-65^{\circ}\text{C}$  – как Тосол А-65М. Марки Тосола определяют по плотности. Тосол АМ имеет плотность 1120...1340, Тосол А-40М – 1075...1085 и Тосол А-65М – 1085...1095  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

На рынок Республики Беларусь часто поступают перспективные охлаждающие жидкости российского производства.

«Спектрал Тосол А-40» - всесезонная охлаждающая жидкость с температурой кристаллизации не выше  $-40^{\circ}\text{C}$  и плотностью 1062 – 1067  $\text{кг}/\text{м}^3$  при  $20^{\circ}\text{C}$ . Воздействие на резину – набухание не более 5%, коррозионное воздействие на металлы (латунь, сталь, чугун, алюминий) – 0,1  $\text{г}/\text{м}^2$ . «Спектрал Тосол А-40» не образует отложений в системе охлаждения, совместим с охлаждающими жидкостями всех типов на основе этиленгликоля отечественного и зарубежного производства. Предназначен для системы охлаждения автомобильных двигателей всех типов.

Группа компаний «ХимАвто» производит охлаждающие жидкости – антифризы «NORD» и «Тосол-Север». Эти современные охлаждающие жидкости, изготовляемые, как

правило, на основе этиленгликоля, применяют в системе охлаждения автотракторной техники.

Антифриз «NORD» - прозрачная жидкость без механических примесей зеленого цвета. Температура начала кристаллизации – 40°С. Плотность при 20°С 1074 кг/м<sup>3</sup>. Антифриз представляет собой водный раствор этиленгликоля или смеси этиленгликоля с диэтиленгликолем, содержащий антикоррозионную и антипенную присадки. Яркая флуоресцентная окраска антифриза помогает точно определить место утечки его с помощью ультрафиолетовой лампы. Его используют в двигателях автотракторной техники при температуре окружающего воздуха до – 40 °С. Он полностью совместим с отечественным и зарубежными антифризами, изготовленными на основе этиленгликоля.

«Тосол-Север» изготовлен на основе этиленгликоля и содержит пакет присадок, которые уменьшают агрессивность этиленгликоля по отношению к металлам и резине. Антифриз выпускают двух марок: «Тосол-Север-40» и «Тосол-Север-65», температура начала кристаллизации которых соответственно –40 и – 65 °С. «Тосол-Север-40» – однородная жидкость без механических примесей синего цвета, плотность при 20 °С 1073 кг/кг<sup>3</sup>.

Антифриз «Лукойл G-48» соответствует международным стандартам, имеет высокие антикоррозионные свойства и химическую стабильность. Не подвержен образованию пены и не образует отложений в системе охлаждения. Этот антифриз положительно оценен европейскими производителями автомобилей.

Необходимо знать, что с течением времени присадки, вводимые в антифризы, подвергаются распаду, вследствие чего качество антифриза ухудшается. Поэтому в зависимости от марки срок его использования ограничивается двумя или тремя годами, а при интенсивной эксплуатации автомобиля – 60 тыс. км пробега.

### **3.2. Специальные технические жидкости**

#### **3.2.1. Жидкости для тормозных систем и амортизаторов**

В тормозных системах грузовых и легковых автомобилей в основном используют гидравлические приводы. Рабочим телом в этих приводах являются специальные жидкости, которые называются тормозными. Тормозные жидкости в любых условиях должны обеспечивать надежную и долговечную работу тормозов.

Поэтому выпускаемые промышленностью тормозные жидкости должны удовлетворять следующим требованиям: иметь небольшую вязкость, низкую температуру застывания, высокую смазывающую способность, а также высокую химическую и физическую стабильность. Жидкости не должны содержать механических примесей и воды, не вызывать разрушения и разбухания деталей из резины.

Эксплуатационные свойства тормозных жидкостей определяются составом основных компонентов, входящих в них. В зависимости от основы тормозные жидкости делятся на минеральные, гликолевые и силиконовые.

*Минеральные тормозные жидкости* представляют собой смеси касторового масла, получаемого из масляничной культуры клещевины, и спирта. Смесь на основе бутилового спирта образует тормозную жидкость БСК, а смесь на основе этилового спирта – ЭСК. Тормозная жидкость БСК состоит из 50% касторового масла и 50% бутилового спирта. В данную жидкость добавляют красный краситель.

Жидкость на основе касторового масла обладает хорошими смазывающими и защитными свойствами, она негигроскопична, но имеет низкую температуру кипения (115°C). Поэтому ее нельзя использовать в приводах с дисковыми тормозами, так как жидкость в их рабочих цилиндрах может достигать температуры 150°C, а иногда и более высокой. При отрицательных температурах вязкость БСК сильно возрастает, а при – 20 °С она застывает. Это является большим недостатком данной жидкости. Жидкость БСК используют в гидроприводах тормозов и сцеплений старых моделей грузовых и легковых автомобилей (кроме ВАЗ).

Жидкости на основе минеральных масел практически не обладают гигроскопичностью, поэтому температура их кипения (при отсутствии абсорбции влаги) не снижается. Для обеспечения меньшей зависимости вязкости от температуры в тормозную жидкость добавляют специальные присадки.

Тормозные жидкости на основе минеральных масел нельзя смешивать с другими жидкостями, в которых в качестве основы применяются гликоли, чтобы не допустить набухания резиновых уплотнительных элементов гидропривода тормозов. Кроме того, при снижении температуры из раствора будут выпадать сгустки касторового масла, которые могут препятствовать прохождению жидкости по тормозной системе.

*Гликолевые тормозные жидкости* изготавливаются на основе различных соединений гликолей. Их свойства противоположны свойствам касторовых жидкостей. При удовлетворительных смазывающих свойствах эти жидкости имеют высокую начальную температуру кипения и низкую температуру застывания, однако, будучи гигроскопичными, при насыщении влагой снижают температуру кипения. Наибольшее применение при эксплуатации автомобилей и других транспортных средств получили следующие гликолевые жидкости.

*Тормозная жидкость «Нева»* имеет цвет от светло-желтого до желтого, прозрачная. Она рекомендуется для легковых автомобилей. В ее состав входит 51 – 59% этилкарбита, 31 – 34% диолов, 5% эфиров карбита и 13,5% смесей гликолей и полигликолей, а также вязкостная и противокоррозионная присадки. Жидкость «Нева» обладает хорошими вязкостно-температурными свойствами. Плотность ее при 20 °С составляет 1010 – 1015 кг/м<sup>3</sup>, кинематическая вязкость при 50 °С не менее 5 мм<sup>2</sup>/с. Температура кипения жидкости 190°С, а застывания минус 60°С. Тормозная жидкость «Нева» огнеопасна, попадание ее на кожу человека приводит к дерматитам.

*Тормозная жидкость «Томь»* разработана взамен жидкости «Нева» и имеет лучшие эксплуатационные свойства. Ее изготавливают на основе этилкарболита и борсодержащего полиэфира с добавлением загущающей и антикоррозионной присадок. Полностью совместима с жидкостью «Нева», обладает хорошими антикоррозионными и противоизносными свойствами и небольшим снижением температуры кипения при обводнении.

«Томь» работоспособна при температуре окружающей среды от –40 до +45 °С. Температура кипения жидкости 205°С, а застывания минус 60 °С. Ее используют в гидроприводе тормозов и сцеплений всех моделей грузовых и легковых автомобилей, за исключением переднеприводных автомобилей ВАЗ. Срок службы жидкости составляет два года.

*Тормозная жидкость «Роса»* представляет собой смесь полигликолей и эфиров борной кислоты с добавлением антиокислительных и антикоррозионных присадок. Имеет исключительно хорошие высокотемпературные свойства. Ее можно использовать в тормозных системах всех типов автомобилей при температуре от – 50 до + 50 °С. Температура кипения жидкости «Роса» 260°С, а застывания – 60 °С.

Жидкость «Роса» несовместима с БСК, полностью совместима с тормозными жидкостями «Нева» и «Томь».

В последнее время широко применяются в автомобилях и другой автотракторной технике тормозные жидкости российского производства «Роса ДОТ-3», «Роса ДОТ-4» и «Роса ДОТ-5». Эти жидкости производятся с учетом требований к показателям качества, изложенным в американском стандарте FMVSS 116, SAE j 1703. Стандарт учитывает требования американского закона по мерам безопасности. Разработчиком стандарта является Department of Transportation (ДОТ). Во многих странах мира производятся тормозные жидкости, которые в маркировках кроме собственного названия ДОТ-3, ДОТ-4 или ДОТ-5 имеют и дополнение, например: «Синтек Евро ДОТ-4» - Россия, «ХАДО ДОТ-4» - Украина, «Маннол Супер ДОТ-4» - Германия.

Жидкости «Роса ДОТ-3», «Роса ДОТ-4» производятся на основе боросодержащего полиэфира, в который вводят антиокислительные и антикоррозионные присадки. Тормозная жидкость «Роса ДОТ-3» отличается от жидкости «Роса ДОТ-4» только наличием в своем составе различных пластификаторов. Жидкости работоспособны при температурах окружающей среды от  $-40$  до  $+45$  °С. Их применяют в тормозных системах современных легковых и грузовых автомобилей. Эти жидкости совместимы с тормозными жидкостями «Томь» и «Нева» в любых соотношениях. Срок службы жидкостей составляет три года.

В настоящее время в развитых странах мира широко используются тормозные жидкости на синтетической основе. В качестве примеров можно назвать следующие марки (Германия): Mannol ДОТ-4, Mannol SUPER ДОТ-4 и др. Эксплуатационные свойства данных жидкостей весьма высокие.

Следует помнить, что смешивание любой тормозной жидкости с топливом и маслами недопустимо, так как нефтепродукты разрушают резиновые детали, что приводит к отказам тормозной системы. Для промывки тормозных систем с гидравлическим приводом используют технический этиловый спирт.

### 3.2.2 Жидкости для амортизаторов и показатели их качества

Амортизаторы, установленные на автомобилях, предназначены для гашения колебаний кузова на упругих элементах подвески, они делают ход автомобиля плавным даже при движении по бездорожью. В настоящее время амортизаторы устанавливаются также на сиденья с интегральной подвеской и предназначены для тракторов, самоходных сельскохозяйственных машин, строительной дорожной техники и других машин. Некоторые марки гусеничных тракторов и другой техники оборудованы амортизаторами для плавности хода.

Амортизаторные жидкости являются рабочей средой в гидравлических амортизаторах рычажно-кулачкового и телескопического типа, а также в телескопических стойках. Эти жидкости должны иметь хорошие смазывающие и антикоррозионные свойства, обладать высокими вязкостно-температурными свойствами и низкими температурами застывания, а также быть совместимыми с резиновыми уплотнениями. Жидкости не должны содержать воды и механических примесей. Для обеспечения высокой надежности телескопических и рычажно-кулачковых амортизаторов жидкость должна обладать также высокой термической и механической стабильностью. При соблюдении указанных требований амортизаторная жидкость обеспечит ее бессменную надежность работы на протяжении 80–100 тыс. км пробега автомобиля.

Очень важное значение для амортизаторных жидкостей имеет кинематическая вязкость. Практикой доказано, что при температуре  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  вязкость не должна превышать  $800\text{ мм}^2/\text{с}$ . При большей вязкости работа амортизаторов значительно ухудшается, происходит блокировка подвески.

Длительное время в качестве амортизаторных жидкостей для автомобилей и другой техники используют маловязкие нефтяные масла различных марок или их смеси. Жидкости содержат вязкостную, депрессорную, антиокислительную и антипенную присадки.

*Амортизаторная жидкость АЖ-12Т* предназначена для телескопических и рычажно-кулачковых амортизаторов. Жидкость состоит из смеси нефтяного масла глубокой селективной очистки из сернистого сырья и полиэтилсилоксановой жидкости с противозносной и антиокислительной присадками. Применяют в амортизаторах автомобилей и специальной техники. Кинематическая вязкость жидкости не менее  $12\text{ мм}^2/\text{с}$  (при  $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), температура застывания не выше минус  $52\text{ }^{\circ}\text{C}$ , температура

вспышки не ниже 165 °С. Жидкость прозрачная, от светло-желтого до светло-коричневого цвета.

*Амортизаторная жидкость МГП-12* («Славол-АЖ» ТУ 38.301-294097) разработана взамен жидкости МГП-10. Это маловязкая низкозастывающая нефтяная основа, в которую введены депрессорная, диспергирующая, противоизносная, антиокислительная и антипенная присадки. Температура жидкости не ниже 140 °С, застывания – 50 °С. Кинематическая вязкость не менее 12 мм<sup>2</sup>/с при 50 °С. Применяют в качестве рабочей жидкости в амортизаторах легковых и грузовых автомобилей и другой техники.

*Амортизаторная жидкость ГРЖ-12* – смесь очищенных трансформаторного и веретенного дистиллятов с добавлением депрессорной, антиокислительной, противоизносной и антипенной присадок. Применяют в амортизаторах и телескопических стойках автомобильной техники. Температура вспышки жидкости не ниже 140 °С, а застывания – 50 °С. Кинематическая вязкость жидкости ГРЖ-12 равна 16–20 мм<sup>2</sup>/с при 40 °С.

При отсутствии специальных амортизаторных жидкостей их можно приготовить путем смешивания примерно равного количества трансформаторного и турбинного масел. Такие смеси обладают удовлетворительными эксплуатационными свойствами. Эти смеси готовят исходя из требуемой вязкости. Для летних условий вязкость должна быть равна 11 – 12 мм<sup>2</sup>/с (сСт) при 50°С. В этом случае смешивают 60 % турбинного и 40 % трансформаторного масел. Для зимних условий смесь составляют в обратном соотношении. Зимой можно использовать также веретенное масло АУ. Применять одно лишь трансформаторное масло в качестве амортизаторной жидкости не рекомендуется, так как оно не обладает необходимыми противоизносными свойствами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Карташевич, А.Н. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости: учебное пособие / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка, А.В. Гордеенко. – Мн.: – Минск «Новое знание», Москва «ИНФРА–М», 2014. – 361с.
2. Трофименко, И.Л. Автомобильные эксплуатационные материалы: учеб. пособие / И.Л. Трофименко, Н.А. Коваленко, В.П. Лобах. – Минск: Новое знание, 2008. – 232 с: ил.
3. Трубилов, А.К. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебное пособие / А.К. Трубилов, В.А. Хитрюк. – Минск: РИПО, 2012. – 223с.
4. Васильева, Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учеб. пособие для вузов. Изд.2-е / Л.С. Васильева – М.: Наука – Пресс,204. – 421с.
5. Геленов, А.А. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебное пособие для студ. Сред. Проф. Образования / А.А. Геленов, Т.И. Соченко, В.Г. Спиркин. М.: Издательский центр «Академия». – 2010. –304 с.
6. Лиханов, В.А. Справочник по эксплуатационным материалам: учебное пособие / В.А. Лиханов, Р.Р. Деветьяров. – Киров Вятская ГСХА, 2006. – 123с.
7. Кузнецов, А.В. Топливо и смазочные материалы / А.В. Кузнецов. – М.: Колос, 2007. – 199с.
8. Трофименко, И.Л. Автомобильные эксплуатационные материалы: учебное пособие / И.Л. Трофименко, Н.А. Коваленко, В.П. Лобах. – Мн.: Выш. шк. – 2001.
9. СТБ 1656-2011 «Топливо для двигателей внутреннего сгорания. Неэтилированные бензины».
10. СТБ 1658-2006 «Топливо дизельное. Технические требования и методы испытаний».
11. ТР 2008/011/ВУ «Автомобильный бензин и дизельное топливо. Безопасность», Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту».

