

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

**Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»**

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

ТОПЛИВО, СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ

Учебное пособие

Под редакцией А.Н. Карташевича

**Горки
БГСХА
2012**

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
И ПРОДОВОЛЬСТВИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

ГЛАВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И КАДРОВ

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»

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

ТОПЛИВО, СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ

Учебное пособие

Под редакцией А.Н. Карташевича

Горки
БГСХА
2012

УДК 629.114.2.004:631.95

ББК

К

Рекомендовано методической комиссией факультета механизации сельского хозяйства (протокол №) и научно-методическим советом БГСХА (протокол №)

Карташевич, А. Н., Товстыка, В. С., Гордеенко А.В. Топливо, смазочные материалы и технические жидкости / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка, А.В. Гордеенко – Горки: БГСХА, 2012. – 484 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. 34, Ил. 85, Библиогр. 83.

Рецензенты:

ISBN 978-985-467-360-8

© А. Н. Карташевич, В.С.Товстыка,
А.В. Гордеенко 2012

© УО «Белорусская государственная
сельскохозяйственная академия», 2012

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
1. ХИММОТОЛОГИЯ ТОПЛИВ	6
1.1 Виды топлив, их свойства и горение	7
1.1.1. Теплота сгорания топлива	9
1.1.2. Определение количества воздуха, необходимого для горения топлива	12
1.1.3. Токсичность отработавших газов двигателей и способы ее снижения	16
1.2. НЕФТЬ И ПРОДУКТЫ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ	26
1.2.1. Физико-химические свойства нефти	26
1.2.2. Методы переработки нефти	36
1.2.3. Очистка топлив и масел	44
1.2.4. Классификация топлив и их краткая характеристика	47
1.3 БЕНЗИНЫ АВТОМОБИЛЬНЫЕ	48
1.3.1. Требования к качеству автомобильных бензинов	49
1.3.2. Химический и углеводородный состав бензинов	53
1.3.3. Физико-химические свойства бензинов	56
1.3.4. Стабильность топлива, склонность к образованию отложений и нагарообразованию	59
1.3.5. Совместимость бензинов с неметаллическими материалами	65
1.3.6. Испаряемость бензинов	65
1.3.7. Антидетонационные свойства	76
1.3.8. Основные нарушения нормального сгорания в двигателях с искровым зажиганием в период эксплуатации	88
1.3.9. Экология автомобильных бензинов	96
1.3.10. Ассортимент бензинов	99
1.3.11. Рекомендации по применению автомобильных бензинов	104
1.4. ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО	105
1.4.1. Свойства дизельных топлив	107
1.4.2. Экологические требования к дизельному топливу	128
1.4.3. Влияние свойств топлива и присадок на долговечность и качество работы дизельного двигателя	131
1.4.4. Ассортимент дизельных топлив	133
1.5 АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ ТОПЛИВА	142
1.5.1. Виды и классификация газообразных топлив для двигателей внутреннего сгорания	143
1.5.1.1 Сжиженные нефтяные газы	144
1.5.1.2 Природный газ	156
1.5.1.3 Сжиженный природный газ	160
1.5.1.4 Генераторный газ	161
1.5.1.5 Биогаз	162
1.5.1.6 Диметиловый эфир	171
1.5.2. Использование спиртов в качестве топлива	172
1.5.3. Водородное топливо	176
1.5.3.1 Применение водорода в топливных элементах	178
1.5.3.2 Применение водорода в ДВС	181
1.5.4. Топлива на основе растительных масел	188
1.5.4.1 Растительные масла без химической обработки	188
1.5.4.2 Метиловый эфир рапсового масла	193
1.5.5. Местные виды топлива	194
1.5.5.1. Мировой опыт использования местных видов топлива	195
1.5.5.2. Источники получения местных видов топлива	203

1.5.5.3 Характеристика местных видов топлива	206
1.5.5.4. Потенциал использования местных видов топлива	212
1.6.5. Термохимические методы конверсии биомассы	216
1.5.5.6. Экологическая оценка использования местных видов топлива	225
1.5.5.7. Заключение.....	227
2. ХИММОТОЛОГИЯ СМАЗОЧНЫХ И ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ	227
2. 1. Трение, износ и виды смазочных материалов.....	227
2.1.1 Назначение смазочных материалов и виды трения	227
2.1.2. Виды изнашивания поверхностей	234
2.1.3 Виды смазочных материалов и требования, предъявляемые к ним	238
2.1.4 Присадки к смазочным маслам и механизм их действия.....	239
2.2. МОТОРНЫЕ МАСЛА.....	242
2.2.1. Свойства масел и методы их оценки.....	244
2.2.2. Присадки к моторным маслам	254
2.2.3. Классификация смазочных масел по отечественным и международным стандартам	256
2.2.4. Ассортимент моторных масел для ДВС	265
2.2.5. Особенности синтетических и полусинтетических моторных масел	274
2.3 ТРАНСМИССИОННЫЕ МАСЛА	277
2.3.1 Условие работы и требования, предъявляемые к трансмиссионным маслам	277
2.3.2 Основные свойства трансмиссионных масел и методы их оценки	281
2.3.2.1 Вязкостно-температурные свойства.....	281
2.3.2.2 Термостабильность и стойкость к окислению.....	284
2.3.2.3 Антикоррозионные свойства	286
2.3.2.4 Склонность к пенообразованию	288
2.3.2.5 Совместимость с эластомерами	289
2.3.3 Оценка качества масел	290
2.3.4 Международные классификации трансмиссионных масел.....	293
2.3.4.1 Классификация по вязкости.....	293
2.3.4.2 Классификация по назначению	297
2.3.4.3 Классификация масел по ГОСТ	303
2.3.5 Эксплуатационные группы трансмиссионных масел	306
2.3.6 Применение масел при низких температурах	324
2.3.7 Периодичность замены трансмиссионных масел	326
2.4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАСЛА.....	328
2.4.1 Общие требования и свойства.....	328
2.4.2 Обозначение гидравлических масел	329
2.4.3 Ассортимент гидравлических масел	332
2.4.3.1 Маловязкие гидравлические масла	332
2.4.3.2 Средневязкие гидравлические масла	334
2.4.3.3 Вязкие гидравлические масла	336
2.5 ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ МАСЛА	338
2.5.1 Требования, классификация и система обозначений	338
2.5.2 Ассортимент индустриальных масел	341
2.6. ПЛАСТИЧНЫЕ СМАЗКИ.....	344
2.6.1. Классификация и обозначение пластичных смазок	345
2.6.2. Показатели качества пластичных смазок	348
2.6.3 Ассортимент пластичных смазок и их применение	367
2.6.4. Консервационные смазки.	378
2.6.5. Особенности применения пластичных смазок в узлах трения	380
2.6.6. Совместимость пластичных смазок	386
2.6.7. Хранение, нормирование расхода и пути экономии смазок	390
3. ХИММОТОЛОГИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ.....	394
3.1. Жидкости для охлаждения двигателей внутреннего сгорания.	394
3.1.1 Основные марки антифризов и показатели их качества	394

3.2.2. Определение состава антифриза и восстановление его стандартных свойств	400
3.2. Жидкости для тормозных систем и амортизаторов	402
3.2.1. Основные марки тормозных жидкостей и показатели их качества	402
4. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВА И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ	409
4.1 Контроль качества нефтепродуктов в условиях эксплуатации	409
4.2. Отбор проб нефтепродуктов	418
4.3. Структура нефтехозяйства и организация снабжения нефтепродуктами	425
4.4 Получение, хранение и выдача нефтепродуктов	433
4.4.1 Оборудование нефтескладов и организация заправки машин	433
4.4.2. Организация хранения нефтепродуктов	440
4. 5. Организация учета нефтепродуктов	443
4.6. Основные принципы нормирования расхода	447
4.7. Нормирование расхода топлива на работы тракторов и	447
самыхходных комбайнов	447
4.8 Нормирование расхода топлива на тракторно-транспортных работах	449
4.9. Расчёт групповых (плановых) норм расхода топлива на тракторных работах	450
4.10 Нормирование расхода топлива на работу автомобильного транспорта	451
4.11.1. Расчет потребного количества смазочных материалов	458
4.12. Характеристика существующих методов определения норм расхода топлива и определение основных нормообразующих факторов	459
4.12.1. Методика определения норм при помощи нормативных таблиц	459
4.12.2. Методика определения норм путем хронометражных наблюдений	463
4.12.3. Определение составляющих элементов	465
4.13. Организационно-технические мероприятия по экономии и рациональному использованию нефтепродуктов	466
4.13.1. Влияние технического состояния машин на расход топлива	466
4.13.2. Влияние условий и организации использования машинно-тракторного и автомобильного парка на расход топлива	467
4.14. Снижение потерь нефтепродуктов при приёмке, хранении и отпуске	468
ЛИТЕРАТУРА	472

Введение

Автотракторная техника различного назначения с двигателями внутреннего сгорания является основным потребителем топлив и 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 горючего, смазочных масел, пластичных смазок, а также специальных жидкостей.

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 топлива и смазочные материалы следует осознанно. В то же время цены на нефтепродукты 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.

За последние годы совершенствование конструкции автотракторной техники и улучшение качества моторных масел позволили снизить расход топлива в среднем на 10...15 % и увеличить ресурс двигателей на 30...40 %, в результате чего уменьшились затраты на ремонт и запасные части. При этом срок службы масел возрос в полтора раза, а их расход снизился в 2...3 раза.

Ужесточение экологических требований к автотракторной технике и форсирование двигателей внутреннего сгорания требует от производителей топливосмазочных материалов постоянной работы над улучшением свойств своей продукции.

1. ХИММОТОЛОГИЯ ТОПЛИВ

Химмотология (от химия и лат. motor – приводящий в движение и греч. logos – наука) – область знаний о свойствах, качестве и рациональном использовании горючих и смазочных материалов (ГСМ) в технике (двигателях, особенно внутреннего сгорания, машинах и механизмах). Термин «Химмотология» впервые предложен в СССР (К. К. Папок, 1964).

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 ГСМ, 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 ГСМ 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 ГСМ, обеспечением наиболее полного соответствия эксплуатационных свойств ГСМ требованиям двигателей. Решение задач этой группы базируется на исследовании комплекса физико-химических процессов, протекающих при использовании ГСМ (испарение, смесеобразование, сгорание, лако- и нагарообразование, коррозионный и механический износ и т. д.). Эта же группа включает работы по оценке эффективности путей улучшения качества ГСМ (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 ГСМ в условиях эксплуатации. К этой группе относятся разработка и научное обоснование норм расхода ГСМ, 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 ГСМ. 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 Виды топлив, их свойства и горение

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.

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.

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.

Кислород O , 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_2 и серный SO_3 ангидриды вызывают сильную газовую или жидкостную коррозию металлических поверхностей. Содержание серы в твердом топливе достигает до 8 %, а в нефти – 0,1...4 %.

Зола A представляет собой негорючий твердый компонент, количество которого определяют после полного сгорания топлива. Она является нежелательной и даже вредной примесью, так как в ее присутствии усиливаются абразивные износы, усложняется эксплуатация котельных установок и т.д. 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 °С для удаления влаги.

Состав газообразных топлив весьма разнообразен: Горючая часть его включает водород H , окись углерода CO , метан CH_4 и другие газообразные углеводороды (C_nH_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 N , углекислый CO_2 и сернистый SO_2 , кислород O и пары воды H_2O .

1.1.1. Теплота сгорания топлива

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 (кДж/кг).

Для газообразных топлив применяется показатель объемной теплоты сгорания, характеризующий количество теплоты, выделяемой при полном сгорании единицы объема (кДж/м³). Газообразное топливо оценивают также по молярной теплоте сгорания, то есть по количеству теплоты, выделяемой при полном сгорании одного моля газа (кДж/моль).

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

$$Q_B = 339C + 1256H - 109(O - S). \quad (1.1)$$

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

$$Q_H = Q_B - 25(9H + W). \quad (1.2)$$

В указанных формулах содержание химических элементов выражается в процентах.

Низшая, или рабочая, теплота сгорания Q_H - 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 бензи-

нов и других жидких топлив считают Q_H .

Количество теплоты, выделяемое при сгорании топлива, зависит от химического состава, а следовательно, от содержания в нем углерода и водорода.

Наибольшая массовая теплота сгорания водорода составляет 121100 кДж/кг, а углерода – 34100 кДж/кг, поэтому парафиновые углеводороды с большим содержанием водорода имеют большую массовую теплоту сгорания по сравнению с ароматическими, содержащими меньше водорода.

Объемная же теплота сгорания меньше у парафиновых углеводородов и больше у нафтеновых и ароматических, так как у них выше плотность.

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

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

где K – коэффициент, зависящий от плотности нефтепродукта при 20°C и определяемый по справочной таблице;

ρ_t^{20} – относительная плотность нефтепродукта при 20°C.

Основной характеристикой газообразных топлив является объемная теплота сгорания (кДж/м³), которая определяется делением молярного количества теплоты сгорания на объем 1 киломоля газа. 1 киломоль любого газа при нормальных условиях (0 °C и 760 мм.рт.ст) занимает объем 22,4 м³.

Высшее объемное количество теплоты сгорания газообразного топлива в расчете на сухую массу может быть определено по формуле:

$$Q_{св} = 128(CO + H_2) + 399CH_4 + 639C_nH_m, \quad (1.4)$$

а ее низшее объемное количество:

$$Q_{сн} = 128CO + 108H_2 + 356CH_4 + 589C_nH_m. \quad (1.5)$$

Объемное количество теплоты сгорания рабочей массы газообразного топлива, содержащего водяные пары, вычисляют по формулам:

$$Q_{РВ} = 0,805 - Q_{св} / (0,805 + W), \quad (1.6)$$

или

$$Q_{РН} = 0,805 - Q_{сн} / (0,805 + W), \quad (1.7)$$

где 0,805 – масса 1 м^3 водяного пара, кг;

W – содержание влаги в м^3 газа, кг.

Теплоту сгорания определяют также опытным путем, сжигая определенное количество топлива в специальных приборах (калориметрах). Теплоту сгорания оценивают по повышению температуры воды в калориметре.

Для сравнения топлив введено понятие «условное топливо». За единицу такого топлива принято топливо, которое при полном сгорании 1 кг или 1 м^3 выделяет $29307,6\text{ кДж}$. 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 (донецкий 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

Для анализа топлива отбирают среднюю пробу в соответствии с требованиями специальных ГОСТов. У газообразного топлива среднюю пробу отбирают аспираторами.

Пробы жидкого топлива берут специальными пробоотборниками при его приеме, отпуске, хранении из резервуара или бочки, при работе транспорта из топливного бака и т.д. Среднюю пробу приготавливают путем смешивания индивидуальных проб, число которых зависит от объема, формы и числа емкостей. Например, для горизонтального резервуара среднюю пробу определяют из индивидуальных проб, взятых с трех уровней: верхнего – с глубины 200 мм от поверхности нефтепродукта (1 часть), среднего – из середины объема (3 части) и нижнего – на расстоянии $250\ldots 300\text{ мм}$ от дна резервуара (1 часть). Затем эти пробы сливают в одну емкость, хорошо перемешивают и отбирают среднюю пробу для исследования. Берут также пробу со дна резервуара для обнаружения воды. Уровень воды можно определить также, опуская в резервуар измерительную рейку, нижняя часть кото-

рой покрыта специальной водочувствительной пастой. По высоте растворения пасты судят об уровне воды в емкости.

1.1.2. Определение количества воздуха, необходимого для горения топлива

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

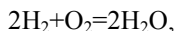
Характерной особенностью горения является высокая скорость протекания окислительных реакций, при которых выделяемая теплота не успевает рассеиваться. Горение сложный процесс, при котором химические реакции сопровождаются такими физическими процессами, как перемешивание топлива и воздуха, диффузия, теплообмен.

Различают, гомогенные, гетерогенные и взрывное горения. В первом случае топливо и окислитель находятся в газообразном состоянии, во втором вступающие в реакцию вещества находятся в различном агрегатном состоянии (например, в твердом или газообразном).

Процесс горения топлива может протекать как при недостатке, так и при избытке окислителя. Полное сгорание топлива происходит при стехиометрическом соотношении топлива, и окислителя, которые соответствуют химическим реакциям полного окисления горючих элементов.

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

Реакция сгорания водорода может быть выражена формулой:



т.е. две молекулы водорода, соединяясь с одной молекулой кислорода, дают две молекулы воды. Таким образом, принимая во внимание массовые единицы для сгорания двух молей водорода (4 кг) требуется одна моль кислорода (32 кг) и получается 2 моли водяных паров (36 кг).

2H_2	O_2	$2\text{H}_2\text{O}$
4 кг	32 кг	36 кг
1 кг	8 кг	9 кг
H кг	8H кг	9H кг
H кг	$\frac{8H}{32} = \frac{H}{4}$ моли	$\frac{9H}{18} = \frac{H}{2}$ моли

Таким образом, для сгорания H кг водорода требуется H/4 моли

кислорода, в результате чего получится $H/2$ моли продуктов сгорания H_2O .

В дальнейшем под обозначениями H , C и O будем подразумевать массовое количество в килограммах водорода, углерода и кислорода, содержащихся в 1 кг топлива.

При сгорании с избытком воздуха углерод дает углекислоту $C+O_2=CO_2$. Вес одной моли углерода 12 кг. Тогда для полного сгорания будем иметь:

C	O_2	CO_2
12 кг	32 кг	44 кг
1 кг	$\frac{32}{12} = \frac{8}{3}$ кг	$\frac{44}{12} = \frac{11}{3}$ кг
C кг	$\frac{8}{3} C$ кг	$\frac{11}{3} C$ кг
C кг	$\frac{8}{3 \cdot 32} C = \frac{C}{12}$ молей	$\frac{11}{3 \cdot 44} C = \frac{C}{12}$ молей

Следовательно, для сгорания C кг углерода в углекислоту требуется $C/12$ молей кислорода и получается $C/12$ молей продуктов сгорания CO_2 .

При сгорании с недостатком воздуха углерод дает окись углерода: $2C+O_2=2CO$, в этом случае будем иметь:

$2C$	O_2	$2CO$
24 кг	32 кг	56 кг
1 кг	$\frac{32}{24} = \frac{4}{3}$ кг	$\frac{56}{24} = \frac{7}{3}$ кг
C кг	$\frac{4}{3} C$ кг	$\frac{7}{3} C$ кг
C кг	$\frac{4}{3 \cdot 32} C = \frac{C}{24}$ молей	$\frac{7}{3 \cdot 28} C = \frac{C}{12}$ молей

Для сгорания C кг углерода в окись требуется $C/24$ молей кислорода и получается $C/12$ молей продуктов сгорания CO .

Если в килограмме топлива содержится O кг кислорода, то количество кислорода, необходимое для реакции, соответственно будет меньше на O кг или на $O/32$ молей.

Из рассмотренных уравнений сгорания отдельных составляющих элементов топлива, нетрудно определить количество кислорода необходимого для полного сгорания 1 кг топлива:

$$\ell'_i = \left(\frac{8}{3}C + 8H - O \right), \quad \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \frac{\text{воздуха}}{\text{топлива}}. \quad (1.8)$$

Так как в воздухе содержится по массе 23% кислорода и 77% азота, то количество воздуха, теоретически необходимого для полного сгорания 1 кг топлива, составит:

$$\ell_o = \frac{1}{0.23} \left(\frac{8}{3}C + 8H - O \right), \quad \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \frac{\text{воздуха}}{\text{топлива}}, \quad (1.9)$$

где 0,23 – значение массового содержания кислорода в 1 кг воздуха.

Теоретически необходимое количество воздуха необходимого для полного сгорания 1 кг топлива и удельная теплота сгорания топлив и горючих смесей представлена в таблице 1.3.

Таблица 1.3. Удельная теплота сгорания топлив и горючих смесей

Топливо	$\ell_o, \frac{\text{кг}}{\text{кг}} \frac{\text{воздуха}}{\text{топлива}}$	Удельная теплота сгорания, кДж/кг	
		топлива	горючей смеси
Бензин	14.80	43961	2800
Керосин	14.30	43956	2740
ШФС	14.40	42420	2750
Дизельное	14.40	42700	2770
Соляное масло	12.90	42430	2780
Этиловый спирт	8.60	26000	2760
Метиловый спирт	6.50	22000	2760
Бензол	13.20	40000	2770
Природный газ	17.30	49152	2720
Водород	34.80	118272	3300
Аммиак	6.13	17165	2430
Сжиженный газ	15.20	45780	2830
Соевое масло	12.70	37000	2700
Рапсовое масло	13.10	35790	2600

Так как в воздухе по объему содержится 21% кислорода и 79% азота, то количество воздуха в кмольях, теоретически необходимого для полного сгорания 1 кг топлива, составит:

$$L_o = \frac{1}{0.21} \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O}{32} \right), \quad \frac{\text{кмоль воздуха}}{\text{кг топлива}}, \quad (1.10)$$

где 0,21 – значение объемного содержания кислорода в 1 кг воздуха.

Связь между этими величинами выглядит следующим образом:

$$\ell_o = \mu_B L_o, \quad (1.11)$$

где μ_B – масса 1 кмоль воздуха ($\mu_B=28,96$ кг/кмоль).

Действительное количество воздуха, участвующее в сгорании, обычно не равно теоретическому, и характеризуется коэффициентом избытка воздуха.

Коэффициент избытка (α) воздуха это отношение действительного количества воздуха, участвующего в процессе сгорания 1 кг топлива, к теоретически необходимому количеству воздуха для полного сгорания топлива:

$$\alpha = \frac{\ell}{\ell_o} = \frac{L}{L_o}. \quad (1.12)$$

При испытании двигателей коэффициент избытка воздуха определяют по выражению:

$$\alpha = \frac{G_B}{\ell_o G_T}, \quad (1.13)$$

где G_B – масса воздуха, участвующая в сгорании,

G_T – масса сгоревшего топлива.

При $\alpha=1$ состав смеси называют стехиометрическим, полное сгорание топлива в этом случае возможно лишь при идеальном его смешении с воздухом. В реальных условиях полное сгорание топлива в двигателе может быть достигнуто при $\alpha>1$.

Смесь, характеризуемую $\alpha>1$, т.е. количество воздуха больше теоретически необходимого для полного сгорания топлива, называют бедной; при $\alpha<1$, т.е. количество воздуха меньше необходимого для полного сгорания топлива – богатой (топливом), при этом часть углерода топлива окисляется лишь до CO, что приводит к увеличению объема продуктов сгорания и увеличению давления в цилиндре двигателя.

Снижение подачи воздуха по сравнению с оптимальной приводит к

повышенному расходу топлива за счет неполного его сгорания. При чрезмерном увеличении подачи воздуха процесс сгорания также будет не оптимальным из-за потерь тепла на нагрев избыточного воздуха и снижении температуры горения.

Температурой горения топлива называют температуру, которую приобретают газообразные продукты сгорания в результате действия теплоты, выделяемой в процессе горения. Практический интерес представляет действительная температура горения, которая ниже теоретической в связи с отдачей газами части тепла поверхности нагрева, а также из-за неполного сгорания самого топлива. Температуру горения измеряют при помощи различных приборов (термопары, пирометры и др.).

Минимальный коэффициент избытка воздуха, соответствующий окислению всего топлива до CO , определяется через элементарный состав:

$$\alpha_{\text{co}} = \frac{C}{(2C + 6H)} \cdot \quad (1.14)$$

В двигателях с внешним смесеобразованием α_{CO} практически никогда не имеет места, поэтому углерод в продуктах сгорания отсутствует. В дизельных двигателях условия смесеобразования таковы, что есть зоны с $\alpha < \alpha_{\text{CO}}$ и в процессе сгорания образуется несгоревший углерод, выделяющийся в виде сажи.

Значение коэффициента избытка воздуха зависит от вида топлива, условий сжигания и конструкции двигателя и может составлять 0,85...1,5.

1.1.3. Токсичность отработавших газов двигателей и способы ее снижения

Рост парка автомобильных двигателей, увеличение единичных мощностей и расширение сферы их применения приводит к загрязнению атмосферы токсичными веществами отработавших газов (ОГ) ДВС, увеличению их вредного воздействия.

В развитых странах мира в результате соответствующих законодательных ограничений за последние 10...15 лет наблюдается устойчивая тенденция снижения выбросов вредных веществ с ОГ автомобилей.

Выпускаемые промышленностью новые автомобили и трактора становятся "чище", а их топливная экономичность заметно улучшается.

Снижение токсичности всех новых тракторов и автомобилей должно быть таким, чтобы обеспечить снижение вредных выбросов по всем действующим нормам.

Например, в Германии использование современных технологий снижения токсичности ОГ позволило обеспечить в 1992 г. уменьшение суммарных выбросов оксидов азота (NO_x), равное выбросам 34 миллионов легковых автомобилей, а также уменьшить на 40 % выброс углеводородов (C_nH_m) и на 70 % – оксида углерода (CO) по сравнению с общим выбросом в атмосферу 14 миллионов автомобилей в 1970 г.

Автомобильные двигатели загрязняют атмосферу вредными веществами, выбрасываемыми с отработавшими газами (более 95%), картерными газами и топливными испарениями.

Так как рабочий процесс ДВС осуществляется по разомкнутому циклу, то выброс в окружающую среду ОГ является неотъемлемым условием их работы. При идеальном сгорании стехиометрической смеси углеводородного топлива с воздухом в продуктах сгорания должны присутствовать только нетоксичные компоненты N_2 , CO_2 и H_2O . В реальных же условиях ОГ содержат продукты неполного сгорания и представляют собой аэрозоль сложного состава, содержащий более 1000 компонентов. Основной массовый состав ОГ – это нетоксичные элементы, но наряду с ними присутствуют и некоторые токсичные вещества. К токсичным веществам ОГ ДВС относят: оксиды азота (NO_x), сажу (C), альдегиды (RCHO), оксиды углерода (CO), углеводороды (C_nH_m), в том числе канцерогенные полициклические ароматические углеводороды (ПАУ), оксиды серы и др.

При сгорании в ДВС 1 кг бензина при средних режимах работы выделяется примерно 300...310 г токсичных компонентов (225 г оксидов углерода, 55 г окислов азота, 1...1,5 г сажи и др.).

При сгорании 1 кг дизельного топлива выделяется около 80... 100 г токсичных компонентов (20...30 г окиси углерода, 20...40 г оксидов азота, 4...10 г углеводородов, 10...30 г оксидов серы, 0,8...1,0 г альдегидов, 3...5 г сажи и др.).

Сущность явления токсичности определяется количественной характеристикой взаимоотношений между химическими компонентами внешней среды и организмом человека. Токсичность веществ – это мера их несовместимости с жизнью организма. Опасность вещества – это вероятность возникновения и развития отравления в реальных условиях.

Доказано, что продукты сгорания топлива накапливаются в воде, растениях, на сооружениях, в почве. В воздухе они могут превращаться в другие, более токсичные, чем исходные продукты.

При высоком содержании в малоподвижной и влажной атмосфере NO_2 , O_3 и C_nH_m возникает туман коричневого цвета, который получил название смог". Смог является смесью жидких и газообразных компо-

нентов, он раздражает глаза и слизистые оболочки, ухудшает видимость на дорогах.

Рассмотрим воздействие отдельных компонентов ОГ на человека.

Оксиды азота (NO_x). Из известных 10 различных по составу оксидов 95...98 % приходится на NO , 2...5 % – на NO_2 . Оксид азота – бесцветный газ, очень плохо растворяющийся в воде, окисляется до NO_2 – газа красновато-бурого цвета с характерным запахом (плотность по воздуху 1,58). Оксиды азота, взаимодействуя с парами воды в воздухе, образуют азотную кислоту, разрушающую легочную ткань и вызывающую хронические заболевания. Концентрация NO_x в воздухе, равная 0,0001...0,0003 %, воспринимается по запаху, 0,0013 % – раздражает слизистую оболочку носа и глаз, 0,004...0,008 % – приводит к отеку легких. Оксиды азота вызывают необратимые изменения в сердечно-сосудистой и нервной системах, в соединении с углеводородами образуют токсичные нитроолефины. Воздействие NO_x на организм человека ничем не нейтрализуется.

Оксид углерода (CO). Бесцветный газ без запаха и вкуса, очень плохо растворим в воде, плотность по воздуху – 0,97, горюч, с воздухом образует взрывчатые смеси, значительно активнее кислорода в соединении с гемоглобином крови (более чем в 200 раз). Вытесняя кислород из крови, нарушает перенос кислорода от легких к тканям. При этом наступает кислородное голодание, удушье. Если концентрация CO мала, то появляются субъективные ощущения: голова становится «тяжелой», сильная боль во лбу, висках, в глазах – «туман», в висках – ощущение пульсации. В дальнейшем появляется головокружение, шум в ушах, чувство слабости, сонливость, рвота, учащается пульс и наступает потеря сознания.

Воздействие CO зависит от ее концентрации в воздухе: при концентрации 0,01% при длительном пребывании наступает хроническое отравление; 0,05% – слабое отравление через 1 ч; 1 % – потеря сознания через несколько вдохов. Следует особое внимание уделять концентрации около 0,01%, характерной для работы водителей в помещениях с ограниченным воздухообменом.

Углеводороды (C_nH_m). Многочисленная группа соединений, из которых наибольшую опасность представляют канцерогенные ПАУ, включая бенз(α)пирен $\text{C}_{20}\text{H}_{12}$. Ароматические углеводороды обладают сильными отравляющими свойствами, воздействуют на процессы кроветворения, нарушают деятельность центральной нервной и мышечной систем. Некоторые ПАУ относятся к так называемым канцерогенным веществам, они не выводятся из организма человека, а со временем накапливаются в нем, способствуя образованию злокаче-

ственных опухолей.

Альдегиды (формальдегид, акролеин) вредно действуют на нервную систему и органы дыхания человека. Сильное раздражение слизистых оболочек носа и глаз наступает при концентрации формальдегида 0,18%. Акролеин более ядовит и уже при концентрации 0,002% вызывает сильное раздражение слизистых оболочек.

Бенз(α)пирен – кристаллическое вещество, сходное с нафталином. Непосредственный контакт канцерогенных веществ с живой тканью при постепенном накоплении до критических концентраций приводит к образованию злокачественных опухолей.

Сажа (С). Представляет собой твердый продукт, состоящий в основном из углерода. Кроме углерода в саже содержится 1...3% (по массе) водорода.

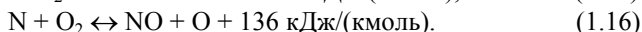
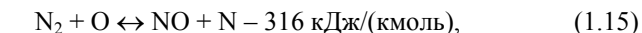
Частицы сажи засоряют дыхательные пути, вызывают хронические заболевания носоглотки и легких. Относительно крупные частицы сажи размером более 10 мкм задерживаются в верхних дыхательных путях и легко выводятся из организма, мелкие (0,1...10,0 мкм) оседают в легких и вызывают аллергию дыхательных путей. Но главные токсичные свойства сажи обусловлены не углеродом, а присутствием на ней адсорбированных канцерогенных ПАУ.

Установлено, что в кабинах автомобилей концентрация вредных веществ может в несколько раз превышать предельно допустимые нормы и отрицательно влиять на здоровье работающих.

До недавнего времени считалось, что бензиновые двигатели более токсичны, чем дизельные, однако применение неэтилированных бензинов и микропроцессорной техники, регулирующей подачу топлива, позволило значительно снизить выброс токсичных веществ и повысить их экономичность.

Рассмотрим механизм образования токсичных компонентов ОГ.

Оксиды азота. Если температура в цилиндре превышает 1500К, то азот и кислород воздуха вступают в химическое взаимодействие по цепному механизму:



Определяющей является верхняя реакция, скорость которой зависит от концентрации атомарного кислорода. При сгорании в цилиндрах ДВС образуется главным образом оксид азота NO.

В двигателе с искровым зажиганием окисление азота и образование NO происходят за фронтом пламени в зоне продуктов сгорания, где в

результате «Махе-эффекта» достигаются наивысшие температуры. (Примечание: продукты сгорания первых порций смеси, расположенных вблизи свечи зажигания, подвергаются адиабатному сжатию в результате повышения давления при сгорании остальной массы смеси. Вследствие этого в начальной зоне горения имеют место повышенные значения температуры по сравнению с их значениями в остальной массе заряда. Это различие температур в камере сгорания двигателя с искровым зажиганием называется «Махе-эффектом»). Образование NO сильно увеличивается с ростом температуры газов и концентрации кислорода.

При сгорании в дизеле образование NO определяется локальным составом смеси и температурой. Наибольшее количество NO образуется в тех зонах заряда дизеля, которые сгорают первыми и имеют наибольшее время пребывания при температуре выше 2200 К.

С другой стороны, выход NO зависит от скорости охлаждения продуктов сгорания. Установлено, что при $\alpha > 1$ в процессе расширения, когда температура газов в цилиндре уменьшается, концентрация оксида азота не снижается до равновесной, а остается на уровне максимальной, т.е. имеет место так называемая "закалка". При работе двигателя с искровым зажиганием при $\alpha < 1$ "закалка" не наблюдается. Поэтому при работе на бедных смесях выход NO определяется максимальной температурой, т.е. кинетикой образования оксида азота. При $\alpha < 1$ образование NO практически перестает зависеть от максимальной температуры и определяется кинетикой разложения. Вне цилиндра двигателя (в выпускной системе и в атмосфере) NO окисляется до NO₂ (диоксид азота), токсичность которого значительно больше.

Оксид углерода. Образуется во время сгорания при недостатке кислорода, в ходе холоднопламенных реакций в дизелях или при диссоциации CO₂ (главным образом, в двигателях с искровым зажиганием). Так как при нормальной эксплуатации концентрация CO в дизелях невелика (не более 0,1...0,2%), то более характерно образование и сгорание CO в карбюраторном двигателе.

В двигателях с искровым зажиганием основное влияние на образование CO оказывает состав смеси: чем она богаче, тем выше концентрация CO.

Значительное количество CO образуется в режимах холостого хода и максимальной мощности, когда коэффициент избытка воздуха находится в пределах 0,5...0,9.

Углеводороды. Состоят из исходных или распавшихся молекул топлива, которые не принимали участия в сгорании. Углеводороды появляются в ОГ вследствие гашения пламени вблизи относительно

холодных стенок камеры сгорания, в "защемленных" объемах, находящихся в вытеснителях и в зазоре между поршнем и цилиндром над верхним компрессионным кольцом.

В дизелях углеводороды образуются в переобогащенных зонах, где происходит пиролиз молекул топлива (распад молекул топлива под действием высоких температур при отсутствии химических реагентов). Если в процессе расширения в эти зоны не поступит достаточное количество кислорода, то C_nH_m окажется в составе ОГ. Углеводороды могут выбрасываться в атмосферу вследствие пропусков воспламенения, негерметичности выпускного клапана или системы вентиляции картера, а также из-за испарения бензина в топливном баке и карбюраторе.

В ряде работ утверждается, что значительная часть C_nH_m выбрасывается в результате того, что на тактах впуска и сжатия горючей смеси пары топлива поглощаются масляной пленкой на стенках цилиндра (абсорбция). На такте расширения парциальное давление паров топлива в заряде снижается практически до нуля и происходит их выделение из пленки (десорбция).

Аналогичный эффект вызывается также нагаром на поверхности камеры сгорания.

Количество различных индивидуальных углеводородов, входящих в эту группу токсичных веществ, превышает 200. В тех концентрациях, в которых углеводороды содержатся в воздухе даже в зонах с самым интенсивным движением автотранспорта, они не приносят значительного вреда здоровью человека, однако, могут вызывать реакции, которые ведут к образованию соединений, вредных даже при незначительной концентрации. Так, углеводороды под действием солнечных лучей могут взаимодействовать с оксидами азота, образуя биологически активные вещества, которые раздражающе действуют на органы дыхательных путей и вызывают появление так называемого смога.

Особое значение имеют выбросы бензола, толуола, ПАУ и в первую очередь бенз(α)пирена. Эта группа высокотоксичных веществ образуется в результате пиролиза (разложения) легких и средних фракций топлива при температуре 600...700 К. Такие условия возникают во время рабочего хода в цилиндре вблизи его холодных поверхностей при наличии там несгоревших углеводородов. Количество ПАУ в ОГ тем больше, чем выше концентрация в топливе бензола.

Сажа. Образуется при температуре выше 1500К в результате объемного процесса термического разложения (пиролиза) топлива при сильном недостатке кислорода. Формально реакция пиролиза выражается уравнением:



Начало образования сажи имеет место при α , меньшем 0,3..0,7 и зависит от температуры и давления газов, а также от вида топлива. При одинаковом количестве атомов углерода по степени увеличения склонности к образованию сажи углеводороды располагаются следующим образом: парафины, олефины, ароматики.

При сгорании в двигателях с искровым зажиганием концентрационные пределы воспламенения смеси не совпадают с указанными пределами начала образования сажи. Поэтому содержание сажи в ОГ двигателей с искровым зажиганием незначительно.

В дизелях вследствие неоднородности состава смеси в цилиндрах преобладает так называемое диффузионное сгорание, при котором скорость горения в основном лимитируется не скоростью химических реакций, а скоростью смешения (диффузии) паров топлива в воздух. В результате этого в цилиндре дизеля имеют место зоны с богатой, стехиометрической и бедной смесью.

При диффузионном сгорании в дизелях к зонам пламени ($\alpha = 1,0$) с высокой температурой примыкают зоны с богатой смесью, где при диффузионном догорании и малом доступе кислорода создаются благоприятные для пиролиза условия. Большая часть частиц сажи имеет размеры 0,4...5 мкм. Концентрация частиц сажи в ОГ зависит и от выгорания ее в процессе расширения, когда к частицам поступает кислород. Таким образом, выброс сажи из цилиндра дизеля зависит как от ее образования при диффузионном сгорании, так и от выгорания в процессе расширения. Наличие сажи в ОГ обуславливает черный дым на выпуске. Сажа представляет собой механический загрязнитель носоглотки и легких. Однако большая опасность связана со свойством сажи накапливать (адсорбировать) на поверхности своих частиц канцерогенные вещества и служить их переносчиком.

Сажа – не единственное твердое вещество, содержащееся в ОГ. Другие твердые вещества образуются из содержащейся в дизтопливе серы, а также в виде аэрозолей масла и несгоревшего топлива. Кроме того, в ОГ могут находиться продукты износа цилиндра. Все вещества, которые оседают на специальном фильтре при прохождении через него ОГ, получили общее название – "частицы".

Содержание в ОГ продуктов неполного сгорания (CO , C_nH_m и сажи) нежелательно не только из-за их токсичности, но и потому, что при неполном сгорании топлива недовыделяется часть теплоты, что приводит к ухудшению экономических показателей двигателя.

Для контроля содержания в ОГ вредных компонентов выпускаются анализаторы, основанные на оптических методах анализа.

Принцип их действия заключается в избирательном поглощении компонентами отработавших газов лучистой радиации в инфракрасной, ультрафиолетовой или видимой областях спектра. Концентрация компонента определяется пропорционально степени поглощения лучистой радиации.

Для определения содержания в ОГ оксидов азота, оксида углерода и углеводородов выпускаются газоанализаторы ГИАМ-27-02(04), ГАИ-1, ГЛ-1121, основанные на прямом поглощении инфракрасного (ИК) излучения пробой исследуемого газа. Трубка пробозаборника устанавливается в выхлопную трубу автомобиля с прогретым двигателем. Отработавшие газы просасываются через фильтры и поступают в рабочую кювету оптического блока.

Для непрерывного измерения концентрации CO , CO_2 , C_nH_m , NO_x в отработавших газах выпускаются газоаналитические системы АСГА-Т, "ENERAC-2000".

Разработано несколько методов определения дымности ОГ, которые основаны на степени поглощения светового потока столбом газа заданной длины (СИДА-107 «Атлас», «Хартридж», «Вольво») либо фильтрации определенного объема ОГ с последующим определением степени отражения света поверхностью фильтра, покрытого сажей (ИД-1, «Бош», "ENERAC-2000").

Для определения частиц при сертификационных испытаниях применяется так называемый разбавительный туннель.

Отработавшие газы из дизеля направляются в туннель, одна сторона которого через воздушный фильтр связана с атмосферой, а другая подсоединена к пробоотборнику постоянного объема. Разбавление ОГ воздухом с температурой 20...30°C делается для того, чтобы избежать конденсации водяных паров, содержащихся в ОГ до отбора пробы, направляемой к фильтру. Из туннеля отобранная проба ОГ при постоянном расходе прокачивается через специальный стандартный фильтр, температура на входе в него должна быть не выше 52°C, чтобы смоделировать конденсацию. Фильтрующий элемент взвешивается с высокой точностью до и после отбора пробы. По разности показаний весов определяется содержание частиц в пробе. После учета соотношения расходов через туннель и фильтр определяется общий выброс частиц. Таким образом, частицами называются все вещества, улавливаемые стандартным фильтрующим элементом.

Уменьшение токсичности ОГ достигается в результате законодательного ограничения выброса вредных веществ. С этой целью разра-

ботаны стандарты и правила, устанавливающие предельно допустимые нормы выброса CO, CH и NO_x. Кроме того, для дизелей установлены нормы на допустимую дымность ОГ. В последнее время от нормирования дымности ОГ многие страны перешли к нормированию частиц. Нормы на допустимые токсичные выбросы с ОГ устанавливаются из условий обеспечения санитарных норм на предельно допустимые концентрации токсичных веществ в атмосфере на улицах городов с интенсивным движением автомобилей. С ростом автомобильного парка вводятся все более жесткие нормы. Для того чтобы заводы могли своевременно разрабатывать мероприятия, требующиеся для выполнения законодательных норм, они публикуются заблаговременно.

Нормирование токсичности ОГ является главным стимулом к созданию автомобилей с требуемыми экологическими показателями.

Впервые нормирование токсичности ОГ и картерных газов было введено в 1959 г. в штате Калифорния (США). В 1968 г. в США был утвержден Государственный (федеральный) стандарт, основой которого явился Калифорнийский стандарт.

С 1970 г. Европейской Экономической комиссией ООН рекомендованы единые для государств Европы Правила оценки токсичности ОГ и картерных газов (Правила №15 и №49).

С 2000 г. в странах Европейского экономического сообщества должны выполняться Правила №83.03, №49 и №24

В СССР нормирование токсичности ОГ началось в 1970г. (ГОСТ 16533-70).

В настоящее время существуют разные стандарты, разработанные для США, Европы и Японии (регионы с наиболее жестким нормированием выбросов). Эти стандарты постоянно совершенствуются, а нормы становятся все более жесткими. При этом сформировалась четкая тенденция приближения европейских стандартов к стандартам США, а наши стандарты уже сейчас во многом идентичны Правилам №83.03 ЕЭК ООН, предусматривающим пять типов испытаний.

В табл. 1.4 приведены европейские нормы на выбросы токсичных веществ и дымности ОГ согласно "Правилам ЕЭК ООН" № 49 и "ESC/ELR" с перспективой до 2010 года. Для сравнения в табл. 1.4 указаны нормы согласно ОСТ 37.001.234-81 и фактические выбросы автомобилей КамАЗ и МАЗ согласно приведенным замерам.

Снижение токсичности ОГ до допустимых пределов представляет собой сложную научно-техническую задачу, при решении которой большое значение имеет стоимость тех или иных мероприятий, а также необходимость обеспечения сохранения высоких экономических, энергетических и других показателей двигателей.

Таблица 1.4. **Выброс загрязняющих веществ дизельными двигателями**

Стандарт, программа	Уровень выбросов, г/кВтч			
	CO	C _n H _m	NO _x	Твердые частицы
Фактические выбросы КамАЗ, МАЗ	3,5...9,0	2,0...4,0	13,0...18,0	0,5...1,0
ОСТ 37.001.234-81	9,5	3,4	18,35	0,8
Правило ЕЭК ООН № 49				
С 01.07.92 Серийный	4,9	1,23	9,0	0,4
С 01.10.93 Новый тип	4,5	1,1	8,0	0,36
"EURO-2" с 95/96 гг.	4,0	1,1	7,0	0,15
ESC/ELR				
"EURO-3" с 2000г.	2,5	0,7	5,0	0,1
"EURO-4" с 2005г.	1,0	0,5	3,0	0,08
"EURO-5" с 2010г.	1,0	0,3	1,5	0,05

Исторически снижение токсичности ОГ осуществлялось в первую очередь путем совершенствования традиционных процессов смесеобразования и сгорания при одновременной оптимизации управления двигателем (состав смеси и угол опережения зажигания). Практика показала, что достичь при этом уровня токсичности ОГ, требуемого законодательством развитых стран, нельзя. Поэтому широкое применение получил второй путь – нейтрализация ОГ в системе выпуска, при котором токсичные газы (CO, C_nH_m и NO_x), вышедшие из цилиндров двигателя, нейтрализуются в системе выпуска до выброса их в атмосферу.

Использование этих двух путей не позволяет устранить выбросы соединений свинца, SO₂ и ПАУ. Это вызывает необходимость использовать **третий путь** – ограничивать содержание в топливе свинца, серы и ароматических углеводородов. Например, по действующим в РФ стандартам в этилированных бензинах А-76 и АИ-92 содержание свинца не должно превышать 0,17 и 0,37 г/дм³ соответственно, а в неэтилированном бензине свинец практически отсутствует (менее 0,013 г/дм³). В дизтопливе допускается содержание серы по массе не более 0,05...0,2%. Уменьшение ароматики в бензинах обеспечивает снижение выбросов бензола и ПАУ. Разрешенное содержание свинца, серы и ароматических углеводородов в топливах для ДВС постоянно уменьшается.

Четвертый путь снижения вредных выбросов с ОГ связан с улучшением топливной экономичности двигателей (снижением расхода углеводородного топлива) или с переходом к альтернативным топливам, в том числе не содержащим углерода (например, водород).

Для снижения токсичности ОГ используются различные мероприятия, включающие применение специальных антитоксичных устройств и целых систем. Выбор той или иной стратегии зависит от уровня токсичности ОГ, который требуется обеспечить. Другими словами, все зависит от законодательных норм на допустимые выбросы токсичных веществ, которые необходимо выполнить.

1.2. НЕФТЬ И ПРОДУКТЫ ЕЕ ПЕРЕРАБОТКИ

1.2.1. Физико-химические 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. Например, для подогрева котельной или другой установки требуется нефти значительно меньше по массе, чем каменного угля. Все горючие породы принадлежат к особому семейству, получившему название каустобиолитов (от греческих слов «каустос» – горючий, «биос» – жизнь, «литос» – камень, т.е. горючий органический камень). 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. В каждой нефти имеется растворенный газ, который выделяется, когда она выходит на земную поверхность. Таким образом, нефть и нефтепродукты представляют собой достаточно сложные смеси углеводородов и их гетеропроизводных. Анализ таких смесей с выделением индивидуальных соединений требует много времени. Поэтому в технологических расчетах при определении качества сырья, продуктов нефтепереработки и нефтехимии часто пользуются данными технического анализа. Последний состоит в определении некоторых физико-химических и эксплуатационных свойств нефтепродуктов. С этой целью используют методы, в комплексе дающие возможность характеризовать товарные свойства нефтепродуктов в различных условиях эксплуатации, связать их с составом анализируемых продуктов, дать рекомендации для наиболее рационального их

применения:

1) химические, использующие классические приемы аналитической химии;

2) физические – определение плотности, вязкости, температуры плавления, замерзания и кипения, теплоты сгорания, молекулярной массы, а также некоторых условных показателей;

3) физико-химические – колориметрия, потенциометрическое титрование, нефелометрия, рефрактометрия, спектроскопия, хроматография;

4) специальные испытания эксплуатационных свойств и состава анализируемых продуктов (определение октанового и цетанового числа моторных топлив, химической стабильности топлив и масел, коррозионной активности, температуры вспышки и воспламенения).

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.

Плотность – величина, определяемая как отношение массы вещества к занимаемому им объему. Относительная плотность – отношение плотности рассматриваемого вещества к плотности стандартного вещества (чаще всего воды при 4°C). Нефтепродукты и вода имеют различные коэффициенты расширения, поэтому при определении относительной плотности необходимо указывать температуры воды и нефтепродукта, при которых проводилось определение.

Плотность всякой жидкости, в том числе и топлива, изменяется с изменением температуры. Для большинства нефтепродуктов плотность уменьшается с увеличением температуры и увеличивается с уменьшением температуры.

Наиболее распространенными методами измерения плотности являются: ареометрический, пикнометрический и метод гидростатического взвешивания. В последнее время успешно развиваются автоматические методы: вибрационные, ультразвуковые, радиоизотопные, гидростатические.

Ареометрический метод основан на использовании показаний ареометра (нефтеденсиметра), который представляет собой стеклянный

цилиндрический корпус, заканчивающийся в верхней части запаянным стержнем с помещенной внутри градуировочной шкалой плотности (рис. 1.1). Нижняя часть балластной камеры заполнена балластом постоянного веса (дробь или высечка). Обычно в нижнюю часть ареометра впаивается термометр с ценой деления 1°C , что позволяет одновременно с измерением плотности определять и температуру нефтепродукта.

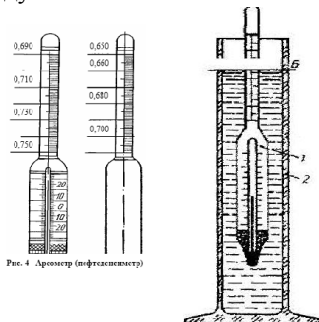


Рис. 4 Ареометр (нефтеденсиметр)

Рис. 1.1. Прибор для определения плотности нефтепродуктов:

1 – нефтетензиметр; 2 – стеклянный цилиндр.

Для определения плотности (рис. 1.1) в стеклянный цилиндр по стеклянной палочке осторожно наливают нефтепродукт. Температура нефтепродукта и температура помещения, где производится измерение плотности, не должны различаться более чем на 5°C .

Чистый и сухой ареометр (нефтенсиметр) с ценой деления $0,0005 \text{ г/см}^3$ медленно погружают в нефтепродукт до момента его свободной плавучести и производят отсчет по верхнему краю мениска. При этом температуру нефтепродукта определяют термометром.

Применение ареометров основано на законе Архимеда, согласно которому на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила, направленная вертикально вверх и равная весу вытесненной жидкости в объеме погруженной части ареометра.

Пикнометр представляет собой стеклянную колбу с высоким узким горлом, на которой имеется черта, указывающая объем пикнометра, например, 20 мл. Пикнометрический метод основан на определении относительной плотности – отношения массы испытываемого нефтепродукта к массе воды, взятой в том же объеме и при той же температуре. Плотность нефтепродуктов с использованием этого метода определяют с точностью до четвертого знака после запятой. Используя для взвешивания аналитические весы с погрешностью не более $0,0002 \text{ г}$. Методика определения плотности нефтепродуктов пикнометрическим методом изложена в ГОСТ 3900–85.

При определении плотности методом гидростатического взвешивания в сосуд с исследуемым нефтепродуктом погружают поплавков (масса и объем которого известны) и уравнивают весы гирями – рейтерами (весы Мора Вестфала). Метод измерения плотности гидростатическим взвешиванием также основан на законе Архимеда. Для оперативного измерения реальной плотности и температуры светлых нефтепродуктов непосредственно в резервуаре на необходимой глубине, без отбора проб применяются портативные плотномеры Densimeter 921 и Density Meter DM-230, разработанные фирмой "LEMIS" по заявке ГП Роснефть в 1994 и 1997 гг. соответственно. Плотномер состоит из комбинированного датчика плотности температуры и электронного преобразователя, соединенных между собой кабелем-тросом с разъемом на корпусе преобразователя. Результаты измерений плотности и температуры выводятся на жидкокристаллический дисплей. Плотномер выполнен во взрывозащищенном исполнении. Диапазон измерения плотности 650...1070 кг/м³; температуры от -20...+50°C.

Определение плотности можно проводить при любой температуре, а затем вычислить значение по формуле:

$$\rho_4^{20} = \rho_t + \gamma(t - 20), \quad (1.18)$$

где ρ_4^{20} – плотность нефтепродукта при температуре +20 °С, кг/м³;

ρ_t – плотность нефтепродукта при температуре замера, кг/м³;

t – температура нефтепродукта в момент замера, °С;

γ – температурная поправка нефтепродукта, определяемая по табл.

Эта формула дает хорошие результаты в интервале температур от 0 до 50°C.

Таблица 1.5. Средние значения температурной поправки плотности нефтепродуктов

Замеренная плотность нефтепродуктов, г/см ³	Температурная поправка на 1 °С, г/см ³	Замеренная плотность нефтепродуктов, г/см ³	Температурная поправка на 10 °С, г/см ³
0,7200...0,7299	0,000870	0,8200...0,8299	0,000738
0,7300...0,7399	0,000857	0,8300...0,8399	0,000725
0,7400...0,7499	0,000844	0,8400...0,8499	0,000712
0,7500...0,7599	0,000831	0,8500...0,8599	0,000699
0,7600...0,7699	0,000818	0,8600...0,8699	0,000686
Продолжение та б л. 1.5			
0,7700...0,7799	0,000805	0,8700...0,8799	0,000673
0,7800...0,7899	0,000792	0,8800...0,8899	0,000660
0,7900...0,7999	0,000778	0,8900...0,8999	0,000647
0,8000...0,8099	0,000765	0,9000...0,9099	0,000633

0,8100...0,8199	0,000752	0,9100...0,9199	0,000620

В США и Великобритании плотность определяют при 15,56 °C (60°F).

Плотность нефти и нефтепродуктов связана с их химическим составом, поэтому в стандартах на реактивные топлива, керосин, некоторые бензины она является нормируемым показателем.

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 (ярегская – 0,936...0,959; вынгинская – 0,911; караарнинская – 0,965), имеются также нефти, плотность которых составляет 0,72...0,77 (марковская, скважина №15 – 0,720; Северный Риштан – 0,770).

Кинематическая вязкость большинства нефтей редко превышает 40...60 мм²/с при 20 °C, что зависит от содержания в ней асфальтосмолистых веществ. В воде нефть не растворяется, поскольку она легче воды, то образует на водной поверхности растекающиеся (до мономолекулярного слоя) 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. Так, нефть Советского месторождения имеет плотность 0,8400; выход легких фракций (до 240 °C) составляет 45% (масс.), а остаток плотностью чуть больше единицы – 14% (масс.). Западно-сургутская нефть имеет плотность 0,8922; выход легких фракций 43% (масс.), а тяжелого смолистого остатка с плотностью 0,9824 – 38% (масс.).

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, позволяющих сделать заключение о составе нефтепродуктов.

Молекулярная масса узких пятидесятиградусных фракций с одинаковыми пределами перегонки различных нефтей имеет достаточно близкие значения.

Определение молекулярной массы нефтепродуктов, как и индивидуальных веществ, проводится различными методами, что объясняется разнообразием свойств этих продуктов. Очень часто способ, пригод-

ный для определения молекулярной массы одних продуктов, совершенно непригоден для других.. В аналитической практике применяются криоскопический, эбуллиоскопический и, реже, осмометрический методы. Кроме того, существуют приблизительные расчетные методы.

Наиболее распространенной эмпирической формулой для определения молекулярной массы нефтепродуктов является зависимость, установленная Воиновым:

$$M_{cp} = a + b t_{cp} + c t_{cp}^2, \quad (1.19)$$

где a , b , c – постоянные, различные для каждого класса углеводородов;

t_{cp} – средняя температура кипения нефтепродукта, определяемая по соответствующим таблицам.

Для алканов формула Воинова имеет вид:

$$M_{cp} = 60 + 0,3 t_{cp} + 0,001 i. \quad (1.20)$$

Молекулярная масса связана с температурой кипения и показателем преломления (n^M) следующим выражением:

$$p = 1,939436 + 0,0019764 t_{кип} + \lg (2,1500 - n^M), \quad (1.21)$$

где $t_{кип}$ – средняя температура кипения фракции.

Расчет по этому уравнению дает довольно точные результаты.

На практике, чтобы быстро охарактеризовать состав нефтепродуктов, а также для контроля за качеством продуктов при их производстве, часто используются такие оптические свойства, как коэффициент преломления, молекулярная рефракция и дисперсия. Эти показатели внесены во многие стандарты на нефтепродукты и приводятся в справочной литературе.

При переходе световых лучей из одной среды в другую их скорость и направление меняются. Это явление называется рефракцией.

Отношение синусов углов падения и преломления для данной среды величина постоянная, не зависящая от угла падения:

$$\sin \alpha / \sin \beta = n, \quad (1.22)$$

где α – угол падения;

β – угол преломления;

n – коэффициент (показатель) преломления.

Показатель преломления зависит от температуры, при которой проводится определение, и длины волны света. Поэтому всегда указываются условия, в которых проводилось определение. Обычно определение ведут относительно наиболее ярких линий (чаще всего желтой линии спектра натрия $\lambda_0=589,3$ нм) при 20°C. Отсюда обозначение показателя преломления n_D^{20} . Влияние температуры учитывается по формуле:

$$n_D^{20} = n_D^t - 0,0004(t_0 - t), \quad (1.23)$$

где t_0 – условная температура (20°C);

t – температура опыта.

Изменяя угол падения, можно добиться такого положения, когда угол преломления будет равен 90°, а его синус – единице. В этом случае луч будет скользить по поверхности раздела сред (полное внутреннее отражение). Приборы для определения показателя преломления называются рефрактометрами.

Показатель преломления – очень важная константа не только для индивидуальных веществ, но и для нефтепродуктов, являющихся сложной смесью различных соединений. Известно, что показатель преломления тем меньше, чем больше в углеводородах относительное содержание водорода. При одинаковом содержании атомов углерода и водорода в молекуле показатель преломления циклических соединений больше, чем алифатических. Наибольшими показателями преломления обладают арены, наименьшими – алканы. Циклоалканы занимают промежуточное положение (гексан – 1,3749, циклогексан – 1,4262, бензол – 1,5011).

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 °C ($C_5 - C_{10}$); лигроиновая 120...235 °C ($C_8 - C_{14}$); керосиновая 200...300 °C ($C_{12} - C_{18}$); газойль 280...360 °C ($C_{14} - C_{20}$)². В табл. 1.6 приведены интервалы температуры (°C), в которых выкипают общепринятые технологические фракции нефти.

После отгона фракций, выкипающих до 350 °C, 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 ($C_{12}-C_{20}$), дистиллятные смазочные масла (легкие, средние и тяжелые), в том числе и базовые масла для двигателей внутреннего сгорания, вазелин ($C_{20}-C_{50}$) и смесь твердых углеводов – парафин ($C_{19}-C_{35}$).

Таблица 1.6. **Фракционный состав нефти**

Фракция	Температура кипения, °С	Содержание в нефти, %
Бензин	35...205	10...15
Топливо для реактивных двигателей	120...315	15...20
Дизельное топливо	180...60	15...20
Газойль	230...360	
Мазут	менее 350	50

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 углеводов 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.

Главную часть нефтей составляют углеводороды различные по своему составу, строению и свойствам, которые могут находиться в газообразном, жидком и твердом состоянии. В зависимости от строения молекул они подразделяются на три класса – парафиновые, нафтеновые и ароматические. Но значительную часть нефти составляют углеводороды смешанного строения, содержащие структурные элементы всех трех упомянутых классов. Строение молекул определяет их химические и физические свойства.

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 желательно 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 цикlopентана 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 со-

держание 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 незна-

чительном количестве они присутствуют в топливах и маслах в виде высококипящих (с температурой кипения выше 200 °С) маслянистых жидкостей, вызывающих сильную коррозию некоторых цветных металлов (свинца, цинка и др.), поэтому их количество в топливах и маслах строго ограничено ГОСТами.

Смолисто-асфальтовые соединения – это сложные смеси высокомолекулярных соединений, состоящие из азота, серы, кислорода и некоторых металлов. Содержание этих веществ в нефти может составлять от десятых долей до десятков процентов.

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

Азотистые соединения имеются в нефти в крайне малых количествах и поэтому не оказывают заметного влияния на свойства топлив и смазочных материалов.

1.2.2. Методы переработки нефти

Современные высокопроизводительные нефтегазоперерабатывающие 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 де-струкции 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 каче-

ства (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, ри-

форминг 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 нафтенowych 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.

Фракция – химическая составная часть нефти с одинаковыми химическими или физическими свойствами (температурой кипения, плотностью, размерами), выделяемая при перегонке.

Прямая перегонка – это физический способ переработки нефти с помощью атмосферно-вакуумной установки (рис. 1.2), принцип работы которой заключается в следующем.

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

В ректификационной колонне (рис. 1.3) происходит разделение нефтяных паров на фракции, составляющие различные нефтепродукты. При этом температура кипения смежных групп получаемых фракций может отличаться всего лишь на 5... 8 °С.

Тяжелые фракции нефти, поступая 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. 1.4).

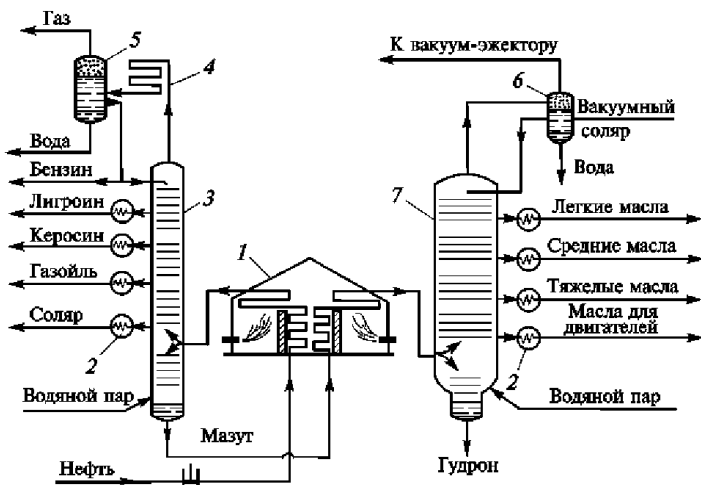


Рис. 1.2. Принципиальная схема атмосферно-вакуумной установки для прямой перегонки нефти: 1 – трубчатая печь; 2 – теплообменники; 3 – ректификационная колонна; 4 – конденсатор; 5 – сепаратор; 6 – сборник соляра; 7 – вакуумная колонна.

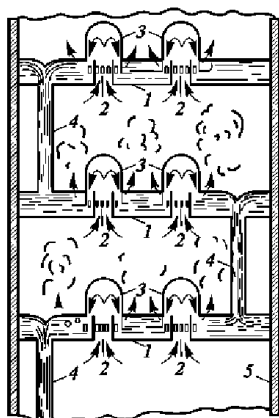


Рис. 1.3. Схема колпачковой ректификационной колонны:
1 – металлические тарелки;
2 – отверстия для прохождения паров;
3 – колпачки; 4 – сливные трубки;
5 – цилиндрический корпус.

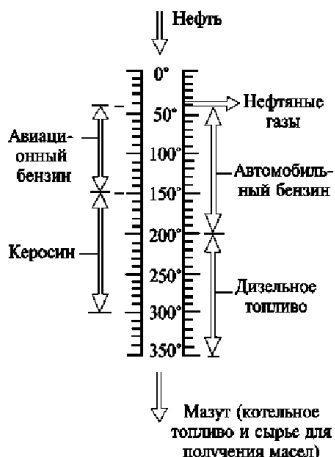


Рис. 1.4. Принципиальные схемы получения важнейших видов топлива для двигателей при перегонке нефти.

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.

Продуктами прямой перегонки нефти (см. рис. 1.2) являются следующие дистилляты: бензин (40... 200 °С); лигроин (110... 230 °С); керосин (140...300 °С); газойль (230...330 °С) и соляр (280...350 °С).

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.

Газойль, являющийся промежуточным продуктом между керосином и смазочными маслами, используется как топливо для дизелей, а также является сырьем для каталитического крекинга.

Продукты, получаемые способом прямой перегонки, обладают высокой химической стабильностью, так как в них отсутствуют непредельные углеводороды.

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

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

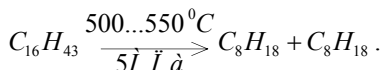
Впервые крекинг был предложен русским ученым А. А. Летним в 1875 г., а разработан – В.Г.Шуховым в 1891 г., но первая промышленная установка была построена в США.

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

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

Например, при нагревании до 500... 550 °С под давлением 5 МПа углеводород цетан, входящий в состав керосина и дизельного топлива,

разлагается соответственно на нормальный октан и нормальный октен, которые являются составляющими бензина:



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.

Каталитический крекинг на заводской установке был впервые осуществлен в России в 1919 г. Н.Д.Зелинским.

В качестве сырья при каталитическом крекинге (рис. 1.5) используют газойлевую и соляровую фракции, получаемые при прямой перегонке нефти, которые нагревают до температуры 450... 525 °С 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.

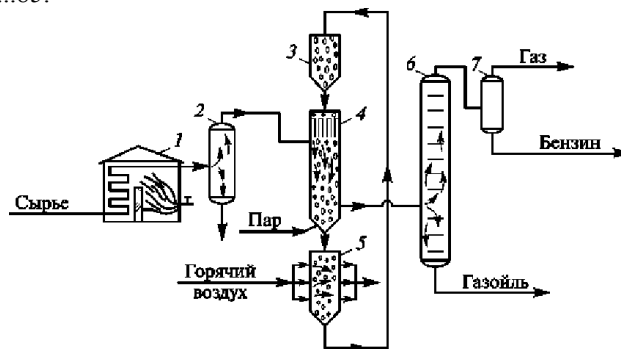


Рис. 1.5. Принципиальная схема каталитического крекинга:

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

Продукты каталитического крекинга являются обязательными компонентами при производстве бензинов марок А-72 и А-76.

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°C с образованием ароматических углеводородов; гидроформинг, при котором происходит высокая ароматизация углеводородов (этот процесс протекает при температуре 480...530°C, 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 °C в присутствии алюмокобальтомолибденового 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 °C.

Риформинг проводят в среде водородосодержащего газа (70... 90 % водорода) при температуре 480... 540 °C 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-алкилата (алкилбензина), состоящего практически целиком из изоалканов C₆–C₉, причем из них 69% приходится на изооктан (2,2,4-триметилпентан). Алкилбензин имеет октановое число 90...98 ед.. Сы-

рьем является бутан-бутиленовая смесь, выделяемая из газов каталитического и термического крекинга. Алкилирование изобутана алкенами (преимущественно бутиленами) проводится при давлении 0,3...1,2 МПа с использованием в качестве катализатора H_2SO_4 или HF. Оптимальная температура в реакторе 0...10 °C (для H_2SO_4) и 25...30°C (для HF). Расход H_2SO_4 составляет 60...100 кг на 1т алкилата.

Получение смазочных масел. Под влиянием идей Д. И. Менделеева нефтепромышленник В.И.Рогозин в 1876 г. построил около Нижнего Новгорода первый в мире завод по производству масел из мазута.

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 кремнийорганические 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.

1.2.3. Очистка 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, плюмбитами 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 плюмбитами 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 алюмосиликаты. 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: кислотно-щелочная, кислотно-контактная, селективная, а также деасфальтизация и депарафинизация.

Кислотно-щелочная очистка. При кислотно-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.

Кислотно-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 (150...400% от массы очищаемого масла), фенол (100...200%), нитробензол, технический пропан и др., процесс проводят при температуре 50...120°C.

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. Деасфальтизацию проводят при давлении 2,5...4,0 МПа и температуре 60...85°C. Соотношение пропана и очищаемого масла составляет от 5:1 до 10:1 по объему. 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.

Методы очистки масел:

С 70-х годов XIX века для очистки масел применяют концентрированную серную кислоту, которая растворяет смолы и некоторые сернистые соединения, и щелочь.

Очень широко для очистки масел используют отбеливающие глины, на поверхности которых адсорбируются смолы, серная и органические кислоты и другие вещества. Зачастую контактная очистка с помощью глины заменяет обработку кислого масла щелочью.

Селективным методом очистки с помощью фенола и фурфурола получают масло с высокой химической стабильностью, т.е. маслорафинат, и экстракт-смолку, которую используют как присадку к трансмиссионным маслам.

Очищаемое масло смешивают с растворителем (метилэтилкетон, ацетон с бензолом, дихлорэтан с бензином и др.). Полученную смесь нагревают до температуры на 15...20 °C, превышающей температуру полного растворения парафинов и церезинов в смеси. Раствор постепенно охлаждают и на высокооборотных центрифугах или специальных фильтрах разделяют на депарафиновое масло и петролятум (смесь

растворителя и твердых углеводородов). Данная операция является завершающей частью процесса очистки масла.

1.2.4. 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 (зимнее, летнее, 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°C) 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°C), 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 изо-

октаном.

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.

1.3 БЕНЗИНЫ АВТОМОБИЛЬНЫЕ

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 прямых фракций с компонентами вторичных процессов и присадок называется компаундирование.

Автомобильные бензины одной марки, изготовленные на разных предприятиях, имеют несколько различающийся состав, что связано с неодинаковым набором технологического оборудования. Однако они должны соответствовать нормативной документации. Усред-

ненный компонентный состав бензинов разных марок приведен в таблице 1.7.

Таблица 1.7. Усредненный компонентный состав бензинов разных марок

Компонент	ОЧИ	Содержание в товарном бензине, %			
		АИ-80	АИ-92	АИ-95	АИ-98
Бензин каталитического риформинга:					
мягкого режима	91...99	40...80	60...88	—	—
жесткого режима	91...99	—	40...100	45...90	25...88
ксилольная фракция	100...108	—	20...40	20...40	20...40
Бензин каталитического крекинга	91...93	20...80	10...85	10...50	10...20
Бензин прямой перегонки	40...76	20...60	10...20	—	—
Алкилбензин	91...94	—	5...20	10...35	15...50
Бутаны+изопентан	88...91	1...7	1...10	1...10	1...10
Газовый бензин	65...75	5...10	5...10	—	—
Толуол	115	—	0...10	8...15	10...15
МТБЭ	115...135	0...8	5...12	10...15	10...15

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.

1.3.1. Требования к качеству автомобильных бензинов

Мощность бензинового двигателя, его экономичность, надежность

работы, расход топлива и масла, токсичность обработавших 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. В бензины, предназначенные для двигателей с высокой степенью сжатия, добавляют различные высокооктановые компоненты. Чтобы улучшить пусковые свойства двигателя, к бензинам добавляют газовые бензины. С целью улучшения антидетонационных свойств в некоторые бензины добавляют антидетонационные присадки – антидетонаторы. В состав бензинов входят и другие присадки, например ингибиторы окисления, моющие присадки.

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.

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.

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.

Условия массового производства требуют обеспечения возможности использования нефтяного сырья с возможно более широким варьированием по углеводородному и фракционному составам и содержанию различных сернистых соединений, что определенным образом влияет на установление норм в спецификациях на соответствующие показатели

качества бензинов.

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.

Примером такого компромисса является октановый индекс, характеризующий детонационную стойкость американских бензинов.

Автомобилестроители США предложили внести в спецификации оценку октанового числа бензинов по исследовательскому методу, а нефтепереработчики – по моторному методу.

В результате в спецификацию был внесен показатель, рамный полусумме октановых чисел по исследовательскому и моторному методам.

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 $+45$ °C, 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, попадаю-

щих 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 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.

В табл. 1.8 приведены требования, предъявляемые к автомобильным бензинам в странах Европейского Экономического Сообщества.

В связи с присоединением России и РБ к европейским экологическим программам возникла острая необходимость в организации промышленного производства автомобильных бензинов, соответствующих европейским требованиям (EN-228).

Таблица 1.8. Требования к автомобильным бензинам ЕЭС

Показатели	EURO 2	EURO 3	EURO 4	EURO 5
Содержание бензола, макс., %	5,0	1,0	1,0	–
Содержание серы, макс., ppm	500	150	50/10	10
Содержание ароматических углеводородов, макс., %	-	42	35	-
Содержание олефиновых углеводородов, макс., %	-	18	18	-
Содержание кислорода, макс., %	-	2,3	2,7	-
Фракционный состав: %				
до 100 °С перегоняется, не менее	-	46	46	-
до 150 °С перегоняется, не менее	-	75	75	-
Давление насыщенных паров, кПа, не более	-	60	60	-
Наличие моющих присадок	-	Обязательно		

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

Необходимо отметить, что основной тенденцией достижения компромиса в требованиях к качеству автомобильных бензинов является совершенствование существующих и создание новых современных процессов в нефтепереработке с целью удовлетворения все возрастающих экономических и эксплуатационных требований к двигателям автомобилей.

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; 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.

1.3.2. Химический и углеводородный 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, оксигенатов (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.

Повышение содержания ароматических углеводородов в бензине способствует увеличению выбросов в окружающую среду бензола. Проведенными исследованиями установлено, что существует линейная зависимость между содержанием бензола в бензине и его концентрацией во всех видах выбросов несгоревших углеводородов: отработавших газах, испарениях из топливной системы; при заправке автомобиля топливом. Для автомобилей, не оборудованных каталитическим нейтрализатором, основным источником выбросов бензола в атмосферу являются отработавшие газы (около 70%), меньшую роль играет поступление с испарениями (20%), в еще меньшей степени влияют потери при заправке (10%).

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

Содержание бензола в основных компонентах составляет: стабильном катализате риформинга – 2,0...7,0%, бензине каталитического крекинга– 1,0...3,5%, бензине прямой перегонки – 0,5...1,5%.

Уменьшить содержание бензола в вырабатываемых автобензинах можно следующими путями:

- вырезкой из бензина каталитического риформинга фракции 60...85°C, содержащей более 20% бензола, с последующим использованием ее для получения бензола. При этом содержание бензола в товарных бензинах уменьшается почти в три раза, а октановая характеристика бензина риформинга после выделения фракции 60...85 °C повышается на 1...1,5 ед.;

- увеличением доли в составе товарных бензинов высокооктановых компонентов, не содержащих бензол: алкилата, изомеризатов, оксигенатов (спиртов, эфиров и т. д.), а также применением нетоксичных антидетонаторов;

- подбором сырья и снижением жесткости процесса риформинга, экстракции, а также селективным гидрированием бензола в циклогексане или алкилирование бензола в алкилароматические углеводороды.

Возможно сочетание нескольких вариантов, исходя из особенностей НПЗ, наличия сырья, концепции переработки и интеграции с химическим производством.

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 оксигенатов 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 оксигенатов в бензине должно составлять 2,0...2,7% по кислороду.

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

1.3.3. Физико-химические свойства бензинов

Физико-химические свойства автомобильных бензинов и регулировочные параметры двигателей должны быть тщательно увязаны друг с другом.

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 топливам рассматриваются и низкотемпературные свойства бензинов.

По внешнему виду бензина оценивают его цвет и прозрачность. Неэтилированные бензины бесцветны (желтоватый оттенок цвета неэтилированного бензина бывает вызван наличием в нем смолистых веществ). Этилированные бензины специально окрашивают в предупреждающий ярко-желтый или оранжево-красный цвет, так как тетраэтилсвинец (ТЭС), содержащийся в них, ядовит.

Прозрачность бензина в соответствии с ГОСТом определяется в стеклянном цилиндре. Бензин, налитый в цилиндр, должен быть совершенно прозрачным и не должен содержать взвешенных и осевших на дно цилиндра посторонних примесей, в том числе и воды. Мутность бензина при комнатной температуре вызывается обычно наличием в нем воды (в виде эмульсии) или механических примесей. Такое топливо перед применением подвергают отстою и фильтрации.

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 опреде-

ляют 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.

Испытание бензина с целью определения воздействия на медную пластинку при повышенной температуре служит качественной пробой на присутствие активных сернистых соединений. Даже при незначительной концентрации элементной серы в бензине медная пластинка, помещенная в него на 3 ч при 100 °С, покрывается бледно-серыми пятнами, а при большом содержании серы за то же время при нагреве до 50 °С – черным налетом. В присутствии сероводорода медная пластинка приобретает серый цвет с красными разводами. Менее чувствительна медная пластинка к воздействию меркаптанов. Испытания на медной пластинке проводят в соответствии с ГОСТ 6321–92 (ИСО 2160).

Проба на медную пластинку довольно чувствительна для определения содержания в бензинах сероводорода и свободной серы.

При отрицательной пробе содержание сероводорода в бензине не превышает 0,0003%, а свободной серы – 0,001%.

Меркаптаны могут присутствовать в значительном количестве даже в тех бензинах, которые дают отрицательную пробу на медную пластинку. Содержание меркаптанов не должно превышать 0,001%.

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. При увеличении содержания серы в бензине от 0,05 до 0,1 % коррозионный износ деталей двигателя возрастает в 1,5...2 раза, с 0,1 до 0,2 % – еще в 1,5...2 раза, а с 0,2 до 0,3 % – в 1,3...1,7 раза.

Процесс удаления серы из бензина очень трудоемкий и требует больших затрат. Поэтому часть сернистых соединений, в основном, неактивных, в количестве, не влияющем на износ двигателя, в топливе обычно оставляют.

Максимальное содержание серы в отечественных автомобильных бензинах регламентируется ГОСТ Р 51105–97 и ТУ 38.301-25-41–97 и должно составлять не более 0,05 %.

Контроль бензина на наличие в нем водорастворимых кислот и щелочей выполняют в следующем порядке:

- пробу бензина (10 мл) наливают в делительную воронку, тщательно перемешивают взбалтыванием, затем добавляют такое же количество дистиллированной воды и повторно взбалтывают смесь в течение 5 мин;

- дают смеси отстояться, после чего водный слой, находящийся внизу делительной воронки, сливают через кран в две пробирки из

бесцветного стекла;

- в одну пробирку добавляют 1...2 капли 0,02%-ного водного раствора метилоранжа. При наличии в бензине минеральных кислот водный раствор (вытяжка) в пробирке окрасится в розовый цвет, а при отсутствии кислот цвет водной вытяжки будет желто-оранжевым;

- в другую пробирку добавляют 1...2 капли 1%-ного спиртового раствора фенолфталеина. При наличии в бензине щелочей водный раствор (вытяжка) в пробирке окрасится в фиолетовый цвет, а при отсутствии щелочей водная вытяжка останется бесцветной или слегка побелеет.

Бензин может быть допущен к применению только при неизменной окраске его водной вытяжки, что свидетельствует о полном отсутствии в нем водорастворимых кислот и щелочей.

1.3.4. Стабильность топлива, склонность к образованию отложений и нагарообразованию

Под стабильностью топлива понимают его способность сохранять свойства в допустимых пределах для конкретных эксплуатационных условий. Стабильность топлив зависит от их физико-химических свойств, наличия различных примесей и др. В эксплуатационных условиях, когда топливо подвергается воздействию таких внешних факторов, как кислород воздуха, нестабильная температура, загрязнение влагой и механическими примесями, ухудшаются его фракционный и химический состав. Условно различают физическую и химическую стабильность топлива.

Физическая стабильность топлива определяет способность его сохранять фракционный состав (изменения вызываются потерей наиболее низкокипящих фракций в результате их испарения) и однородность.

Физическую стабильность бензина оценивают по давлению насыщенных паров и наличию легких фракций. Недостаточная физическая стабильность бензина обуславливает его высокую испаряемость.

Конструкция топливных баков должна исключать возможность свободного сообщения их внутреннего объема с атмосферой. Для исключения испарения топливные баки защищают от прямых солнечных лучей.

Физическую стабильность топлива контролируют, периодически определяя плотность, фракционный состав, давление насыщенных паров, температуру помутнения и кристаллизации и другие показатели.

Химическая стабильность характеризует способность бензина сохранять свой первоначальный химический состав без изменения при длительном хранении, перекачках и транспортировании. Химическая стабильность бензинов, прежде всего, связана с наличием в их составе

непредельных углеводов, которые характеризуются повышенной склонностью к окислению. Наиболее склонны к окислению углеводороды, имеющие сопряженные двойные связи, особенно циклические. Малоустойчивы против окисления и ароматические углеводороды с двойной связью в боковой цепи.

К окислению наиболее склонны бензины, полученные термическим и каталитическим крекингами, коксованием, пиролизом и содержащие много олефиновых и диолефиновых углеводородов. Более химически стабильны бензины, полученные каталитическим риформингом и прямой перегонкой, а также алкилбензин.

На пути следования от завода-изготовителя до бака автомобиля происходит автоокисление бензина, т. е. окисление его нестабильных соединений кислородом окружающего воздуха с образованием продуктов сложного состава. Чем дольше хранится бензин, длиннее путь транспортирования и больше перевалочных пунктов, тем больше возможность образования продуктов окисления – смолистых веществ и различных кислых соединений (органических кислот, оксикислот и т. п.). Большая часть образующихся продуктов окисления находится в бензине в растворенном состоянии, а меньшая – выпадает в осадок. Окисление бензина ускоряется различными отстоями и осадками, накапливающимися в резервуарах, а также за счет каталитического воздействия металлов (например, меди). Чем больше в бензине содержится непредельных углеводов, тем быстрее он окисляется. При окислении изменяется цвет бензина. Например, неэтилированный бензин приобретает окраску от светло-желтой до интенсивно-желтой. Появляется резкий запах, на дне резервуара образуется масляный слой, слабо растворимый в бензине, повышается кислотность бензина, т. е. увеличивается его коррозионность.

Химическую стабильность характеризуют следующими показателями:

- индукционный период;
- содержание фактических смол;
- сумма продуктов окисления;
- кислотность.

Кислотность и содержание фактических смол характеризуют содержание в бензине конечных продуктов окисления на момент их определения. По ним можно судить о запасе качества бензина, т. е. о разнице между допустимым и фактическим содержанием продуктов окисления. Индукционный период и сумма продуктов окисления характеризуют скорость окисления бензинов в процессах хранения и применения.

В условиях длительного хранения некоторые из соединений (серни-

стые, кислородные, азотистые и металлоорганические) могут вступать в реакции окисления, полимеризации и конденсации. Такие отрицательные явления, как окисление и осмоление бензинов, выпадение осадка антидетонатора, обуславливаются недостаточной химической стабильностью топлива.

Содержание фактических смол является показателем уровня химической стабильности бензинов и нормируется стандартами.

Химическую стабильность бензина оценивают стандартным методом по ГОСТ 4039–88 на специальном приборе (рис.1.6) путем ускоренного окисления при определенной температуре и давлении кислорода.

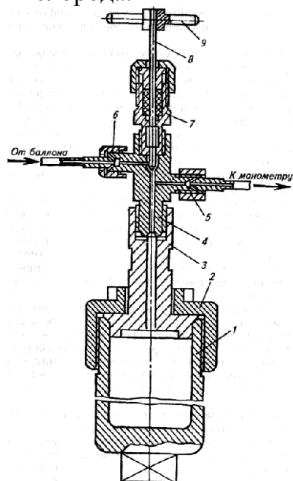


Рис. 1.6. Бомба для окисления бензина:
1 – корпус; 2– крышка; 3– грибок; 4–
тройник; 5, 6– штуцера; 7– вентиль; 8–
игольчатый клапан вентиль; 9– вороток
вентиль.

В результате определяют индукционный период – время от начала испытания до начала процесса окисления бензина. Индукционный период топлива позволяет оценить способность бензина сохранять свой состав неизменным при соблюдении условий транспортирования, хранения и использования.

Индукционные периоды бензинов, произведенных по разным технологическим процессам, очень различаются. Так, для бензинов термического крекинга индукционный период составляет 50...250 мин, каталитического – 240...1000, прямой перегонки – более 1200, каталитического риформинга – более 1500 мин.

Бензины, имеющие индукционный период не менее 900 мин, могут сохранять свои свойства в течение 5 лет.

Установка (рис.1.6) для определения длительности индукционного периода в условиях ускоренного окисления состоит из стальной бомбы, кислородного баллона с редуктором, кислородного манометра

и водяной бани. На установке определяют время, в течение которого испытуемый бензин в среде кислорода под давлением 0,7 МПа и при температуре 100°C практически не окисляется.

После того, как время окисления превысит индукционный период, в бензине начинается значительное накопление смол и других продуктов окисления, что приводит к недопустимому ухудшению эксплуатационных свойств бензина (рис. 1.7).

Для повышения химической стабильности бензинов в них вводят антиокислительные присадки (ингибиторы): древесносмоляной антиокислитель ДСА (0,05...0,15 %), смесь фенолов ФЧ-16 (0,03...0,10 %), синтетические ингибиторы – ионол (0,03...0,10%) , агидол-1, агидол-12 (до 0,3%).

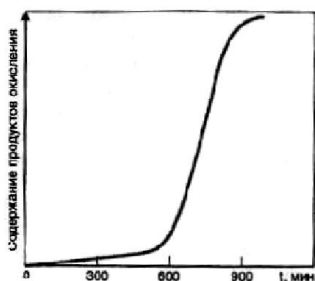


Рис.1.7. Зависимость содержания продуктов окисления в бензине от времени (индукционный период).

При работе двигателя наблюдаются отложения во впускном трубопроводе, на деталях системы питания и стенках камеры сгорания. Количество отложений во впускном трубопроводе находится в прямолинейной зависимости от количества смол в бензине. Основным источником образования отложений являются смолистые вещества, образующиеся при окислении бензина.

Отложения в системе питания, образующиеся при низких температурах, представляют собой липкие мазеподобные продукты коричневого цвета. Смолы откладываются на стенках топливных баков, фильтров, насосов, закупоривают трубопроводы, покрывают тонким слоем детали карбюратора. Повышенное содержание смолистых продуктов в используемом бензине вызывает различные нарушения в системе питания двигателя. Отложения на деталях карбюратора могут вызвать нарушения подачи топлива и процесса карбюрации, а отложения на фильтрующих элементах – прекращение подачи бензина.

Во время работы двигателя неиспарившиеся высококипящие фракции бензина вместе с находящимися в них смолистыми веществами в виде пленки движутся по впускному трубопроводу к цилиндрам. Стенки трубопровода обычно подогреваются для лучшего

испарения бензина, поэтому происходит интенсивное окисление углеводородов бензина и оседание смолистых соединений на горячих стенках трубопровода. Выпавшие вещества еще больше полимеризуются и превращаются в твердые смолистые и углистые отложения, уменьшающие полезное сечение трубопровода и увеличивающие сопротивление потоку горючей смеси. В связи с этим ухудшается наполнение цилиндров и снижается мощность двигателя. Смолистые вещества, выпавшие на впускных клапанах, образуют твердые углистые отложения, которые нарушают правильность посадки клапанов и вызывают их заклинивание, залегание поршневых колец и т.д.

Содержание фактических смол, находящихся в бензине в момент исследования, оценивают в миллиграммах на 100 см^3 топлива. Для автомобильных бензинов их содержание на месте производства допускается до 5 мг в 100 см^3 топлива.

На рис. 1.8 показан аппарат для определения смол в нефтепродуктах выпариванием струей (ГОСТ 1567–97; ИСО 6246–95). Сущность метода заключается в испарении определенного объема топлива при заданных температурах и расходе воздуха и пара с последующим определением массы остатка, промытого растворителем.

Фактические (промытые) смолы – это не растворимая в гептане часть остатка, полученного при выпаривании автомобильного бензина. Непромытые смолы – это остаток от выпаривания автомобильного бензина, состоящий из фактических смол и трудноиспаряющихся компонентов присадки.

Содержание органических кислот в топливах характеризуется кислотностью, которую по ГОСТ 5985–79 определяют количеством щелочи (в мг), необходимой для нейтрализации кислот, содержащихся в 100 мл топлива. Полностью удалять кислоты и фенолы из топлива нет необходимости, так как их коррозионная агрессивность значительно ниже, чем у неорганических кислот.

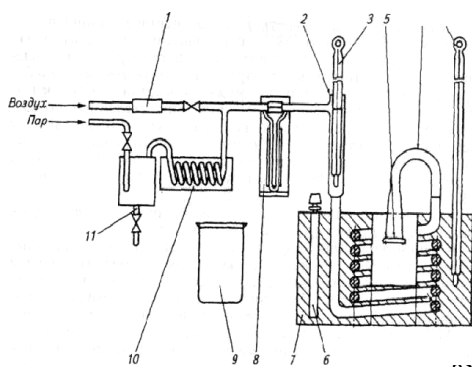


Рис.1.8. Аппарат для определения содержания смол выпариванием струей: 1 –фильтр из хлопчатобумажной или стеклянной ваты; 2 – гнездо для термометра; 3 – термометры; 4 – съемный держатель (адаптер); 5 – медный экран; 6 – терморегулятор; 7 – баня (цельнометаллический блок); 8 – расходомер; 9 – стакан; 10 – пароперегреватель; 11 – пароправитель.

При эксплуатации автомобильного двигателя нагар по времени образуется неравномерно. Основное количество нагара отлагается в начале эксплуатации автомобиля. Экспериментально установлено, что после пробега автомобилем 10...16 тыс. км наступает некоторое равновесное состояние и при дальнейшей работе двигателя количество нагара изменяется незначительно. Равновесие достигается вследствие того, что химические реакции и термическое воздействие совместно с газовыми потоками вызывают выгорание и удаление нагаров из камеры сгорания примерно с той же скоростью, с какой они образуются в данный момент (это явление известно под названием самоочищения камеры сгорания). Значение этого равновесия зависит от состава бензина.

Углеводородный состав бензинов является одним из главных факторов, определяющих их склонность к нагарообразованию в двигателе. Анализ имеющихся данных показывает, что склонность автомобильных бензинов к нагарообразованию зависит, главным образом, от содержания в них непредельных и ароматических углеводородов.

Строение непредельных углеводородов, их химическая активность и склонность к превращениям под действием высоких температур в значительной мере обуславливают склонность автомобильных бензинов к нагарообразованию. Строение ароматических углеводородов оказывает существенное влияние на нагарообразование. С повышением молекулярного веса углеводорода и температуры его кипения влияние на нагарообразование, как правило, увеличивается. Высокикипящие ароматические углеводороды под воздействием высоких температур претерпевают окислительные превращения и, очевидно, служат основным источником образования нагара.

Ароматические углеводороды являются ценными составляющими автомобильных бензинов, так как обладают высокой детонационной стойкостью. Однако содержание их в товарных бензинах должно быть ограничено вследствие повышения нагарообразования в двигателе. Прямое сопоставление детонационной стойкости бензинов и их склонность к нагарообразованию и зависимости от содержания ароматических углеводородов позволило предложить норму содержания ароматических углеводородов в товарных автомобильных бензинах. Установлено, что удельный прирост количества нагара в камере сгорания, т. е. прирост количества нагара в результате добавления ароматических углеводородов в количестве, соответствующем повышению детонационной стойкости топлива на 1 октановую единицу, остается практически неизменным для различных ароматических углеводородов, когда содержание их в бензине изменяется в пределах от 0% до 40...45%. При большем содержании ароматических углеводородов резко повышается удельный прирост количества нагара. Таким

образом, содержание ароматических углеводородов в товарных автомобильных бензинах не должно быть более 40 %.

Спецификации EURO -3 и EURO 4 также в обязательном порядке определяют наличие в автобензине моющих присадок снижающих последствия нагарообразования.

1.3.5. Совместимость бензинов с неметаллическими материалами

Автомобильные бензины не должны оказывать отрицательного влияния на материалы, с которыми они контактируют в процессе изготовления, транспортирования, хранения и применения.

При воздействии бензинов на резины, уплотнения и другие материалы они могут набухать, растрескиваться, терять свои прочностные характеристики и разрушаться.

Агрессивное воздействие топлива на резины и герметики в основном связано с вымыванием из них антиокислителя и дальнейшим разрушением, обусловленным образованием пероксидов при окислительных процессах, происходящих в самом топливе.

В связи с этим совместимость бензинов, содержащих оксигенаты, с резинотехническими материалами оценивают по результатам непосредственного их воздействия на резины.

Сущность контроля сводится к определению сохранения за время испытаний свойств образцов резинотехнических материалов и чистоты топлива.

Изменение физико-химических свойств резин под воздействием бензинов определяют по изменению:

- объема образца;
- относительного удлинения при разрыве;
- прочности образца при растяжении и твердости по Шору.

Испытания на совместимость бензинов с резинотехническими материалами проводят при постановке их на производство.

1.3.6. Испаряемость бензинов

Бензин является сложной смесью ряда индивидуальных углеводородов, кипящих при различных температурах, поэтому он не имеет фиксированной температуры кипения.

Испаряемость бензина, т.е. его способность переходить из жидкого состояния в газообразное, лежит в интервале температур от 35 °С до 195 °С.

Испаряемость бензина оценивается показателями фракционного со-

става и летучести (давление насыщенных паров, потери от испарения и склонность к образованию паровых пробок).

Испаряемость бензина должна обеспечивать оптимальный состав топливовоздушной смеси на всех режимах работы двигателя независимо от способа ее приготовления. В цилиндры двигателя должна поступать однородная горючая смесь, в которой концентрация топлива, находящегося в парообразном состоянии и равномерно распределенная по всему объему, достаточна для его воспламенения от электрической искры.

Скорость и полнота перехода топлива из жидкого в газообразное состояние зависят от его химического состава и внешних условий, например, температуры, скорости движения потока газов. Так как в различных двигателях эти условия неодинаковы, требования к испаряемости топлива связаны с конструкцией двигателя, для которого оно предназначается. Сгоранию всегда предшествует испарение жидкого топлива и перемешивание его паров с воздухом (образование горючей смеси). При плохой испаряемости часть топлива не переходит в газообразное состояние и не сгорает.

С испаряемостью бензина связаны такие характеристики двигателя, как пуск при низких температурах, вероятность образования паровых пробок в системе питания в летний период, приемистость автомобиля, скорость прогрева двигателя, а также износ цилиндропоршневой группы и расход топлива.

Для полного сгорания бензина в двигателе его необходимо быстро испарить и смешать с воздухом в определенном соотношении, т. е. создать горючую смесь.

В карбюраторных двигателях основная часть процесса приготовления горючей смеси происходит в карбюраторе, где топливо дозируется, распыляется, перемешивается с воздухом, частично испаряется. Основная часть распыленного топлива уносится струей воздуха во впускной трубопровод, где мелкие капли топлива полностью испаряются. Крупные капли оседают на стенках трубопровода и образуют на нем жидкую пленку бензина. Под действием паровоздушного потока пленка движется в направлении цилиндра и постепенно испаряется. Если процесс смесеобразования протекает нормально, то в конце впускного трубопровода или при соприкосновении с горячими впускными клапанами пленка полностью испаряется. Окончательное испарение пленки происходит в цилиндрах двигателя в период тактов впуска и сжатия.

Неиспарившийся в цилиндре бензин ухудшает процесс сгорания и способствует нагарообразованию. Стекая по стенкам цилиндров, бен-

зин смывает с них масло, что приводит к интенсивному изнашиванию поршней, колец и цилиндров двигателя. Наличие жидкой пленки ухудшает процесс образования однородной горючей смеси и отрицательно влияет на равномерное распределение смеси по цилиндрам двигателя. При этом в одни цилиндры поступает большее количество бензина и смесь оказывается обогащенной, а в другие – меньше и смесь в них получается обедненной.

В двигателях с системой впрыскивания топлива бензин подается форсунками непосредственно в камеру сгорания или во впускной трубопровод. Преимущества этой системы – высокая литровая мощность двигателя и улучшенная экономичность за счет точного распределения доз топлива по цилиндрам, возможность точного регулирования состава горючей смеси, меньшая токсичность отработавших газов. Лучшая продувка цилиндров снижает их температуру, что позволяет увеличивать степень сжатия на две-три единицы. Однако двигателям с системой впрыскивания необходим высококачественный очищенный бензин, так как их работа на этилированных бензинах невозможна.

Для оценки испаряемости топлива используют условный показатель – фракционный состав. От фракционного состава бензина зависят пуск, время прогрева, приемистость и износ двигателя, расход топлива и масла, токсичность отработавших газов. Поскольку автомобильный бензин представляет собой сложную смесь различных углеводородов, выкипающих в широком интервале температур, то испаряемость его оценивают по температурам выкипания отдельных частей – фракций.

На рис. 1.9 изображена кривая перегонки бензина и указаны объемы его основных фракций – пусковой, рабочей и концевой.

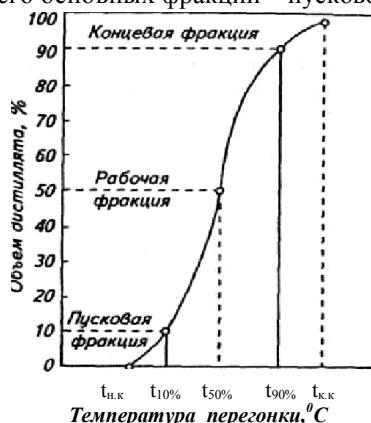


Рис.1.9. Кривая перегонки бензина.

Температура перегонки 10 % бензина характеризует пусковые свойства топлива. Если в бензине недостаточно низкокипящих фракций, то при пуске холодного двигателя часть бензина не успевает испариться и попадает в цилиндры в жидком состоянии. Горючая смесь, поступающая в цилиндры, оказывается переобедненной и не воспламеняется от электрической искры, в связи с чем пуск двигателя иногда становится вообще невозможен. Неиспарившийся бензин, оставаясь в капельно-жидком состоянии, попадает в цилиндры двигателя и смывает с их поверхности масло, а при попадании в картер разжижает масло. Поэтому в момент пуска и некоторое время при последующем прогреве происходит полусухое трение деталей цилиндропоршневой группы, так как на их поверхностях недостаточно масла для обеспечения прочной масляной пленки. Это вызывает интенсивное изнашивание трущихся деталей двигателя, называемое пусковым.

Для обеспечения пуска двигателя в составе пусковой фракции должно быть достаточное количество низкокипящих углеводородов, которые создают смесь, способную воспламениться от электрической искры. Зная температуру выкипания 10% бензина, можно приблизительно определить температуру воздуха, выше которой возможен пуск двигателя на данном топливе по формуле:

$$t_B \geq 0,5t_{10\%} - 50,5. \quad (1.24)$$

Пусковые свойства бензинов улучшаются по мере облегчения пусковой фракции. Зимние бензины дают возможность запустить холодный двигатель при температуре воздуха $-26...-28^\circ\text{C}$.

Температура начала перегонки летних сортов автомобильного бензина должна быть не ниже 35°C , а 10 % бензина должны перегоняться при температуре не выше 75°C .

Температура перегонки 50 % бензина характеризует скорость прогрева и приемистость двигателя. Прогрев двигателя длится от момента пуска его до начала бесперебойной, устойчивой работы. В конце прогрева на режиме холостого хода достигается почти полное испарение бензина во впускном трубопроводе. Чем легче фракционный состав и ниже температура перегонки 50 % бензина, тем быстрее прогревается двигатель. Бензин с низкой температурой перегонки 50 % быстрее испаряется во впускном трубопроводе, наполнение цилиндра горючей смесью улучшается, мощность двигателя увеличивается.

Приемистостью двигателя называется его способность в прогретом состоянии под нагрузкой быстро переходить с малой частоты вращения

коленчатого вала на большую при резком открытии дроссельной заслонки. Автомобиль, двигатель которого обладает хорошей приемистостью, способен быстро набирать скорость. Для обеспечения хорошей приемистости двигателя необходимо, чтобы в цилиндры в момент дросселирования поступала богатая смесь.

При резком открытии дроссельной заслонки во впускной трубопровод поступает большая порция холодного воздуха и жидкого бензина, условия парообразования резко ухудшаются. Если температура перегонки 50 % бензина высокая, то некоторая часть высококипящих углеводородов (рабочая фракция) в системе питания не испаряется, горючая смесь переобедняется и двигатель не в состоянии развивать более высокую частоту вращения коленчатого вала. Для восстановления теплового режима системы питания двигателя требуется некоторое время. Тепловое равновесие устанавливается тем быстрее, чем лучше идет процесс испарения и смесеобразования и чем ниже температура перегонки 50 % бензина. С понижением температуры улучшается приемистость двигателя, сокращается время разгона автомобиля.

Температура перегонки 50 % бензина влияет на обледенение карбюратора. При испарении бензина во впускной системе двигателя наблюдается понижение температуры горючей смеси. Теплота, необходимая для испарения бензина, поступает от воздуха и металлических деталей карбюратора. Понижение температуры во впускной системе двигателя зависит от испаряемости бензина. При работе двигателя на бензинах с высокой испаряемостью температура деталей карбюратора понижается значительно быстрее, чем при работе на бензинах с низкой испаряемостью, т. е. с меньшим количеством легких фракций.

При охлаждении деталей карбюратора ниже 0 °С конденсирующаяся на них влага (из воздуха) превращается в лед. Основные меры, предотвращающие обледенение карбюратора, — подогрев горючей смеси или воздуха во впускном трубопроводе двигателя, применение антиобледенительных присадок к бензинам.

Температура перегонки 90 % бензина и конца его кипения характеризуют полноту испарения. Если в бензине содержится много высококипящих углеводородов и других соединений, то они не испаряются во впускном трубопроводе двигателя и попадают в цилиндры в жидком виде. Некоторая часть жидкого бензина, поступающего в цилиндры, испаряется и сгорает, а оставшаяся часть стекает по стенкам цилиндра, смывая с них масло. При этом в масло попадают тяжелые фракции бензина, в результате чего увеличивается износ двигателя, расход топлива, нагарообразование на деталях двигателя, повышается токсич-

ность отработавших газов.

Поэтому чем меньше интервал между температурой выкипания 90 % объема бензина и температурой конца кипения (т.е. чем ниже склонность топлива к конденсации), тем выше его качество, лучше экономичность и ниже темп изнашивания деталей двигателя.

Требования к фракционному составу и давлению насыщенных паров автомобильных бензинов определены в зависимости от сезона и климатического района их применения. Фракционный состав бензина определяют по ГОСТ 2177–99 (ИСО 3405–88).

На рис. 1.10 показан аппарат для перегонки нефтепродуктов. Сущность метода определения фракционного состава заключается в перегонке 100 мл испытуемого бензина на этом аппарате при условиях, предусмотренных стандартом.

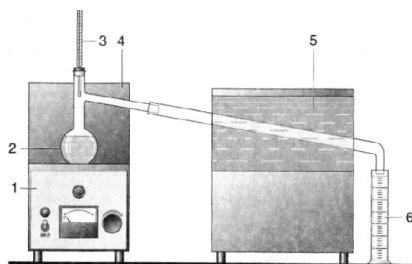


Рис. 1.10. Схема установки для определения фракционного состава бензина:

1 – электронагревательный прибор; 2 – колба с испытуемым топливом; 3 – термометр; 4 – защитный кожух; 5 – холодильник; 6 – мерный цилиндр.

Фракционный состав топлива определяют в следующем порядке:

- отмерив измерительным цилиндром 100 мл бензина, переливают его в круглодонную колбу объемом 200 мл, держа ее в таком положении, чтобы отводная трубка (носик) была направлена вверх (рис. 1.9);
- в шейку колбы вставляют термометр с корковой пробкой так, чтобы ось термометра совпадала с осью колбы, а верх ртутного шарика находился на уровне нижнего края отводной трубки в месте ее припоя (см. рис. 1.10);
- устанавливают колбу на электронагревательный прибор и закрывают кожухом;
- устанавливают измерительный цилиндр под нижний конец отводной трубки холодильника так, чтобы трубка входила в цилиндр не менее чем на 25 мм, но не ниже метки 100 мл;
- включив электронагревательный прибор, устанавливают такую интенсивность нагрева, чтобы первая капля дистиллята упала из трубки холодильника через 5...10 мин;
- фиксируют температуру, показанную термометром в момент падения первой капли, и условно принимают ее за температуру начала пе-

регонки;

- устанавливают такую интенсивность нагрева, чтобы перегонка бензина протекала со скоростью 4...5 мл/мин, что соответствует 20...25 каплям за 10 с. Фиксируют показания термометра после отгона каждых 10 мл дистиллята;

- после отгона 90 % дистиллята устанавливают такой нагрев колбы, чтобы до конца перегонки прошло 3...5 мин;

- когда ртутный столбик остановится, заканчивают перегонку и фиксируют температуру ее конца;

- выключают прибор, снимают верхний кожух и дают колбе остыть в течение 5 мин;

- после остывания колбы сливают остаток бензина в измерительный цилиндр и измеряют полученный объем с точностью до 0,1 мл. Величина остатка в колбе и потеря при перегонке не должна быть более 2...3 %.

Данные перегонки сравнивают с нормами ГОСТ на бензины и дают заключение, соответствует ли данный бензин по фракционному составу нормам ГОСТ на определенную марку бензина.

Давление насыщенных паров определяется наличием легких фракций в бензине. Под давлением насыщенных паров жидкого топлива подразумевают давление паров, находящихся в состоянии равновесия с жидкостью при данной температуре и определенном соотношении объемов жидкой и паровой фаз. Чем больше легких фракций в бензине, тем выше давление насыщенных паров.

От давления насыщенных паров зависят склонность бензина к образованию паровых пробок, возможные потери его при хранении, транспортировке и заправке автомобиля, легкость пуска двигателя. Чем больше в бензине углеводородов с низкой температурой кипения, тем выше его испаряемость и давление насыщенных паров, а, следовательно, и склонность к образованию паровых пробок.

При нагревании бензина в системе питания двигателя происходит испарение легкокипящих углеводородов не только с открытой поверхности, но и в объеме топлива с образованием большого количества пара. Объем пара в 150...200 раз больше по сравнению с объемом этих же углеводородов до испарения, т. е. в жидком состоянии. Таким образом, в бензине сильно возрастает объем паровой фазы и уменьшается объем жидкой. При этом в систему питания двигателя поступает смесь, состоящая из жидкого бензина, его паров и небольшого количества воздуха, выделившегося при нагревании бензина. Это приводит к снижению подачи насосом количества топлива, чрезмерному обеднению горючей смеси, возникновению перебоев в работе

двигателя, падению его мощности, а иногда и к остановке двигателя.

Остановка двигателя в жаркие дни вследствие интенсивного испарения легких фракций бензина носит такой же характер, как при засорении топливопроводов механическими примесями.

Установлено, что особенно сильно бензин нагревается в жаркий день при непродолжительной остановке работавшего с повышенной нагрузкой двигателя. Вентиляция подкапотного пространства прекращается, бензин в карбюраторе нагревается за счет теплоты, излучаемой двигателем. Примерно в течение 10 мин после остановки двигателя температура бензина становится на 30...40 °С выше температуры окружающего воздуха. Начинается интенсивное испарение бензина. В каналах карбюратора появляются паровые пузырьки, уровень топлива в поплавковой камере снижается. Поэтому повторный пуск двигателя затрудняется из-за нехватки бензина в поплавковой камере и трудности воспламенения переобедненной смеси. Пуск двигателя становится возможным только после подачи топливным насосом в поплавковую камеру необходимого количества бензина.

Требования к испаряемости автомобильных бензинов зависят главным образом от температурных условий их применения. С учетом климатических особенностей страны бензины по фракционному составу и давлению насыщенных паров подразделяют на зимние и летние сорта.

В летний период работа автомобилей на зимних сортах бензина затрудняется, так как в связи с высоким давлением насыщенных паров его в системе питания интенсивно образуются паровые пробки. В зимний период недопустима работа автомобилей на летних сортах бензина, поскольку из-за недостатка легких фракций затрудняется пуск двигателя, повышаются износ цилиндропоршневой группы и расход топлива.

Чем выше давление насыщенных паров бензина, тем больше потери его при хранении, транспортировке, перекачивании, заправке и непосредственно из бака автомобиля. Давление насыщенных паров уменьшается с понижением температуры и увеличением отношения паровой и жидкой фаз.

Давление насыщенных паров определяют по методу Рейда (ГОСТ 1756–2000; ИСО 3007–99). Сущность метода заключается в измерении давления насыщенных паров топлива в двухкамерной бомбе при температуре 37,8 °С. Схема прибора показана на рис. 1.11, а. Металлическая бомба состоит из топливной камеры 1 (рис. 1.11, б) с одним отверстием и воздушной камеры 2, которые соединяются при помощи резьбы. Отношение объемов воздушной и топливной камер

составляет $3,95 \pm 4,05$. В верхней части воздушной камеры находится ниппель 3 с газовым краном 4 и наконечником для резиновой трубки. Давление измеряют манометром.

Ртутный манометр 3 (см. рис. 1.11, а) представляет собой U-образную стеклянную трубку, наполненную ртутью. На один конец манометра надевают резиновую трубку, которую затем соединяют с воздушной камерой бомбы.

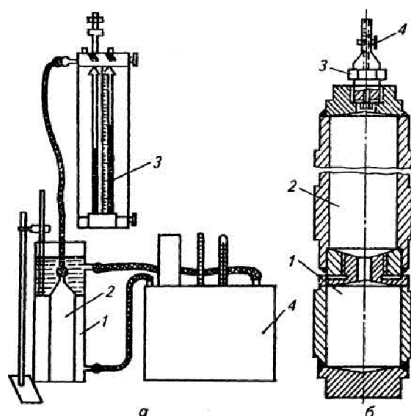


Рис.1.11. Прибор для определения давления насыщенных паров стандартным методом:

а – схема прибора; 1 – водяная баня; 2 – бомба; 3 – ртутный манометр; 4 – термостат; б – устройство бомбы, 1 и 2 – топливная и воздушная камеры; 3 – ниппель; 4 – газовый кран.

При проведении испытаний собранный аппарат опрокидывают. При этом находящийся в топливной камере бензин стекает в воздушную камеру. Затем аппарат сильно встряхивают несколько раз в направлении, параллельном его оси. Далее аппарат возвращают в нормальное положение и погружают в водяную баню, кран при этом должен также находиться в воде. Температуру бани поддерживают на уровне $37,8^\circ\text{C}$. Аппарат выдерживают в бане в течение 5 мин. Затем его вынимают из бани, переворачивают, сильно встряхивают вдоль оси и ставят обратно в баню. Операцию изъятия и встряхивания повторяют после 5 мин выдержки, затем снова ставят аппарат в баню. По истечении 2 мин открывают газовый кран и регистрируют показания манометра. Испытания продолжают до тех пор, пока два последовательных показания не станут одинаковыми. Длительность испытания обычно составляет 20...30 мин. Конечное показание манометра снимают с точностью до 1 кПа.

При подсчете давления насыщенных паров бензина в показания манометра вносят поправку на изменение давления воздуха и насыщенных паров воды в воздушной камере, вызванное различием между

исходной температурой воздуха и температурой водяной бани.

Значение давления насыщенных паров для бензинов всех типов (ГОСТ Р 51313–99) должно быть в пределах 35...100 кПа. Причиной ограничения верхнего уровня давления насыщенных паров бензина является возможность образования паровых пробок, а нижнего – ухудшение его пусковых свойств.

Образование паровых пробок зависит от испаряемости бензина, температуры и конструкции двигателя. Чем выше давление насыщенных паров бензина, ниже температура перегонки 10 % и больше объем фракции, выкипающей при температуре до 70 °С, тем больше его склонность к образованию паровых пробок. Эта зависимость носит линейный характер и может быть выражена следующим образом:

$$\dot{I} \ddot{I} \ddot{I} = 10 \dot{A} \dot{I} \ddot{I} + 7V_{70^{\circ}\text{C}}, \quad (1.25)$$

где ИПП– индекс паровой пробки;

ДНП– давление насыщенных паров бензина, кПа;

$V_{70^{\circ}\text{C}}$ – объем бензина, выкипающего при температуре до 70 °С.

Плотность и вязкость бензина – регламентированные параметры его качества. Применение бензина со значительно пониженной плотностью может привести к повышению его уровня в поплавковой камере карбюратора и самопроизвольному вытеканию из распылителя. Испаряемость бензина существенно зависит от его плотности. Различают абсолютную и относительную плотность вещества.

Абсолютная плотность вещества (кг/м^3) – это масса, содержащаяся в единице объема. За единицу плотности принимают массу 1 м^3 дистиллированной воды при температуре 4 °С.

Относительная плотность вещества – это отношение его массы к массе дистиллированной воды при 4°С, взятой в том же объеме. Относительная плотность – величина безразмерная.

Нефтепродукты и вода имеют неодинаковые коэффициенты расширения. В связи с этим необходимо при определении плотности указывать температуры нефтепродукта и воды, при которых проводилось определение. Относительную плотность нефтепродуктов определяют при температуре 20°С. Плотность нефтепродукта может быть замерена при любой температуре, однако результат приводят к температуре 20 или 15 °С. В зарубежных и некоторых отечественных стандартах пределы плотности устанавливают при 15 °С.

В соответствии с действующим стандартом плотность нефтепро-

дукта обозначают ρ_4^{20} . Здесь цифра 20 указывает, что плотность нефтепродукта относят к нормальной температуре 20 °С, а цифра 4 означает, что плотность нефтепродукта относят к плотности воды при 4 °С, принятой за единицу.

Относительная плотность автомобильных бензинов колеблется в пределах 0,70...0,78, а абсолютная плотность в системе СИ соответственно – 700...780 кг/м³ при 20 °С.

В стандартах на топливо плотность не нормирована, однако определять ее обязательно. Это необходимо для учета расхода и движения нефтепродуктов на нефтескладах и заправочных станциях, так как приход фиксируют в единицах массы (кг, т), а расход при заправке тракторов и автомобилей учитывается в единицах объема (л). Поэтому для пересчета топлива из единиц массы в единицы объема и обратно нужно знать плотность получаемых и отпускаемых нефтепродуктов.

Плотность бензина с понижением температуры на каждые 10 °С возрастает примерно на 1 %.

Плотность (кг/м³) некоторых бензинов в соответствии с ГОСТ Р – 51069 (ASTM Д 1298) определяют при 15 °С.

Низкотемпературные свойства бензинов не должны влиять на работоспособность топливных систем при отрицательных температурах.

При низких температурах может произойти прекращение подачи бензина в двигатель вследствие выпадения кристаллов льда или образования ледяных отложений на деталях карбюратора и впускной системы (обледенение карбюратора). Поскольку большинство углеводородов, входящих в состав бензинов, застывает при очень низких температурах, а температура застывания автомобильных бензинов ниже – 60 °С, этот показатель для них не регламентируется.

Наибольшие осложнения при эксплуатации двигателя в условиях низких температур связаны с образованием в бензине кристаллов льда. В бензине может содержаться всего лишь несколько сотых долей процента воды (в растворенном состоянии). При повышенной влажности и положительных температурах (стоянка автомобиля в теплом, влажном, плохо проветриваемом гараже) содержание воды даже в обезвоженном бензине почти мгновенно достигает максимального значения. При быстром охлаждении бензина влага, не успевшая перейти в воздух, выделяется в виде мелких капель, которые при отрицательных температурах превращаются в кристаллы льда. Эти кристаллы забивают топливные фильтры и трубки и нарушают подачу бензина в двигатель. Кроме того, вода, содержащаяся в этилированном бензине, приводит к разложению тетраэтилсвинца, что значительно повышает коррозионную агрессивность бензина.

Растворимость воды в бензине улучшается при повышенном содержании в бензине ароматических углеводородов, в частности, бензола. Поэтому для снижения опасности образования кристаллов льда при охлаждении бензинов содержание в них ароматических углеводородов, в том числе бензола, ограничивают.

При подозрении на наличие воды в топливном баке автомобиля, а также в профилактических целях его владелец (водитель) может добавить в бензин один из специальных препаратов, «связывающих» воду. При номинальной дозировке эти препараты, как правило, не оказывают влияния на состояние деталей двигателя и его работу.

1.3.7. Антидетонационные свойства

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.

Разработка методов оценки антидетонационных свойств бензинов началась в 1918...1919 гг. почти одновременно с изучением явления детонации в двигателях, когда Г. Рикардо создал двигатель с переменной степенью сжатия и предложил оценивать топливо значением степени сжатия, при котором двигатель развивает максимальную мощность. Этот показатель был назван наивысшей полезной степенью сжатия.

Дальнейшие исследования показали несостоятельность метода, так как значение наивысшей полезной степени сжатия не только не оставалось постоянным при переходе на другой двигатель, но изменялось даже при работе на одном и том же двигателе в зависимости от условий окружающей среды.

Позже был разработан метод оценки детонационной стойкости топлива с помощью топливных эквивалентов, основанный на сравнении испытуемого топлива с антидетонационными свойствами некоторых определенных видов топлива, принятых за эталон. В качестве эталонных видов топлива выбирались два: одно из которых детонирует слабо, а другое – сильно, с таким расчетом, что все виды топлива, подлежащие испытанию, по своей склонности к детонации находились между выбранными эталонами. За величину, характеризующую антидетонационные качества топлива, было принято процентное содержание слабодетонирующего топлива в эталонной смеси, эквивалентной по детонационной стойкости исследуемому образцу.

Введение сравнительной оценки антидетонационных свойств бензина дало возможность оценивать эти качества с помощью некоторой

условной единицы, а также контролировать антидетонационные качества топлива на специальных одноцилиндровых моторных установках, что существенно упростило испытания.

Сравнительные испытания проводили на разнообразных установках (двигателях) и при различных режимах работы. В качестве эталонных топлив применяли бензол, толуол, спирт, которые смешивали с каким-либо легкодетонирующим бензином. Однако такие эталоны не позволяли получать удовлетворительные результаты, так как условия работы двигателя на бензоле, толуоле и спирте значительно отличаются от условий работы на товарных бензинах. Кроме того, при использовании в качестве легкодетонирующего эталона промышленного бензина невозможно повсеместно обеспечить строгое постоянство его антидетонационных качеств. Накопленный опыт показал, что относительное расположение топлива по антидетонационным свойствам не является постоянным, а зависит в значительной степени от режима работы испытательной установки, метода сравнения топлива с эталоном, состава сравниваемых видов топлива и т. д. В связи с этим возникла необходимость установить единую единицу измерения, оценивающую антидетонационные качества топлив, а также разработать единообразные условия испытания.

В качестве эталонного топлива стали применять химически чистые углеводороды – сильнодетонирующий нормальный гептан и слабодетонирующий изооктан (2,2,4-триметилпентан) и их смеси, удовлетворяющие основным требованиям к эталонному топливу: постоянный состав и возможность получения идентичного качества; длительный срок хранения; антидетонационные свойства, охватывающие весь диапазон бензинов; близость условий сгорания в двигателе к условиям сгорания товарных бензинов.

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 про-

центах, можно получить эталонные смеси с детонационной стойкостью от 0 до 100 единиц.

Из-за трудности подбора эталонного топлива, идентичного испытываемому, ограничились подбором двух эталонных смесей с таким расчетом, чтобы испытываемое топливо по своей детонационной стойкости лежало между ними. При условии, что детонационная стойкость подобранных смесей близка, эквивалентная может быть найдена расчетом, исходя из пропорциональности между изменением октанового числа эталонов и показаниями прибора, регистрирующего детонацию.

Применение такой методики вызвало необходимость измерения интенсивности детонации. Основное требование, предъявляемое к способу оценки интенсивности детонации при сравнении топлив, заключается в простоте измерения и получения отсчета непосредственно во время испытаний. Как известно, работа двигателя с детонацией сопровождается появлением стука, а также резким повышением давления в конце сгорания. Именно эти явления были использованы для измерения интенсивности детонации.

Появившиеся в последнее время различные «октанометры» отечественного и зарубежного производства, работающие на принципах измерения диэлектрической проницаемости, углеводородного состава, не имеют ничего общего с моторными установками, на которых определяют октановые числа бензинов.

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 исследователь-

ский 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). При этом 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.

Октановое число, приблизительно соответствующее ОЧ по исследовательскому методу, может быть определено по формуле:

$$\hat{i} \times = 120 - 2 \left(\frac{t_{CP} - 58}{5\rho_4^{20}} \right), \quad (1.26)$$

где t_{CP} – средняя температура разгонки топлива, °С;

ρ_4^{20} – плотность топлива при температуре +20 °С.

Среднюю температуру разгонки топлива определяют по формуле:

$$t_{CP} = \frac{t_{HP} + t_{KP}}{2}, \quad (1.27)$$

где t_{HP} – температура начала разгонки топлива, °С;

t_{KP} – температура конца разгонки топлива, °С.

Полученное значение ОЧ сравнивают с нормами ГОСТ на бензины и дают заключение, соответствует ли данный бензин по октановому числу, определенному конкретным методом испытаний, нормам ГОСТ на данную марку бензина.

Даже если бензин имеет соответствующие стандарту или техническим условиям значения октановых чисел по моторному и исследовательскому методам, есть вероятность того, что антидетонационная характеристика бензина не в полной мере отвечает требованиям двигателя.

Соответствие качества бензина и требований двигателя оценивается сопоставлением фактических октановых чисел при стендовых испытаниях двигателя на установившихся режимах и дорожных октановых чисел на режимах разгона автомобиля с требованиями двигателей к октановым числам на этих режимах.

Методы оценки этих показателей соответствия регламентированы стандартом и введены в комплекс методов квалификационной оценки.

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.

Наиболее широко используемым антидетонатором является тетраэтилсвинец $Pb(C_2H_5)_4$, представляющий собой бесцветную маслянистую жидкость плотностью 1650 кг/м^3 . ТЭС не растворим в воде, но растворим в бензине и органических растворителях, кипит с разложением при температуре 200°C , легко воспламеняется и горит. Тетраэтилсвинец ядовит, поражает главным образом центральную нервную систему, обладает свойством накопления в организме, может попадать в организм через неповрежденную кожу и дыхательные пути. Единовременное попадание в организм значительного количества ТЭС или постепенное продолжительное отравление им вызывают смерть.

Действие тетраэтилсвинца заключается в обрыве цепных реакций образования пероксидов. Тем самым предотвращается или значительно снижается детонационное сгорание рабочей смеси.

Недостатком ТЭС является то, что свинец из камеры сгорания удаляется не полностью, что приводит к освинцовыванию деталей двигателя, т. е. происходит отложение продуктов сгорания ТЭС (свинца и его оксидов) в камере сгорания, на днище поршня, клапанах, свечах и др. С целью уменьшения этого явления к ТЭС добавляют бромистые и хлористые соединения, называемые выносителями свинца. ТЭС добавляют в бензин в виде этиловой жидкости (ЭЖ) (табл. 1.9), состоя-

щей из тетраэтилсвинца, выносителя, антиокислителя, наполнителя и красителя. Выноситель добавляют для сохранения свинцовых соединений в газообразном состоянии. В качестве выносителя свинца используют органические гаплоидные соединения углеводов, например бромистый этил, монохлорнафталин, дибромэтан. Недостатком выносителя бромистого этила в жидкости Р-9 является то, что он обладает низкой температурой кипения (34 °С) и при хранении испаряется. Выноситель дибромэтан в жидкости 1-ТС кристаллизуется при – 8°С, что делает невозможным применение бензина с этой жидкостью зимой. Выноситель дибромпропан, входящий в жидкость П-2, кипит при 141 °С и кристаллизуется при –55 °С, поэтому является наиболее пригодным для использования в условиях Сибири.

Таблица 1.9. Этиловые жидкости

Компоненты	Состав жидкости, % массы		
	Р-9	1-ТС	П-2
Тетраэтилсвинец	54,0	58,0	55,0
Бромистый этил	33,0	36,0	–
Дибромпропан	–	–	34,4
Альфамонохлорнафтали	6,8	–	5,5
Красящее вещества	0,1	0,5	0,1
Наполнитель	6,1	5,5	5,0

Тетраметилсвинец $Pb(CH_3)_4$ имеет более низкую температуру кипения (110 °С) и более высокое давление насыщенных паров. В зависимости от химического состава бензина при добавлении этиловой жидкости ОЧ увеличивается на 8...12 единиц. Наибольший эффект дает добавление антидетонатора в количестве 0,5...1,0 г/кг топлива.

Эффективность использования ТЭС для эталонных смесей и для бензинов различного происхождения представлена на рис. 1.

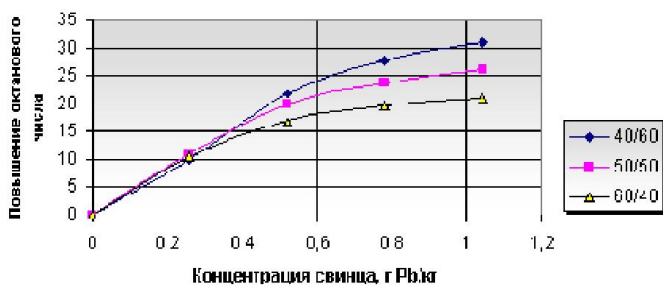


Рис. 1.12 Зависимость антидетонационной стойкости эталонных бензиновых смесей (смесь изооктана и н-гептана,) от концентрации свинца.

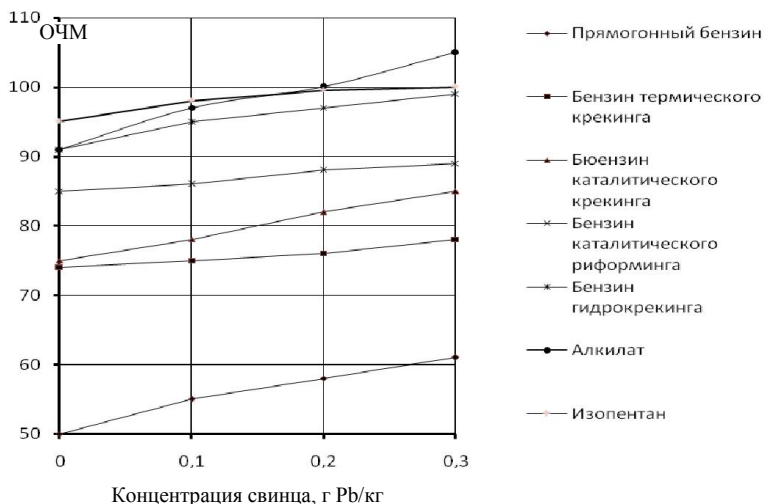


Рис. 1.13 Зависимость антидетонационной стойкости бензинов различного происхождения от концентрации свинца.

Бензины, в которые добавлена этиловая жидкость, называют этилированными. Для предупреждения о ядовитости этилированные бензины окрашивают, причем каждую марку в свой цвет. При работе двигателей на этилированных бензинах отмечают следующие особенности: повышение нагарообразования, более частое возникновение калильного зажигания, уменьшение срока службы свечей зажигания, образование свинцовых отложений на опорах клапанов и гнездах, вызывающих прогорание клапанов.

Этилированные бензины оказывают значительное коррозионное действие на металлы в присутствии воды. В процессе хранения бензина ТЭС подвергается окислению, в результате чего в бензине могут образоваться нерастворимые продукты, вызывающие помутнение бензина.

Этилированные бензины являются источником свинцовых загрязнений окружающей среды и препятствием к использованию каталитических систем нейтрализации отработавших газов на автомобилях, так как их каталитическая основа быстро разрушается оксидами свинца. Поэтому, несмотря на высокие антидетонационные свойства ТЭС, поиск и разработка новых, в частности, менее токсичных антидетонаторов продолжается.

В перспективе планируется полный переход на производство и применение только неэтилированных бензинов. По ТУ 38.401-58-285—

01 промышленность выпускает противоизносную присадку для неэтилированного бензина, предназначенную для защиты седла клапана двигателя от износа.

В качестве альтернативы ТЭС 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.

Антидетонационная эффективность пентакарбонила железа $\text{Fe}(\text{CO})_5$ была обнаружена в 1924 г. Это – светло-желтая жидкость с характерным запахом: плотность равна 1457 кг/м^3 при 20°C ; температура кипения – $102,2^\circ\text{C}$; температура плавления – 20°C .

Применялся в качестве антидетонатора в 30-е годы в Германии в концентрации $2...2,5 \text{ мл/кг}$. Однако после определенного времени использование пентакарбонила железа в качестве антидетонатора было прекращено: при его сгорании образовывались оксиды железа, нарушающие работу свечей зажигания; одновременно увеличивался износ стенок цилиндра двигателя и поршневых колец. До настоящего времени не подобран «выноситель» для окислов железа, которые образуются в камере сгорания.

При добавлении пентакарбонила железа к топливу прирост октанового числа (моторный метод) ниже, чем при использовании этиловой жидкости. К другим недостаткам пентакарбонила железа следует отнести его склонность к быстрому разложению под действием света до нерастворимого нонкарбонила железа $\text{Fe}(\text{CO})_9$. Среди других соединений железа распространен ферроцен, принадлежащий к группе сэндвичеобразных элементоорганических соединений переходных металлов.

Ферроцен – твердое кристаллическое вещество оранжевого цвета (температура плавления 174°C ; температура возгорания 100°C ; температура разложения 474°C). Антидетонационная эффективность ферроцена его производных представлена на рис. 1.14

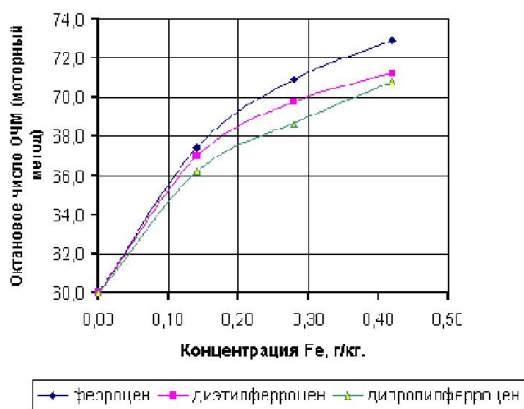


Рис. 1.14 Зависимость антидетонационной стойкости эталонной смеси бензинов от концентрации вводимой присадки

Исследования показали, что при работе на топливе с ферроценом, как и в случае с пентакарбониллом железа, увеличивается износ деталей двигателя и резко падает работоспособность свечей зажигания. Антидетонационная эффективность ферроцена выше, чем эффективность карбонила железа в допустимых концентрациях их применения (показана на рис. 1.15 при совместном использовании с монометиланилином MMA)

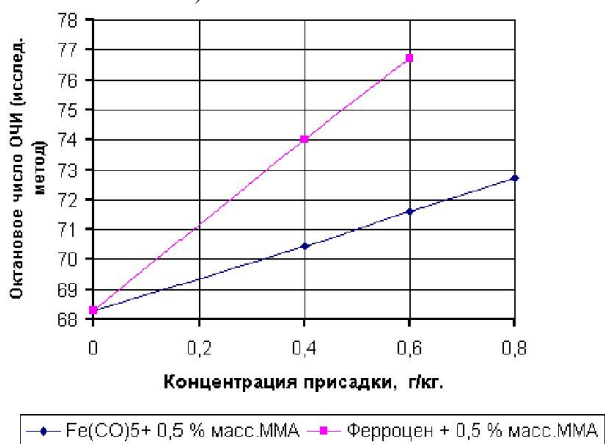


Рис. 1.15 Зависимость антидетонационной стойкости прямогонного бензина от концентрации вводимой присадки

Диизобутиленовый комплекс пентакарбонила железа имеет

формулу $[\text{Fe}(\text{CO})_5]_3[\text{C}_8\text{H}_{16}]_5$ (соотношение пентакарбонила и диизобутилена равно 3:5). Это – жидкость (плотность 955 кг/м^3 ; температура кипения $27...32 \text{ }^\circ\text{C}$ при 8 кПа), хорошо растворимая в органических растворителях. По антидетонационной эффективности комплекс близок к пентакарбонилу железа.

В 1951 г. были синтезированы металлоорганические соединения, молекула которых представляет собой «сэндвич» с атомом переходного металла, расположенным между двумя цикlopентадиенильными кольцами. В 1954 г. Фишером и Иром впервые получен цикlopента-диенилтрикарбонил марганец (ЦТМ). Авторы установили, что дициклопентадиенилмарганец при нагревании под давлением окиси углерода превращается в желтый легко сублимирующийся кристаллический продукт состава $\text{C}_5\text{H}_5\text{Mn}(\text{CO})_3$. Первые сообщения оботкрытии антидетонационных свойств новых соединений марганца появились в печати в 1957 г. В течение нескольких последующих лет были синтезированы соединения ряда других металлов и исследованы их антидетонационные свойства. Среди исследованных веществ наиболее эффективными оказались соединения марганца – цикlopентадиенилтрикарбонилмарганец (ЦТМ) и метилциклопентадиенилтрикарбонилмарганец (МЦТМ).

Все основные исследования и испытания за рубежом проведены с метилциклопентадиенилтрикарбонилмарганцем $\text{CH}_3\text{C}_5\text{H}_4\text{Mn}(\text{CO})_3$. Это соединение представляет собой прозрачную маловязкую жидкость светло-янтарного цвета с травянистым запахом, температурой кипения $233 \text{ }^\circ\text{C}$, плотностью $1,3884 \text{ г/см}^3$ и температурой застывания $1,5 \text{ }^\circ\text{C}$. МЦТМ хорошо растворим в бензине и практически нерастворим в воде.

Антидетонационная эффективность МЦТМ изучалась на товарных бензинах и на индивидуальных углеводородах. Исследование на индивидуальных углеводородах показало, что те углеводороды, которые имеют наибольшую чувствительность к ТЭС, обнаруживают и наилучшую приемистость к МЦТМ. Среди исследованных углеводородов наибольшую приемистость как к ТЭС, так и к МЦТМ показали гептан нормального строения, 2,2-диметилбутан и 2-метилпентан. Нафтоновые углеводороды обладают несколько меньшей приемистостью к МЦТМ, чем парафиновые, но намного превосходят по этому показателю ароматические. Эффективность МЦТМ в oleфинах в значительной степени зависит от их структуры. Приемистость октена-1 к марганцевому антидетонатору оказалась в 14 раз больше приемистости диизобутиленов.

При исследовании сравнительной эффективности МЦТМ и ТЭС на

искусственной смеси, состоящей из 40 % толуола, 30 % гептана, 20 % диизобутилена и 10 % изооктана (топливо ТД-3), оказалось, что МЦТМ вдвое эффективнее ТЭС при определении октанового числа по исследовательскому методу и равноценен ТЭС при оценке по моторному методу.

Приемистость бензинов к МЦТМ зависит от их химического состава. Бензины, имеющие высокую приемистость к ТЭС, как правило, показывают еще большую приемистость к МЦТМ. Основное влияние на приемистость бензинов к МЦТМ оказывает содержание в них парафиновых и ароматических углеводородов. С увеличением содержания парафиновых и уменьшением содержания ароматических углеводородов приемистость бензинов к ЦТМ возрастает. Высокую приемистость к МЦТМ имеют алкаты, газовые бензины, углеводороды C_5 – C_9 разветвленного строения.

Исследования антидетонационной эффективности МЦТМ на двигателях в стендовых и эксплуатационных условиях показали значительно большую эффективность этого антидетонатора, чем можно было предполагать по результатам определения октанового числа исследовательским и особенно моторным методами.

Представляет также интерес ацетилтрифторциклопентадиенилтрикарбонилмарганец (АТФЦТМ) $CF_3COC_5H_4Mn(CO)_3$. Его антидетонационная эффективность в смесях изооктана с н-гептаном в среднем превышает эффективность ЦТМ (октановое число на 2..3 единицы выше).

В России и за рубежом при производстве высокооктановых бензинов широко применяют метилтретбутиловый эфир (МТБЭ).

Антидетонационная присадка на основе метилтретичнобутилового эфира (МТБЭ) не ядовита, отличается более высокой теплотой сгорания, хорошо смешивается с бензином в любых соотношениях, не агрессивна к конструкционным материалам. При добавке 10 % МТБЭ октановое число бензинов повышается на 2,1...5,8 единиц (по исследовательскому методу), при добавке 20 % – на 4,6...12,6 единиц. Кроме того, при введении МТБЭ в бензин в количестве 11 % минимальная температура холодного пуска двигателя снижается на 10...12 °С. Максимально допустимое содержание МТБЭ (ТУ 38.103704 – 90) или его смеси «Фетерол» (ТУ 301-03-130 – 93) в отечественных бензинах составляет 15 %. Однако производство МТБЭ будут сокращать, хотя он не представляет угрозу для здоровья. Причина в том, что МТБЭ легко проникает в грунтовые воды и имеет неприятный запах. Он обнаружен в малых количествах во многих источниках водоснабжения.

В качестве антидетонационных присадок применяют также составы,

содержащие марганец и железо. Они имеют высокие антидетонационные свойства и менее токсичны по сравнению с ТЭС. Однако бензины с марганцевыми антидетонаторами (ЦТМ, МЦТМ) образуют повышенные отложения на поверхностях свечей зажигания и катализаторах дожигателя, снижая эффективность их работы. Кроме того, соединения марганца при вдыхании обладают нейротоксичным действием и при массовом применении в местах скопления автомобилей на закрытых стоянках или в ремонтных зонах могут превысить предельно допустимую концентрацию.

Стандартом на автомобильные бензины ГОСТ Р 51105 – 97 предусмотрена выработка бензина «Нормаль-80» и «Регуляр-91» с содержанием марганца соответственно 50 и 18 г/дм³.

Железосодержащие присадки (ферроцены) не токсичны, сравнительно дешевы и эффективны, но вызывают повышенный износ деталей двигателей, интенсивное нагарообразование и отложение лаковых пленок. При концентрациях ферроценов до 40 мг/кг интенсивность изнашивания деталей снижается, но остается выше, чем при использовании бензинов без присадки. К применению допущены антидетонаторы на основе ферроцена при содержании железа в бензинах всех марок не более 37 мг/дм³.

В табл. 1.10 приведены наиболее распространенные антидетонационные присадки к топливам.

Некоторые автолюбители для повышения октанового числа бензина добавляют в него нафталин. Действительно, имеются зарубежные патенты, в которых описано использование во впускной системе двигателя «патронов» с нафталином для борьбы с детонацией при разгонах и на высоких скоростях движения автомобиля.

Как известно, нафталин возгоняется, и воздух, проходящий через «патрон», насыщается парами нафталина. Чем выше скорость воздуха, тем больше поступает в газообразном виде нафталина в двигатель и снижается вероятность появления детонации.

Однако применять нафталин, растворяя его в бензине, не имеет смысла, так как при понижении температуры топлива он будет образовывать кристаллы, которые могут забивать фильтры. Кроме того, нафталин способствует нагарообразованию в камере сгорания.

Исходя из постоянно возрастающих требований к надежности и экологическим характеристикам двигателей, этилированный бензин признан не соответствующим по техническому уровню стандарту EN 228, и его производство в России и других странах мира прекращено. Применение бензинов с металлосодержащими присадками рассматривается как временная альтернатива этилированным бензинам.

Таблица 1.10. Антидетонационные присадки и добавки к автомобильным бензинам

Наименование	Допустимая концентрация
Этиловая жидкость	0,07%
МТБЭ или «Фетерол» (ТУ 2421-009-04749189 – 95)	0,3 %
Присадка МЦТМ (ТУ 2021-007-27442089 – 96)	0,1 %
Присадка «АвтоВэм» (ТУ 38.401-58-185 – 97)	До 1,3 %
Присадка «Хайтек-3000» фирмы «Этил»	До 50 мг Мп/л
Присадка «ФК-4» (ТУ 38.301-27-012 – 94)	До 37 мг Fe/л
Присадка «SOA» (ТУ 0257-309-058008-99)	До 37 мг Fe/л
Присадка «КВ –мотор» (ТУ 0257-001-18419946 – 99)	До 37 мг Fe/л
Присадка «Октан - максимум» (ТУ 38.401-58-144 – 97)	До 37 мг Fe/л
Присадка «Феро-3» (ТУ 38.401-58-83 – 97)	До 0,02 % (37мг Fe/л)
Присадка «АПК» (ТУ 38.401-58-61 – 93)	До 0,3 % (37мг Fe/л)
Присадка АВТОЭМ Б (многофункциональная)	До 0,5 % Мп, 90,5 % MMA
Добавка АДА (ТУ 38.401-58-144 – 97)	2,5%
Добавка «Феррада» (ТУ 38.401-58-189 -97)	До 1,3 % (37мг Fe/л)
Добавка «Фетерол» (ТУ 2421-007-27442089 – 96)	До 15%
Добавка МАФ (ТУ 38.401-58-217 – 98)	До 3,5 % (37мг Fe/л)
Добавка «ДАКС» (ТУ 0251-003-02066612096)	До 3,5 %
Добавка бензольная БВД (ТУ 38.401-58-228 – 99)	30% кислородосодержащих соединений, 70% MMA
Добавка «Марка А» (многофункциональная)	90% кислородосодержащих соединений, 8,5% MMA
Добавка «Биодэн»	35% кислородосодержащих соединений, 65% MMA

1.3.8. Основные нарушения нормального сгорания в двигателях с искровым зажиганием в период эксплуатации

Процесс сгорания в бензиновом двигателе представляет собой распространение горючей смеси от источника зажигания фронта пламени. В двигателях с искровым зажиганием перед фронтом пламени происходит дополнительное сжатие смеси вследствие расширения продуктов сгорания, что приводит к повышению температуры несгоревшей смеси. Это вызывает последовательное увеличение скорости сгорания слоев смеси, непосредственно прилегающих к фронту пламени. Одновременно повышение температуры вследствие сжатия всей несгоревшей смеси ускоряет протекание в ней предпламенных реакций. При достаточно высоком сжатии скорость этих реакций может настолько возрасти, что до прихода фронта пламени в эту зону в ней возникает очаг самовоспламенения. Этот очаг начинает расширяться в результате самовоспламенения соседних слоев смеси, уже подготовленный к сгоранию предыдущими предпламенными реакциями. Скорость распро-

странения такой волны самовоспламенения весьма высока и может превосходить скорость звука в данной среде. В результате в камере сгорания возникают детонационные ударные волны, распространяющиеся со скоростью до 2000м/с. Эти волны, отражаясь от стенок камеры сгорания, вызывают новые очаги самовоспламенения.

Процесс сгорания, протекающий вначале с обычными скоростями, но с мгновенным неуправляемым горением в конце, называют детонационным (рис.1.16).

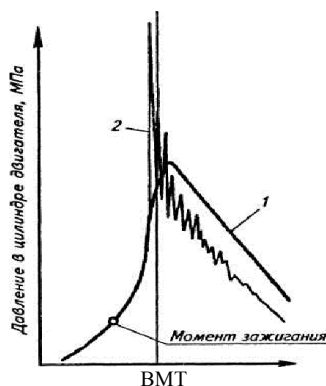


Рис. 1.16. Индикаторная диаграмма бензинового двигателя: 1 — нормальное сгорание; 2 — детонационное горение.

На рис. 1.17 показана схема детонационного сгорания бензина в двигателе.

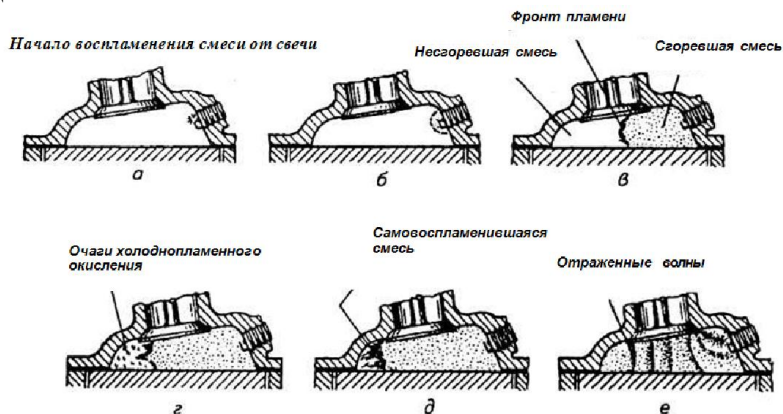


Рис. 1.17. Схема детонационного сгорания бензина в двигателе: а — зажигание смеси искрой свечи; б — формирование очага горения; в — движение фронта пламени при нормальном сгорании; г — образование очагов холоднотламенного окисления в негоревшей смеси; д — образование детонационной волны; е — движение отраженных волн.

По мере ее сгорания температура и давление в несгоревшей части рабочей смеси увеличиваются, что способствует образованию большого количества пероксидов. Особенно продолжительно высокие температура и давление действуют на последние порции несгоревшей рабочей смеси, поэтому в них образуется много пероксидов и создаются благоприятные условия для перехода нормального сгорания в детонационное. Однако если в состав бензина входят углеводороды, не образующие большого количества пероксидов, то их концентрация не достигает критических значений и сгорание заканчивается нормально.

Если в последних порциях рабочей смеси образуется много пероксидов, то концентрация их достигает критического значения и происходят взрывной распад, цепочно-тепловой взрыв, самовоспламенение смеси. Сгорание рабочей смеси идет с большой скоростью и резким повышением давления, возникает ударная волна, перемещающаяся по камере со сверхзвуковой скоростью. Ударная волна стимулирует воспламенение соседних слоев рабочей смеси.

При детонации значительно повышается отдача теплоты газов стенкам камеры сгорания. Двигатель перегревается, происходит разрушение поверхности камеры сгорания, днища поршня и антифрикционного слоя латунных подшипников. Прокладки между блоком цилиндров и головкой прогорают. Повышается износ поршневых колец и зеркала цилиндра, так как детонационные волны, многократно отражаясь от поверхности цилиндров, снимают с них слой смазочного материала (масла). Часть бензина и продуктов неполного сгорания перемешивается внутри камеры сгорания с продуктами полного сгорания и не сгорает. Поэтому снижается мощность двигателя, повышается расход бензина, увеличивается дымность и появляется пламя в выпускных газах.

Длительная работа двигателя с детонацией недопустима. Вызывая разрушение более холодных пограничных слоев газа, ударные волны могут существенным образом усиливать теплоотдачу в стенки камеры сгорания и днище поршня. При детонационном сгорании температура деталей повышается:

- стенок головки цилиндра на 30...50°C;
- головки выпускного клапана на 80°C;
- днища поршня на 30...60°C.

Вследствие этого твердость алюминиевых сплавов понижается и днище начинает прогорать. Повышение температур деталей вызывает увеличение количества тепла, передаваемого в систему охлаждения, и

соответствующий рост температуры охлаждающей жидкости. Следствием повышения температуры стенок камеры сгорания является уменьшение наполнения цилиндров двигателя и понижение его мощности. Местные резкие повышения температуры (приводят к термическому разложению топлива) усиливают диссоциацию в процессе сгорания и приток тепла. В некоторых случаях при этом наблюдается дымление выпускных газов.

Ударные волны при своем отражении от стенок гильзы цилиндра разрушают находящуюся на них масляную пленку, вследствие чего возникает сухое трение, приводящее к усиленному износу верхнего пояса гильзы и поршневых колец. Одновременно усиливается коррозионный износ (гильзы) под воздействием содержащихся в продуктах сгорания активных веществ, в частности окислов азота. Вибрационный характер нагрузки на поршень при наличии детонации может вызвать разрушение антифрикционного слоя в шатунных подшипниках.

Следует отметить, что наличие преддетонационных явлений, сопровождающихся возникновением ударных волн незначительной амплитуды, может быть даже полученным с точки зрения более быстрого и полного завершения сгорания, в частности в пристеночных слоях. При этом индикаторные диаграммы получаются более острыми, несколько возрастают значения давления в конце сгорания (P_z) и индикаторное давление цикла (P_i).

Детонация становится опасной тогда, когда ударные волны становятся настолько сильными, что вызывают существенное увеличение теплоотдачи и отмеченные ранее разрушения деталей двигателя.

Появление детонационного сгорания в основном является результатом неправильного подбора сорта топлива для двигателя с данной степенью сжатия.

Детонационную стойкость бензинов определяют по их октановому числу. Чем ниже октановое число, тем выше реакционная способность топлива и возможность возникновения детонации.

Помимо ОЧ бензинов на появление детонации оказывает влияние и ряд других факторов.

Возникновению детонации способствуют все факторы, увеличивающие скорость развития предпламенной реакции в последней части заряда. Возникновению детонации препятствуют факторы, ускоряющие сгорание последней части заряда во фронте пламени или каким-либо другим путем затрудняющие возникновение в ней взрывного самовоспламенения.

Факторы, влияющие на детонацию.

Сорт топлива. Бензины характеризуются октановым числом, кото-

рое определяет его детонационную стойкость. Чем выше октановое число, тем выше антидетонационные свойства топлива. Октановое число легких фракций бензина меньше, чем 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. Октановое число автомобильных бензинов (ГОСТ 2084 – 77) составляет от 76 до 98 единиц.

Степень сжатия. При повышении степени сжатия увеличиваются температура и давление в конце такта, что усиливает активацию смеси и способствует детонации.

Форма камеры сгорания должна быть компактной, без мест перегрева и поверхностей, значительно удаленных от свечей зажигания. В бензиновых двигателях широко применяют головки цилиндров с клиновидной камерой сгорания и двусторонним размещением клапанов. Устанавливают также головки цилиндров с Г-образной камерой сгорания.

Размеры и число цилиндров. С увеличением диаметра цилиндра удлинится путь пламени, проходимый до рабочей смеси, а значит и время подготовки последней части заряда к окислению, т.е. создаются условия, благоприятствующие возникновению детонации. Кроме того, при работе многоцилиндрового двигателя может иметь место детонация в отдельных цилиндрах. Это объясняется тем, что ее состав по цилиндрам различен. Раньше создаются предпосылки для возникновения детонации в тех цилиндрах, у которых смесь, характеризующая коэффициентом избытка воздуха α , приближается к составу $\alpha=0,85...0,95$, так как при этом период задержки воспламенения последней части топлива наименьший.

Материал поршня и головки цилиндров. Чем меньше теплопроводность материала и больше коэффициент его теплообмена с газами, тем большая возможность возникновения условий, способствующих детонационному сгоранию. Применение алюминиевого сплава позволяет несколько повысить степень сжатия (при прочих равных условиях) без дополнительной опасности возникновения детонации.

Частота вращения коленчатого вала и нагрузка двигателя. При повышении скоростного режима склонность двигателя к детонации уменьшается из-за сокращения времени для химической подготовки последней порции смеси, увеличения коэффициента остаточных газов и уменьшения коэффициента наполнения. При снижении нагрузки также наблюдается уменьшение коэффициента наполнения и увеличения остаточных газов в цилиндре. Кроме того, снижается температура

стенок камеры сгорания, что ведет к увеличению периода задержки воспламенения последней части заряда, поэтому при дросселировании детонационное горение может перейти в нормальное.

Угол опережения зажигания. При увеличении угла опережения зажигания окисление последней части заряда протекает при более высоких температуре и давлении, что способствует более интенсивной ее активации и увеличивает склонность двигателя к детонации. Позднее зажигание, наоборот, уменьшает склонность двигателя к детонации. Поэтому в условиях реальной эксплуатации (при использовании бензина с меньшим октановым числом, чем необходимо) уменьшают угол опережения зажигания.

Тепловое состояние двигателя. С ростом температуры деталей камеры сгорания увеличивается вероятность возникновения очагов самовоспламенения и детонации.

Температура и давление воздуха на впуске в цилиндр. Увеличение температуры и давления окружающей среды усиливает вероятность детонации. Поэтому применение наддува в двигателях с принудительным воспламенением затруднительно.

Нагарообразование. Нагар обладает низкой теплопроводностью (в 50 раз меньше чугуна или стали), поэтому при наличии нагара в цилиндре двигателя температура газов в процессе сгорания повышается и увеличивается склонность двигателя к детонации. Кроме того, при наличии нагара уменьшается объем камеры сгорания и, следовательно, повышается степень сжатия.

Высокая влажность воздуха также приводит к снижению детонации. В летний период при высоких температурах окружающего воздуха детонация проявляется в большей степени, чем зимой. Работа двигателя как на бедных, так и на богатых топливных смесях сопровождается снижением детонации. Нагар на днище поршня увеличивает степень сжатия и тем самым способствует детонации. Образование нагара в зоне поршневых колец затрудняет отвод теплоты, повышает температуру поршня и газов в камере сгорания и также способствует детонации.

На процесс сгорания в двигателе существенно влияет и температура охлаждающей жидкости. С ее увеличением ухудшается отвод теплоты от стенок цилиндра, повышаются температура рабочей смеси в камере сгорания и детонация. При несоблюдении правил технического обслуживания системы охлаждения в рубашке двигателя образуется накипь, имеющая низкую теплопроводность, в результате чего повышается температура цилиндропоршневой группы и рабочей смеси, что приводит к возникновению детонации.

Калильное зажигание, инициируемое тлеющим нагаром (КЗН), обычно возникает после достаточно длительной работы автомобильного двигателя на режимах малой нагрузки и холостого хода, способствующих отложению нагара на днище поршня и стенках камеры сгорания. При увеличении нагрузки отложившийся нагар вследствие возникновения в нём термических напряжений начинает отслаиваться от стенок. Отдельные его частицы нагреваются до высоких температур и могут вызвать воспламенение окружающей газовой среды. Очаги воспламенения в первую очередь возникают в последних частях рабочего заряда, подвергающемуся дополнительному сжатию в процессе распространения фронта пламени и имеющему высокую температуру. При таком «последующем» воспламенении от раскаленных частиц начинают распространяться дополнительные фронты пламени и скорость сгорания в конце основной фазы резко возрастает. При таком сгорании индикаторные диаграммы приобретают вид острых пик, иногда сопровождающихся небольшими вибрациями давления. Скорость повышения давления может достигать $0,8...1,0 \text{ МПа}/^\circ\text{п.к.в.}$ ($8...10 \text{ кг/см}^2/\text{град}$), при нормальном сгорании – $\approx 0,2 \text{ МПа}/^\circ\text{п.к.в.}$ ($2 \text{ кг/см}^2/\text{град}$).

Внешне это проявляется в виде глухого рокочущего стука, поэтому в иностранной литературе такое явление называется «рамбл» (грохот, рокот). Сильное повышение значений P_z и $dP/d\phi$ вызывает вибрации коленчатого вала, может быть причиной его поломки и перегрева двигателя. Поэтому «рамбл» может быть причиной возникновения преждевременного воспламенения уже не от нагара, а от перегрева отдельных деталей в камерах сгорания. Преждевременное воспламенение ещё до подачи искры на свечу может также вызываться особенно крупными и сильно нагретыми частицами нагара.

Возникновению КЗН способствуют высокие степени сжатия ϵ и коэффициента наполнения цилиндра η_v , значения $\alpha \approx 0,95$ и малые углы опережения зажигания, вызывающие повышение температуры отработавших газов, а соответственно, и взвешенных в нем частиц нагара, использование бензинов с высоким содержанием ароматических углеводородов и ТЭС. Явления типа «рамбл» в основном присущи американским двигателям с высокими степенями сжатия и большим запасом мощности, которые значительную часть времени работают на режимах малых нагрузок.

Калильное зажигание от перегретых поверхностей (КЗП) в большей мере присуще европейским автомобилям, в том числе и российским, с двигателями относительно небольшого литража, значительную часть времени работающих на форсированных режимах. Источниками КЗП являются перегретые центральные электроды или юбочки изоляторов

свечей (нормальная температура $t \approx 400^\circ\text{C}$), а также тарелки выпускных клапанов, если их температура превышает $700...800^\circ\text{C}$. Перегретые детали вызывают преждевременное воспламенение до момента подачи искры. От раскаленных поверхностей распространяется фронт пламени, вполне аналогичный фронту пламени от искры свечи, но момент воспламенения оказывается при этом неуправляемым.

В отличие от КЗН, которая прекращается по мере выгорания отложений нагара, КЗП, наоборот, обладает склонностью к прогрессивному самоусилению – возникновению все раньше, и раньше в такте сжатия. Именно этим определяется крайняя опасность этого вида сгорания, приводящего, например, к расплавлению поршней. Мощность двигателя при преждевременном воспламенении уменьшается.

Опасность преждевременного воспламенения усугубляется тем, что внешне оно обычно проявляется лишь в виде глухих стуков, которые не всегда удается обнаружить на фоне общего шума при работе на больших нагрузках двигателя.

Возникновению КЗП способствуют все факторы, вызывающие повышение максимальных температур и давлений сгорания: высокая ε , большой η_v , состав смеси в пределах $\alpha=0,8...0,9$, ранний угол опережения зажигания.

Воспламенение от сжатия при выключенном зажигании. Повышение степени сжатия в современных автомобильных двигателях привело к тому, что нередко оказывается затруднительным остановить нормально прогретый двигатель путем выключения зажигания. Он продолжает еще в течение довольно длительного времени работать с перебоями и треском. Это явление иногда ошибочно объясняют калильным воспламенением, хотя оно не имеет с ним ничего общего. Действительной причиной здесь служит развитие предпламенных реакций и самовоспламенения топливовоздушной смеси, вызываемое её сжатием. В зарубежной литературе подобную работу двигателя называют «дизелинг», т.е. по циклу, схожему с дизельным.

Опыт показывает, что после выключения зажигания вспышки сразу прекращаются, в результате частота вращения вала быстро уменьшается, но не до нуля, а лишь до такого значения ($n=300...400 \text{ мин}^{-1}$), при котором длительность задержки самовоспламенения оказывается короче времени пребывания нагретой смеси в цилиндре. В результате возникают самопроизвольные вспышки, что приводит к некоторому увеличению частоты вращения до значения, при котором вспышки снова прекращаются, частота вращения опять снижается, вспышки снова возникают и т. д.

Радикальный способ устранения этого явления заключается в том, чтобы одновременно с выключением зажигания автоматически прекращалась подача топлива через систему холостого хода, как это сделано на автомобилях ВАЗ-2103.

1.3.9. Экология автомобильных бензинов

Продукты сгорания моторных топлив являются одним из основных загрязнителей воздушного бассейна. По мере увеличения потребления топлив возрастает содержание в воздухе таких наиболее токсичных составляющих отработавших газов двигателей, как соединения свинца, оксиды азота, монооксид углерода, несгоревшие ароматические углеводороды, особенно бензол. Опасны также твердые продукты неполного сгорания топлив – сажа. Вредное воздействие сажи на человека связано с адсорбцией ее частицами многих продуктов сгорания, стимулирующих образование злокачественных опухолей.

При сгорании бензинов наиболее агрессивными в составе отработавших газов являются соединения свинца, бенз(α)пирена и окислы азота. Большую угрозу для здоровья человека представляют и пары бензинов, содержание которых в атмосфере с увеличением объема производства нефтяных продуктов также возрастает. Таким образом, токсичность отработавших газов и паров моторных топлив зависит от их углеводородного состава и наличия различных добавок. Добиться улучшения качества бензинов с целью повышения экологической безопасности их применения можно путем оптимизации углеводородного и химического составов топлив. Ориентирами при разработке и внедрении бензинов с улучшенными экологическими показателями являются нормы европейских стандартов на бензины EN 228 (табл. 1.11), а также фактические показатели качества европейских топлив, которые, как правило, выше норм, регламентируемых международными стандартами.

Повысить качество автомобильных бензинов можно за счет следующих мероприятий:

- отказа от применения в составе бензинов соединений свинца;
- снижения содержания в бензине серы до 0,05%, а в перспективе до 0,003%;
- снижения содержания в бензине ароматических углеводородов до 45 %, а в перспективе до 35 %;
- нормирования концентрации фактических смол в бензинах на месте применения на уровне не более 5 мг на 100 см³;

Табл. 1.11 Требования к автомобильным бензинам по EN 228

Показатели	EURO-3	EURO -4
Содержание бензола, %мас., мах	1,00	1,00
Содержание серы, не более	150 ppm	30 ppm
Содержание ароматич. углеводородов, % об. не более	42	35
Содержание олефиновых углеводородов, % об. не более	18	14
Содержание кислорода, % мас. не более	2,7	2,7
Наличие моющих присадок	обязательно	обязательно

– деления бензинов по фракционному составу и давлению насыщенных паров на 8 классов с учетом сезона эксплуатации автомобилей и температуры окружающей среды, характерной для конкретной климатической зоны. Наличие классов позволяет выпускать бензин со свойствами, оптимальными для реальных температур окружающего воздуха, что обеспечивает работу двигателей без образования паровых пробок при температурах воздуха до +60 °С, а также гарантирует высокую испаряемость бензинов и легкий пуск двигателя при температурах ниже – 35°С;

– введения моющих присадок, не допускающих загрязнения и осмоления деталей топливной аппаратуры.

В табл. 1.12 приведены действующие и перспективные отечественные и зарубежные требования по ряду экологических показателей бензинов. Наиболее массовые отечественные бензины А-76, АИ-93 (ГОСТ 2084-77) и АИ-92 (ТУ 38.001165-97) не отвечают указанным требованиям по содержанию свинца (для этилированных бензинов), массовой доли серы, отсутствию регламентации содержания бензола и моющих присадок.

Таблица 1.12. Требования к экологическим показателям бензинов

Показатели	Нормы экологических показателей бензинов						
	Отечественные				Зарубежные		
	Действующие		Вводимые		Действующие нормы по EN22S	Перспективные	
	А-76, АИ-93, АИ-98	АИ-92	АИ-80ЭК	АИ-92ЭК		Предложение комиссии ЕС	Предложение Ассоциации европейских автомобильных компаний
1	2	3	4	5	6	7	8
Содержание свинца, г/дм ³ , не более	0,15	0,013	0,010	0,010	0,013	0,05	–
Массовая доля серы, %, не более	0,10	0,05	0,05	0,05	0,05	0,02	0,003

Продолжение таблицы 1.12

1	2	3	4	5	6	7	8
Объемная доля бензола, %, не более	–	–	3	5	5	2	1
Объемная доля ароматических соединений, %, не более	–	–	–	–	–	45	35
Давление насыщенных паров для летнего бензина, кПа, не более	66,7	80	70	70	65	60	60

Примечание. Бензины А-76 и АИ-93 производятся по ГОСТ 2084 – 77, бензины АИ-92 и АИ-98 – в соответствии с ТУ 38.001165 – 97, а бензины АИ-80 ЭК и АИ-92 ЭК – по ТУ 38.401-58-171 – 96.

Концентрация фактических смол в отечественных бензинах на месте производства не должна превышать 5 мг на 100 см³ и 10 мг на 100 см³ на месте потребления. Фактическое содержание смол в бензинах, особенно поступающих после многолетнего хранения из Госрезерва, зачастую превышает этот уровень, что способствует быстрому засмолению деталей топливной аппаратуры.

Экологичность применения автомобильных топлив достигается за счет:

- повышения качества бензина до уровня европейского стандарта по содержанию серы и бензола. При отсутствии свинца экологическая агрессивность отработавших газов снижается на 4 %;
- использования МТБЭ, уменьшающей агрессивность отработавших газов на 3 %, в основном, за счет замещения ароматических составляющих бензина кислородосодержащей добавкой и более полного сгорания топлива (снижение СО на 12 %);
- применения моющей присадки, снижающей агрессивность выбросов на 5%.

Суммарное снижение агрессивности за счет всех мероприятий по повышению качества бензинов составляет 12 %, в то время как увеличение затрат на производство бензинов с улучшенными экологическими показателями относительно невелико и не превышает 5...8 % себестоимости изготовления бензина.

В соответствии с ГОСТ Р 51107 – 97 «Бензины для автомобильного транспорта» в России предусмотрен выпуск бензинов, удовлетворяющих экологическим требованиям европейских норм EN 228.

Законодательством США приняты поправки к закону о чистом воздухе, которые в связи с изменениями экологических требований к

топливам после запрета свинцовых антидетонаторов предусматривают переход на использование реформулированных бензинов. В соответствии с принятыми поправками выдвинуты более жесткие требования к бензинам по следующим показателям: давлению насыщенных паров, фракционному составу, содержанию ароматических углеводородов, бензола, олефинов, серы. Предусмотрено обязательное добавление в реформулированные бензины кислородосодержащих соединений (не менее 0,8 % по кислороду) и моющих присадок.

1.3.10. Ассортимент бензинов

В настоящее время действует ГОСТ Р 51313–99 «Бензины автомобильные. Общие технические требования» (табл. 1.13).

Установленные этим стандартом требования следует обязательно включать во все нормативные документы на автомобильные бензины. Стандарт допускает производство этилированного автомобильного бензина только марки А-76 (АИ-80), который предназначен для работы устаревших грузовых автомобилей типов ЗИЛ и ГАЗ, доля которых в автомобильном парке снижается, а, следовательно, уменьшается потребность в этом бензине.

В стандарте ужесточено требование по содержанию в бензинах серы и бензола, что положительно отразится на экологии.

Стандарт не ограничивает стремление производителей улучшать эксплуатационные свойства бензинов и снижать их себестоимость с целью повышения конкурентоспособности.

Все автомобильные бензины, выпускаемые по техническим условиям, должны проходить сертификацию на соответствие общим техническим требованиям ГОСТ Р 51313–99.

В маркировке бензинов буква А означает, что бензин автомобильный, цифры в марке А-76 – октановое число, определенное по моторному методу, в марках АИ-92, АИ-95 и АИ-98 буква И с последующей цифрой – октановое число, определенное по исследовательскому методу.

Рассмотренные бензины могут быть как этилированные, так и неэтилированные. Однако они не соответствуют принятым международным нормам, особенно экологическим требованиям. С целью повышения качества бензина до уровня европейских стандартов разработан ГОСТ Р 51105–97, которым предусмотрен выпуск неэтилированных бензинов следующих марок: «Нормаль-80», «Регуляр-91», «Премиум-95» и «Супер-98» (табл. 1.14).

Таблица 1.13. Показатели качества автомобильных бензинов

Показатели	Тип бензина			
	I	II	III	IV
Октановое число, не менее, определенное: исследовательским методом моторным методом	80 76	91 —	95 —	98 —
Концентрация свинца, г/дм ³ , не более в бензине: неэтилированном этилированном	0,013 0,17	0,013 —	0,013 —	0,013 —
Давление насыщенных паров, кПа	35 – 100	35 – 100	35 – 100	35 – 100
Температура перегонки 90% бензина, °С, не выше	190	190	190	190
Температура конца кипения, °С, не выше	215	215	215	215
Остаток в колбе, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,5
Массовая доля серы, %, не более	0,1	0,05	0,05	0,05
Объемная доля бензола, %, не более	5	5	5	5

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

Чтобы обеспечить крупные города и другие регионы с высокой плотностью автомобильного транспорта экологически чистым топливом, на современном этапе предусмотрено производство неэтилированных бензинов с улучшенными экологическими показателями: «Городских» и «Яр-Марка». Марки «Городских» бензинов: АИ-80ЭК, АИ-92ЭК, АИ-95ЭК, АИ-98ЭК, марки бензинов, выпускаемых Ярославским заводом: «Яр-Марка 92Е» и «Яр-Марка 95Е». Характеристики бензинов приведены в табл. 1.15. По сравнению с бензинами по ГОСТ Р 51105 – 97 для этих бензинов предусмотрены более жесткие нормы по содержанию бензола, нормирование ароматических углеводородов и добавление моющих присадок.

Высокое содержание серы в автомобильных бензинах увеличивает выбросы оксидов серы, которые губительно действуют на здоровье человека, животный и растительный мир, конструкционные материалы.

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.

Таблица 1.14. Показатели качества автомобильных бензинов

Показатели	«Нормаль-80»	«Регуляр-91»	«Премиум-95»	«Супер-98»
Октановое число, не менее, определенное: исследовательским методом моторным методом	80 76	91 82,5	95 85	98 88
Концентрация свинца, г/дм ³ , не более	0,01			
Концентрация марганца, мг/дм ³ , не более	50	18	–	–
Содержание фактических смол, мг/100 см ³ , не более	5			
Индукционный период бензина, мин, не менее	360			
Плотность при 15 °С, кг/м ³	700...750	725...780	725...780	725...780
Остаток в колбе, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,5
Массовая доля серы, %, не более	0,05	0,05	0,05	0,05
Объемная доля бензола, %, не более	5	5	5	5

Примечание. Все бензины выдерживают испытание на медной пластинке.

Токсичность продуктов сгорания неэтилированных бензинов в основном определяется содержанием в них ароматических углеводородов.

Таблица 1.15. Характеристики автомобильных бензинов в с улучшенными экологическими показателями

Показатели	Марки бензинов					
	АИ-80ЭК	АИ-92ЭК	АИ-95ЭК	АИ-98ЭК	«Яр-Марка 92 Е»	«Яр-Марка 95 Е»
1	2	3	4	5	6	7
Октановое число, не менее, определенное: исследовательским методом моторным методом	80 76	92 83	95 85	98 88	92 73	95 85
Концентрация свинца, г/дм ³ , не более	0,01					
Объем испарившегося бензина, %, при температуре: 70 °С 100 °С 180 °С, не менее	10...50 35...75 85	15...50 40...70 85	15...50 40...70 85	15...50 40...70 85	15...50 40...70 85	15...50 40...70 85

Продолжение таблицы 1.15

1	2	3	4	5	6	7
Температура конца кипения, °С, не выше	215					
Остаток в колбе, %, не более	2					
Давление насыщенных паров бензина, кПа: в летний период (с 1.04 по 1.10) в зимний период (с 1.10 по 1.04)	35...70 —	35...70 —	35...70 —	35...70 —	35...70 60...100	35...70 60...100
Индекс паровой пробки, не более: в летний период (с 1.04 по 1.10) в зимний период (с 1.10 по 1.04)	950 1250	950 12500	950 1250	950 1250	950 1250	950 1250
Содержание фактических смол на месте производства, мг/100 см ³ , не более	5					
Объемная доля, %, не более: ароматических углеводородов в том числе бензола	— 3	— 3	— 3	— 3	45 3	45 3
Индукционный период бензина, мин, не менее	360					
Массовая доля серы, %, не более	0,05					
Плотность при 20 °С, кг/м ³	780					

Примечание. Все бензины выдерживают испытание на медной пластинке и не содержат водорастворимых кислот, щелочей, механических примесей и воды.

По ТУ 38.401-58-220 – 98 производят автомобильные неэтилированные бензины, содержащие антидетонационную присадку АПК, следующих марок: А-76, «Нормаль-80», «Регуляр-91», АИ-92, АИ-93, «Премиум-95», «Супер-98».

По ТУ 38.401-58-235 – 99 выпускают автомобильный компаундированный бензин, получаемый компаундированием товарных автомобильных бензинов АИ-93 и А-80 с изопентан-пентановой фракцией и антидетонационными присадками «Октан Максимум», «Супер Октан» и др.

В зависимости от соотношения компонентов вырабатывают бензины двух марок: АКЗ-1 зимний (октановое число 93 по исследовательскому методу) и АКЗ-2 летний (октановое число 92 по исследовательскому методу).

По ТУ 38.401-58-240–99 производят автомобильный неэтилированный бензин, вырабатываемый из бензиновых фракций и газового конденсата с добавлением антидетонационных присадок «Супер Октан», МТБЭ и др. Выпускают бензин следующих марок: А-76, «Нормаль-80», «Регуляр-91», АИ-92, АИ-93, «Премиум-95» (АИ-95), «Супер-98» (АИ-98).

По ТУ 38.401-58-244-99 производят неэтилированные автомобильные бензины, содержащие этанол. Эти бензины используют как для карбюраторных, так и для двигателей с непосредственным впрыскиванием. Бензин получают путем компаундирования неэтилированных бензинов с этиловым декстурированным спиртом. Этанол используют как высокооктановый компонент смешения. Его можно применять как заменитель бензина. Установлены следующие марки бензинов, содержащих этанол: АИ-92Э, АИ-93Э, АИ-95Э, АИ-98Э.

По ТУ 38.401-58-264-00 выпускают неэтилированный автомобильный бензин (городской), предназначенный для использования в густонаселенных районах страны. В состав бензина введены различные присадки и добавки, повышающие его эксплуатационные свойства.

По ТУ 38.401-58-95-94 выпускают неэтилированные бензины с улучшенными экологическими и эксплуатационными свойствами: АИ-80Ф, АИ-91Ф, АИ-92Ф, АИ-93Ф. В них добавляют антидетонационную присадку «Феро 3» и моющую присадку «Афен» или «Автомаг».

По техническим условиям производят всесезонные автомобильные бензины «Евро-Супер-95» и АИ-95 «Супер плюс», которые содержат кислородосодержащий компонент МТБЭ.

По ТУ 38.401-58-288-01 выпускают автомобильный неэтилированный бензин четырех марок, содержащий метанол: АИ-80М, АИ-92М, АИ-95М, АИ-98М. В эти технические условия включены нормы по температуре начала помутнения, содержанию метанола и железа.

Летние сорта бензинов применяют во всех районах нашей страны, кроме северных и северо-восточных, с 1 апреля по 1 октября, а в южных районах – круглый год. Зимние сорта бензинов применяют в северных и северо-восточных районах в качестве всесезонного топлива, а в остальных районах – с 1 октября по 1 апреля.

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 А-76 (АИ-80) применяют в основном для грузовых автомобилей и устаревших моделей двигателей с $\varepsilon = 6,5 \dots 7$.

Бензины с октановыми числами 91, 92, 93, определенными по исследовательскому методу, предназначены для среднефорсированных двигателей легковых автомобилей со степенью сжатия 8...11 и некото-

рых грузовых автомобилей. Бензины АИ-95, «Премиум-95», АИ-95ЭК, «Яр-Марка 95Е», АИ-98, «Супер-98», АИ-98ЭК используют в двигателях легковых российских автомобилей высшего класса со степенью сжатия 8...12 и зарубежных автомобилей. Следует соблюдать соответствие марок автомобильных бензинов заводским инструкциям для данного автомобиля.

Первоочередные задачи, решаемые в области производства отечественных автомобильных бензинов, следующие:

- осуществление полного перехода на производство и применение только неэтилированных бензинов;
- увеличение производства неэтилированных бензинов с октановыми числами свыше 91 (по исследовательскому методу);
- увеличение выпуска автомобильных бензинов, содержащих различные спирты;
- организация поставки бензинов с улучшенными экологическими свойствами в города и районы с высокой плотностью транспортных средств.

1.3.11. Рекомендации по применению автомобильных бензинов

Октановое число бензина, его основная характеристика, нормируемая по ГОСТ, определяются моторным или исследовательским методами. Бензин, имеющий в обозначении его марки букву «И» и цифру (например, АИ-95), соответствует октановому числу, определенному исследовательским методом. ОЧ бензина, определенное исследовательским методом, на 4...10 единиц выше, чем ОЧ, определенное моторным методом.

Несоответствие марки (октанового числа) бензина параметрам двигателя может вызвать детонационное сгорание топливной смеси, сопровождаемое характерным металлическим стуком, повышением дымности отработавших газов и температуры в цилиндрах двигателя.

Эффективно повысить ОЧ бензина можно введением в топливо специальных добавок (октан-корректоров, октан-бустеров), имеющих в продаже.

Если ни одного из подобных средств под рукой не нашлось, повысить ОЧ бензина можно смешением низко- и высокооктановых марок. Доля (А) высокооктанового бензина в смеси определяется по формуле:

$$\dot{A} = \frac{\hat{I} \times_{Ni} - \hat{I} \times_i}{\hat{I} \times_{\dot{A}} - \hat{I} \times_i}, \quad (1.28)$$

где $ОЧ_{см}$, $ОЧ_{н}$ и $ОЧ_{в}$ – октановое число соответственно смеси, низкооктанового и высокооктанового бензинов по моторному методу. (Если $ОЧ$ компонентов смеси определены по исследовательскому методу, их следует перевести в $ОЧ$ по моторному методу).

В дальней дороге не следует заправлять автомобиль из цистерн передвижных бензозаправщиков, особенно летом, так как после долгого хранения топлива в нагретой металлической цистерне образуются смолы, вызывающие повышенное нагарообразование в двигателе. Кроме того, такое топливо содержит недостаточное количество легких (пусковых) фракций.

1.4. ДИЗЕЛЬНОЕ ТОПЛИВО

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 °С. 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⁻¹ 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.

Дизельные двигатели надежнее и долговечнее. Для них характерны стабильная экономичность во всем диапазоне нагрузок; лучшая приемистость и возможность работы с нагрузкой без полного прогрева. Основные различия в работе дизельного и бензинового двигателей заключаются в способах смесеобразования и воспламенения рабочей смеси.

Рабочий процесс в дизельном двигателе принципиально отличается от процесса сгорания топливовоздушной смеси в бензиновом двигателе.

ле. В цилиндрах дизеля сжимается не рабочая смесь, а воздух, причем степень сжатия достигает 20...30 (в бензиновых двигателях — 9...12). В воздух, сжатый до 3...7 МПа и нагретый за счет сжатия до 500...800 °С, под высоким давлением (до 150 МПа) через форсунку впрыскивается дизельное топливо. Оно практически мгновенно испаряется, перемешивается с горячим воздухом, нагревается до температуры самовоспламенения и сгорает. Принудительное зажигание рабочей смеси отсутствует.

Сложные процессы смесеобразования и сгорания топлива происходят в дизеле в течение очень малого промежутка времени, соответствующего повороту коленчатого вала на угол около 20°. Чем быстрее ходит двигатель, тем это время меньше. В бензиновом двигателе при равной частоте вращения коленчатого вала на смесеобразование и сгорание приходится в 10...15 раз больше времени. Отсюда и специфические требования к качеству дизельного топлива.

Надежная и экономичная работа дизеля обеспечивается, когда правильно подобрано топливо, установлен оптимальный угол опережения впрыска, а смесь полностью сгорает во время рабочего хода. Иначе увеличивается дымность выхлопа, падает мощность, повышается удельный расход топлива.

Для обеспечения полного и качественного сгорания к дизельному топливу предъявляются следующие требования: оно должно обладать хорошими распыливанием, смесеобразованием, испарением и прокачиваемостью, быстрым самовоспламенением; полностью сгорать, причем без дымления; не вызывать повышенного нагаро- и лакообразования на клапанах и поршнях, закоксовывания и зависания иглы распылителя, коррозии резервуаров, баков, деталей двигателя и т. д.

К главным эксплуатационным показателям дизельного топлива относят:

- цетановое число, определяющее мощностные и экономические показатели работы двигателя;

- низкотемпературные свойства, определяющие работу системы питания при отрицательных температурах окружающего воздуха;

- вязкость и плотность, обеспечивающие нормальную подачу топлива, распыление его в камере сгорания и работоспособность топливных фильтров;

- фракционный состав, влияющий на полноту сгорания, дымность и токсичность отработавших газов;

- степень чистоты, определяющая надежность работы фильтров грубой и тонкой очистки;

- температура вспышки, характеризующая условия безопасности

применения топлива в двигателях;

коррозионные свойства, обусловленные наличием сернистых соединений, непредельных углеводородов, водорастворимых кислот и щелочей и др.

1.4.1. 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 ис-

точника зажигания. Смесь самовоспламеняется под действием высокой температуры в результате бурно протекающих в ней реакций окисления. На рис. 1.18 показана индикаторная диаграмма дизельного двигателя, т. е. диаграмма изменения давления p внутри цилиндра в зависимости от угла поворота коленчатого вала.

Подача топлива форсункой в камеру сгорания начинается в точке 1 за $10...20^\circ$ угла поворота коленчатого вала ($^\circ$ пкв) до ВМТ. Заканчивается впрыскивание топлива у различных двигателей по-разному: как после ВМТ, так и до нее. Угол между началом подачи топлива и ВМТ называют углом опережения впрыскивания топлива и обозначают $\varphi_{впр}$. Продолжительность впрыскивания топлива соответствует периоду от начала до конца подачи топлива.

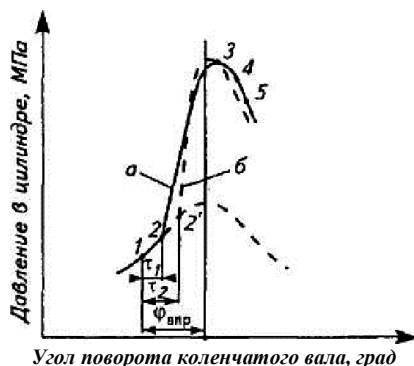


Рис. 1.18. Развернутая индикаторная диаграмма дизеля:

а — при нормальной работе; б — при жесткой работе; 1 — начало впрыскивания; 2 — самовоспламенение топлива; 3 — конец быстрого сгорания; 4 — конец замедленного сгорания; 5 — конец догорания.

Самовоспламенение горючей смеси (точка 2) происходит спустя некоторое время после впрыскивания топлива в камеру сгорания. Это свойство в значительной мере определяет подготовительную фазу процесса сгорания — период задержки воспламенения, который в свою очередь складывается из времени, затрачиваемого на распад топливной струи на капли, частичное их испарение и смешение паров топлива с воздухом (физическая составляющая), а также времени, необходимого для завершения предпламенных реакций и формирования очагов самовоспламенения (химическая составляющая).

Физическая составляющая времени задержки воспламенения зависит от конструктивных особенностей двигателя, а химическая – от свойств применяемого топлива.

Под действием высокой температуры и кислорода воздуха происходят предпламенные реакции многостадийного окисления углеводородов, входящих в состав топлива. В рабочей смеси накапливаются кислородосодержащие соединения, которые затем начинают распадаться с выделением части теплоты (10...15 %) и кислорода. Холоднопламенное окисление приводит к повышению температуры смеси и появлению многих очагов воспламенения. В этот момент появляется голубое свечение, называемое «холодным» пламенем. В результате повышения температуры смеси скорость химических реакций возрастает, происходит ее воспламенение, т. е. появление горячего пламени.

В точке 2 начинается сгорание топлива. Большая часть поступившего топлива к этому моменту успевает испариться, и процесс сгорания охватывает все новые порции горючей смеси. Топливо продолжает подаваться форсункой в камеру сгорания, оно интенсивно смешивается с воздухом, испаряется и быстро сгорает. В результате быстрого сгорания топлива давление в цилиндре значительно увеличивается. Период быстрого сгорания продолжается от точки 2 до точки 3. В этом периоде выделяется основное количество тепловой энергии цикловой подачи топлива (до 70 %), подача топлива форсункой продолжается, давление увеличивается. Концом периода условно считают точку 3, в которой достигается максимальное давление. В конце быстрого сгорания рост давления прекращается, скорость сгорания снижается.

После точки 3 начинается период замедленного сгорания, давление растет незначительно. Подача топлива прекращается, но процесс сгорания продолжается, и температура газа повышается. Выделяется около 20 % тепловой энергии топлива. Снижение давления в конце периода (точка 4) объясняется увеличением объема камеры сгорания в связи с движением поршня к НМТ. Концом периода замедленного сгорания условно принята точка 4, когда достигается максимальная температура газов в камере сгорания. Затем происходит догорание остатков топлива и продуктов неполного сгорания. Чем тяжелее топливо, выше его вязкость и плотность, тем длительнее период догорания. Фаза догорания может достигать 70° угла поворота коленчатого вала к ВМТ.

Длительность периода задержки воспламенения существенно влияет на последующее течение всего процесса сгорания. При большой длительности периода задержки воспламенения увеличивается коли-

чество топлива, химически подготовленного для самовоспламенения. Сгорание топливовоздушной смеси в этом случае происходит с большей скоростью, что сопровождается резким нарастанием давления в камере сгорания. В этом случае дизель работает «жестко».

«Жесткость» работы оценивают по нарастанию давления на 1° поворота коленчатого вала ($^\circ$ пкв). Двигатель работает мягко при нарастании давления 0,25...0,5 МПа на 1° пкв, жестко – при 0,6...0,9 МПа, очень жестко – при нарастании давления более 0,9 МПа.

Жесткая работа двигателя показана на рис. 1.18 (кривая б). Период задержки самовоспламенения соответствует τ_2 . В точке 2' происходит самовоспламенение, после чего давление растет с большой скоростью. При жесткой работе поршень подвергается повышенному ударному воздействию. Это ведет к повышенному износу деталей кривошипно-шатунного механизма, снижает экономичность двигателя.

Химический состав топлива существенно влияет на период задержки самовоспламенения. Самую низкую температуру самовоспламенения имеют парафиновые углеводороды. Чем выше их молекулярная масса, тем ниже температура самовоспламенения.

Цетановое число (ЦЧ). Оценкой самовоспламеняемости дизельных топлив служит цетановое число, определяемое 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° 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 α -метилнафталин $\text{C}_{11}\text{H}_{10}$. Склонность цетана к самовоспламенению принимают за 100 единиц, а α -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 % α -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 α -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 α -метилнафталин отличается наибольшим периодом задержки и высокой температурой воспламенения. Поэтому при большом содержании α -метилнафталина (низком цетановом числе) происходит резкое нарастание давления в цилиндре двигателя на 1 °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 больший промежуток времени, имеют самые низкие цетановые числа.

Цетановое число может быть определено также расчетным путем, например, по плотности и кинематической вязкости при температуре +20 °С по формуле:

$$\bar{O} \times = 1,5879 \frac{(v_{20} + 17,8)}{\rho_4^{20}}, \quad (1.30)$$

где v_{20} – кинематической вязкости при температуре +20 °С,

ρ_4^{20} – плотность топлива при температуре +20 °С.

При известном углеводородном составе:

$$\bar{O} \times = 0,85\bar{I} + 0,1\bar{I} - 0,2\bar{A}, \quad (1.31)$$

где $\bar{P}$, $\bar{H}$, $\bar{A}$ – содержание соответственно парафиновых нафтеновых и ароматических углеводородов.

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. 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. Однако они широкого распространения не получили из-за невысокой стабильности при хранении, и большой взрывоопасности, кислородосодержащие присадки (органические перекиси, сложные эфиры азотной кислоты – этилнитрат, изопропилнитрат и др.) резко снижают период задержки самовоспламенения, который внешне проявляется как работа дизеля на высокоцетановом топливе. Данные присадки ускоряют начальные предпламенные реакции и способствуют образованию новых активных центров реакции. Так, добавление 1 % изопропилнитрата в зимнее, арктическое или низкоцетановое топливо, полученное путем каталитического крекинга, повышает ЦЧ на 10...12 единиц. Кроме того, эта присадка позволяет улучшить пусковые качества топлива при низкой температуре и уменьшить нагарообразование. Однако производство этих присадок в последнее время сокращено. Специалистами фирмы «Юникол» разработана новая эффективная присадка «Миакрон-2000», основу которой составляет этилгексилнитрат. Массовая доля присадки в дизельном топливе должна быть 0,1...0,3 %.

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 °С 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.

Определение цетанового индекса может быть произведено двумя методами. Первый метод заключается в том, что измеренные значения плотности и температуры перегонки 10 %, 50 % и 90 % топлива подставляют в следующее уравнение:

$$CI = 45,2 + 0,0892 \cdot T_{10N} + (0,131 + 0,901 \cdot B) \cdot T_{50N} + (0,0523 - 0,42 \cdot B) \cdot T_{90N} + 0,00049(T_{10N}^2 - T_{90N}^2) + 107B + 60B^2, \quad (1.32)$$

где $T_{10N} = T_{10} - 215$

$T_{50N} = T_{50} - 260$

$T_{90N} = T_{90} - 310$

T_{10} – температура, при которой получено 10 % отгона при перегонке, °С;

T_{50} – температура, при которой получено 50 % отгона при перегонке, °С;

T_{90} – температура, при которой получено 90 % отгона при перегонке, °С;

$B = [\exp(-0,0035 \cdot D_N)] - 1$;

$D_N = D - 850$;

D – плотность при температуре 15 °С, кг/м³.

Второй метод заключается в использовании номограмм.

Следующий нормируемыми показателями являются вязкость и плотность которые определяются в соответствии с СТБ ИСО 3104 и СТБ ИСО 3675 соответственно.

Вязкость и плотность дизельных топлив влияют на процессы испарения и смесеобразования.

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/м³.

По СТБ 1658-2006, соответствующему европейскому стандарту EN 590:2004 плотность дизельных топлив определяется при температуре 15 °С и для умеренных климатических зон должна составлять 820...845 кг/м³, для арктических и холодных климатических зон – 800...845 кг/м³ в зависимости от класса.

Вязкость – свойство частиц жидкости оказывать сопротивление взаимному перемещению под действием внешней силы. Различают динамическую и кинематическую вязкость. В практических условиях больше интересует кинематическая вязкость ν , которая равна отношению динамической вязкости η к плотности ρ .

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}. \quad (1.33)$$

Единица кинематической вязкости в системе СИ – м²/с. На практике применяют меньшую единицу – мм²/с (или 10⁻⁶ м²/с), а также сантистокс (1сСт=1 мм²/с).

Кинематическая вязкость жидких нефтепродуктов определяется по СТБ ИСО 3104 и ГОСТ 33–2000 (ИСО 3104-94) в капиллярных вискозиметрах ВПЖ-1, ВПЖ-2 и Пинкевича (рис. 1.19). Вязкость прозрачных жидкостей при положительных температурах находят с помощью вискозиметров ВПЖ-1. Вискозиметры ВПЖ-2 и Пинкевича применяют для различных температур и жидкостей. Кинематическая вязкость топлива, предназначенного для применения в высокооборотных дизелях, нормируется при 40 °С.

Определение кинематической вязкости в капиллярном вискозиметре основано на том, что вязкость жидкости прямо пропорциональна времени истечения ее через капилляр, обеспечивающий ламинарность потока.

Вязкость определяют следующим образом. На отводную трубку 5 вискозиметра надевают резиновую трубку. Затем, зажав пальцем колено 4 и перевернув вискозиметр, погружают колено 3 в нефтепродукт и засасывают его до метки М₁ при помощи резиновой груши. Когда уровень нефтепродукта достигнет метки М₂, вискозиметр вынимают и переворачивают. Снимают с конца колена 3 избыток нефтепродукта. Затем на этот конец надевают резиновую трубку и устанавливают вискозиметр в термостат так, чтобы расширение находилось ниже уровня термостатирующей жидкости. Засасывают нефтепродукт в колено 3 примерно на 1/3 высоты расширения 6. Сообщив колено 3 с атмосферой, измеряют время перемещения мениска нефтепродукта от метки М₁ до метки М₂.

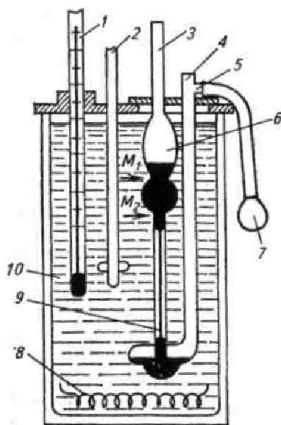


Рис. 1.19. Прибор для определения кинематической вязкости нефтепродукта:

1 – термометр; 2 – мешалка; 3, 4 – колена; 5 – отводная трубка; 6 – расширение; 7 – резиновая груша; 8 – электронагреватель; 9 – капилляр вискозиметра; 10 – термостатирующая жидкость; M_1 , M_2 – метки.

Затем рассчитывают кинематическую вязкость ($\text{мм}^2/\text{с}$) испытуемого нефтепродукта:

$$\nu = C\tau, \quad (1.34)$$

где C – калибровочная постоянная вискозиметра, $\text{мм}^2/\text{с}^2$ ($\text{сСт}/\text{с}$);

τ – среднеарифметическое значение времени истечения.

Пониженное или повышенное значение кинематической вязкости (для топлив различных марок оптимальное значение лежит в пределах $1,5 \dots 4,5 \text{ мм}^2/\text{с}$). В соответствии с СТБ 1658-2006 вязкость дизельных топлив для умеренных климатических зон должна составлять $2 \dots 4,5 \text{ мм}^2/\text{с}$, для арктических и холодных климатических зон – $1,2 \dots 4 \text{ мм}^2/\text{с}$ в зависимости от класса. Изменение кинематической вязкости приводит к нарушению работы топливоподающей 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 мм²/с коэффициент подачи топлива увеличивается на 15 ... 16 %.

Более мелкие и однородные по составу капли рабочей смеси улучшают процессы испарения, смесеобразования и сгорания, что характерно для распыления дизельного топлива с кинематической вязкостью 2,5...4,0 мм²/с при температуре +20 °С, дальнейшее снижение вязкости приводит к уменьшению длины струи топлива (поскольку мелкие капельки обладают малой кинетической энергией), наблюдается неравномерность образования горючей смеси, неполнота сгорания и перерасход топлива. Согласно ГОСТ 305-82 (Измененная редакция, Изм. № 8, действует с 01.03.2012) летнее топливо имеет вязкость 3...6 мм²/с, зимнее – 1,8...5 мм²/с, арктическое – 1,5...4 мм²/с.

Поскольку с понижением температуры вязкость значительно возрастает, существенно ухудшаются пусковые свойства топлива, особенно в холодное время года.

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 необ-

ходимо, 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 $1...2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура застывания – это температура, при которой топливо полностью теряет подвижность. Температура застывания ниже температуры помутнения на $5...10\text{ }^{\circ}\text{C}$. 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 $8...12\text{ }^{\circ}\text{C}$ ниже температуры окружающего воздуха.

Температуры помутнения, начала кристаллизации и кристаллизации определены ГОСТ 5066–91 (ИСО 3013-74).

Прибор для определения температуры застывания дизельного топлива показан на рис 1.20. Испытуемое топливо заливают в пробирку 2 и помещают в стеклянную пробирку-муфту 1. Сверху пробирку-муфту закрывают пробкой 3, в которую вставлен термометр 4. Прибор помещают в сосуд с охлаждающей смесью. Применяют следующие охлаждающие смеси:

для получения температур от 0 до $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ – в сосуд засыпают попеременно слой поваренной соли и слой снега или измельченного до 3 см льда. На одну часть соли берут две части снега или льда;

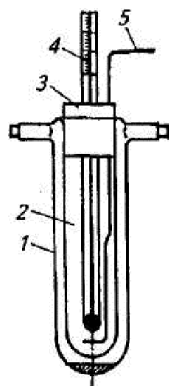


Рис. 1.20. Прибор для определения температуры застывания дизельного топлива: 1 – пробирка-муфта; 2 – пробирка; 3 – пробка; 4 – термометр; 5 – мешалка.

для получения температур ниже -20°C – в сосуд со слоем изоляции наливают этиловый спирт. Затем вводят в спирт мелкими; порциями твердый диоксид углерода.

Перед определением испытуемое дизельное топливо обезвоживают, для чего его взбалтывают в течение 10... 15 мин со свежепрокаленным и измельченным сульфатом натрия или с зернистым хлористым кальцием. Затем топливо отстаивают и фильтруют. Обезвоженное дизельное топливо наливают в пробирку 2 и закрывают ее пробкой. Пробирку вставляют в пробирку-муфту 1, в которую предварительно заливают 1 мл серной кислоты для поглощения влаги из воздуха и предупреждения появления на стенках пробирки-муфты воды при охлаждении.

Собранный прибор опускают в охлаждающую смесь и устанавливают строго вертикально. Начиная с температуры, которая на 9°C выше предполагаемой температуры застывания дизельного топлива, через каждые 3°C вынимают пробирку из пробирки-муфты и наблюдают за подвижностью дизельного топлива при наклоне. В процессе опыта дизельное топливо перемешивают мешалкой 5.

За температуру застывания испытуемого дизельного топлива принимают температуру, при которой топливо в горизонтально расположенной пробирке остается неподвижным в течение 5 с. Температура застывания определяет условия складского хранения, так как при этой температуре невозможно перекачать топливо из одного резервуара в другой.

Учитывая, что в нашей стране преобладает холодный климат, для зимних и арктических марок дизельных топлив установлены требования к низкотемпературным свойствам, которые приведены в табл. 1.16.

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).

Таблица 1.16. Требования к низкотемпературным свойствам дизельных топлив

Марка топлива	Температура, $^{\circ}\text{C}$, не выше			
	Применения (окружающего воздуха)	помутнения	застывания	фильтруемости
3 минус 35	-20	-25	-35	–
3 минус 45	-30	-35	-45	–
А минус 55	-50	–	-55	–
ДЗп -5/-15	-15	-5	-30	-15
ДЗп -15/-25	-25	-15	-35	-25
ДЗп -25/-35	-35	-25	-45	-35
ДЗп -35/-50	-50	-35	-55	–

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, выпускаемых по ГОСТ 305–82 – 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 °С, что значительно сокращает время пуска холодного двигателя (присадку следует добавлять в топливо, в котором нет выпавших кристаллов парафина).

Низкотемпературные свойства дизельных топлив после введения в них депрессорной присадки «Аспект-Д» приведены в таблице 1.17. Кроме того, введение присадки «Аспект-Д» снижает токсичность отработавших газов (по углеводородам на 20...30 %, по оксидам углерода и азота – на 5 %) и дымность (в среднем на 40 %), расход топлива до 3%, увеличивает ресурс дизеля на 30 %.

Таблица 1.17. Требования к низкотемпературным свойствам дизельных топлив

Параметр	Марка дизельного топлива		
	Летнее	Летнее с 0,2% присадки «Аспект-Д»	Зимнее
Температура застывания, °С	–14	–36	–30
Температура предельной фильтруемости, °С	–5	–24	–15

Некоторые присадки к дизельным топливам снижают только температуру застывания, но не влияют на температуру фильтруемости, что приводит к образованию в топливных баках двух слоев: верхнего (прозрачного) слоя, обладающего пониженным цетановым числом, и нижнего (мутного), содержащего мелкие кристаллы 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.

Для снижения температуры застывания дизельных топлив в условиях эксплуатации (при отсутствии зимнего «З» и арктического «А» товарных дизельных топлив) допускается в виде исключения добавлять керосин, в соотношениях приведенных в табл. 1.18. С этой целью используют низкозастывающие сорта керосина (типа реактивного топлива) в количестве до 25 %. Например, при добавке 25% топлива Т-1 температура застывания летнего дизельного топлива снижается на 8...12 °С.

При сильном разбавлении дизельного топлива керосином снижается цетановое число, что приводит к жесткой работе двигателя, и резко ухудшаются смазочные свойства, в связи, с чем повышается износ плунжерной пары. При температуре воздуха от –20 до –30 °С двигатели работают на смеси, состоящей из 90 % дизельного топлива и 10 % керосина, а при температуре от –30 до –35 °С они работают на смеси, состоящей из 75 % дизельного топлива и 25 % керосина. Обычный осветительный керосин непригоден для данной цели, так как имеет плохие низкотемпературные свойства. Температура помутнения осветительного керосина составляет –12...–15 °С.

Однако следует помнить, что разбавленное керосином дизельное топливо теряет часть своих смазывающих свойств, что приводит к ускоренному изнашиванию деталей топливной аппаратуры. Кроме того, такое топливо более пожароопасное.

Таблица 1.18. Содержание керосина в составе летнего и зимнего дизельного топлива для изменения их низкотемпературных свойств

Температура окружающего воздуха, °С	Содержание керосина, % по объему, в смеси с дизельным топливом	
	летним	зимним
От 0 до –5	10	—
От –5 до –10	20	—
От –10 до –15	30	—
От –15 до –20	40	—
От –20 до –25	50	—
От –25 до –30	60	10
От –30 до –35	70	20
От –35 до –40	80	30
От –40 до –50	90	40
Ниже –50	—	50

Допускается также добавление в дизельное топливо специальных добавок – антигелей, снижающих температуру его застывания и обес-

печивающих эксплуатацию дизельных двигателей при экстремально низких температурах (до -47°C).

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, Е и F), имеющих предельные температуры фильтруемости соответственно $+5, 0, -5, -10, -15$ и -20°C . Для районов с холодным и арктическим климатом предусмотрен выпуск 5 классов (0, 1, 2, 3 и 4) дизельного топлива с низкотемпературными свойствами (табл. 1.19).

Таблица 1.19. 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

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 топливopодpодpющей аппаратуры. При сгорании топлива в двигателе образуются нагар на стенках камеры сгорания и впускных клапанах, а также отложения на распылителях и иглах распылителей форсунок. На стенках камеры сгорания, днищах поршней и выпускных клапанах нагар твердый, темного цвета, а на распылителях и иглах распылителей форсунок он мягкий, смолистый, желтоватого цвета, иногда в виде лаковой светлорыкоричневой пленки. Отложение нагара на стенках камеры сгорания ухудшает отвод теплоты в систему охлаждения двигателя, а на выпускных клапанах приводит к их закоксовыванию и, следовательно, неправильной посадке тарелки клапана на седло. В результате такой неисправности раскаленные газы утекают, и посадочные поверхности клапана и седла обгорают; в отдельных случаях возможно зависание клапана. Нагарообразование в двигателе зависит от следующих показателей применяемого дизельного топлива: коксуемости, содержания фактических смол и серы, фракционного состава, количества непредельных и ароматических углеводородов и зольности

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 %.

Коксуемость дизельного топлива определяют методом Конрадсона (ГОСТ 19932–99; ИСО 6615; СТБ ИСО 10370) в специальном аппарате с фарфоровым 1 (рис. 1.21), внутренним 3 и наружным 4 тиглями. На треножнике 6 аппарата установлен муфель 5, который подогревается газовой горелкой 7. Тигли и крышки аппарата выполнены из листовой коррозионно-стойкой и жаростойкой стали.

На аппарате для разгонки нефтепродуктов получают 10%-й остаток дизельного топлива. Затем навеску остатка помещают в фарфоровый тигель, который устанавливают во внутренний тигель. Внутренний тигель помещают в наружный, на дне которого насыпан песок. Оба тигля закрывают крышками и колпаком, который обеспечивает равномерный обогрев. Под дно наружного тигля устанавливают газовую горелку. Пламя ее должно быть высоким, не коптящим. Когда появится дым над верхним цилиндром колпака, зажигают пары топлива. Пламя горелки значительно уменьшают. Период горения считают законченным, если над колпаком не наблюдается синий дым.

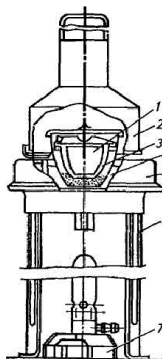


Рис. 1.21. Аппарат Конрадсона для определения коксуемости нефтепродуктов:

1 – фарфоровый низкий тигель; 2 – колпак; 3, 4 – соответственно внутренний и наружный тигли; 5 – муфель; 6 – треножник; 7 – газовая горелка.

По окончании горения увеличивают пламя газовой горелки и нагревают нижнюю часть наружного тигля до красного каления. Прокаливают наружный тигель. Затем горелку удаляют, снимают колпак и крышку наружного тигля, вынимают фарфоровый тигель и ставят его в эксикатор. После охлаждения его взвешивают.

Коксуемость x (%) 10%-го остатка дизельного топлива определяют по формуле:

$$x = \frac{100m}{m_1}, \quad (1.35)$$

где m , m_1 – масса соответственно коксового и 10%-го остатков, г.

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 %. Сера из дистиллятов удаляют каталитическим способом, позволяющим снизить ее содержание до 0,2...0,5 %, что по ГОСТ 305-82 является допустимой нормой. 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). Ужесточенные 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 см³ топлива. Повышение кислотности топлив приводит к увеличению коррозионного износа плунжерных пар топливного насоса высокого давления и росту отложений.

Из активных сернистых соединений (элементарная сера, меркаптановая сера, сероводород) наибольший коррозионной агрессивностью обладает меркаптановая сера.

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.

В результате действия сернистых продуктов на картерное масло получают смолистые соединения, которые затем образуют нагар. При наличии сернистых соединений увеличивается нагаро- и лакообразование в цилиндро-поршневой группе. Из-за содержания серы нагар становится твердым, что приводит к абразивному изнашиванию цилиндро-поршневой группы. Отложение лака в зоне поршневых колец ведет к их закоксовыванию и заклиниванию. Сернистые соединения в топливе способствуют также увеличению отложений на масляных фильтрах тонкой и грубой очистки.

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 %.

Кроме того, учитывая высокую коррозионную агрессивность и низкую химическую стабильность меркаптанов, помимо испытания на медную пластинку (качественная оценка), содержание в производимом топливе меркаптановой серы определяют еще и потенциометрическим методом.

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 при-

существование 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. Кислотность согласно ГОСТ 305-82 не должна превышать 5 мг КОН для нейтрализации 100 см³ топлива.

Механические примеси и вода в топливах для автомобильных дизелей по ГОСТ 305-82 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 топливоподающей 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. 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 топливоподачи, 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 (табл. 1.20). Тракторы и автомобили необходимо заправлять топливом верхних слоев. Содержание механических примесей в дизельном топливе не допускается.

Таблица 1.20. **Осаждение механических примесей из дизельного топлива в резервуаре диаметром 2 м при температуре 20 °С**

Показатель	Время отстаивания, дни			
	1	2	3	10
Количество осевших примесей, %	40	65	85	98
Количество осевших на дне частичек, %, размером, мм: более 0,05 0,05...0,01 0,01...0,005 менее 0,005	Полностью			
	50	75	85	100
	10	20	30	100
	1	2,5	5	20
	—	10	25	160
Высота слоя топлива без механических примесей, см	—	10	25	160

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.

1.4.2. Экологические требования к дизельному топливу

Основными показателями качества, ответственными за экологические последствия выбросов отработавших газов дизелей, являются:

- массовая доля серы;
- массовая доля ароматических углеводородов, связанная с цетановым числом дизельного топлива;
- фракционный состав, характеризующий пределы выкипания топлива.

В табл. 1.21 приведены действующие, а также перспективные отечественные и зарубежные требования к дизельным топливам по ряду экологических показателей. Отечественные дизельные топлива по ГОСТ 305-82 не соответствуют европейским нормам EN 590:2009 по содержанию серы и имеют в среднем несколько меньшее цетановое число.

Анализируя табл. 1.21 можно заметить, что российские требования к дизельному топливу не менялись четверть века, а на Западе – постоянно обновляются и ужесточаются.

В последнее время наблюдается резкое ужесточение требований к качеству дизельных топлив и, несмотря на различие в спецификациях разных стран, четко прослеживается тенденция к снижению содержания

серы. Лидером в этом движении является Швеция, которая в 1991 году ввела спецификацию на дизельное топливо класса I и II, предусматривающую содержание серы 10 и 50 мг/кг соответственно, предоставив налоговые льготы производителям и потребителям этого топлива.

Таблица 1.21. Требования к экологическим показателям дизельных топлив

Наименование показателей	Нормы экологических показателей дизельных топлив							
	Отечественные						Зарубежные	
	Действующие			Вводимые		Действующие		Перспективные
	ГОСТ 305-81	ГОСТ 305-82	ГОСТ 305-82 СТБ 1658-2006	ДЭК-Л	ДЭК-3	EN 590:2000	EN 590:2009	Предложение Ассоциации европейских автомобильных компаний
Цетановое число	45	45	51	49	45	51	51	58
Фракционный состав, °С, не выше:								
конец перегонки	360	340	—	360	340	360	—	—
95% перегоняется при температуре	—	—	360	—	—	—	360	340
Массовая доля серы, %, не более	0,2	0,2	0,035	0,05	0,05	0,05	0,001 ... 0,005	0,003
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	860	840	820... 845*	860	860	860*	820... 845*	870
Объемная доля ароматических углеводородов, %, не более	—	—	—	—	—	—	—	**
Объемная доля полициклических углеводородов, %, не более	—	—	—	—	—	—	—	1

Примечания: * — при температуре 15 °С; ** — предложение Германии (BMW) — не более 10%, США — не более 5%

За Швецией последовали США, где в октябре 1993 года был введен стандарт CARB (Калифорнийского Совета по контролю над воздушной средой), ограничивающий содержание серы в дизельном топливе. Начиная с 1998 года, нефтеперерабатывающие заводы США перешли на производство дизельных топлив с содержанием серы 50 мг/кг.

Европейский стандарт EN 590 за последние годы также претерпел существенные изменения: с 0,2% до 0,001% снизилось содержание серы, увеличено цетановое число с 45 до 51 ед., введены ограничения на плотность и вязкость 2,0...4,5 при 40 °С, что соответствует 2,7...6,5 мм²/с при 20 °С. Введены новые показатели: содержание полициклических ароматических углеводородов, смазывающие свойства и окисли-

тельная стабильность и установлены нормы на эти показатели. Содержание ароматических углеводородов для большинства товарных дизельных топлив, выпускаемых отечественной промышленностью, составляет 23...28 %. Колебания состава ароматических углеводородов зависят от природы перерабатываемой нефти, их компонентного состава и технологии производства топлив. Для удовлетворения экологических требований массовая доля ароматических углеводородов должна быть не более 10 %.

Изготовители автомобилей обсуждают дальнейшее ужесточение требований к качеству дизельных топлив, предлагая снижение содержания серы и полициклических ароматических углеводородов.

Содержание серы в дизельном топливе определяет количество выброса, образующегося в отработавших газах диоксида серы. Масса выброса диоксида серы при сжигании 1 т дизельного топлива в зависимости от содержания в нем серы приведена в табл. 1.22. В 1996 г. в Европе было введено ограничение на содержание серы в дизельных топливах до 0,05 %.

Таблица 1.22. Количество выброса диоксида серы при сжигании 1 т дизельного топлива

Содержание серы в топливе, %	Масса выброса диоксида серы, г/кг
0,2	3,6
0,1	1,8
0,05	0,9

С 2005 по 2010 годы введены еще более жесткие нормы на содержание серы – до 10 мг/кг, а на полициклические ароматические углеводороды – до 2%.

Для ограничения вредного воздействия отработавших газов двигателей на окружающую среду в странах Европы принято около 100 правил, связанных с проблемами экологии и безопасности (табл. 1.23). Особенно жесткие требования стандартов предъявляются к выбросам оксидов азота.

Таблица 1.23. Предельно допустимое содержание вредных веществ в отработавших газах автомобилей с дизельным двигателем в странах Европейского союза

Стандарт	Год введения стандарта		Предельно допустимое содержание, г/(кВт·ч)			
	на новые модели	на все модели	оксидов азота	углеводородов	оксида углерода	твердых частиц
1	2	3	4	5	6	7
EURO 0	01.07.88	01.10.90	14,4	2,4	11,2	—
EURO 1	01.07.92	01.10.93	9,0	1,1	4,5	0,36

Продолжение таблицы 1.23

1	2	3	4	5	6	7
EURO 2	01.10.95	01.10.96	7,0	1,1	4,0	0,15
EURO 3	01.10.00	01.10.01	5,0	0,66	2,1	0
EURO 4:						
этап 1	01.10.05	01.10.06	3,5	0,46	1,5	0,02
этап 2	01.10.08	01.10.09	2,0	0,46	1,5	0,02

1.4.3. Влияние свойств топлива и присадок на долговечность и качество работы дизельного двигателя

Эксплуатационные свойства дизельных топлив в значительной степени определяют качество работы и долговечность дизельных двигателей. Улучшение свойств топлив достигается путем введения в их состав многофункциональных присадок.

Присадки делятся на несколько групп:

1. Иницирующие присадки (например, излпропилат) повышают цетановое число на 8...12. Добавляют их в от 0,25 до 2% по массе.
2. Противодымные (например, ацетонитрил, метиланилин, сульфонат бария) – от 0,25 до 0,5% по массе.
3. Антиокислители (например, 2,6-ди-трет-бутил-4-метилфенол, N-фенил-N'-изопропилфенилендиамин) – 0,002...0,1% по массе.
4. Деактиваторы металлов (например, N, N'-десалицилиденэтилендиамин) – 0,003...0,005% по массе.
5. Присадки, предотвращающие образование нерастворимых продуктов окисления (например, нафтенаты и сульфонаты бария и кальция) – 0,025...0,1% по массе.
6. Антикоррозийные присадки антикоррозионные (например, масляный раствор окисленного петролатума и сульфоната кальция) – 0,003...0,005.
7. Депрессорные присадки, понижающие температуру застывания (например, полиметакрилаты, сополимеры этилена с винилацетатом) – 0,01...2% по массе.

Применение антидымных присадок МСТ-15, АДП-2056, ЭФАП-6 в концентрации 0,2...0,3 % позволяет снизить дымность отработавших газов на 40...50 %.

Разрушающее действие кислот нейтрализуют добавлением в моторные масла для дизельных двигателей противокоррозионных присадок, из которых наиболее эффективен нафтенат цинка (0,25...0,3 %). Дизельные топлива с содержанием серы более 0,2 % применяют только при условии, что в двигателе применяется масло с противокоррозионной присадкой.

Многофункциональные присадки для дизельных топлив, состоящие

из депрессорного, моющего и противодымного компонентов, не только расширяют низкотемпературные свойства топлив, но и снижают токсичность отработавших газов. Введение присадки АДДП в дизельное топливо в количестве 0,05...0,3 % снижает температуру застывания топлива на 20...25 °С. Предельная температура фильтруемости при этом снижается на 10...12 °С, дымность отработавших газов – на 20...55 %, а нагарообразование – на 50...60 %. В табл. 1.24 приведены потребительские свойства некоторых присадок и добавок в дизельные топлива, предназначенные для улучшения их эксплуатационных качеств.

Таблица 1.24. Потребительские свойства присадок и добавок в дизельные топлива

Наименование присадки	Назначение	Страна, фирма-
1	2	3
Ice Proof	Улучшает пусковые свойства дизельного топлива при отрицательных температурах	Бельгия, Wynn's
"DIESEL SUPER	Обеспечивает эксплуатацию дизельных двигателей при температуре до –47 °С	США, Hi-gear
Diesel & Fuel Oil Anti-Gel	Добавка к летнему топливу, обеспечивающая его текучесть до температуры –29 °С	США, CD-2
Diesel Conditioner	Удаляет влагу из топлива, облегчает пуск двигателя при низких температурах окружающей среды	Германия, SCT, MANNOL
FUEL treatment & ANTI-GEL	Удаляет влагу из топливной системы и облегчает пуск двигателя	США, Hi-Gear
DIESEL ANTIGEL WITH ER	Снижает температуры застывания топлива до –47 °С, облегчает пуск дизеля при низких температурах, восстанавливает компрессию	США, Hi-Gear
Diesel Cetane + Plus +	Увеличение цетанового числа любого топлива на 5 единиц, облегчает пуск холодного двигателя и снижает расход топлива	Бельгия, Wynn's
DIESEL TUNE UP & CETANE BOOST	Очистка от нагара, повышение цетанового числа топлива до 6 единиц и улучшение эксплуатационных характеристик дизеля	США, Hi-Gear
Diesel Fuel System Conditioner	Очистка системы питания двигателя и снижение температуры загустевания масла	США, Energy Release
Clean Burn	Снижает образование черного дыма и содержание сажи в выхлопных газах двигателя	Бельгия, Wynn's
3x Diesel Engines	Очистка системы питания двигателя через 5 тыс. км пробега	Бельгия, Wynn's

1	2	3
Очиститель форсунок Profix	Очистка форсунок дизеля через 3 тыс. км пробега автомобиля	Россия, LT «Лаборатория Триботехноло-
DIESEL PLUS WITH	Очистка форсунок и системы питания	США, Hi-
Diesel Fuel System Cleaner	Очистка и смазка топливного насоса и форсунок двигателя	Бельгия, Wynn's
Diesel Rower 3	Очистка системы питания двигателя, увеличение мощности и предотвращение черного выхлопа	Бельгия, Wynn's
DIESEL JET CLEAN	Очистка форсунок, системы питания и камеры сгорания дизеля	США, Hi-Gear
DIESEL INJECTOR CLEANER	Очистка форсунок дизельного двигателя	США, Ster Up
DIESEL JET CLEAN	Очистка сильно загрязненных форсунок, которые необходимо менять	США, Hi-Gear
SYNTHETIC DIESEL TUNE	Очистка системы питания, восстановление эксплуатационных характеристик и продление срока службы дизеля в 1,5-2 раза	США, Hi-Gear
Total Diesel Fuel Maintenance	Улучшает качество топлива, оптимизирует работу и экономичность двигателя	США, CD-2

1.4.4. Ассортимент дизельных топлив

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 настоящее время Российской нефтеперерабатывающей промышленностью вырабатывается дизельное топливо по ГОСТу 305-82 (табл. 1.25) трех марок: Л – летнее, применяемое при температурах окружающего воздуха 0 °С и выше; З – зимнее, применяемое при температурах до минус 20 °С (в этом случае зимнее дизельное топливо должно иметь $t_3 < \text{минус } 35\text{ °С}$ и $t_{\text{п}} < \text{минус } 25\text{ °С}$), или зимнее, применяемое при температурах до минус 30 °С, тогда топливо должно иметь $t_3 <$

минус 45 °С и $t_{\text{п}} < \text{минус } 35 \text{ }^{\circ}\text{С}$; марки А – арктическое, температура применения которого до минус 50 °С. Содержание серы в дизельном топливе марок Л и 3 не превышает 0,2 % – для I вида топлива и 0,5 % – для II вида топлива, а марки А – 0,4 %. Для удовлетворения потребности в дизельном топливе по согласованию с потребителем разрешаются выработка и применение топлива с температурой застывания 0°С без нормирования температуры помутнения.

Т а б л и ц а 1.25. Характеристики дизельного топлива (ГОСТ 305-82)

Показатели	Л	3	А
Цетановое число, не менее	45	45	45
Фракционный состав: 50 % перегоняется при температуре, °С, не выше 90 % перегоняется при температуре (конец перегонки), °С, не выше	280 360	280 340	255 330
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	3,0...6	1,8...5	1,5...4
Температура застывания, °С, не выше, для климатической зоны: умеренной холодной	-10 –	-35 -45	– -55
Температура помутнения, °С, не выше, для климатической зоны: умеренной холодной	-5 –	-25 -35	– –
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже: для тепловозных и судовых дизелей и пазовых турбин для дизелей общего назначения	62 40	40 35	35 30
Массовая доля серы, %, не более, в топливе: вида I вида II	0,20 0,50	0,20 0,50	0,20 0,40
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01	0,01	0,01
Содержание фактических смол, мг/100 см ³ топлива, не более	40	30	30
Кислотность, мг КОН/100 см ³ топлива, не более	5	5	5
Йодное число, г I ₂ /100 г топлива, не более	6	6	6
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,01
Коксующесть 10 %-ного остатка, %, не более	0,20	0,30	0,30
Коэффициент фильтруемости, не более	3	3	3
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	860	840	830

П р и м е ч а н и е. Для топлив марок Л, 3, А: содержание сероводорода, водоразводимых кислот и щелочей, механических примесей и воды – отсутствие; испытание на медной пластинке – выдерживают.

В соответствии с ГОСТом 305–82 принято следующее условное обозначение дизельного топлива: летнее топливо заказывают с учетом

содержания серы и температуры вспышки (Л-0,2-40), зимнее – с учетом содержания серы и температуры застывания (З-0,2-минус 35). В условное обозначение на арктическое дизельное топливо входит только содержание серы: А-0,2.

Дизельное топливо (ГОСТ 305–82) получают компаундированием прямогонных и гидроочищенных фракций в соотношениях, обеспечивающих требования стандарта по содержанию серы. В качестве сырья для гидроочистки нередко используют смесь среднестиллятных фракций прямой перегонки и вторичных процессов, чаще прямогонного дизельного топлива и легкого газойля каталитического крекинга. Содержание серы в прямогонных фракциях в зависимости от перерабатываемой нефти колеблется в пределах 0,8...1,0 % (для сернистых нефтей), а содержание серы в гидроочищенном компоненте – от 0,08 до 0,1.

Дизельное экспортное топливо ТУ 38.401–58–110–94 (табл. 1.26) – вырабатывают для поставок на экспорт, содержание серы 0,2 %.

Таблица 1.26. Характеристики дизельного экспортного топлива (ТУ 38.401-58-110-94)

Показатели	Норма для марок	
	ДЛЭ	ДЭЗ
Дизельный индекс, не менее	53	53
Фракционный состав: перегоняется при температуре, °С, не выше:		
50%	280	280
90%	340	330
96%	360	360
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	3,0...6,0	2,7...6,0
Температура, °С:		
застывания, не выше	–10	–35
предельной фильтруемое, не выше	–5	–25
вспышки в закрытом тигле, не ниже	65	60
Массовая доля серы, %, не более, в топливе:		
вида I	0,2	0,2
вида II	0,3	–
Испытание на медной пластинке	Выдерживает	
Кислотность, мг КОН/100 см ³ топлива, не более	3,0	3,0
Зольность, %, не более	0,01	0,01
Коксуемость 10 %-ного остатка, %, не более	0,2	0,2
Цвет, ед. ЦНТ, не более	2,0	2,0
Содержание механических примесей	Отсутствие	
Прозрачность при температуре 10 °С	Прозрачно	
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	860	845

Исходя из требований к содержанию серы, дизельное экспортное топливо получают гидроочисткой прямогонных дизельных фракций.

Для оценки его качества по требованию заказчиков определяют дизельный индекс (а не цетановое число, как принято ГОСТ 305–82). Кроме того, вместо определения содержания воды и коэффициента фильтруемости экспресс-методом устанавливают прозрачность топлива при температуре 10 °С.

В табл. 1.27 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. Топливо выпускается согласно ТУ 38.401-58-296-2005.

Т а б л и ц а 1.27. 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°С, кг/м ³	820...860	820...860	820...845	820... 845
Кинематическая вязкость при 40°С, мм ² /с	2,0...4,5	2,0...4,5	2,0...4,0	2,0...4,0
Фракционный состав: 95% перегоняется до, °С	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 ³ , не более	Не норм.	Не норм.	25	25

Требования к качеству дизельного топлива за рубежом с требованиями к качеству отечественных дизельных топлив приведены табл. 1.28 и табл. 1.29.

Т а б л и ц а 1.28. Требования к качеству дизельного топлива за рубежом

Регион	США	Калифорния (Техас)	Европейский Союз			Швеция	Категория IV
1	2	3	4	5	5	7	8
Характеристика	США EPA	САКВ (TNR)	Евро-1	Евро-2	Auto Oil II	Класс I	Мировая Хартия

Продолжение табл. 1.28

1	2			3	4	5	5	7	8
Ввод в действие	1993	1998	2006	2006	2000	2005	2008	1991	–
Плотность, г/см ³									
минимум	–	–	–	0,83	–	0,825	0,825	0,8	0,82
максимум	0,87	–	–	0,86	0,845	0,845	0,830	0,82	0,84
API минимум	30	–	Н/У	33	36	36...40	–	41,1	37,0
Содержание серы, ppm	500	50	15	15	350	50	30	10	5–10
Цетановый индекс	40	–	Н/У	–	–	–	–	50	>52
Цетановое число	–	–	Н/У	48	51	53	54...58	ns	55
Содержание ароматических углеводородов, макс.:									
общее	35%	–	Н/У	10%	–	–	–	5%	15%
полициклических	–	–	–	1,4%	11%	1...6%	1...4%	0,02%	2%
Фракционный состав, °С:									
T ₉₀ макс.	338	–	Н/У	321	–	–	–	285	320
T ₉₅ макс.	366	–	–	–	360	360	350	300	340
T _{кон. кипения} , макс.	–	–	–	348	–	–	–	–	350

Таблица 1.29. Требования ТУ 38.401-58-296-2005 к качеству дизельных топлив

Показатель	Пределы	
	минимум	максимум
1	2	3
1. Цетановое число	51,0	–
2. Цетановый индекс	46,0	–
3. Плотность при 15 °С, кг/м ³	820	845
4. Полициклические ароматические углеводороды, % масс.		8
5. Содержание серы, мг/кг	10 50	
Вид I		
Вид II		
6. Температура вспышки, °С	Выше 55	–
7. Коксовый остаток (10%-ного остатка разгонки), % масс.		0,30
8. Зольность, % масс.	–	0,01
9. Содержание воды, мг/кг	–	200
10. Общее загрязнение (содержание механических примесей), мг/кг	–	24
11. Коррозионная агрессивность меди (3 ч при 50°C)	Класс I	
12. Окислительная стабильность, г/м ³	–	25

1	2	3
13. Смазывающая способность, скорректированный диаметр пятна износа (WS 1,4) при 60 °С, мкм	–	460
14. Вязкость при 40 °С, мм ² /с	2,00	4,50
15. Фракционный состав:		
% об. перегоняется до 250 °С	–	<65
% об. перегоняется до 350 °С	85	–
95% об. перегоняется при температуре, °С	–	360

Экологически чистое дизельное топливо выпускают по ТУ 38.1011348–90 (табл. 1.30). Технические условия предусматривают выпуск двух марок летнего (ДЛЭЧ-В и ДЛЭЧ) и одной марки зимнего (ДЗЭЧ) дизельного топлива с содержанием серы до 0,05 % (вид I) и до 0,1 % (вид II).

С учетом ужесточающихся требований по содержанию ароматических углеводородов введена норма по этому показателю: для топлива марки ДЛЭЧ-В – не более 20 %, для топлива марки ДЗЭЧ – не более 10 %. Экологически чистые топлива вырабатывают гидроочисткой дизельного топлива, допускается использование в сырье гидроочистки дистиллятных фракций вторичных процессов.

Городское дизельное топливо ТУ 38.401-58-170-96 (табл. 1.31) предназначено для использования в г. Москве. Основное отличие городского дизельного топлива от экологически чистого – улучшенное качество благодаря использованию присадок (летом – антидымной, зимой – антидымной и депрессорной).

Добавка присадок в городское дизельное топливо снижает дымность и токсичность отработавших газов дизелей на 30...50 %. В качестве антидымной присадки могут быть использованы отечественная ЭФАП-Б и зарубежная Любризол 8288, допущенные к применению. Активным веществом этих продуктов является барий.

Таблица 1.30. Характеристики экологически чистого дизельного топлива (ТУ 38.1011348-90)

Показатели	Нормы для марок		
	ДЛЭЧ-В	ДЛЭЧ	ДЗЭЧ
1	2	3	4
Цетановое число, не менее	45	45	45
Фракционный состав:			
перегоняется при температуре, °С, не выше:			
50%	280	280	280
96 % (конец перегонки)	360	360	340

Продолжение табл. 1.30

1	2	3	4
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	3,0...6,0	3,0...6,0	1,8...5,0
Температура, °С, не выше: застывания предельной фильтруемости	-10 -5	-10 -5	-35 -25
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже: для тепловозных и судовых дизелей и газо- вых турбин для дизелей общего назначения	40 62	40 62	35 40
Массовая доля серы, %, не более, в топливе: вида I вида II	0,05 0,1	0,05 0,1	0,05 0,1
Испытание на медной пластинке	Выдерживает		
Кислотность, мг КОН/100 см ³ топлива, не более	5,0	5,0	5,0
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,01
Коксуемость 10%-ного остатка, %, не более	0,2	0,2	0,2
Цвет, ед. ЦНТ, не более	2,0	2,0	2,0
Содержание механических примесей и воды	Отсутствие		
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	860	860	840
Содержание ароматических углеводородов, %, не более	20	—	10

Таблица 1.31. Характеристики дизельного топлива с улучшенными экологическими свойствами (городского) по ТУ 38.401-58-170-96

Показатели	Нормы для марок				
	ДЭК-Л	ДЭК-З	ДЭКп-Л	ДЭКп-З, минус 15°С	ДЭКп-З, минус 20°С
1	2	3	4	5	6
Цетановое число, не менее	49	45	49	45	45
Фракционный состав: перегоняется при температуре, °С, не выше:					
50%	280	280	280	280	280
96% (конец перегонки)	360	340	360	360	360
Кинематическая вязкость при 20 °С, мм ² /с	3,0...6,0	1,8...5,0	3,0...6,0	1,8...6,0	1,8...6,0
Температура, °С, не выше: застывания	-10	-35	-10	-25	-35
предельной фильтруемое	-5	-25	-5	-15	-25
Температура вспышки, определяемая в закрытом тигле, °С, не ниже:					
для тепловозных и судовых дизелей и газовых турбин	62	40	62	40	40
для дизелей общего назначения	40	35	40	35	35

Продолжение табл. 1.31

1	2	3	4	5	6
Массовая доля серы, %, не более, в топливе:					
вида I	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
вида II	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Кислотность, мг КОН/100 см ³ топлива, не более	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Йодное число, г I ₂ /100 г топлива	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,04	0,04	0,04
Коксуемость 10 %-ного остатка, %, не более	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Коэффициент фильтруемости (до введения присадки в топливо), не более	2	2	2	2	2
Цвет, ед. ЦНТ, не более	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Плотность при 20°C, кг/м ³ , не более	860	860	860	860	860

Примечание. Для дизельных топлив всех марок: содержание сероводорода, водоразрывимых кислот и щелочей, механических примесей и воды – отсутствие; испытания на медной пластинке – выдерживают.

Депрессорные присадки, улучшающие низкотемпературные свойства топлива представляют собой, в основном, сополимеры этилена с винилацетатом зарубежного производства (табл. 1.32).

Зимние дизельные топлива с депрессорными присадками выпускают с 1981 г. марки ДЗп по ТУ 38.101889–81. Получают его на базе летнего дизельного топлива с $t_{пл} = -5^\circ\text{C}$. Добавка сотых долей присадки обеспечивает снижение предельной температуры фильтруемости до минус 15°C , температуры застывания до минус 30°C и позволяет использовать летнее дизельное топливо в зимний период времени при температуре до минус 15°C .

Для применения в районах с холодным климатом при температурах минус 25°C и минус 45°C вырабатывают топлива по ТУ 38.401-58-36-92 (табл. 1.32). Согласно техническим условиям получают две марки топлива: ДЗп–15/–25 (базовое дизельное топливо с температурой помутнения минус 15°C , товарное – с предельной температурой фильтруемости минус 25°C) и арктическое дизельное топливо ДАп-35/–45 (базовое топливо с температурой помутнения минус 35°C , товарное – с предельной температурой фильтруемости минус 45°C).

**Т а б л и ц а 1.32. Характеристики зимних дизельных топлив
с депрессорными присадками**

Показатели	Нормы для марок		
	ДЗп	ДЗП-15/-25	ДАП-35/-45
	ТУ 38.101889-81	ТУ 38.401-58-36-92	
Цетановое число, не менее	45	45	40
Фракционный состав, перегоняется при температуре, °С, не выше:			
50%	280	280	280
90% (конец перегонки)	360	360	340
Кинематическая вязкость для дизелей общего назначения при 20 °С, мм ² /с	3,0...6,0	1,8...6,0	1,5...5,0
Температура, °С, не выше:			
застывания	-30	-35	-55
помутнения	-5	-15	-35
предельной фильтруемости	-15	-25	-45
Температура вспышки в закрытом тигле, °С, не ниже:			
для дизелей общего назначения	40	40	35
для тепловозных и судовых дизелей	62	35	30
Массовая доля серы, %, не более, в топливе:			
вида I	0,2	0,2	0,2
вида II	0,5	0,5	0,4
Массовая доля меркаптановой серы, %, не более	0,01	0,01	0,01
Концентрация фактических смол, мг/100 см ³ базового топлива, не более	40	—	—
Кислотность, мг КОН/100 см ³ топлива, не более	5	5	5
Йодное число, г на 100 г топлива, не более	6	5	5
Зольность, %, не более	0,01	0,01	0,01
Коксуемость 10 %-ного остатка, %, не более	0,3	0,2	0,2
Коэффициент фильтруемое, не более:			
для базового топлива	2,0	—	—
для топлива с присадкой	3,0	3,0	3,0
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	860	860	840
Цвет, ед. ЦНТ, не более	2,0	2,0	2,0

Пр и м е ч а н и е . Для топлив всех марок: содержание сероводорода, водорасстворимых кислот и щелочей, механических примесей и воды – отсутствие; испытание на медной пластинке – выдерживают.

Однако, наряду со снижением вредных выбросов в выхлопных газах, применение экологически чистых дизельных топлив привело к целому ряду проблем: выходу из строя топливных насосов, из-за снижения смазывающей способности дизельных топлив и увеличению коррозионной агрессивности дизельных топлив, связанному с удалением в процессе гидроочистки поверхностно-активных веществ, способных образовывать защитную пленку.

Для оценки смазывающих свойств дизельных топлив за рубежом используют комплекс тестов, включающий лабораторные, стендовые и эксплуатационные испытания.

В 1994 г. СЕС (Coordinating European Council) для исследований был выбран метод HFRR, т.к. он является быстрым и точным способом оценки смазывающих свойств дизельных топлив. Суть метода заключается в измерении диаметра пятна износа, образующегося при трении качения пары шарик-пластина под действием приложенной нагрузки (200 грамм) при температуре 60 °С. При испытании осуществляется возвратно-поступательное движение шарика с фиксированной частотой и длиной хода, при этом поверхность раздела трущейся пары шарик-пластина полностью погружена в емкость с топливом. Диаметр пятна износа, образовавшегося на испытательном шарике и измеренного под микроскопом, является показателем смазывающих свойств топлива.

Метод испытания HFRR был принят европейской организацией по стандартизации ISO в июле 1996 г и получил категорию «А» СЕС и статус европейского стандарта, а 1997 г. – статус американского стандарта ASTM D 6079.

Начиная с 2000 г., показатель смазывающих свойств дизельных топлив по методу ISO 12156 на приборе HFRR введен в европейский стандарт на дизельное топливо EN 590, и по нему установлена норма: диаметр пятна износа не более 460 мкм.

Таким образом, в настоящее время производство высококачественных дизельных топлив невозможно без добавки присадок различного функционального назначения, таких как депрессорные, цетаноповышающие, антидымные, моющие, антиокислительные, диспергирующие, ингибиторы коррозии, противоизносные и многие другие. При составлении многофункциональных пакетов присадок учитывают их совместимость, поскольку различные поверхностно-активные вещества могут влиять на функциональные свойства друг друга.

1.5 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.

В настоящее время более 70 % потребностей человечества в энергии удовлетворяются ископаемыми источниками энергии, причем потребление энергии в последние 30 лет возрастало быстрее, чем численность населения.

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 обеспечения 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

1.5.1. Виды и классификация газообразных топлив для двигателей внутреннего сгорания

При работе на газообразном топливе снижаются нагарообразование, расход моторного масла. Кроме того, газообразное топливо обладает высокими октановыми числами и теплотой сгорания. В табл. 1.33 приведены некоторые показатели качества газообразных углеводородов.

Таблица 1.33. Показатели газообразных углеводородов

Углеводород	Относительная плотность по воздуху	Критическая температура, °С	Низшая теплота сгорания, МДж/м ³	Октановое число*
Метан (CH ₄)	0,554	-82,1	35,8	120
Этан (C ₂ H ₆)	1,138	32,3	63,7	116,3
Пропан (C ₃ H ₈)	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

Сырьем для получения газообразного автомобильного топлива являются природный и попутный (выделяющиеся при добыче нефти) газы, а также газы нефтеперерабатывающих, нефтехимических заводов и др. Основные компоненты природных газов: метан, в меньших количествах этан, пропан, бутан. Углеводороды, критические температуры которых выше обычных температур эксплуатации автомобилей, легко переходят в жидкое состояние под определенным давлением и поэтому называются **сжиженными**. К таким углеводородам относятся пропан, бутан. Для перевода пропана в жидкое состояние необходимо давление 0,85 МПа, а для бутана – 0,2 МПа при 20°С. Углеводороды, критические температуры которых ниже обычных температур эксплуатации автомобилей, применяют, как правило, в сжатом состоянии и называют **компримированными** (сжатыми). К ним относятся метан и этан. Для перевода метана в жидкое состояние необходимы температуры ниже – 82 °С. При температуре –161 °С метан переходит в жидкое состояние при атмосферном давлении. При температурах выше – 82 °С он не может быть переведен в жидкое состояние ни при каком высоком давлении сжатия.

1.5.1.1 Сжиженные нефтяные газы

Сжиженный нефтяной газ (СНГ), (англ. Liquefied petroleum gas (LPG) 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.

Производится в основном из попутного нефтяного газа. Транспортируется и хранится в баллонах и газгольдерах. Применяется для при-

готовления пищи, кипячения воды, отопления, используется в зажигалках, в качестве топлива на автотранспорте.

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. Физико-химические показатели этих газов даны в табл. 1.34 .

В систему питания двигателей, работающих на сжиженном газе, входят баллоны общей вместимостью от 30 до 260 л, рассчитанные на давление 1,6 МПа.

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.

Таблица 1.34. **Физико-химические показатели сжиженных автомобильных газов марок ПА и ПБА**

Показатель	ПА	ПБА
Массовая доля компонентов, %:		
Пропан	90±10	50±10
Сумма непредельных углеводородов, не более	6	6
Давление насыщенных паров, избыточное МПа, при температуре:		
+45°С, не более	-	1,6
–20°С, не менее	-	0,07
–35°С, не менее	0,07	-
Массовая доля серы и сернистых соединений, %, не более	0,01	0,01
в том числе сероводорода, не более	0,003	0,003

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. 1.35).

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. На рис. 1.22 показана зависимость давления насыщенных паров $P_{\text{нас}}$ пропанобутановых смесей от температуры t . 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.

Таблица 1.35. 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_5 и выше) при 20°C, % по объему, не более	1	2	2
Давление насыщенных паров избыточное, МПа, при температуре:			
+45°C, не более	1,6	1,6	1,6
-20°C, 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

По максимальному давлению насыщенных паров смеси определяют прочность газового баллона, а для обеспечения нормальной работы топливopодающей аппаратуры смесь должна иметь избыточное давление не менее 0,1 МПа. Изменяя компонентный состав, получают зимние и летние смеси. Так, зимняя смесь СПБТЗ содержит 75 % пропана и пропилена, а летняя смесь СПБТЛ – 60 % бутана и бутиленов. Бутановые углеводороды (бутан, изобутан, бутилен, изобутилен и др.) обладают наибольшей теплотой сгорания и легко сжимаются.

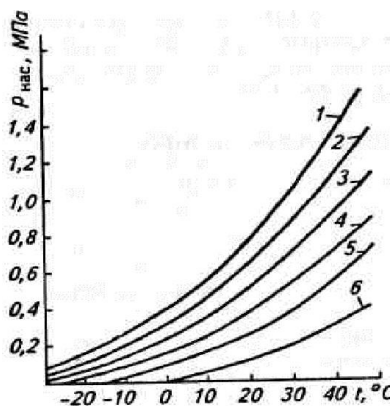


Рис. 1.22. Зависимость давления насыщенных паров пропанобутановых смесей от температуры: 1 – пропан; 2 – 80 % пропана + 20 % бутана; 3 – 60 % пропана + 40 % бутана; 4 – 40% пропана + 60 % бутана; 5—20 % пропана + 80 % бутана; 6 – бутан

По плотности жидкой фазы можно судить о концентрации энергии в единице объема сжиженного газа, относящегося к легким жидкостям, плотность которых составляет 0,5 – 0,55 кг/л. Отличительная особенность сжиженных газов – более высокий коэффициент объемного расширения, чем у жидких нефтепродуктов. На рис. 1.23 показано изменение плотности сжиженных газов $\rho_{сж}$ в зависимости от температуры t . Например, плотность пропана в сжиженном виде при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ равна 0,54 кг/л, а при $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ уменьшается до 0,48 кг/л. При этом удельный объем увеличивается на 11 %. Данное свойство учитывают при заполнении баллона газом, оставляя около 10 % объема на паровую подушку.

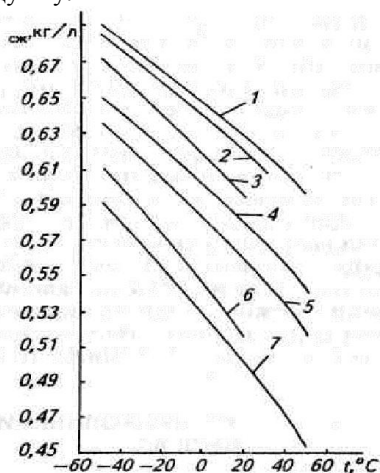


Рис. 1.23. Зависимость плотности сжиженных газов от температуры: 1 – пентан; 2 – изопентан; 3 – бутилен и изо-бутилен; 4 – бутан; 5 – изобутан; 6 – пропилен; 7 – пропан.

Если баллон будет полностью заполнен, т. е. будет отсутствовать паровая подушка, то даже незначительное повышение температуры сжиженного газа приведет к резкому увеличению давления в баллоне. Приращение давления в баллоне составляет приблизительно 0,7 МПа на один градус повышения температуры сжиженного газа.

Все компоненты сжиженного газа, кроме метана и этилена, тяжелее воздуха, поэтому при утечках они скапливаются в низких местах (на полу, в канавах, приемках), 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°C.

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/м³, непредельных углеводородов 100 мг/м³.

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 [8].

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

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.

Основные компоненты СНГ (табл. 1.36) кипят при низких темпера-

турах, поэтому при нормальной температуре и атмосферном давлении они могут находиться только в газовой фазе. Для хранения СНГ в жидком виде необходимо повышать давление и тем больше, чем выше температура, что объясняется ростом давления насыщенных паров СНГ. Пропан и бутан при температуре соответственно 96,6 и 152,0°C не могут существовать в жидкой фазе, даже в случае превышения давления соответственно 4,25 и 3,80 МПа. Такие параметры для пропана и бутана являются критическими.

Давление насыщенных паров – давление паров в присутствии жидкой фазы. СНГ представляют собой насыщенные кипящие жидкости. При наличии свободной поверхности над жидкой фазой всегда возникает двухфазная система жидкость – пар. Давление паров СНГ изменяется в зависимости от температуры жидкой фазы. При температуре кипения СНГ давление насыщенных паров равно атмосферному. При повышении температуры внешней среды до температуры, равной критической температуре компонентов газа, давление насыщенных паров резко возрастает.

Таблица 1.36. Основные физико-химические свойства отдельных составляющих СНГ

Составляющая	Пропилен	Бутан	Пропан	Бензин
Химическая формула	C_3H_6	C_4H_{10}	C_3H_8	C_8H_{18}
Молекулярная масса	42,08	58,12	44,10	114,5
Плотность, г/см ³ : - жидкой фазы при 15°C и 0,1 МПа - газовой фазы при 0°C и 0,1 МПа	0,522	0,582	0,509	0,720
	1,915	2,703	2,019	5,08
Относительная плотность газовой фазы (плотность воздуха принята за 1)	1,481	2,091	1,562	3,940
Температура кипения, °C	– 47,7	– 0,50	– 41,5	>33,0
Объем паров при испарении 1 л жидкости, м ³	0,287	0,235	0,269	0,148
Низшая теплота сгорания, МДж/кг	45,650	45,440	45,970	44,000
Температура воспламенения, °C	475...550	475...550	510...580	470...530
Предел воспламеняемости в смеси с воздухом, %:				
Верхний	2,00	1,80	2,4	1,50
Нижний	11,1	8,40	9,5	6,0

Примечание. Приведенные параметры получены при температуре газа 15°C.

Зная давления насыщенных паров, можно правильно рассчитать

объем, который может занимать СНГ при определенной максимальной температуре внешней среды, а также обеспечить подачу жидкой и газовой фаз в систему питания двигателя.

Этан, входящий в состав СНГ в незначительных количествах, обладает достаточно высоким давлением насыщенных паров. Последнее способствует поддержанию необходимого давления в баллоне при отрицательных температурах внешней среды. Бутановая составляющая, которая включает нормальный бутан, изобутан, бутилен, изобутилен и другие изомеры, имеет высокую теплоту сгорания и легко сжижается. СНГ с большим содержанием бутана целесообразно применять при положительных температурах окружающей среды, особенно в районах с жарким климатом [60].

Компоненты газовой фазы СНГ подчиняются физическим законам состояния газа. Равновесное состояние идеального газа характеризуется уравнением состояния Менделеева – Клапейрона:

$$pV=RT, \quad (1.36)$$

где p – абсолютное давление;

V – молярный объем идеального газа ($V=22,4$ м³/моль при давлении 101,3 кПа и температуре 0°С);

R – универсальная газовая постоянная.

Компоненты газовой фазы СНГ несколько отличаются от состояния идеального газа, поэтому в уравнение Менделеева – Клапейрона необходимо ввести коэффициент сжимаемости Z , учитывающий уменьшение молярного объема газовой среды V при повышении давления по сравнению с молярным объемом идеального газа. Тогда уравнение состояния реального газа можно выразить в следующем виде:

$$pV=RTZ. \quad (1.37)$$

Отклонение объема реального газа от идеального можно определить с помощью уравнения Ван-дер-Ваальса. Для учета влияния температуры T и давления p на отклонение объема реального газа вводят коэффициенты a и b (называемые постоянными Ван-дер-Ваальса) в уравнение состояния идеального газа:

$$(p+a/V^2)(V-b)=RT. \quad (1.38)$$

Значения постоянных Ван-дер-Ваальса для некоторых газов приведены в табл. 1.37.

Таблица 1.37. Значения постоянных Ван-дер-Ваальса

	$a, \text{м}^2 \cdot \text{кПа} / \text{моль}^2$	$b, \text{л} / \text{моль}$
Пропан	0,00877	0,00251
Этан	0,01060	0,0028
Метан	0,00357	0,00182
Азот	0,00259	0,00165

Абсолютное давление (в МПа) СНГ в баллоне (давление насыщенных паров) может быть определено через парциальные давления отдельных компонентов:

$$P_0 = \sum x_i p_i, \quad (1.39)$$

где x_i и p_i – доля и давление (в МПа) i -го компонента в СНГ.

Парциальное давление можно определить по формуле:

$$P_i = K_i p, \quad (1.40)$$

где K_i – константа равновесия i -го компонента в СНГ.

Давление насыщенных паров компонентов СНГ можно определить с достаточной степенью точности по формуле (4), используя метод последовательного приближения (итерационный метод). В этом случае необходимо задавать произвольные значения абсолютного давления насыщенных паров сжиженного газа и его температуры. При заданных значениях давления и температуры находят константы равновесия K_i , а затем, пользуясь формулами (4) и (5), вычисляют давление насыщенных паров СНГ.

В зависимости от температуры газа насыщенные пары СНГ имеют широкие пределы изменения давления. При одной и той же температуре давление насыщенных паров различных углеводородов неодинаково.

Давление насыщенных паров оказывает заметное влияние на эффективность подачи газового топлива в двигатель. При отрицательных температурах для надежной подачи газа в баллоне необходимо иметь достаточное избыточное давление.

К факторам, влияющим на давление внутри баллона, относят температуру и соотношение основных компонентов СНГ (пропана и бутана). Изменение давления насыщенных паров Δp для различных составов СНГ в зависимости от температуры в баллоне показано на рис. 1.24. По графику можно определить граничные температуры эффективной работы газобаллонных автомобилей. Представленные зависи-

мости позволяют выбирать компонентный состав СНГ для различных климатических регионов страны. Для смеси СНГ, состоящей из 80 % пропана и 20 % бутана, при температуре -25°C давление насыщенных паров составляет 0,1 МПа, а при температуре $+30^{\circ}\text{C}$ достигает 0,8 МПа.

СНГ обладают большим коэффициентом объемного расширения. При полном заполнении баллона (паровая подушка отсутствует) даже незначительное повышение температуры может привести к резкому увеличению давления, которое в этом случае составит около 0,7 МПа на 1°C .

В эксплуатационных условиях паровая подушка газового баллона для обеспечения безопасной эксплуатации автомобиля должна иметь определенный объем. Объем паровой подушки, составляющий 10 % полного объема, обеспечивает оптимальное давление в газовом баллоне при изменении температуры СНГ в пределах $-10... +25^{\circ}\text{C}$. Повышение температуры газа в указанных пределах может произойти лишь при длительном хранении автомобиля с полностью заправленным баллоном. Поэтому при постановке автомобиля на длительное хранение часть газа из баллона должна быть израсходована. При эксплуатации автомобиля, когда газ постоянно расходуют из баллона, вероятность подобной ситуации практически исключена.

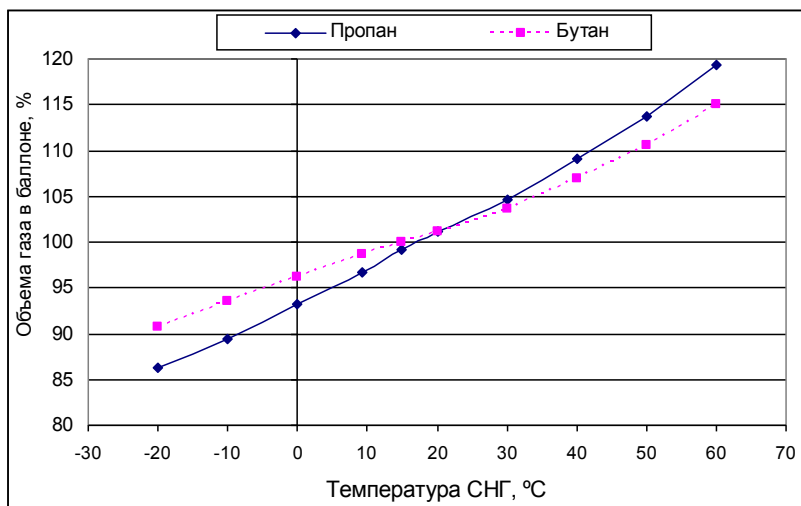


Рис. 1.24. Расчетно-экспериментальные данные изменения объема газа в баллоне в зависимости от температуры газа.

Плотность СНГ в жидком состоянии определяют при температуре

15°C и давлении, равном давлению насыщенных паров, а в газовом – при атмосферном давлении и температуре 0 и 15°C. Плотность СНГ в жидком состоянии, как и любой жидкости, не зависит от давления и является функцией температуры. Изменение плотности основных компонентов СНГ в зависимости от его температуры приведено на рис. 1.3. С увеличением температуры СНГ плотность компонентов уменьшается в результате теплового расширения. При нормальных атмосферных условиях и температуре 15°C плотность пропана в жидком состоянии составляет 510 кг/м³, а бутана 580 кг/м³. Плотность пропана в газовом состоянии при атмосферном давлении и температуре 15°C равна 1,9 кг/м³, а бутана – 2,55 кг/м³. При нормальных атмосферных условиях и температуре 15°C из 1 кг жидкого бутана образуется 0,392 м³ газа, а из 1 кг пропана 0,526 м³.

Относительная плотность основных газовых компонентов СНГ (по воздуху) составляет: для пропана 1,562, для бутана 2,091. В результате этого СНГ при наличии утечек могут скапливаться в искусственных (осмотровые канавы, траншеи и приямки) и естественных непроветриваемых углублениях, а также на поверхности земли, образуя взрывоопасную смесь.

Теплота сгорания – количество теплоты, выделяющееся при полном сгорании 1 м³ газа, при атмосферном давлении и температуре 20 °C 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.

Элементарный состав СНГ относят к числу наиболее важных оценочных параметров газа. Он позволяет судить о качестве СНГ. Зная элементарный состав СНГ, можно расчетным путем определить теплоту сгорания газа и количество воздуха, необходимое для полного его сгорания. Теплота сгорания (в кДж/кг) газа может быть рассчитана по формуле:

$$Q_{\text{н}} = 33210Q_{\text{с}} + 109060Q_{\text{н}}. \quad (1.41)$$

В формуле (1.41) состав СНГ представлен в объемных долях или в процентах. СНГ характеризуется углеродным числом, представляющим собой отношение молекулярных масс углерода и водорода.

Газовое топливо имеет более благоприятное, чем бензин, соотношение углерода (С) и водорода (Н). Углеродное число у современных бензинов составляет около 6, а у СНГ оно равно 4,9 (ПГ 2,98). Более высокое содержание в газовом топливе водорода обеспечивает более полное сгорание в цилиндрах двигателя.

Точка росы паров СНГ при атмосферном давлении совпадает с температурой кипения. По мере увеличения давления точка росы жидкой фазы СНГ заметно повышается. Бутан по сравнению с пропаном склонен к конденсации в большей степени.

Основные моторные свойства СНГ приведены в таблице 1.38.

Таблица 1.38. Основные моторные свойства СНГ

Компонент	Бутан	Пропан	Бензин
Октановое число по исследовательскому (моторному) методу	95 (89)	112 (96)	92 (88)
Теплота сгорания стехиометрической смеси, МДж/м ³	3,470	3,408	3,553
Теоретически необходимый объем воздуха для сгорания топлива, м ³ /м ³ (м ³ /кг)	31,08 (12,64)	23,98 (12,81)	56,6 (12,35)
Максимальная скорость распространения фронта пламени, м/с	0,825	0,810	0,850
Температура горения стехиометрической смеси, °С	2057	2043	2100
Коэффициент молекулярного изменения при сгорании стехиометрической смеси	1,047	1,042	1,058

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. Детонационные характеристики газов и бензинов приведены в табл. 1.39.

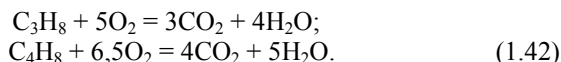
Теплота сгорания характеризуется стехиометрическим составом смеси и теоретически необходимым количеством воздуха для ее полного сгорания.

Таблица 1.39 Детонационные характеристики газов и бензинов

Топливо	Степень сжатия	Октановое число *
Пропан	10...12	96 (112)
Бутан	7,5...8,5	89 (95)
Бензин Н-80	8,5	80 (85)
Бензин АИ-92	9,2	88 (92)
Бензин АИ-95	9,5	91 (95)

– данные полученные исследовательским методом.

Стехиометрический коэффициент представляет собой массу (объём) воздуха, теоретически необходимого для полного сгорания топлива. При полном сгорании газ превращается в продукты полного окисления – углекислый газ и водяные пары:



Для полного сгорания пропана на одну его молекулу приходится 5 молекул кислорода, а бутана – 6,5 молекул кислорода. Содержание кислорода в воздухе, как известно, составляет 21,0 %. Поэтому для полного сгорания 1 м³ пропана требуется 24 м³ воздуха, а для бутана 31 м³. При сгорании СНГ необходимая масса (объём) воздуха всегда будет больше по сравнению с массой бензина. Верхний предел воспламеняемости пропан-бутановых смесей характеризуется содержанием 8,4 – 9,9 % газа в воздухе, а нижний предел 1,8 – 2,4 %, пределы воспламенения бензина в смеси с воздухом составляют соответственно 6,0 и 1,5 %. Таким образом, пределы воспламенения СНГ на 15 – 25% выше по сравнению с бензином.

Теплота сгорания газового топлива не эквивалентна теплоте сгорания горючей смеси, поэтому законы аддитивности при расчетах не применимы. Для газообразных топлив теплота сгорания горючей смеси:

$$Q_i = \frac{\dot{I}_i}{1 + \alpha \ell_0} \quad (1.43)$$

где H_n – удельная теплота сгорания единицы объема газа, кДж/м³;
 ℓ_0 – стехиометрический коэффициент горючей смеси, м³/м³.

Выделение теплоты на единицу массы у СНГ несколько больше, чем у бензина. Однако, если сравнивать выделение теплоты на единицу объема горючей смеси, то окажется, что при использовании СНГ оно снижается по сравнению с бензином на 6 – 8%. С увеличением

коэффициента α и теплота сгорания горючей смеси газовых топлив уменьшается в меньшей степени по сравнению с жидкими топливами.

При переводе двигателя с жидкого топлива на СНГ при одних и тех же режимах работы его мощность снижается. Причины этого явления связаны в основном с уменьшением: теплоты сгорания горючей смеси; коэффициента наполнения цилиндра; коэффициента молекулярного изменения при сгорании газообразных 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.

При небольшой частоте вращения, когда объём заряда смеси, поступающей в цилиндры двигателя, сравнительно невелик, заметного снижения мощности не происходит. Подогрев горючей смеси в газовых двигателях оказывает вредное воздействие на характеристики рабочего процесса. Поэтому его нецелесообразно применять в современных газовых двигателях.

Коэффициент молекулярного изменения при сгорании газовых топлив несколько меньше, чем у жидких топлив. Это приводит к снижению индикаторных показателей двигателя, в результате чего ухудшается эффективность его работы.

1.5.1.2 Природный газ

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 (CH_4) – до 98 %. В состав природного газа могут также входить более тяжёлые углеводороды – гомологи метана: этан (C_2H_6), пропан (C_3H_8), бутан (C_4H_{10}), а также другие неуглеводородные вещества: водород (H_2), сероводород (H_2S), диоксид углерода (CO_2), азот (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 ($Q_n=23 - 37,7$ МДж/м³), среднекалорийные ($Q_n=15 - 23$ МДж/м³) и низкокалорийные ($Q_n=4,2 - 15$ МДж/м³). 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 компримированном (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.

По токсикологической характеристике КПГ в соответствии с ГОСТ 12.1.005-76 относят к веществам класса 4. Предельно допустимая концентрация ПГ на рабочих местах и в рабочих зонах не должна превышать 300 мг/м³ (в пересчете на углерод).

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. Характеристики метана приведены в табл. 1.40.

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/м³. Увеличение содержания инертных газов до 10 % обедняет состав горючей смеси ($\alpha = 1,12$), а теплота ее сгорания уменьшается на 10 % [27, 80].

Т а б л и ц а 1.40. Характеристики метана

Молекулярная формула	CH ₄
Молярная масса, кг/моль	16,03
Плотность при температуре 15°C и давлении 0,1 МПа:	
в газообразном состоянии кг/м ³	0,717
в жидком состоянии, кг/л	0,42
Углеродное число	2,96
Температура кипения, °C	-161,7
Удельная теплота испарения, кДж/кг	515
Температура самовоспламенения (вспышки), °C	590
Низшая теплота сгорания:	
в газообразном состоянии, кДж/м ³ (кДж/кг)	33800 (49750)
в жидком состоянии, кДж/л	20900
Относительная плотность (по воздуху)	0,554
Коррозионная активность	Отсутствует
Токсичность	Не токсичен
Температура горения, °C	2030
Прочие свойства	Цвета, запаха не имеет

Заданные мощностные, топливо-экономические, экологические показатели двигателей, тягово-динамические качества автомобилей, а также их стабильность в эксплуатации могут быть достигнуты только при условии заправки автомобилей высококачественным газовым топливом.

Одна из наиболее важных проблем при применении ПГ на авто-

транспорте 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 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°C .

При заправке газового баллона в начальный период происходит охлаждение газа. Понижение температуры газа связано с дроссельным эффектом Джоуля – Томпсона в процессе расширения газа. При снижении давления на каждые $0,1 \text{ МПа}$ температура газа снижается на $2,5^\circ\text{C}$. Кроме того, в результате торможения струи газа, входящего в баллон, происходит интенсивный теплообмен между баллоном и газом. По мере увеличения степени заполнения баллона дроссельный эффект снижается, в результате чего повышается теплосодержание газа в баллоне.

Хранение и транспортировка компримированного природного газа происходит в специальных баллонах под давлением $19,6 - 32 \text{ МПа}$. Температура газа, заправляемая в баллон, не должна превышать температуру окружающего воздуха более чем на 15°C . *Газ способен образовывать с воздухом взрывоопасные смеси.*

Пределы воспламенения газа (по метану) в смеси с воздухом при температуре 20°C и нормальном давлении составляют $5 - 15 \%$ (по объему). Предельно допустимая концентрация углеводородов газа в воздухе рабочей зоны должна быть не более 300 мг/м^3 в пересчете на углерод, а сероводорода – не более 10 мг/м^3 .

Применение компримированных газов, особенно природных, наиболее выгодно в районах их добычи, переработки, вблизи газовых магистралей, а также в газифицированных городах.

Сжатые газы обладают повышенной испаряемостью, поэтому наблюдаются повышенные потери их. Кроме того, они имеют повышенную пожароопасность. При использовании сжатых газов особое внимание следует уделять содержанию влаги, так как она вызывает серьезные неполадки в работе системы питания.

Основные физико-химические показатели природного компримированного газа представлены в табл. 1.41.

К основным моторным свойствам газов относят детонационную стойкость и теплоту сгорания в смеси с воздухом и теоретически необходимое количество воздуха для полного сгорания стехиометрической смеси. СНГ и особенно КПП по детонационной стойкости превосходят лучшие сорта автомобильных бензинов.

Т а б л и ц а 1.41. Физико-химические показатели природного компримированного газа

Наименование показателя	Значение показателя
Объёмная низшая теплота сгорания, кДж/м ³	31800
Относительная плотность по воздуху	0,55...0,70
Октановое число газа (по моторному методу), не менее	105
Содержание сероводорода, г/м ³ , не более	0,02
Содержание меркаптановой серы, г/м ³ , не более	0,036
Содержание механических примесей, мг/м ³ , не более	1
Суммарная объёмная доля негорючих компонентов, %, не более	7
Объёмная доля кислорода, %, не более	1
Содержание паров воды, мг/м ³ , не более	9

Основные свойства КПГ приведены в табл. 1.42.

Т а б л и ц а 1.42. Основные моторные свойства компримированного природного газа

Наименование	Значение
Удельная теплота сгорания смеси, МДж/м ³	2,8-4,6
Теоретический необходимый объем воздуха для сгорания топлива м ³ /м ³	9,52
Теплоемкость газа при 15°C, кДж/кг . .	2240
Температура самовозгорания, °C	650
Пределы воспламенения в смеси с воздухом, %	
Нижний	5,0
Верхний	15,0
Октановое число	120

Максимальное октановое число КПГ в соответствии с компонентным составом на 18 – 20 % выше по сравнению с лучшими сортами бензинов. Это позволяет форсировать бензиновые двигатели при работе на КПГ по степени сжатия.

1.5.1.3 Сжиженный природный газ

Сжиженный природный газ (СПГ) или англ. термин — Liquefied natural gas (LNG) — 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 °С. Коэффициент сжижения от 92% до 95%.

Охлаждаемый до температуры –161,7 °С метан при атмосферном давлении переходит в жидкое состояние и уменьшается в объеме в 600 раз, плотность сжиженного природного газа (СПГ) 0,7 кг/л. Температура кипения сжиженного метана составляет – 161,74 °С.

СПГ можно транспортировать железнодорожным, автомобильным и водным транспортом в специальных изотермических баллонах, а также по изотермическим трубопроводам. Криогенную технологию хранения СПГ на автомобиле считают более перспективной, чем способы хранения в сжатом виде.

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 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. Основные физико-химические свойства СПГ приведены в табл. 1.43.

Т а б л и ц а 1.43. Основные физико-химические свойства СПГ

Молярная масса, кг/моль	16,043
Газовая постоянная	8,314
Плотность в жидком состоянии, кг/м ³	400
Теплоёмкость газа при температуре 15 °С	2,24
Температура, °С:	
Кипения	–161,74
Затвердевания	–182,5
Критическое давление, МПа	4,73
Критическая температура, °С	–82,61
Относительная плотность (плотность воздуха принята за 1)	0,554

1.5.1.4 Генераторный газ

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 сельс-

кохозяйственных отходов (опилок, подсолнечной лузги, льняной. костры и т. п.). В зависимости от вида применяемого для газификации твердого топлива состав генераторного газа, %, колеблется в следующих пределах: $\text{CO} - 25...30$, $\text{H}_2 - 12... 15$, $\text{CH}_4 - 0,5...3,5$, $\text{CO}_2 - 5...8$, $\text{O}_2 - 0,2...0,5$, $\text{N}_2 - 45...50$.

Возможность тех явлений, которые ведут к образованию генераторного газа, основывается на способности угля и углеродистого топлива образовать в первый момент горения углекислый газ CO_2 , и уголь, а вместе с тем образовавшемуся углекислому газу с накалившимся углем свойственно при отсутствии избытка воздуха образовать горючую окись углерода CO (по уравнению: $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$), которая и составляет горючую составную часть генераторного газа.

1.5.1.5 Биогаз

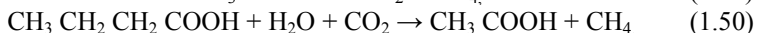
Смесь метана и диоксида углерода при наличии небольшого количества других газов называют биогазом. Его состав: 55...80% CH_4 , 15...40% CO_2 , 0...1% H_2S , 0...1% N_2 , 0...1% H_2 . Свойства биогаза представлены в таблице 1.45.

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. В табл. 1.44 представлено количество биогаза, которое

тана, а ферментация кислот и спиртов дает еще больше метана:



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 ($\text{pH} = 6,8-7,2$).

Для реализации контролируемого анаэробного сбраживания создаются 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. 1.25.

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.

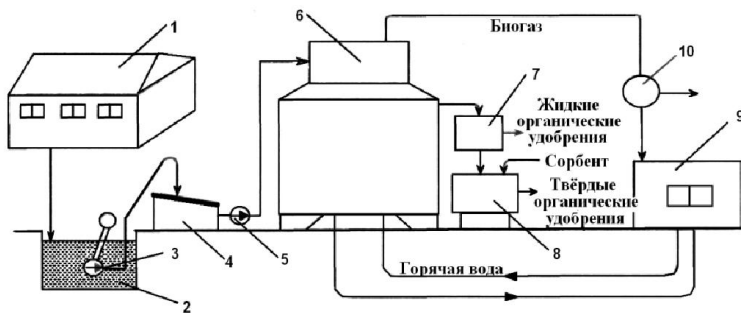


Рис. 1.25. Схема биогазовой установки:

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

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 внутривпочвенного внесения либо подаваться на очистку в систему биопрудов, где выращиваются рачки и рыба. Для получения твердых удобрений, более удобных для хранения и транспортировки, сброженная 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/м³. 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.

Т а б л и ц а 1.45. Свойства нефтяных и альтернативных видов топлива, применяемых в автотракторной технике

Свойства	Ед. изм.	Нефтяные топлива		биогаз	Спиртовые топлива		ДМЭ	Топлива из РМ	
		ДТ летнее	бензин		этанол	метанол		МЭРМ	РМ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Химическая формула		—	—	—	C_2H_5OH	CH_3OH	CH_3-O-CH_3	$C_{19}H_{35,2}O_2$	$C_{57}H_{101,6}O_6$
Элементарный состав, С:Н:О	кг/кг	86:14:0	85,5:14,5:0	—	52,2:13:34,8	37,5:12,5:50	52,2:13:34,8	77:12:11	78:10:12
Мольный вес	г/моль	208	—	—	46	32	46	—	—
Стехиометрическое соотношение	кг/кг	14,6	14,96	—	9	6,5	9	12,6	12,6
Давление насыщенных паров при 311 К,	10^5 Па	0,003...0,035	0,65...0,92	—	0,17	0,126	5,1	—	—
Плотность при 20 °С	кг/м ³	860	750	—	810	790	668...670	877...880	916
Кинематическая вязкость при 20 °С,	сСт	3...6	—	—	—	—	—	8	75...80
Динамическая вязкость	кг/(м·с)	2...4	0,45...0,7	—	3,3	0,6	0,12...0,15	6,8...7,4	—
Теплота парообразования при 1,013х10 Па,	кДж/кг	210...250	285	—	905	1110	410...460	—	—
Низшая расчетная теплота сгорания	МДж/кг	42,5	44	37,1	25	19,5	27,6	37,4...37,8	37,3
Теплотворная способность	кДж/кг	42,5	—	—	—	—	28,8	—	—
Октановое число:			80-95	—	108	111	—	—	—
Коксуемость 10% остатка	% по массе	0,2	—	—	—	—	—	0,3	0,4
Содержание серы	% по массе	0,2	—	—	—	—	—	0,002	0,002
Температура помутнения	°С	-5	—	—	—	—	—	-13	-9
Температура застывания	°С	-10	—	—	—	—	—	-21	-20
Цетановое число		не менее 45	—	10	8	5	55...60	50...54 48	36

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Точка кипения	°С	180...360	35...190	—	78	65	-24,9	—	
Температура самовоспламенения	°С при 1 атм.	250	415	590	420	450	235	230	318
Температура вспышки в закрытом тигле,	°С	>40	—	—	—	11	—	—	—
Поверхностное натяжение при 20 °С,	мН/м ²	—	—	—	—	—	—	—	33,2
Коэффициент поверхностного натяжения	мН/м	27,1	—	—	—	—	—	30,7	33,2
Пределы взрывоопасности,	% по объему	0,6...6,5	1,5...5,9	—	3,5...15	5,5...26	3,4...18	—	—
Кислотное число	мг КОН/10 0 мл топлива	5	—	—	—	—	—	—	4,66

О применении сжатого биометана в качестве моторного топлива для автомобилей известно давно. Осенью 1946 года при испытательном пробеге 18 газобаллонных автомобилей по маршруту Берлин-Киев-Москва 5 автомобилей работали на биометане, полученном путем частичной очистки канализационного биогаза от CO_2 и компримированием до 20 МПа. Впоследствии в ЧССР, США и ряде других стран были проведены испытания автомобилей, переоборудованных для работы на сжатом канализационном биометане.

Исследования по использованию сжатого биометана, получаемого из птичьего помета, проводились и в СССР. Для испытаний был создан экспериментальный газобаллонный автомобиль «Москвич-2140». В результате установлено, что при работе на сжатом биометане можно получить такие же показатели, как и на природном газе. Приемистость и максимальная скорость автомобиля сохранялись на прежнем уровне. Было установлено повышение экономичности газового автомобиля по сравнению с бензиновым при малых скоростях движения.

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 м³ газа. При давлении 20 МПа в баллон емкостью 50 л вмещается до 10 м³ газа, следовательно, для суточного пробега необходимо иметь не менее восьми таких баллонов (вес около 700 кг).

Биометан, как и другие газовые топлива, имеет низкую объемную концентрацию энергии, поэтому в качестве моторного топлива он может применяться в сжатом (до 20 – 40 МПа) или сжиженном состоянии.

Уменьшить объем газа почти в 600 раз позволяет его сжижение. Но до последнего времени не существовало экономически целесообразной

технологии сжижения газообразного биометана, поэтому в двигателях внутреннего сгорания он ранее не применялся.

Однако применение сжатого биометана на мобильной сельскохозяйственной технике затруднено из-за массогабаритных показателей топливных систем, сложности размещения баллонов на тракторах без ухудшения их агротехнических показателей, невозможности обеспечения необходимым запасом моторного топлива при проведении посевных и уборочных работ. Для тракторной техники расход биометана составляет 4–5 кг/ч, а баллон содержит всего 4,3 кг газа, т. е. трактор с четырьмя баллонами сможет проработать не более 3–4 ч.

Применение сжиженного биометана (СБМ) позволяет уменьшить массу топливной системы в 3 – 4 раза, а ее объем – в 2 – 3 раза по сравнению со сжатым биометаном.

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, η_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_2 .

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 CO и NO_x 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 био-

метана требуется применение двойной системы топливоподачи 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.

1.5.1.6 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) (таблица 1.45). 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 NO_x в ОГ в 3...4 раза. Наблюдается увеличение выбросов угарного газа СО и углеводородов C_nH_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 (см. таблицу 1.45), более низкая температура са-

мовоспламенения 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 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».

1.5.2. Использование спиртов в качестве топлива

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

Метанол (метиловый 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. 1.46.

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

Т а б л и ц а 1.46. 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.

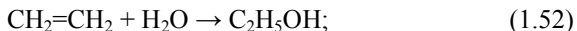
1. Известный с давних времён способ получения этанола – спиртовое брожение органических продуктов, содержащих сахар (свёкла и т. п.). Аналогично выглядит переработка крахмала, картофеля, риса, кукурузы, древесины под действием фермента зимазы. Реакция эта довольно сложна, её схему можно выразить уравнением:



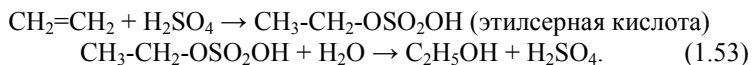
В результате брожения получается раствор, содержащий не более 20% этанола, так как в более концентрированных растворах дрожжи обычно гибнут. Полученный таким образом этанол нуждается в очистке и концентрировании, обычно путем дистилляции.

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):



Эта реакция осложняется образованием диэтилового эфира.

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.

Превосходные свойства этанола как горючего обеспечивает двигателям 20 %-ное увеличение мощности по сравнению с чистым бензином. Массовая плотность и теплотворная способность этанола ниже, чем бензина, соответственно теплота сгорания (24 МДж/м³) на 40% ниже, чем бензина (39 МДж/м³). Однако лучшее горение этанола компенсирует это уменьшение теплотворной способности. При этом двигатели потребляют примерно одинаковое количество газохолоа и бензина.

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 [30].

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).

Этанол способствует снижению образования парниковых газов, выбросов котельных и автомобильных выхлопов, токсических веществ и аэрозолей в атмосферу. Это эквивалентно исчезновению 1 миллиона автомобилей с дорог каждый год (при текущем производстве в США 16 млрд. литров) [68].

Использование 10% смесей этанола снижает выброс парниковых газов на 12–19% по сравнению с обычным бензином. Этанол снижает выброс оксида углерода (CO) на 30% (даже в новых автомобилях), твердых частиц – на 50%, уменьшает образование вторичной пыли, количество ароматических углеводородов в бензине. Токсичность отработавших газов снижается на 21%.

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.

Просто заменить ДТ на спирт в штатной топливной системе дизеля невозможно. Необходимо компенсировать изменение свойств этих топлив. В настоящее время исследователями выделены разнообразные способы применения спиртов в качестве топлив для дизелей: растворы и эмульсии спиртов в дизельном топливе; карбюрирование или впрыскивание спирта во впускную систему, а дизельного топлива в цилиндр; впрыскивание спирта и запального топлива в цилиндр; конвертация дизеля в двигатель с внешним смесеобразованием и принудительным зажиганием; впрыскивание спирта с присадкой, повышающей цетановое число.

При использовании эмульсии метилового спирта в ДТ наблюдается снижение содержания сажи и твердых частиц в ОГ дизеля, что являет-

ся следствием повышенного содержания кислорода в спирте. При использовании спирта температура отработавших газов снижается, соответственно уменьшаются выбросы NO_x . Содержание CO остаётся на уровне работы на ДТ. Наблюдается незначительное повышение CO_2 и C_nH_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.

1.5.3. 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 [43].

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.

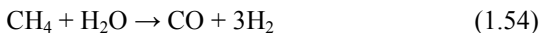
4. Производство водорода фотокаталитическими методами.

5. Получение водорода из сероводорода.

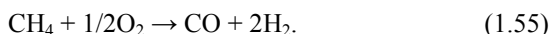
6. Получение водорода из углеводородного сырья (метод паровой конверсии, метод каталитической конверсии лёгкого углеводородного сырья и газификации тяжёлых нефтяных остатков, плазменный риформинг).

7. Одноступенчатые методы разложения воды на водород и кислород.

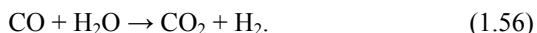
Для промышленного получения водорода основными видами сырья являются природные горючие газы, коксовый газ и газы нефтепереработки, а также продукты газификации твёрдых и жидких топлив (главным образом угля). Важнейшими способами производства водорода из природного газа являются каталитическое взаимодействие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



и неполное окисление углеводородов кислородом:



Образующаяся окись углерода также подвергается конверсии:



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 источникам может быть энергия ветра, солнца и т.п.

Мощности по производству водорода в мире оцениваются в 40 млн. тонн в год. Практически весь вырабатываемый в настоящее время водород используется в различных процессах нефтепереработки и нефтехимии.

Водород (лат. Hydrogenium), Н – 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 $0,0708 \text{ г/см}^3$.

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.

1.5.3.1 Применение водорода в топливных элементах

Большой интерес уделяют непосредственному преобразованию химической энергии органического топлива в электрическую – созданию топливных элементов (ТЭ). Распространение получили низкотемпературные ($t = 150^{\circ}\text{C}$) топливные элементы с жидким электролитом (кон-

центрированные растворы серной или фосфорной кислот и щелочей (KOH). Топливом в элементах служит водород, окислителем – кислород из воздуха.

Образование электроэнергии в элементе – это процесс обмена электронами между горючим и окислителем с образованием нового соединения – продукта реакции (рис. 1.26).

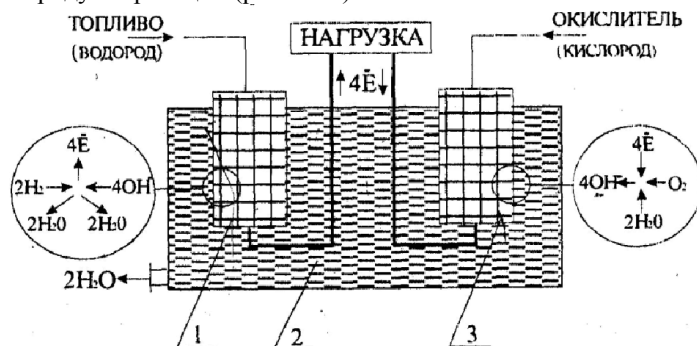


Рис. 1.26. Схема водородно-кислородного элемента: 1 – катод; 2 – электролит; 3 – анод.

Отличие реакции в элементе от реакции окисления при горении состоит в том, что в первом случае процессы протекают с точки зрения термодинамики обратимо, т.е. разность энергий электронов у исходных веществ и продуктов реакции непосредственно превращается в электроэнергию (упорядоченное движение электронов). При горении же химическая энергия переходит в энергию хаотического теплового движения атомов, молекул и их частей.

Основными преимуществами топливных элементов являются следующие:

- высокая эффективность прямого преобразования химической энергии топлива (водорода) и окислителя (кислорода) в электроэнергию (КПД = 50 – 70%);
- высокие удельные массовые характеристики: 1,2 – 5 кг/кВт, в перспективе 0,8 – 1 кг/кВт;
- компактность (большая плотность тока): 2 – 5 л/кВт, в перспективе 0,6 – 1 л/кВт;
- низкая рабочая температура (до 100°C), что обеспечивает возможность быстрого запуска и быстрого достижения максимальной мощности ЭУ;

- способность к многократным перегрузкам по току;
- высокий уровень отработки, достигнутый при создании космических ЭУ в США и России (для щелочных ТЭ).

Топливный элемент – составная часть электрохимического генератора, который содержит еще системы кондиционирования, подготовки топлива, утилизации отходов и др. (рис. 1.27). Первичным топливом могут быть метан, пары метанола, керосина, синтез-газ и т.д. Коэффициенты полезного действия у генераторов с топливными элементами изменяются от 30% (двигатели внутреннего сгорания и газовые турбины) до 60 – 65% (энергоустановки с твердооксидными топливными элементами).

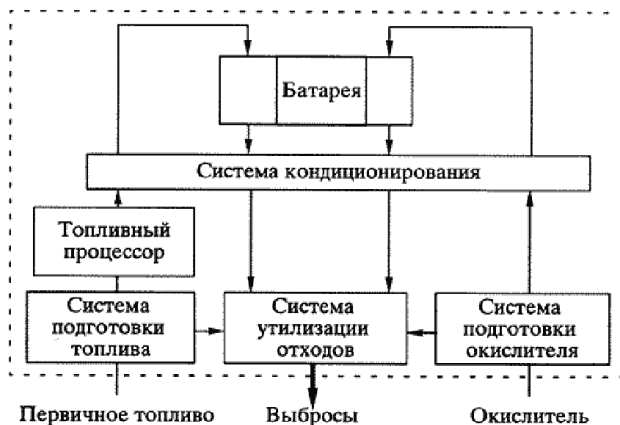


Рис. 1.27. Схема электрохимического генератора.

Эксперты связывают «водородное будущее» автотранспорта, прежде всего, с топливными элементами. Водород и кислород соединяются в «ящике с мембраной» (так упрощённо можно представить топливный элемент) и получают водяной пар плюс электричество. В отличие от аккумуляторной батареи в ТЭ обеспечивается непрерывный подвод реагирующих компонентов (горючего и окислителя) в зону электрохимической реакции, что позволяет преодолеть основной недостаток классического электромобиля (при сохранении всех достоинств) – недостаточную энергоёмкость источника энергии. Удельная энергоёмкость ТЭ в 10 раз превышает этот параметр для лучших аккумуляторных батарей (~1000 Втч/кг вместо ~100 Втч/кг соответственно). При

этом наблюдается полное отсутствие вредных выбросов, пробег определяется только запасом топлива на борту. Всё это делает ТЭ, работающую на водороде и воздухе, наиболее привлекательным источником энергии, особенно для городского транспорта. Однако серийный выпуск и массовые продажи машин на топливных элементах долгое время будут сильно сдерживаться малым числом таких заправочных станций. Да и стоимость топливных элементов пока велика.

1.5.3.2 Применение водорода в ДВС

Для повышения экологической чистоты бензиновых ДВС и их экономичности до уровня дизельных двигателей было предложено использовать водород в качестве основного моторного топлива или как добавки к бензину.

Интерес ученых в области двигателестроения всегда привлекали своеобразные физико-химические свойства водорода, главным достоинством которых для ДВС является экологическая чистота рабочего процесса. Известный научно-технический опыт использования водорода в качестве топлива для ДВС показывает, что водород совместим с существующей базовой конструкцией поршневого ДВС. При этом водород кардинально улучшает экологическую эксплуатационную характеристику и имеет широкую сырьевую базу. Организация рабочего процесса двигателя, работающего на водороде или с его добавкой к другим топливам, имеет особенности и требует разработки новых способов топливоподачи.

Использование водорода в качестве топлива для ДВС представляет собой комплексную проблему, которая включает обширный круг вопросов:

- возможность перевода на водород современных двигателей;
- изучение рабочего процесса двигателей при работе на водороде;
- определение оптимальных способов регулирования рабочего процесса, обеспечивающих минимальную токсичность и максимальную топливную экономичность;
- разработку системы топливоподачи, обеспечивающую организацию эффективного рабочего процесса в цилиндрах ДВС;
- разработку эффективных способов хранения водорода на борту транспорта;
- обеспечение экологической эффективности применения водорода для ДВС;

– возможность заправки и аккумуляирования водорода для двигателей.

При сгорании водорода в двигателе образуется практически только вода, и в этом отношении двигатель на водородном топливе является наиболее экологически чистым. Также водород имеет высокие энергетические свойства – низшая теплота сгорания водорода составляет 120 МДж/кг (бензин – 41 – 44 МДж/кг, дизельное топливо – 42–43 МДж/кг).

При высокой массовой энергоплотности объемная энергоплотность водорода на 15–20% ниже по сравнению с бензином. С воздухом водород устойчиво воспламеняется в широком диапазоне концентраций вплоть до коэффициента избытка воздуха $\alpha = 10$, что обеспечивает нормальную работу двигателя на всех скоростных режимах в широком диапазоне изменения состава смеси от $\alpha = 0,2$ до $\alpha = 5$. Критическая степень сжатия при стехиометрическом водородо-воздушном составе смеси не превышает 4,7, что соответствует октановому числу по исследовательскому методу 46 единиц, в то время как при $\alpha = 3,5$ степень сжатия достигает 9,4 и октановое число равно 114. Таким образом, при достаточном обеднении смеси возможна бездетонационная работа водородного двигателя в широком диапазоне степеней сжатия.

Исследования в области применения водорода для ДВС отличаются широким спектром вариантов использования водорода для двигателей внешнего и внутреннего смесеобразования, при использовании водорода в качестве присадки, частично замещая топливо водородом, и работе двигателя только на водороде.

Используют водород в двигателях, работающих на традиционном топливе нефтяного происхождения, а также в сочетании с альтернативным топливом. Например, со спиртами (этиловый, метиловый) или природным газом. Возможно использование водорода в сочетании с синтетическим топливом, мазутами и др.

Качественное влияние на рабочий процесс ДВС водорода определяется, прежде всего, его свойствами. Он обладает более высокой диффузионной способностью, большей скоростью сгорания, широкими пределами воспламенения. Энергия воспламенения водорода на порядок меньше, чем у углеводородных топлив. Реальный рабочий цикл определяет более высокую степень совершенства рабочего процесса ДВС, лучшие показатели экономичности и токсичности.

Кроме того, перевод на водород обычных ДВС не только делает их чистыми, но и повышает термический КПД и улучшает гибкость рабо-

ты. Это происходит потому, что водород обладает намного более широким по сравнению с бензином диапазоном пропорций смешивания его с воздухом, при которых ещё возможен поджег смеси, и сгорает водород полнее, даже вблизи стенок цилиндра, где в бензиновых двигателях обычно остаётся несгоревшая рабочая смесь. Водородно-воздушная смесь устойчиво воспламеняется в диапазоне концентраций от $\alpha=0,2$ до $\alpha=10$. Это обеспечивает возможность работы в широком диапазоне скоростных режимов при регулировании мощности качественным и количественным способами.

Значительный эффект по повышению КПД традиционных автомобильных двигателей, особенно в области малых нагрузок, дает переход на топливные смеси с большим избытком воздуха. При этом уникальные моторные свойства водорода позволяют даже при относительно небольших его добавках к бензовоздушной смеси реализовать такие степени обеднения смеси, которые недоступны любому другому способу.

Чтобы приспособить существующие конструкции поршневых ДВС, бензиновых и дизелей к работе на водороде как основном топливе, необходимы определенные изменения, в первую очередь, – конструкции топливоподающей системы. Известно, что применение внешнего смесеобразования приводит к уменьшению наполнения двигателя свежим окислителем, а значит и снижению мощности до 40% из-за низкой плотности и высокой летучести водорода. При использовании внутреннего смесеобразования картина меняется, энергоемкость заряда водородного дизеля может возрасти до 12% или может быть обеспечена на уровне, соответствующем работе дизеля на традиционном углеводородном дизельном топливе. Особенности организации рабочего процесса водородного двигателя определяются свойствами водородно-воздушной смеси, а именно: пределами воспламенения, температурой и энергией воспламенения, скоростью распространения фронта пламени, расстоянием гашения пламени.

Но в водородных двигателях внутреннего сгорания скорость распространения фронта пламени при сгорании водорода в 5–6 раз выше, чем при сгорании бензина. Это приводит к большим механическим и тепловым нагрузкам на детали кривошипно-шатунного механизма двигателя.

Для современных конструкций двигателей наиболее эффективно использование водорода в качестве добавки к бензино-воздушной смеси. При этом не требуется серьезных изменений в конструкции топ-

ливной системы и системы двигателя в целом. С другой стороны, добавка водорода в широких пределах активизирует рабочий процесс в двигателе.

Практически во всех известных исследованиях рабочего процесса водородного двигателя отмечается трудноконтролируемое воспламенение водородно-воздушной смеси. Воздействие на преждевременное воспламенение путем подачи воды во впускной трубопровод или путем впрыска «холодного» водорода исследованы и дают положительные результаты.

Остаточные газы и горячие точки камеры сгорания интенсифицируют преждевременное воспламенение водородно-воздушной смеси. Это обстоятельство требует дополнительных мероприятий по предупреждению неконтролируемого воспламенения. В то же время низкая энергия воспламенения в широких пределах коэффициента избытка воздуха позволяет использовать существующие системы зажигания при переводе двигателей на водород.

Самовоспламенение водородно-воздушной смеси в цилиндре двигателя при степени сжатия, соответствующей дизелям, не происходит. Для самовоспламенения этой смеси необходимо обеспечить температуру конца сжатия не менее 1023K. Возможно воспламенение воздушной смеси от запальной порции углеводородного топлива за счет увеличения температуры конца сжатия применением наддува или подогревом на впуске воздушного заряда.

Водород в качестве топлива для дизелей характеризуется большой скоростью распространения фронта пламени. Эта скорость может превышать 200 м/с и вызывать возникновение волны давления, перемещающейся в камере сгорания со скоростью свыше 600 м/с. Высокая скорость сгорания водородно-воздушных смесей, с одной стороны, должна оказывать положительное влияние на повышение эффективности рабочего процесса, с другой стороны, этим предопределяются высокие значения максимального давления и температуры цикла, более высокая жесткость рабочего процесса водородного двигателя. Повышение максимального давления цикла влечет снижение моторесурса двигателя, а увеличение максимальной температуры приводит к интенсивному образованию окислов азота. Возможно снижение максимального давления за счет дефорсирования двигателя или сжигания водорода по мере его подачи в цилиндр на такте рабочего хода. Снижение эмиссии окислов азота до незначительного уровня возможно путем обеднения рабочей смеси или путем использования воды, пода-

ваемой во впускной трубопровод. Так, при $\alpha > 1,8$ эмиссия окислов азота практически отсутствует. При подаче воды по массе в 8 раз больше, чем водорода, эмиссия окислов азота снижается в 8... 10 раз.

В дизелях, работающих всегда при избытке воздуха в смеси, содержание в продуктах сгорания окиси углерода и углеводов незначительно ниже по сравнению с бензиновыми двигателями, а уровень содержания окислов азота сравнительно близок. Дизели выбрасывают значительное количество сажи, являющейся адсорбентом для полициклических ароматических углеводов, часть которых обладает канцерогенными свойствами. Именно сажа оказывает большую роль на общий уровень токсичности отработавших газов дизелей.

Благодаря снижению содержания углеводородного топлива при работе на водороде состав отработавших газов существенно отличается от традиционного. Однако даже при работе на чистом водороде из-за выгорания углеводородных смазок, попадающих в камеру сгорания, наблюдается незначительное количество углеводородных соединений. При использовании углеводородных топлив для воспламенения рабочей смеси количество углеводородных соединений зависит от количества запального углеводородного топлива.

Исследования показывают, что при внутреннем смесеобразовании водородного двигателя продолжительность впрыска водорода оказывает влияние на содержание водорода в продуктах сгорания. Решение вопроса смесеобразования водородно-воздушной смеси для дизелей имеет значимое влияние на показатели водородного двигателя внутреннего смесеобразования.

Формирование рабочей смеси водородного дизеля должно обеспечивать гомогенность водородно-воздушного горючего тела. Этого можно достичь за счет оптимизации формы камеры сгорания и динамики развития струи водорода, подаваемого в цилиндр, с учетом движения свежего заряда воздуха в цилиндре.

Экспериментальные исследования по использованию водорода в качестве топлива для поршневого ДВС показывают, что существует проблема детонационного сгорания. При этом авторы определяют различные пределы детонационной стойкости водородно-воздушной смеси в связи с разной ее оценкой. Так, оценка по стуку в двигателе дает результаты, почти в два раза отличающиеся от оценки по амплитуде высокочастотных колебаний на линии сгорания индикаторной диаграммы.

Отдельные исследования показывают, что исчезновение стука наблюдается при степени сжатия 8, однако при этом колебания на ли-

нии сгорания имеются. Это значит, что оказывает влияние тепловое состояние двигателя, температура цикла в совокупности с качеством смесеобразования. Возможно использование антидетонационных свойств воды для исключения детонации водородного двигателя.

При использовании водорода для двигателей внешнего смесеобразования индикаторные и эффективные показатели ухудшаются. Чем больше процент добавки водорода, тем ниже индикаторный КПД и выше температура выпускных газов. Добавка водорода выше 30% от суммарного подведенного тепла при $\alpha=1,35$ вызывает детонационно-подобное сгорание, сопровождающееся появлением стуков и резким падением мощности двигателя. Кроме того, увеличивается объем водорода в выпускных газах и повышается количество окислов азота, содержание окиси углерода и углеводородов снижается.

Подача 5% по массе пароводородной смеси на впуск дизеля позволяет улучшить параметры рабочего процесса и снизить дымность отработавших газов на 30%, а содержание окислов азота в 2,4 раза. Большие добавки пароводородной смеси приводят к росту максимального давления цикла и скорости нарастания давления, т.е. снижается надежность дизеля.

В то же время, согласно исследованиям ряда специалистов, добавка 5% водорода уменьшает требования к октановому числу на 10%. Опытная эксплуатация автомобиля на бензино-водородной смеси показала, что индикаторный КПД двигателя с оптимальными добавками водорода увеличивается на 25%, эксплуатационный расход топлива уменьшается на 25–40%. При работе двигателя на холостом ходу практически исключается выброс токсичных веществ с отработавшими газами.

Итак, рабочий процесс водородного двигателя включает: жесткость сгорания, детонацию, неконтролируемое воспламенение, эмиссию окислов азота, формирование водородно-воздушной смеси. Одновременно известные исследования предлагают мероприятия, обеспечивающие нормальную работу двигателя на водороде.

Обширный объем исследований возможности применения водорода в качестве топлива для ДВС обуславливает необходимость методического систематизированного анализа в зависимости от поставленной технической цели, ее граничных условий.

Так, если целью является использование водорода в качестве основного топлива без потери мощности базового двигателя, то систематизация показывает целесообразность внутреннего смесеобразования

при воспламенении горючей смеси от запальной порции углеводородного топлива. Исследования этого направления показывают улучшение экологических и экономических показателей дизеля.

Индикаторный расход топлива в этом варианте снижается на 0,25 МДж/(кВтч) при 50%-ном замещении дизельного топлива водородом. Коэффициент избытка воздуха возрастает с 1,5 до 1,7, т.е. на частичных нагрузках смесь обедняется на 12%, а на номинальном режиме – на 15%. Это позволяет сохранить уровень окислов азота в отработавших газах и в два и более раза снизить содержание сажи на выпуске. В зависимости от нагрузки для обеспечения нормальной работы двигателя без стука целесообразно на впуск подавать воду в соотношении 1:1 к подаваемому водороду, особенно на режимах полной нагрузки и близким к ней.

Предлагаемые варианты предусматривают формирование водородно-воздушной смеси на такте сжатия в период после закрытия клапанов до подачи дизельного топлива. Газообразный водород, подаваемый в цилиндр клапан-форсункой, поступает через отверстие, расположенное под углом 20...25° к тангенциальному направлению вращения заряда, усиливает вихревое движение заряда и способствует гомогенизации водородно-воздушной смеси. Если вершина струи водорода достигает противоположной стенки камеры сгорания, а энергия вихревого движения заряда достаточна, чтобы распределить водород по окружности, то можно считать, что водородно-воздушная смесь гомофазная. Часть водорода направляется в зону струи углеводородного топлива, обеспечивая эффект торможения процесса сажеобразования.

Процесс конвертации дизеля на водород можно условно разделить на два основных, последовательно выполняемых этапа.

Первый включает аккумулирование водорода в баллонах, приоритетное использование внутреннего смесеобразования и создание топливоподающей аппаратуры с подачей водорода на такте сжатия при давлении порядка 10 МПа, воспламенение горючей смеси от запальной порции углеводородного топлива, исследование процессов смесеобразования и управление ими; изучение термодинамических особенностей криогенного водорода как моторного топлива.

Второй включает создание криогенной системы хранения водорода, разработку адекватной системы управления всеми процессами, связанными с использованием водорода на транспорте; организацию рабочего процесса при работе на чистом водороде с принудительным воспламенением от свечи; исследование возможности подачи водорода в цилиндр вариантными способами.

Отсутствие углерода в водородном топливе приводит к тому, что в отработавших газах практически отсутствуют оксиды углерода (CO и CO_2) и несгоревшие углеводороды (C_nH_m). Незначительные количества этих продуктов в отработавших газах обусловлены выгоранием смазочных материалов, попадающих в камеру сгорания. Выброс оксидов азота при стехиометрическом составе смеси за счет более высокой температуры горения водородо-воздушной смеси вдвое превышает выброс оксидов азота бензинового двигателя. Обоеднение смеси приводит к быстрому снижению оксидов азота, а при $\alpha = 1,8$ они в отработавших газах практически отсутствуют. Оксиды азота, также легко обезвреживаются в каталитических нейтрализаторах. По этой причине водородное топливо для многих представляется идеальным инструментом для полного решения проблемы загрязнения окружающей среды.

Сегодня развитие водородной энергетики сдерживается экономическими соображениями. Стоимость киловатта установленной мощности (более 3...4 тыс. долларов) на порядок больше, чем в традиционной энергетике. Кроме того, цена водорода на порядок выше, чем обычного топлива. Тем не менее, цена обычного топлива будет расти, а энергии, произведенной водородными устройствами, – падать. Поэтому водородная энергетика вполне перспективна.

1.5.4. Топлива на основе растительных масел

1.5.4.1 Растительные масла без химической обработки

Растительные масла в чистом виде были впервые испытаны в двигателе Рудольфа Дизеля в конце XIX века. В последующем его вытеснило нефтяное топливо в связи с меньшей стоимостью. Однако после повышения цен на нефть в 1977 году исследователи вновь вернулись к растительным маслам, как альтернативному возобновляемому топливу для дизельных двигателей. Научный поиск при исследовании растительных видов топлива ведётся в различных направлениях (рис. 1.28) в Европе (Англия, Германия, Польша, Франция, Швеция), в Азии (Япония, Китай, Индия, Индонезия) и США.

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 NO_x с ОГ, но увеличение концентрации C_nH_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 (табл. 1.47). 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 $3...3,5^\circ$ ПКВ и продолжительность впрыскивания больше на $1,5...2,5^\circ$ ПКВ, структура факела в поперечном сечении становится более неравномерной, угол раскрытия факела уменьшается, факел становится более дальнобойным. Остаточное давление в топливopоводе выше для рапсового масла. Для растительных масел время полного подъёма иглы более стабильно. Игла садится в седло в течение более длительного промежутка времени. При подаче растительного масла давление впрыска является более высоким. При использовании растительного топлива наблюдается более высокая скорость уве-

личения давления в топливопроводе высокого давления.

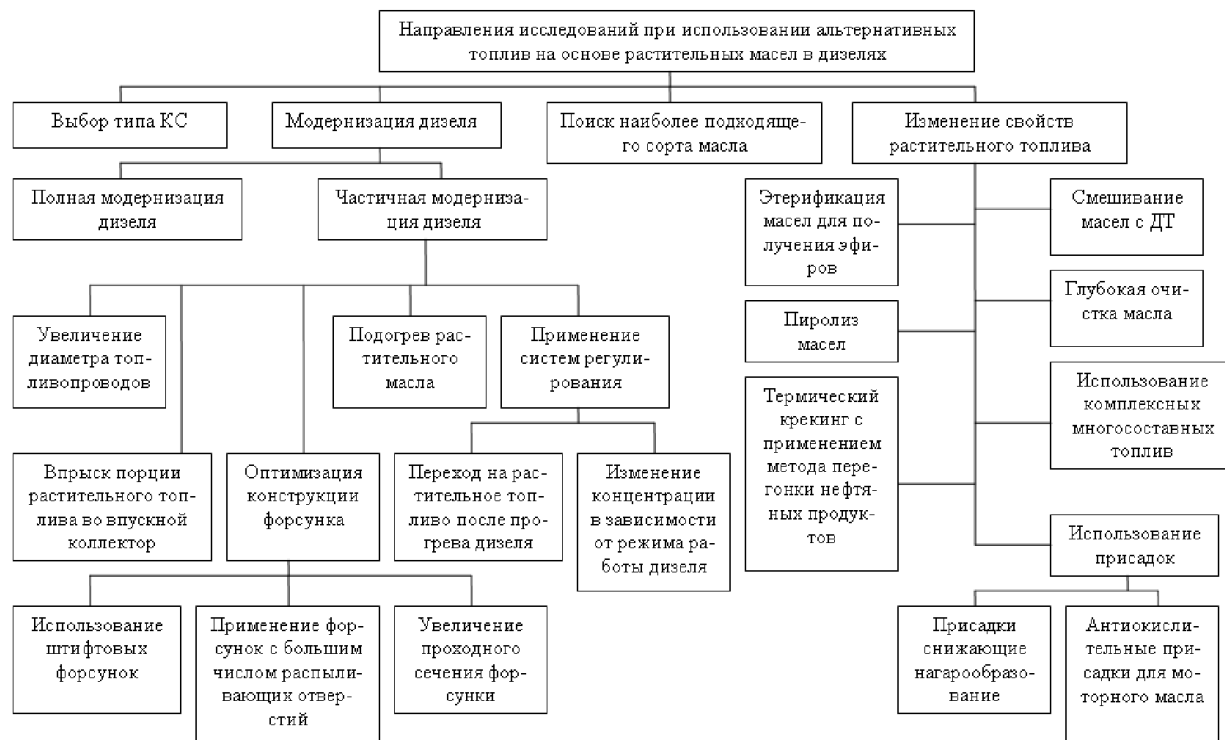


Рис. 1.28. Направления исследований применения топлив на основе растительных масел в дизелях.

Т а б л и ц а 1.47 Свойства растительных масел, применяемых в качестве топлива в дизелях

Свойства	Ед. изм.	Рапсовое масло	Подсол- нечное масло	Кокосо- вое масло	Соевое масло	Арахисо- вое масло	Пальмовое масло	Оливковое	Хлопковое
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Элементарный состав, С:Н:О	кг/кг	78:10:12 ¹	78,3:12,8: 8,75	—	—	78,3:12,3: 9,36	—	—	—
Стехиометрическое соотношение	кг/кг	12,6	11,1	—	—	11,2	—	—	—
Плотность при 20 °С	кг/м ³	916–917	923	910– 921***	923–924	917,3... 917	898..918	914	919
Кинематическая вязкость при 20 °С	сСт	75–76	63–65,2	—	57,2	81,5	88	74	84
Кинематическая вязкость при 40 °С	сСт	36	30,7	—	30,2	—	—	—	—
Низшая расчетная теплота сгорания	МДж/кг	37,3	36–39,8 ¹	40,2	36–39,7	37	37,1–40,4	—	34...39,72
Теплотворная способность	кДж/кг	39,4	39,4	39,4	37,1	39,4	39,5	39,4	38,2
Коксеуемость 10% остатка	% по массе	0,4	0,52*	—	0,44	—	—	0,2	0,23
Содержание серы	% по массе	—	0,01*	—	—	—	—	—	—
Температура помутнения	°С	-9	-6,7	—	—	3,3	—	—	—
Температура застывания	°С	-23	-16	—	-12	—	-8	-12	-4
Цетановое число		36	37	—	38	36,6	49	—	41
Температура самовоспламенения	°С при 1 атм.	317–318	316–320	320–324	318–330	233–290	315–330	285	316-32
Температура вспышки в закрытом тигле	°С	305	320	—	220	—	290	—	318
Коэффициент поверхностного натяжения	мН/м	33,2	—	—	—	—	—	—	—
Иодное число	—	—	137*	—	—	—	53...57	—	—
Кислотное число	мгКОН/100мл топлива	4,66	0,8*, 2,14	—	0,03	—	0,17	5,9	0,23
Содержание масла	%	43	42	—	22	37	—	—	—

Продолжение т а б л и ц ы 1.47.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Выход масла	л/кг	0,37	0,25	—	0,07	0,3	—	—	—
Извлечение масла	%	72,1	65,6	—	32,3	73,5	—	—	—
Затраты энергии	Вт/кг	47	118,3	—	178,4	174	—	—	—

* масло прошло фильтрацию, водную очистку и центрифугирование. ** кинематическая вязкость при 37,8 °С. *** плотность при 15 °С.

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 с сгоранием ДТ.

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

1.5.4.2 Метиловый эфир рапсового масла.

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.

Рассмотрим энергетический баланс производства МЭРМ и смесового топлива на основе рапсового масла на примере 1 га посева рапса (табл. 1.47).

Затраты на производство рапсовых семян составляют 17,7 ГДж, на извлечение масла – 0,7 ГДж. Из таблицы 1.48 видно, что затраты энергии при производстве МЭРМ выше, чем выход по топливной составляющей. Это связано с необходимостью тратить дополнительную энергию при реакции трансэтерификации. Для РМ выход энергии по топливной составляющей выше, чем затраты и достигает 10,4 ГДж, что эквивалентно 298 л дизельного топлива. Однако при условии рационального использования шрота и соломы по обоим видам топлива наблюдается положительный баланс энергии: 85,4% для РМ и 62,1% для МЭРМ.

Т а б л и ц а 1.48. Энергетический баланс альтернативных видов топлива на основе РМ

Смесевое топливо	
Затраты энергии, ГДж/га	18,4
Выход энергии, ГДж/га:	
по топливной составляющей	29,3
топливу и шроту	61
топливу, шроту и соломе	125,8
Метиловый эфир рапсового масла	
Затраты энергии, ГДж/га	47,7
Выход энергии, ГДж/га:	
по топливной составляющей	28,0
топливу и шроту	61,15
топливу, шроту и соломе	126,0

Метиловый эфир может подаваться в двигатель как в чистом виде, так и в смеси с ДТ через штатную топливopодaющую систему. Необходимо 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. Метиловый 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_2 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_x на 10%.

1.5.5. Местные виды топлива.

Под местными видами топлива будем подразумевать биомассу и

торф.

Биомасса – это углеродосодержащие органические вещества растительного и животного происхождения (древесина, солома, растительные остатки сельскохозяйственного производства, навоз и др.). Также к ней относят органическую часть твердых бытовых отходов и иногда торф. Для производства энергии преимущественно применяют твердую биомассу и полученные из нее жидкие и газообразные топлива – биогаз, биодизель, биоэтанол.

Биогаз, биодизель и биоэтанол были рассмотрены в предыдущих главах, поэтому в данной главе на этих видах биотоплива заострять внимание мы не будем.

В качестве биотоплива могут быть использованы: древесина, отходы древесины, образующиеся при ее рубке и обработке, биомасса быстрорастущих кустарниковых и травянистых растений, лигнин, горючая часть коммунальных отходов, отходы, получаемые при мелиоративных работах, расчистке территорий под новое строительство, отходы растениеводства, горючие отходы перерабатывающей и пищевой промышленности, животноводства.

1.5.5.1. Мировой опыт использования местных видов топлива

Сегодня биомасса – четвертое по значению топливо в мире, дающее около 2 млрд. тонн условного топлива (у.т.) в год, что составляет около 14% общемирового потребления первичных энергоносителей (в развивающихся странах – более 30%, а иногда и 50 – 80%).

Рассмотрим, как в различных странах мира подходят к проблеме использования местных видов топлива и мировые тенденции в этом направлении.

В развитых странах Европы использование биомассы для производства тепла значительно выросло со времени нефтяного кризиса в конце XX в. и заняло определенное и стабильное место в топливном балансе с тенденцией увеличения. Особенно это относится к тем странам, в которых нет своей добывающей топливной промышленности с возможностями экспорта, таких, как Дания, Швеция, Финляндия, Голландия и т.д.

И в настоящее время производство энергии из возобновляемых источников, в том числе биомассы, динамично развивается в большинстве стран Европы. В 1995 г. в ЕС на долю возобновляемых источников энергии приходилось 74,3 млн. тонн нефтяного эквивалента (н.э.), что составляло около 6% общего потребления первичных энергоноси-

телей. Из них доля биомассы находилась на уровне более 60%, что составляло около 3% общего потребления первичных энергоносителей. В отдельных странах доля биомассы в общем потреблении первичных энергоносителей значительно превышала среднеевропейскую: в Финляндии – 23% (мировой лидер среди развитых стран), в Швеции – 18%, в Австрии – 12%, в Дании – 8%, в Канаде и Германии – 6%, в США – 3%. В соответствии с программой развития возобновляемых источников энергии, в 2010 г. в странах ЕС доля биомассы достигнет 182 млн. тонн н.э., или 74% общего вклада возобновляемых источников энергии. Следовательно, биомасса является наиболее мощным сектором возобновляемых источников энергии в ЕС. Ни одна из развитых стран мира не заявила о планах по сокращению потребления энергии биомассы. Наоборот, национальные энергетические программы стран ЕС, США и Канады содержат планы по дальнейшему существенному росту этого сектора возобновляемых источников энергии.

Использование твердой биомассы: древесина и остаточные сельскохозяйственные материалы, такие, как солома, являются, вероятно, наиболее рентабельным типом возобновляемых энергоносителей. Увеличение использования биомассы является наиболее важным элементом в стратегии ЕС, нацеленной на удваивание использования возобновляемых энергоносителей в период с 1995 по 2010 год, но развитие в 15 странах ЕС идет не так быстро, как ожидалось. В Дании использование древесины и соломы увеличилось в 2,4 раза за период с 1980 по 2001г., и в настоящее время покрывает более 5% основного потребления энергии. Для Беларуси эта цифра составляет 3–4%, несмотря на то, что имеющийся потенциал гораздо больше.

Использование соломы в качестве топлива практикуется довольно давно. Эта технология успешно используется на Западе, в США и Китае.

Во многих странах мира энергетика на растительной и древесной биомассе становится эффективной самоокупаемой отраслью, конкурентоспособной по отношению к энергетике на ископаемом топливе.

Широкое использование биомассы для производства энергии в Финляндии в большой степени объясняется сотрудничеством между компаниями лесного сектора, энергетическими предприятиями и муниципалитетами. Лесное хозяйство – крупнейшая отрасль промышленности Финляндии: целлюлоза, бумага и другие продукты переработки древесины приносят более 35 % экспортной выручки страны. Многие финские целлюлозно-бумажные комбинаты имеют собственные котельные для производства тепла и электроэнергии из древесных

отходов и растворов целлюлозного производства. Некоторое количество древесины также специально выращивается для нужд энергетики. Топки с кипящим слоем, широко используемые в лесной промышленности, позволяют использовать различные виды топлива и сжигать биомассу с высоким содержанием влаги.

Теплоэлектростанции, которые часто строятся совместно с муниципалитетами и энергетическими предприятиями, могут снабжать теплом местные отопительные системы и электричеством местные сети.

Крупнейшая теплоэлектростанция, работающая на биомассе, была пущена недалеко от города Jacobstad / Pietarsaari на западном побережье Финляндии в декабре 2001 г. энергетической компанией Alholmens Kraft. Основные функции станции это: эффективная утилизация биомассы побочных продуктов соседних целлюлозно-бумажных и лесопильных производств, генерация электроэнергии для поставок на рынок (мощность 240 МВт), производство промышленного пара (100 МВт), снабжение паром для отопления производств и районной отопительной сети (60 МВт). Эта теплоэлектростанция использует смесь различных видов древесного биологического топлива: кору, опилки, щепу, торф, а уголь – в качестве резервного топлива.

В Чехии также широко начали использовать биомассу для производства тепла. В виде топлива используют древесные отходы, щепу, опилки, брикеты, гранулы, солому и другую биомассу. Первые котлы, работающие на биомассе, в Чехию завезли, как и в Латвию, из Западной Европы. Чехи отмечают, что первые проекты, осуществляемые с участием иностранных государств, были сравнительно дороги, не была установлена самая современная техника, которая широко используется в Западной Европе. С первыми проектами было довольно много проблем, которые разрешались постепенно. Со временем Чехия сама освоила производство котлов на биомассе и с помощью этого добилась технического соответствия котлов для условий этой страны, а также уменьшения стоимости котлов до 50%. Чехи производят котлы как для местного (децентрализованного) отопления, так и для централизованного теплоснабжения.

Большое внимание в Чехии уделяется разнообразию используемой биомассы. Выращиваются быстрорастущие деревья, травы и специальные зерновые культуры для нужд энергетики.

В Литве самый используемый вид биомассы – древесина. Леса занимают 2,02 млн. гектаров или 30,9% от площади государства. Ежегодный прирост древесной массы оценивается в 11,7 млн. м³. Объем лесопереработки в государственных лесах достигает 5 млн. м³ в год с

предполагаемым ростом на 46% в течение последующих 10 лет.

В Литве на древесине работают больше чем 90 котлов с общей мощностью 230 МВт. Эта мощность в ближайшие годы должна увеличиться на 40 – 50 МВт. Древесину в основном используют для производства тепла, кроме этого на отходах древесины работает ТЭС деревообрабатывающей компании Pjurio Mediena, где работает паровая турбина мощностью 1,5 МВт. Производством котлов, работающих на древесине, занимаются достаточно много литовских предприятий, самое крупное из них – АО Kazlu Rudos metalas, которое установило или реконструировало в Литве 43 котла в 37 котельных с общей мощностью 97,4 МВт и производит котлы для латвийского, российского и белорусского рынков.

Сжигание соломы для производства тепла в Литве началось в 1996г. С этого времени в Литве развернулось строительство котельных на соломе для централизованного теплоснабжения и их общая мощность составляет 7 МВт. Общие ежегодные ресурсы соломы в Литве достигают приблизительно 3,5–4,0 млн. тонн в год, из них объем используемый в энергетике – около 10–12% или 400 тыс. тонн в год. Котлы, работающие на соломе, в Литве производят многие предприятия с интервалом мощности от 15–340 МВт. Котлы на соломе используют для обогрева деревенских школ, больниц и частных домов. В энергетическом балансе Литвы объем используемой биомассы древесины и соломы составляет 8,7% от общего потребления энергии.

В Словакии основная энергетическая биомасса – древесина от лесозаготовительной и деревоперерабатывающей промышленности. Каждый год для производства тепла используют около 400 тыс. тонн древесины.

В Эстонии объем древесины для производства тепла составляет 14% от общего количества топлива. В Польше – от общего потребления топлива биомасса, в том числе древесина и солома, составляет 4,6%. Уже больше 10 котельных общей мощностью 0,5–7 МВт, использующих отходы деревообработки, подключены к системе централизованного теплоснабжения. В Словении к началу 2000 г. удельный вес древесной биомассы в топливном балансе централизованного теплоснабжения достиг 3,5%.

В Карелии с 2003 г. Союз промышленников и предпринимателей реализует программу внедрения высокотехнологичного топлива из отходов лесопереработки.

Лидирующими странами по использованию биоресурсов в Европе, как уже говорилось, являются Финляндия, Швеция и Австрия, при

этом Финляндия, Германия и Швеция являются основными странами с точки зрения развития и продвижения биоэнергетики, в основном благодаря должным регулятивным механизмам, которые позволяют обеспечить конкурентоспособность биоэнергетического топлива по сравнению с ископаемыми топливами. Основным источником биоэнергетических ресурсов является твердая биомасса (табл. 1.49), и согласно Белой книге такое положение дел сохранится до 2010 г.

Т а б л и ц а 1.49. **Баланс биоэнергетических ресурсов (млн. т н.э.)**

	1995	2000	Цели Белой книги
Твердая биомасса	42,9	48,4	102
Газообразная биомасса	1,2	1,8	15
Жидкие биотоплива	0,4	0,9	18
Всего	44,5	51,1	135

Реально отрасль биоэнергетики в Европе развивается довольно быстро. За 2001–2002 гг. число заводов по производству топлива из древесных отходов в странах Европы удвоилось. Комиссия по нетрадиционным видам топлива ЕС заключила, что потребление гранулированного древесного топлива растет сегодня на 30 % в год, в 2002г. оно составило 12 % от всех используемых источников энергии, а в 2003 г. – 18 %.

Соответственно, с 1996 г. в Европе наблюдается бум в спросе на топливные гранулы. Их цена растет ежегодно на 10 %, а производство – на 30 % в год. Реализуются программы развития биоэнергетики Дании, Швеции, Норвегии на основе использования топливных гранул, в том числе выполняется перевод теплоустановок с потребления щепы на потребление гранул.

Финляндия за 1998–2002 гг. увеличила производство wood pellets в 50 раз: с 5 тыс. тонн в год до 250 тыс. тонн в год. Много гранул поставляется на экспорт, например, в Швецию, которая в 2002 г. произвела 800 тыс.тонн гранул, а использовала 1 200 тыс.тонн, т.е. 400 тыс.тонн импортировала. Таким образом, производство топливных гранул имеет две составляющих: как для нужд собственной теплоэнергетики, так и для поставок на экспорт.

Что же касается России, то в настоящее время дрова там используют более 5 млн. семей. На эти цели расходуется свыше 50 млн. м³ древесины. Централизованно топливоснабжающими предприятиями различ-

ных форм собственности реализуется около 6 млн. м³ дров.

Согласно Постановлению Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2004 г. № 1680 необходимо обеспечить Целевую программу обеспечения в республике не менее 25 процентов объема производства электрической и тепловой энергии за счет использования местных видов топлива из альтернативных источников энергии на период до 2012 г..

Изучение потребления первичной энергии в Беларуси показывает, что в 2003 г. основную роль играли газ и нефть (59,9% и 21,7% соответственно). Местные ресурсы (торф, древесина, древесная стружка и биомасса) имеют 12% (рис. 1.29).

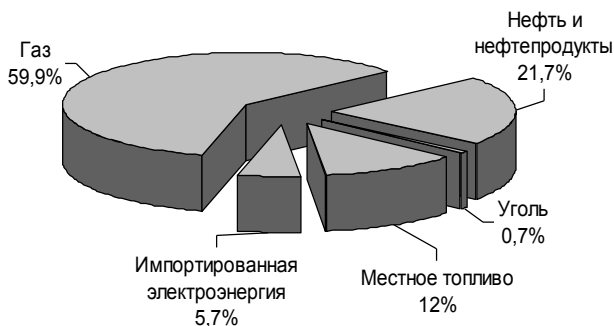


Рис. 1.29. Структура потребления первичной энергии в Беларуси (2003).

В 2004 г. в Беларуси стартовал первый полномасштабный проект, финансируемый Глобальным экологическим фондом, – «Энергия биомассы». Он включает ряд мероприятий, направленных на более широкое использование древесных отходов в качестве топлива. Главной целью проекта, реализация которого завершается в конце 2007 г., является снижение объема выбросов парниковых газов за счет устранения факторов, препятствующих экономически выгодному использованию отходов древесины в системе централизованного теплоснабжения.

Объем потребления местных видов топлива и вторичных энергоресурсов в 2005 г. составил 411,9 тыс. тонн условного топлива, в том числе дров и древесных отходов – 181,5 тыс. тонн, торфа и торфобрикетов – 70,9 тыс. т, ую, вторичных энергоресурсов и отходов производ-

ства – 172,1 тыс. тонн. Потребление попутного газа снизилось более чем на 28 тыс. тонн условного топлива.

К 2002 г. в Беларуси работало более 1350 малых и средних котельных на древесном топливе, которые обеспечивали общую тепловую нагрузку около 500 МВт за счет сжигания биомассы. В 2003 г. на предприятиях всех форм собственности на местные виды топлива (дрова, торф, древесные отходы и т.д.) было переведено 289 котлов, что позволило увеличить использование дров и древесных отходов на 70 тыс. тонн у. т. В соответствии с Программой мер по переводу низкоэффективных котельных на местные виды топлива в 2004 г. должны были быть переведены на местные виды топлива 722 котла, в том числе дополнительно установлено 374 котла, модернизировано 152 котла, заменено как физически изношенные и неэкономичные 196 котлов. Объем замещения ТЭР местными видами топлива и нетрадиционными источниками энергии в 2004 г. должен быть увеличен на 300 тыс. тонн у. т. по сравнению с 2003 г.

Важной темой при использовании древесины как топлива является тематика рафинированного древесного топлива, которой в нашей республике до последнего времени не уделялось должного внимания. Но тем не менее определенные знания и практические заделы в создании технологий, оборудования и производства рафинированного древесного топлива (гранул и брикетов) в нашей стране есть. ДТГ в небольших объемах на несовершенном, в основном бывшем в употреблении оборудовании, уже более двух лет производится в Беларуси и успешно экспортируются в страны ЕС (СООО «ЭКОГРАН», СООО «Профисистем», УП «Ива» и др.).

Одним из местных видов топлива является торф. В табл. 1.50 представлена доля использования торфа как энергетического сырья в различных странах. До начала 90-х гг. Россия занимала ведущие позиции в мире по добыче и использованию торфа. Мощности по добыче достигали 150 млн. тонн в год, производилось более 40 видов различной продукции. В настоящее время эти мощности значительно снизились и виртуально составляют 25 млн. тонн для всех направлений использования торфа.

В энергетике России объем потребления торфяного топлива в 90-е годы составлял 30 млн. тонн, число электростанций на торфе в России приближалось к 80, а мощность их достигала 3800 МВт. Сейчас добыча торфа на топливо составляет 2,5 млн. тонн, которое используется на 11 электростанциях и лишь на 3-х ТЭЦ. В малой теплоэнергетике используется примерно 700 тыс. тонн фрезерного торфа,

200 тыс. тонн брикета и 100 тыс. тонн кускового торфа. Удельный вес торфа в общем топливопотреблении электростанций, запроектированных для работы на этом виде топлива (32 электростанции), снизился до неоправданно низкого уровня: с 21% до 0,27%.

Т а б л и ц а 1.50. Доля использования торфа как энергетического сырья в различных странах

Страна	Энергетическое использование торфа, млн. т у.т.
Россия, Беларусь, Украина	3
Ирландия	1,4
Финляндия	1,4
Швеция	0,3
Китай	0,2
Эстония	0,1
Латвия	0,09
Литва	0,02

Значительное внимание использованию торфа в энергетических целях уделяют страны с высоким темпом развития экономики, а также страны с суровым климатом. Например, в Финляндии ежегодно добывается около 10 млн м³ торфа для нужд энергетики. Удельный вес его использования в выработке теплотенергии составляет 20 %.

В Республике Беларусь в соответствии с данными концерна «Белтопгаз», в 1975 г. было добыто 16,8 млн. тонн торфа. В настоящее время ежегодно добывается 2,1 – 2,3 млн. тонн фрезерного торфа. Для сравнения: в 2005 г. в России было добыто около 1,6 млн. тонн фрезерного торфа. Это свидетельствует о том, что несмотря на проблемы, связанные с распадом СССР, Беларуси удалось сохранить промышленный потенциал торфяной отрасли. Кроме того, к 2012 г. в республике планируется увеличить добычу торфа до 3,3 млн. тонн.

В современном обществе человечество постоянно наращивает потребление. Что в свою очередь приводит к увеличению отходов. Темпы накопления отходов опережают экономический рост, поэтому вполне целесообразно использовать данные ресурсы для выработки энергии за счет термических и ферментационных процессов. В некоторых странах–членах ЕС ресурсы мусорных свалок остаются незадействованными на 80% . Согласно Директиве ЕС по утилизации мусорных свалок (1999/31/ЕС) страны–члены ЕС должны постепенно сократить объемы органических выбросов до 35% от уровня 1995 г. в течение 15 лет.

В настоящее время в 18 европейских странах действуют 304 мусоросжигательных завода, и 96% из них вырабатывают энергию за счет утилизации отходов. В среднем объемы утилизации составляют 177 000 т в год на фабрику. Однако лишь биоразлагаемая часть отходов может считаться биомассой. В статистических данных такое различие между возобновляемыми и невозобновляемыми потоками отходов по-прежнему либо отсутствует, либо проводится неточно. Согласно статистике МЭА, объемы поставок первичных энергоресурсов за счет ВИЭ, полученных после утилизации твердых коммунально-бытовых отходов, составляют 5,1 млн. тонн н.э.

1.5.5.2. Источники получения местных видов 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 м³ с гектара в год, а эвкалипта – 37 м³ с гектара в год. На некоторых экспериментальных участках в Бразилии годовой прирост эвкалипта достиг 119 м³ 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 м³/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 Piermarìo, 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 производ-

ства 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.

Если проанализировать распределение запасов торфа по целевым фондам на месторождениях площадью от 50 гектаров и более по областям Беларуси, то становится ясно, что теоретически только торфопредприятия Минской и Брестской областей способны справиться с решением этой задачи. Практически же с учетом рассредоточения добывающих предприятий по территории областей и их технических возможностей реализация проектов по строительству новых мощных ТЭЦ, работающих на торфе, на сегодня нереальна. Чтобы желания стали реальными, необходимо произвести пересмотр распределения запасов торфа по целевым фондам. Анализ показывает, что среди имеющихся неразрабатываемых торфяных месторождений в Беларуси лишь на базе двух могут быть построены крупные ТЭЦ мощностью

около 100 МВт, 12 месторождений можно использовать для строительства ТЭЦ мощностью 50 МВт. Однако все эти месторождения находятся либо в природоохранном, либо в сельскохозяйственном фондах. Таким образом, во время строительства новых объектов энергетического профиля, работающих на торфяном сырье, нужно ориентироваться на мощность менее 25 МВт.

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.

1.5.5.3 Характеристика местных видов топлива

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 (CO₂), как и при естественном гниении древесины (табл. 1.51–1.53).

Т а б л и ц а 1.51. Основные характеристики натуральной топливной древесины

Характеристика, параметр	Единица измерения	Типичное значение	Изменение
Относительная влажность	%	45	20–60
Нижняя рабочая теплотворная способность	МДж/кг	9,15	17,97–5,97
	ккал/кг	2186	3573–1427
Теплотворная способность абсолютно сухой беззольной древесины	МДж/кг	19,5	18,8–20,5
	ккал/кг	4657	4419–4893
Зольность	%	1,0	0,3–6
Летучие вещества	%	81	70–85

Т а б л и ц а 1.52. Содержание компонентов в золе натуральной древесины

Вещества	CaO	P ₂ O ₅	SiO ₂	NaO	K ₂ O	При общей зольности	Норма
Значение, мг/кг (сух.)	<40	<5	<30	<10	<1	<1	<0,5

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.

Т а б л и ц а 1.53. Основные характеристики натуральной топливной древесины

Вещества	Типичное значение, %	Изменение, %
Водород (H)	5,8	5,2-6,1
Углерод (C)	50,5	49-52
Азот (N)	0,3	0,1-0,7
Сера (S)	0,05	0,01-<0,1
Хлор (Cl)	0,02	<0,1
Кремний (Si)	0,1	<1,1
Алюминий (Al)	0,015	<0,1
Железо (Fe)	0,015	<0,1
Кальций (Ca)	0,2	0,1-0,9
Магний (Mg)	0,04	<0,1
Калий (K)	0,1	0,05-0,4
Фосфор (P)	0,02	<0,1
Кислород (O)	42,3	41,5-43,4

Таким образом, энергетическое использование первичных вида древесного топлива (дров, щепы) с относительной влажностью 45–60 % в 1,8–3,5 раза снижает теплотворную способность древесины (рис. 1.30).

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, имеющие разные характеристики (табл. 1.54). Древесные гранулы предоставляют великолепные возможности для развития мирового рынка биоэнергетики в связи с их высокой энергоемкостью и стандартизированными характеристиками.

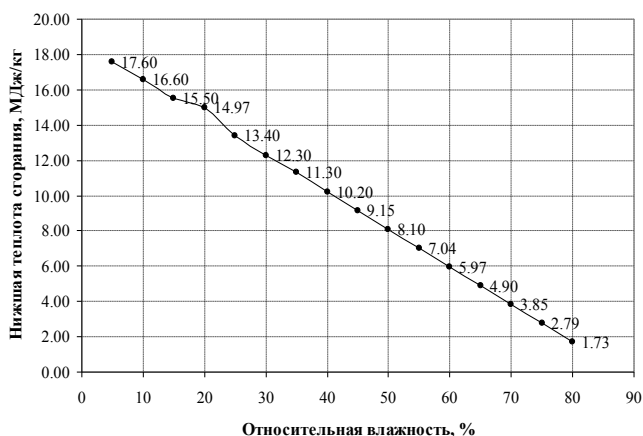


Рис. 1.30. Зависимость нижней теплоты сгорания древесного топлива от относительной влажности.

Т а б л и ц а 1.54. Сравнение различных видов биотоплива и угля

	Влагосодержание, (%)	Нижняя теплотворная способность, кВтч/кг сух.	Содержание золы, % от сухого в-ва
Древесина без коры	50 - 60	5,1 – 5,6	0,4 - 0,5
Кора	45 - 65	5,1 – 6,4	2 - 3
Лесосечные отходы (хвоя с иголками)	50 - 60	5,1 – 5,6	1 - 3
Солома	10 - 25	4 – 4,2	3 - 5
Пеллеты	< 10	> 4,7	< 0,7
Гречишные	16	2,82	1,1
Торф:			
брикеты	16	4,4	
фрезерный торф	40	12,5-3	
кусовой торф	33	3,5	
Уголь	6 - 10	7,2 – 7,9	8,5 - 10,9

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/м³.

Оценочные теплотехнические показатели древесных топливных гранул по сравнению с топливной щепой приведены в табл. 1.55.

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.

Т а б л и ц а 1.55. **Оценочные теплотехнические показатели древесных топливных гранул в сравнении с топливной щепой**

Параметры	Виды топлива			
	Рафинированное	Первичное		
	Гранулы	Щепа топливная		Щепа сухая
		влажная	полусухая	
Влажность	8	60	45	12
Теплотворная способность, Гкал/т	$\geq 4,2$	1,279	2,052	3,8
Энергетический эквивалент по отношению к условному топливу	$\geq 0,6$	0,18	0,29	0,54
Насыпная плотность, т/м ³	0,63-0,67	$\geq 0,35$	$\geq 0,25$	0,08-0,12
Среднегодовой КПД энергогенерирующей установки, %	85	30	40	65
Теплопроизводительность, Гкал/т	$\geq 3,57$	0,38	0,82	2,47
Удельный расход условного топлива на производство тепла, т/Гкал	0,168	0,474	0,357	0,22

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.

По комплексной оценке скандинавских энергопроизводителей, древесные топливные гранулы (ЦП, пеллеты) эффективнее дров и щепы в 5 – 6 раз. Этим, по-видимому, можно объяснить бум производства и энергетического использования пеллет в странах ЕС, США, Канаде, а в последние три года – и в России.

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.

Собственно гранулирование биомассы используется в мире более 30 лет. Гранулировать можно все: бумагу, солому, торф, хлопок, оливковые косточки и т.д.

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. Результаты анализов соломы в сравнении с аналогичными анализами каменного угля и природного газа показаны в табл. 1.56.

Цикл интенсивного горения топлива зависит от его химического содержания – соотношения летучих газообразных компонентов и твердого углерода. Солома сама по себе уже отчасти выполняет функции колосника. Тонна соломы горит пять часов, а теплоемкость ее выше, чем у тонны древесины. С одного га получается примерно 3 тонны соломы. Этими тремя тоннами в условиях средней полосы России можно обогревать в течение года 10 квадратных метров помещений. Это соотношение 1 га = 10 квадратных метров принято и для условий Алтая.

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 за-

лежи составляет от 0,8 до 1,2 мм в год в зависимости от режима питания торфяного болота и геоклиматических условий.

Т а б л и ц а 1.56. Результаты анализов отдельных видов топлива

Показатель анализа	Единица измерения	Желтая солома	Серая солома	Каменный уголь	Природный газ
Содержание воды	% веса	15	15	12	0
Содержание золы	% веса	4	3	12	0
Содержание углерода	% веса	42	43	59	75
Содержание кислорода	% веса	37	38	7,3	0,9
Содержание водорода	% веса	5	5,2	3,5	24
Содержание хлора	% веса	0,75	0,2	0,08	0
Содержание азота	% веса	0,35	0,41	1	0,9
Содержание серы	% веса	0,16	0,13	0,8	0
Летучие компоненты	% веса	70	73	25	100
Температура размягчения золы	°C	950	1 100	1 175	-
Температура плавления золы	°C	1 050	1 150	1 225	-
Температура сжигания золы	°C	1 150	1 250	1 275	-

По данным Международного торфяного общества, ежегодно в мире образуется почти 3 млрд. м³ торфа, что превышает объемы его использования примерно в 120 раз. Ежегодный прирост торфа на месторождениях России составляет 250 млн. тонн, в Беларуси – примерно 1 млн. тонн. В России прирост торфа в 83 раза превышает его добычу. В Республике Беларусь же наблюдается несколько иная картина. Ежегодное уменьшение запасов торфа с учетом добычи, потерь от минерализации органического вещества, ветровой, водной эрозии и пожаров составляет 13–14 млн. тонн. Это свидетельствует об отрицательном балансе возобновления торфяных ресурсов.

1.5.5.4. Потенциал использования местных видов топлива

Россия обладает четвертью мировых запасов леса. В настоящее время интенсивность роста древесины в российских лесах составляет от 1,5 м³ с гектара в год для хвойных пород до 2,5 – 3,0 м³ – для лист-

венных пород, т.е. в несколько раз меньше, чем в Скандинавии в аналогичных климатических условиях.

По состоянию на 1 января 2001 г. в России насчитывалось 406 млн. га сельскохозяйственных земель (23,8% от общей земельной территории) и 1097 млн. га лесистой местности (64,1% от общей земельной территории). По данным Интерсоларцентра, Россия ежегодно производит 15 млн. тонн биомассы. Биомасса, пригодная для энергетического производства, включает: до 800 млн. тонн древесины, 250 млн. тонн сельскохозяйственных отходов, 70 млн. тонн лесных отходов (от лесотехнических предприятий и целлюлозно-бумажных комбинатов), до 60 млн. тонн твердых коммунально-бытовых отходов и 10 млн. тонн канализационных отходов.

Финляндия заготавливает в год более 50 млн. м³ древесины против 5–6 млн. м³, заготовленных в 2002 г. в Карелии.

Развитие биоэнергетики актуально и для Украины, поскольку она обладает значительным потенциалом местных топлив, доступных для получения энергии: биомасса – до 24 млн. тонн у.т/год, торф – около 0,6 млн. тонн у.т/год. Основными составляющими потенциала биомассы являются солома (5,6 млн. тонн у.т/год) и другие отходы сельского хозяйства (стебли, початки, лузга и т.д. – 4,7 млн. тонн у.т/год), а также древесные отходы.

В Беларуси лесами в занято 7,8 млн. га – это 37,6 % территории. Ежегодный прирост древесины в лесном фонде составляет около 28 млн. м³. Фактическая ее заготовка в 2005 г. в республике составила 13 млн. м³ – 46 % прироста. По оценкам специалистов, большая часть образующихся при рубках леса и деревообработке отходов может быть использована как топливо.

Основная часть биотоплива в Республике Беларусь, которая может быть вовлечена в топливно-энергетический баланс для промышленной выработки электроэнергии и тепла, – это древесно-топливные ресурсы «чистых» лесных территорий. Запас растущей древесины составляет свыше 1,2 млрд. м³. Древесные обрезки и отходы древесины, образующиеся при рубке и обработке древесины, могут составлять до 40 – 50% собранной биомассы. Эти компоненты представляют альтернативный топливный ресурс для энергетики.

По оценке ИПЭ НАНБ совместно с Министерством лесного хозяйства, технически доступен для биоэнергетики в настоящее время объем отходов, эквивалентный приблизительно 1,5 миллиона тонн у.т/год. Согласно официальным данным Белорусского энергетического института, только 25% этой величины используется в настоящее время.

К 2015 г. потенциальные топливные ресурсы для биоэнергетики оцениваются в 2,7–3,0 млн. тонн у.т/год, к 2020 г. – 3,7 млн. тонн у.т/год.

Около четверти лесных ресурсов страны находится в зоне, загрязненной в результате аварии на ЧАЭС. Использование биомассы отходов из этих лесов предполагает определенные ограничения на технологии энергетической утилизации древесной массы. Проведенные исследования на крупных – до 200 кВт – экспериментальных стендах в США, Беларуси и Бельгии, а также на коммерческом энергоблоке в 18 МВт в Калифорнии и на промышленном котле (6 МВт) в г. Речице показали, что радиоактивность надежно контролируется в процессе конверсии путем применения известных, надежных и недорогостоящих технологических решений.

Энергетический потенциал биомассы лесных территорий, загрязненных радионуклидами, составляет 240 тыс. тонн у.т./год.

Предельные возможности республики по использованию древесных ресурсов в качестве топлива можно определить исходя из естественного годового прироста древесины, который приблизительно оценивается в 25 млн. м³ (включая древесину загрязненных территорий) или 6,6 млн. тонн у.т. в год (если сжигать всё, что прирастает).

Также одним из перспективных направлений производства биотоплива признаны плантационные посадки быстрорастущих кустарниковых и травянистых энергорастений, для которых среднегодовой прирост биомассы превышает 25 м³/га. Беларусь идеально подходит для развития этой отрасли биоэнергетики благодаря наличию крупного сельскохозяйственного производства, равнинного ландшафта.

По предварительным оценкам, в масштабах республики имеется около 100 тыс. га земель, технически доступных в настоящее время для «энергетических» посадок, потенциал биомассы быстрорастущих кустарниковых и травянистых энергорастений может составить от 0,6–0,8 млн. тонн у.т/год.

Кроме того, в Беларуси имеется до 500 тыс. га малоценных и низкопродуктивных угодий, нерентабельных для выращивания сельскохозяйственной продукции. С учетом этой перспективы возможно увеличение «энергетических» посадок с получением до 4,0 млн. тонн у.т/год.

Потенциал биомассы быстрорастущих кустарниковых и травянистых растений может быть увеличен за счет использования:

– загрязненных и выведенных из оборота в результате аварии на ЧАЭС территорий Гомельской и Могилевской областей, которые составляют около 250 тыс. га, потенциальный объем производства био-

топлива до 2,0 млн. тонн у.т/год;

- неиспользованные площади лесного фонда (непокрытая лесом площадь в результате гибели насаждений, вырубок, пустырей и пр.) составляют около 200 тыс. га, потенциальный объем производства биотоплива до 1,6 млн. тонн у.т/год;

- защитные полосы вдоль дорог и просек составляют около 100 тыс.га, потенциальный объем производства биотоплива до 0,8 млн. тонн у.т/год.

В дальнейшем возможно использование горючей части коммунальных отходов, отходов торфяной промышленности, отходов, получаемых при мелиоративных работах, расчистке территорий под новое строительство, и осадков городских стоков, что позволит заместить до 900–960 тыс. тонн у.т/год импортируемого топлива.

Установлено, что потенциальный урожай сухой массы ивы в условиях Беларуси составляет 5,1 тонн на песчаных почвах и 10,5 тонн на торфяных (для сравнения в Бельгии соответственно 7,5 и 11,7 тонн). Таким образом, экономически целесообразный потенциал дополнительного биотоплива, получаемого на выработанных торфяных месторождениях, находится на уровне 1,2 млн. тонн у.т..

Мировые запасы торфа, по данным разведочных работ 60–70-х годов XX столетия, оцениваются более чем в 500 млрд тонн. Крупнейшие запасы этого сырья расположены в России – 235 млрд тонн, Индонезии – 78,5 млрд тонн, США – 36 млрд тонн, Финляндии и Канаде – по 35 млрд тонн, КНР – 27 млрд тонн, Швеции – 11,2 млрд тонн. В Беларуси запасы торфа оцениваются в 4,1 млрд тонн (сравнимы с разведанными запасами калийных солей).

По другим данным общие запасы торфа на территории Российской Федерации оцениваются в размере 162,7 млрд. тонн (торфа 40% влажности). Наиболее обеспечены торфяными ресурсами районы Европейского Севера, Западной Сибири, Урала и северо-запада страны. В этих районах торфяная промышленность и использование торфа могут занять заметное место. Торф является природным ресурсом, запасы которого могут при соответствующих условиях возобновляться. Ежегодный прирост торфа на болотах России составляет 250 млн. тонн (при влажности 40%).

Прогнозные показатели производства и энергетического использования торфа для Российской Федерации на период до 2020 г. оцениваются следующим образом:

- обеспечение новых ТЭЦ мощностью по 20–30 МВт и котельных в торфообеспеченных и энергодефицитных северных регионах – до 4 млн. тонн;
- расширение использования торфа как местного коммунально-бытового топлива за счет увеличения добычи кускового торфа – до 3 млн. тонн;
- восстановление и развитие производства торфяных брикетов – до 1 млн. тонн.

1.6.5. Термохимические методы конверсии биомассы

Сжигание. Сжигание биомассы является наидревнейшим 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 % с коэффициентом избытка воздуха от 2 до 4–5, 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 непостоян-

ство 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.

Рассмотрим особенности котлов для сжигания местных видов топлива. Сжигание газа и жидких видов топлива не требует каких бы то ни было хитрых конструкций котла. Все просто – соответствующая горелка и простейший водотрубный теплообменник, никаких футеровок топки, никаких отдельных устройств топливоподачи. Местные виды топлива (торф и его продукты, опилки, стружка, пеллеты, дрова, солома низкокачественный уголь и т. д.) требуют создания специальных условий для сжигания. Мало того, чтобы уйти от ручной загрузки топлива, необходимо снабжать котел достаточно сложными устройствами подачи топлива.

К специальным условиям сжигания можно отнести конструкцию топки. В газовых или жидкотопливных котлах топливо прекрасно сгорает в факеле, формируемом горелкой, топка является активной частью теплообменника и отбирает солидную долю тепла, передаваемую излучением. Котлы для твердого топлива (особенно низкокалорийного) содержат топки различных конструкций. Дело в том, что если отбирать лучистую часть энергии в топке, то при поступлении новой порции топлива она может не разгореться (не хватит энергии разогреть новую порцию до температуры горения). Отбор лучистой энергии блокируется футеровкой топочного пространства, материал которой аккумулирует тепло нагреваясь, затем отдает тепло новой порции топлива, способствуя поддержанию горения. Также существуют различ-

ные способы организации поддува воздухом. Различные способы дутья воздуха в топку улучшают процесс горения, способствуют при правильной организации более полному сжиганию топлива и повышению общего КПД.

Отдельной частью является устройство подачи топлива в топку. Разработано достаточное количество методов реализации таких устройств, все они имеют те или иные преимущества и недостатки. Самой распространенной является шнековая подача ввиду своей простоты и надежности. Однако подача шнеком сильно ограничена по фракции топлива. Второй по распространенности является подача поршнем. В этом случае увеличивается максимальный размер фракции подаваемого топлива. Например, брикет, уголь, древесные отходы с включениями от 35х35 до 50х35 автоматически в топку можно подать только поршнем.

Далее поданное топливо необходимо сжечь. Несмотря на то, что сжигание твердого топлива для различных видов имеет общие черты, но имеет и ряд существенных различий. Дрова, например, имеют низкую зольность и не шлакуются, уголь имеет существенно более высокую зольность и шлакуется. Под каждый вид твердого топлива есть оптимизированные топки с неподвижными элементами, они надежны и относительно дешевы. Более универсальными являются топки с подвижными колосниками, которые позволяют эффективно сжигать в одной конструкции и уголь, и древесные отходы различной фракции.

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 , CO 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 CO 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 [23].

Твердый остаток (максимальная массовая доля 25–35%). Современные установки для получения древесного угля, работающие при температуре 600°С, 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/м³ 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_2 , H_2 и CO с малыми добавками CH_4 и CO_2 . 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 бионефти – 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 многом 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. Производительность первого коммерческого комбината по производству бионефти из древесных отходов, построенного в Канаде компанией DynaMotive Energy Systems, составляет 10 тонн в час. В соответствии с проектом, комбинат будет перерабатывать в бионефть 100 тонн отходов древесины в сутки. Это даст деревообрабатывающему предприятию годовую экономию природного газа, которая в энергетическом выражении составит 400000 ГДж (при цене 7 долл. США за 1 ГДж).

При $T=450 - 500^{\circ}C$ можно получить наилучший по качеству дре-

весный уголь, теплота сгорания которого 30 МДж. Он широко применяется в качестве топлива в быту в развивающихся странах, в медицине, химической и металлургической промышленности.

Термическая газификация. Газификация – термальная обработка биомассы при помощи окислителя (например, воздуха) с ограниченной подачей кислорода, в результате чего образуется газовая смесь (содержащая CO и H₂), 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_x 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 окиси углерода 4 г/кг, а по ПАУ 100 мг/кг. Температура горения низкокалорийного генераторного газа не превышает 1500°C, что исключает образование термических окислов азота. Перевод топочного 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.

В настоящее время в промышленности разных стран работают газогенераторные установки разнообразных конструкций и принципов действия. Существуют многочисленные способы газификации: слоевая газификация по прямому и обращенному процессам, газификация с кипящим и циркулирующим кипящим слоем, атмосферная газификация и под давлением, газификация при воздушном, паровоздушном и кислородном дутье и др. Наибольшее распространение получили газогенераторы «плотного» и «кипящего» слоя. В соответствии с современными тенденциями газогенераторы «кипящего» слоя обслуживают энергетические установки тепловой мощностью 10 – 100 МВт по сжигаемому газу. Для установок малой и средней мощности (до 10 МВт), работающих на влажном, полифракционном топливе при необходимости широкого диапазона регулирования их работы, наиболее эффективно применение газогенераторов «плотного» слоя. Определенные достижения в создании газогенераторных установок на растительной биомассе в Финляндии и России были достигнуты благодаря государственным программам, поддерживающим развитие этого направления. Усилия белорусских ученых были объединены программой «Экологически чистая энергетика» (1992–1997 гг.). В ходе её осуществления разработаны газогенераторы, отличительной особенностью которых явилась работа по «обращенной» схеме газификации. Эта схема предусматривает движение слоя биомассы и образующегося газа в одном направлении (прямотоком). Она поясняется рисунком 1.31.

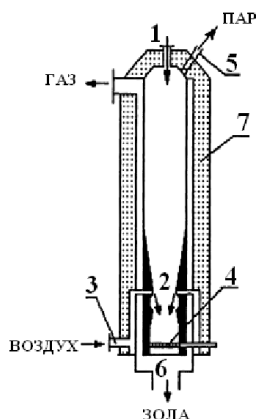


Рис. 1.31. Схема газогенератора: 1 – биомасса; 2 – зона горения; 3 – теплообменник; 4 – колосниковая решетка; 5 – отвод пара; 6 – выгрузка золы; 7 – футеровка.

Растительная биомасса загружается в верхнюю часть газогенератора 1 и движется в нижнюю часть аппарата по мере выгорания материала. При этом происходит её сушка и термолиз за счет тепла, выделяющегося в зоне горения 2, и тепла, отводимого от генераторного газа при его движении вдоль внутренних стенок аппарата. Для поддержания реакций горения в газогенератор через фурны подается дутьевой воздух. Воздух предварительно нагревается в встроенном в корпус газогенератора теплообменнике 3. В нижней части аппарата находится колосниковая решетка 4, при вращении которой выгружается зола и коксовый остаток – остаточные продукты проведения процесса. Генераторный газ отводится из под колосников и после охлаждения выводится из аппарата. Получаемое газовое топливо содержит малое количество паров смол и кислот (менее 5 г/м^3), так как продукты термолиза проходят через высокотемпературную (около 1100°C) зону горения, где осуществляется их крекинг. Основными горючими компонентами генераторного газа являются CO (10–20%), H_2 (10–15%) и C_nH_m (1–3%). В газе также содержатся: CO_2 (10–15%), N_2 (40–50%) и H_2O (10–25%). Теплота сгорания сухого генераторного газа в зависимости от его состава меняется от 3,5 до $5,5 \text{ МДж/м}^3$. Она может быть повышена до 10–12 МДж/м^3 при переходе на кислородное дутье в газогенераторе.

Достигнутые в ходе эксплуатации параметры работы российских газогенераторов различной мощности приводятся в табл. 1.57.

Газогенераторы, представленные в табл. 1.57, были созданы, чтобы снабжать газом различные энергетические установки. Например, газогенератор 2,8 МВт вырабатывал газ для котлоагрегата КЕ-10-14 МТ,

газогенератор 0,6 МВт поставлял газ в камеру сгорания сушилки АВМ-0,65 РЖ, а газогенератор 0,1 МВт обеспечивал работу двигателя внутреннего сгорания мощностью 35 кВт. Подготовка генераторного газа к сжиганию в топочном устройстве обычно ограничивается его очисткой от пылевидных частиц в инерционно-осадительном аппарате. Сжигание генераторного газа в двигателе внутреннего сгорания требует более тщательной очистки газа от пыли (до $0,02 \text{ г/м}^3$) и низкокипящих смол (до $0,03 \text{ г/м}^3$), а также охлаждения до температуры около 40°C . Способы охлаждения и очистки в основном известны и базируются на использовании серийного оборудования (рекуперативные теплообменники, циклоны, скрубберы, электрофилтры и др.).

Таким образом, газогенераторы, получающие горючий газ из биомассы, позволяют решить проблему самообеспечения потребителей, удаленных от централизованных источников энергии, тепловой и электрической энергией, т. е. перейти на автономное энергообеспечение на основе местных ресурсов. Именно это направление автономного энергообеспечения признано перспективным для лесоизбыточных стран в отчете ФАО. Возможно также использование генераторного газа для газоснабжения сельских и лесных поселков, для получения синтез-газа (смесь окиси углерода с водородом) с последующим производством метанола, этанола, бензина. Введенные в эксплуатацию древесные газогенераторы вырабатывают горючий газ в основном из древесных отходов, имеющих низкую зольность (около 1%) и относительно высокую температуру плавления золы (1400°C).

Т а б л и ц а 1.57. Параметры работы газогенераторов

№ п.п	Параметр	Тепловая мощность газогенераторов, МВт				
		0,1	0,6	1,1	2,8	4,5*
1	Вид сырья	Кусковой торф	Щепа	Отходы производства шпона	Отходы окорки	Лузга подсолнечника
2	Относительная влажность сырья, %	20	50	28	56	12
3	Типичный размер сырья, мм	100х50	40х35х3	42х9х2	32х12х2,5	10х4х0,1
4	Производительность: по сырью, кг/ч по газу, $\text{м}^3/\text{ч}$	48	410	400	2200	1250
		80	520	840	2500	3200
5	Низшая теплота сгорания сухого газа, МДж/м^3	4,8	4,6	5,3	4,6	5,6

6	Расход дутьевого воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$	45	350	530	1800	1550
7	Давление в газогенераторе, кПа	1,5	1,5	5,5	6,5	2,2
8	Термический КПД, %	71	82	85	79	89
9	Габаритные размеры, м	1,8x0,7	5x 1,8	6x 3,0	8x4x2	8,3x4,5

* Газогенератор работает по схеме противотока.

В технологиях по газификации достигнут значительный прогресс. Сегодня газификаторы с циркулирующим кипящим слоем успешно применяются для производства газа, служащего топливом для существующих угольных бойлеров, например, в Лати (Финляндия), Руен (Бельгия), Амер (Нидерланды) и т.д. Подобная технология позволяет использовать влажные топлива и топлива, полученные за счет утилизации мусорных отходов при относительно низких удельных инвестициях и операционных затратах. В настоящее время технологическая проблема заключается в использовании очищенного газа. Недавно созданная технология обращенного газогенератора с неподвижным слоем может применяться на малых станциях когенерации (мощность газификатора до 1 МВт тепловой энергии), благодаря относительно высокой электрической эффективности. Некоторые компании в Европе уже предлагают данную технологию, заслуживающую внимания. В свете поиска новых жидких топлив для транспортного сектора открываются новые возможности для газификации. Синтез-газ содержит большое количество водорода, который можно извлекать более эффективными способами по сравнению с традиционными процессами гидролиза и ферментации. Синтез-газ может быть также переработан в метанол, диметиловый эфир или дизель по методу Фишера-Тропша. В настоящее время такой дизель производится на экспериментальном уровне и характеризуется более благоприятными химическими свойствами с точки зрения окружающей среды, биоразложимости, внедрения в существующую топливную инфраструктуру.

1.5.5.6. Экологическая оценка использования местных видов топлива

Как уже говорилось выше, 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_2), как и при естественном гниении древесины (табл. 1.58).

Т а б л и ц а 1.58. Средние значения эмиссии CO₂ и SO₂ топлива

Тип топлива		CO ₂		SO ₂	
		кг CO ₂ /МВт·ч	кг CO ₂ /т	кг CO ₂ /МВт·ч	кг CO ₂ /т
Биотопливо	Древесная щепа, 35–40 % влажности	-	-	0,04	0,09
	Пеллеты, 12 – 15 % влажности	-	-	0,72	0,17
Кусковой торф, 35 % влажности		387	1 206	0,72	2,3
Ископаемое топливо	Мазут	276	3 075	1,8	20
	Дизельное топливо	256	3 024	0,34	4
	Природный газ	201	1 879*	0	0*
	Уголь	339	2 377	1,7	12

* кг CO₂/1000 м³

Тот углекислый газ, который образуется при сжигании биотоплива, т. е. древесины и ее компонентов, не засчитывается в общий объем выброса парниковых газов, потому что он является частью непосредственного природного карбонового цикла.

Солома – воспроизводимый ресурс, и она поддерживает баланс двуокиси азота в атмосфере: сколько CO₂ выделится при ее сжигании, столько потом будет потреблено в течение следующего лета в ходе роста зерновых.

Необходимо подчеркнуть чрезвычайно положительную экологическую роль торфа при его использовании, которая включает в себя: а) снижение уровня загрязнения CO₂ атмосферного воздуха; б) повышение экологической чистоты сельскохозяйственных продуктов и детоксикации почв при применении торфа в качестве органического удобрения и использования торфяной золы как минерального удобрения, богатого микроэлементами; в) при добыче торфа происходит снижение агрессивной ландшафтной составляющей болот в первую очередь олиготрофных, изменяющих (уменьшающих) площади и структуру лесных массивов в сторону их заболачиваемости; г) получение широкого ассортимента продукции (сорбентов, нефтепоглотителей, фильтров и т.д.), применяемых для решения проблем охраны окружающей среды. Например, при замене угля, сланцев и мазута на торф снижение загрязнения атмосферного воздуха выбросами оксидов серы происходит по сравнению с углем в 4 ... 24 раза (в зависимости от зольности и

угольного бассейна), сланцем – в 9 раз, мазутом – в 6 раз, а выброс твердых взвешенных частиц в 2 ... 19 раз по сравнению с углем и в 36 раз по сравнению со сланцем. Оставшаяся от торфа зола прекрасно утилизируется как удобрение.

1.5.5.7. Заключение

Рассмотренные в рамках этой главы местные виды топлива приобрели важное значение как для Республики Беларусь, так и для многих других стран мира. В условиях сложной ситуации, сложившейся с энергоресурсами, не задействовать эти виды топлива было бы неверным решением. Так как они имеют достаточно высокий мировой потенциал, а в некоторых случаях могут быть единственным доступным выходом из энергетического голодания отдельных регионов мира.

Местные виды топлив разнообразны, и как возобновляемый источник энергии являются перспективными и более экологически чистыми, чем ископаемые топлива, таким образом поддерживается баланс углекислого газа в природе.

Разнообразие существующих методов конверсии местных видов топлива позволяет подобрать оптимальный метод в соответствии с имеющимися возможностями и требуемым результатом для каждого отдельного случая. Это топливо уже вошло в энергетику Беларуси и других стран, и в будущем будет укреплять свои позиции в отведённой ему нише.

2. ХИММОТОЛОГИЯ СМАЗОЧНЫХ И ЗАЩИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2. 1. Трение, износ и виды смазочных материалов

2.1.1 Назначение смазочных материалов и виды трения

Основное назначение смазочных материалов - уменьшение износа трущихся деталей и снижение затрат энергии на преодоление трения. Под трением (внешним) понимают сопротивление относительно 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).

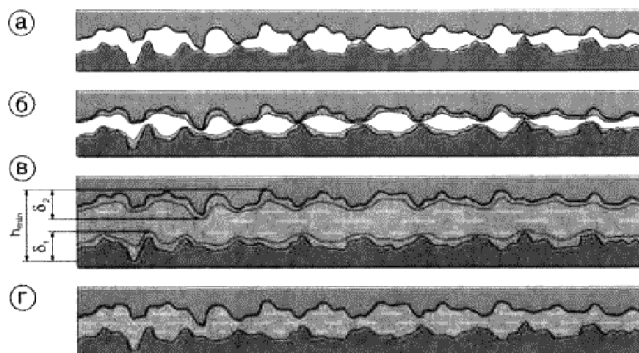


Рисунок 2.1 Виды трения по наличию смазочного материала
 а– ювенильное трение(трение без смазки); б – граничное трение;
 в– жидкостное трение; г– полужидкостное трение;
 $h_{\min}$ – величина зазора между трущимися поверхностями;
 δ_1, δ_2 – высота микронеровностей на трущихся поверхностях.

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

Граничное трение возникает в случае, когда поверхности трения разделены слоем смазки малой толщины (менее 0,1 мкм), не превышающем 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 (например, выплавление антифрикционного слоя вкладышей коленчатого вала).

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 противоизносные 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 так же 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. Сила трения при жидкостном режиме смазки определяется уравнением:

$$T = F \eta du/dy, \quad (2.1)$$

где T – сила трения, возникающая на поверхности слоя жидкости толщиной dy с площадью поверхности F при относительном изменении скорости скольжения du ;

η – динамическая вязкость жидкости.

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. Накапливающиеся 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.

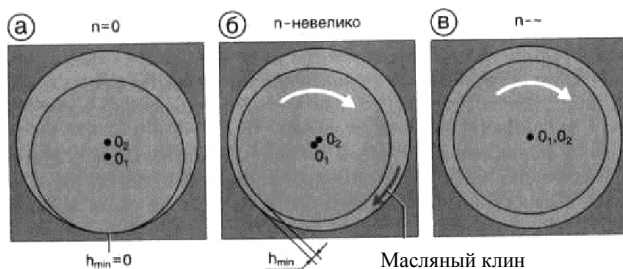


Рис.2.2. Образование масляного клина подшипника скольжения
а – двигатель не работает; б – момент пуска двигателя; в – работа двигателя (постояное вращение коленчатого вала)

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. Об-

разование 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.

Минимальная толщина масляного слоя $h_{\min}$ зависит от конструкции подшипника скольжения (наличия упорных буртиков, сальниковых уплотнений и других элементов), абсолютной вязкости масла, скорости перемещения трущихся поверхностей и величины давления на трущиеся поверхности. Соблюдение закономерности:

$$h_{\min} > 1,5 (\delta_1 + \delta_2), \quad (2.2)$$

где δ_1 и δ_2 – максимальные высоты выступов на поверхностях трения (см. рис. 2.1).

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 $4 \dots 5 \text{ мм}^2/\text{с}$.

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

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 $0,1 \dots 1,0 \text{ мкм}$. Коэффициент трения составляет $0,01 \dots 0,1$.

Все смазочные масла обладают смачиваемостью, т.е. способностью растекаться тонким слоем на поверхности металла. Эта способность зависит от внутренних сил сцепления. В данном случае силы взаимодействия между металлом и частицами масла больше силы молекуляр-

ного взаимодействия между частицами масла. Смазывающая способность масла имеет очень важное значение во многих случаях эксплуатации двигателей внутреннего сгорания: во время пуска двигателя, при прогреве двигателя.

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.

При фрикционном взаимодействии твердых поверхностей происходит их взаимный износ. По статистическим данным около 85 % машин выходит из строя из-за износа трущихся поверхностей.

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 происходило изнашивание, или объему выполненной работы (т/км, м³ 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 взаимодействии 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.

Заседание - 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. Исследователями установлено, что с увеличением вязкости масла момент начала выкашивания наступает позднее и интенсивность усталостного разрушения снижается (рисунок 2.3). При увеличении толщины масляного слоя нагрузка на площадке контакта зубьев распределяется более равномерно.

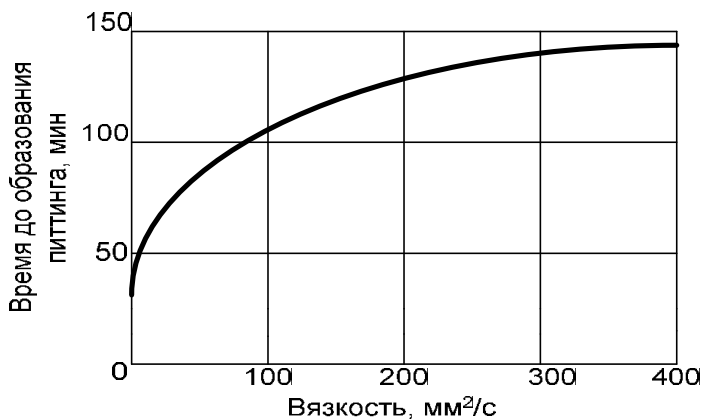


Рисунок 2.3 – Влияние вязкости масла МС-14 на образование питтинга

Однако чрезмерно большое увеличение вязкости масла приводит к интенсификации изнашивания вследствие ухудшения поступления масла в зону трения, снижения теплоотвода и выноса загрязнений.

При установлении нижнего допустимого уровня вязкости трансмиссионных масел исходят из необходимости обеспечения заданного уровня противоизносных свойств и предотвращения утечек масла из агрегатов через неплотности.

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. Возникающее при этом повышение температуры приводит к выплавлению антифрикционного сплава (баббитового или алюминиевого) вкладышей. При этом антифрикционный слой заполняет зазор между трущейся поверхностью вкладыша и шейкой коленчатого вала, что и приводит к заклиниванию коленчатого вала. Задиры на стенках гильз цилиндров двигателей возникают при нарушении подвижности или разрушении поршневых колец.

2.1.3 Виды смазочных материалов и требования, предъявляемые к ним

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 дистилатные, 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 нефтяным;

- синтетические, получаемые из различного исходного сырья различными методами (каталитическая полимеризация жидких или газообразных углеводородов нефтяного и ненефтяного 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, констатины, 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 Присадки к смазочным маслам и механизм их действия

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 multifunctional 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, противозносной; 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.

Противозносные присадки содержат поверхностно- активные ве-

щества, 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 (3...5%) 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, поливинилалки-ловые 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 (0,5...1%) 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 «тысячные доли %» 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 сов-

местно 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. МОТОРНЫЕ МАСЛА

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 раз-

личной вязкости, остаточные компоненты, смеси остаточного и дистиллятных компонентов, а также синтетические продукты (поли- α -олефины, алкилбензолы, эфиры). Большинство всесезонных масел получают путем загущения маловязкой основы макрополимерными присадками. По составу базового масла моторные масла подразделяют на синтетические, минеральные и частично синтетические (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 масел и методы их оценки

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, т.е. с 3...4,5 до 0,5...1,5 балла.

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 металлоорганические 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 введение 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 диарилдифосфаты 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 моющие-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 (окисление по ГОСТ 11063–77 при 200 °С). При моторных испытаниях антиокислительные свойства масел оценивают по увеличению их вязкости за время работы в двигателе установ-

ки 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 °С и градиенте скорости сдвига 105...107 с⁻¹, 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 задигов 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) по ГОСТ 9490–75, 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 ГОСТ 20502–75 по потере массы свинцовых пластин за 10 или 25 ч испытания при температуре 140 °С. 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 экономии 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 положения вязкостно-температурной зависимости, рассчитываемый по значениям кинематической вязкости масла, измеренной при 40 и 100°C (ГОСТ 25371–82).

Под вязкостью понимают объемное свойство масла оказывать сопротивление при относительном перемещении его слоев. Для характеристики моторного масла наиболее широко применяются динамическая (μ , Па·с) и кинематическая (ν , мм²/с) вязкость. За единицу динамической вязкости μ принимают вязкость, при которой для относительного перемещения со скоростью 1 м/с двух слоев жидкости площадью 1 м², находящихся на расстоянии 1 м по нормали к направлению скорости, необходимо приложить усилие в 1 Н.

Кинематическая и динамическая вязкость связаны между собой выражением:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}, \quad (2.3)$$

где ρ – плотность масла.

По вязкости моторные масла подразделяются на маловязкие (3...4 мм²/с при 100°С), средневязкие (4...6 мм²/с при 100°С) и вязкие (8...9 мм²/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.

На вязкость моторного масла наиболее существенное влияние оказывает температура, и значительно меньше она изменяется под действием давления, электрических и магнитных полей и ряда других факторов. Например, в интервале температур от –18°С до +100°С вязкость загущенных моторных масел изменяется в 280...600 раз, у незагущенных минеральных масел изменение вязкости происходит в 1200 и более раз. При повышении давления от атмосферного до 60 МПа вязкость масла увеличивается в 2,5...3,5 раза. Известно также влияние на вязкость масла трибоэлектрических полей, образующихся в резуль-

тате возникновения разности потенциалов на границе раздела фаз, металл–масло и вызывающих электро-вязкостный эффект, проявляющийся в увеличении вязкости масла.

Одним из важнейших показателей качества моторного масла является зависимость его вязкости от температуры, изменяющаяся в широких пределах и характеризующаяся пологостью вязкостно-температурной характеристики (ВТХ). Для оценки пологости ВТХ в интервале температур 50...100 °С используют отношение v_{50}/v_{100} . Чем меньше значение данного отношения, тем лучше ВТХ в данном температурном интервале. Для летних сортов масел $v_{50}/v_{100} \leq 6$, для зимних и северных – $v_{50}/v_{100} \leq 4$.

Пологость ВТХ в области более низких температур характеризует температурный коэффициент вязкости (ТКВ), определяемый из выражения:

$$TKB_{0-100} = \frac{V_0 - V_{110}}{V_{50}}, \quad (2.4)$$

где v_0 , v_{50} и v_{100} – кинематическая вязкость масла при 0, 50 и 100 °С.

Значения TKB_{0-100} для летних масел $\leq 35...40$, для зимних ≤ 22 , для всесезонных ≤ 25 .

Однако наибольшее распространение для оценки пологости ВТХ получил метод определения индекса вязкости (ИВ).

Определение ИВ основано на сравнении свойств испытуемого масла с двумя эталонными маслами, одно из которых имеет ИВ = 0, а другое – ИВ = 100. ИВ масла может быть определен расчетным методом по следующей зависимости (для масел с ИВ < 100):

$$IB = \frac{L-U}{L-H} 100, \quad (2.5)$$

где L – кинематическая вязкость при 40 °С масла с ИВ = 0, мм²/с;

U – кинематическая вязкость испытуемого масла при 40 °С, мм²/с;

H – кинематическая вязкость при 40 °С масла с ИВ = 100, мм²/с.

Причем вязкость проверяемого и эталонных масел при 100 °С одинакова.

Для масел с ИВ ≥ 100 используется выражение:

$$IB = \frac{\text{anti log } N - 1}{0,00715} + 100, \quad (2.6)$$

где $N = (\log H - \log U) / \log v_{100}$.

На практике для определения ИВ чаще используют специальные таблицы или номограммы (рис. 2.4).

По величине ИВ моторные масла подразделяются на низкоиндексные ($ИВ \leq 80$), среднеиндексные ($ИВ = 80 \dots 90$) и высокоиндексные ($ИВ = 90 \dots 95$ и выше). Для изготовления современных высококачественных масел применяют также базовые масла со сверхвысоким индексом вязкости ($ИВ > 100$), представляющие собой продукты глубокой переработки нефти. Однако ИВ характеризует вязкостные свойства моторных масел только в области положительных температур, поэтому для зимних марок масел дополнительно указывают вязкость при температурах -18°C и ниже.

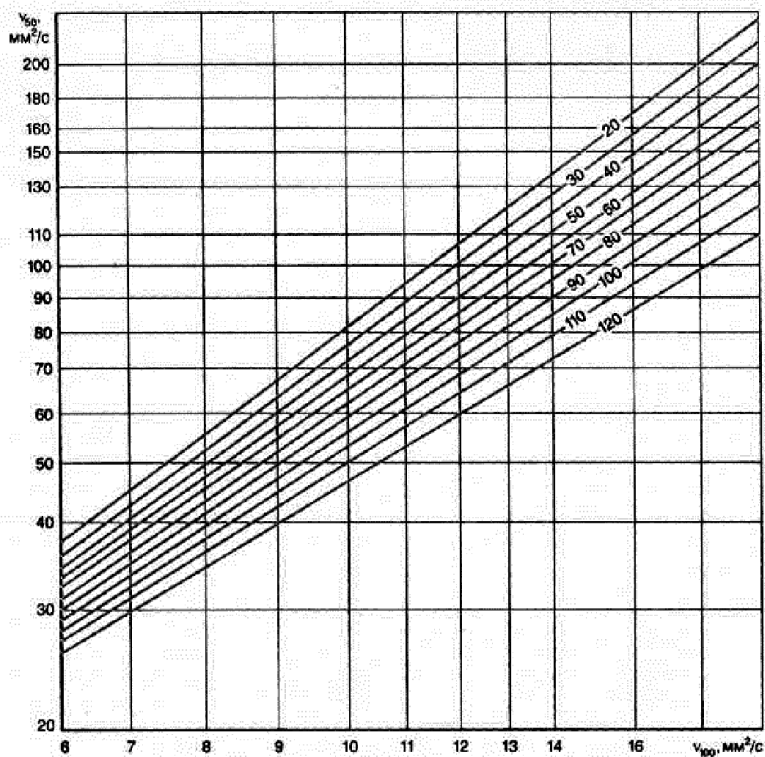


Рис.2.4. Номограмма для определения индекса вязкости моторного масла

В нормативной документации на зимние масла иногда нормируют кинематическую вязкость при низких температурах. Индекс вязкости минеральных масел без вязкостных присадок составляет 85–100. Он зависит от углеводородного состава и глубины очистки масляных фракций. Углубление очистки повышает индекс вязкости, но снижает выход рафината. Синтетические базовые компоненты имеют индекс вязкости 120...150, что дает возможность получать на их основе всесезонные масла с очень широким температурным диапазоном работоспособности. К низкотемпературным характеристикам масел относят *температуру застывания*, при которой масло не течет под действием силы тяжести, т.е. теряет текучесть. Она должна быть на 5...7 °С ниже той температуры, при которой масло должно обеспечивать прокачиваемость. В большинстве случаев застывание моторных масел обусловлено образованием в объеме охлаждаемого масла кристаллов парафинов. Требуемая нормативной документацией температура застывания достигается депарафинизацией базовых компонентов и/или введением в состав моторного масла депрессорных присадок (полиметакрилаты, алкилнафталины и др.). Понижая температуру застывания масла, депрессоры не влияют на вязкостные свойства.

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, по-

лученного 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 Г₂, 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. Присадки к моторным маслам

Практически все современные моторные масла состоят из базового масла – основы, в которое для улучшения эксплуатационных свойств вводят различные химические соединения – присадки. Например, для зимних и летних моторных масел в качестве базовых применяют масла селективной очистки М-6 (дистиллятное), М-8, М-11, М-14, М-16 (смешанные) и МС-20 (остаточное). Однако необходимо помнить, что даже самые хорошие присадки не способны превратить низкокачественные базовые масла в высококачественные смазочные материалы.

Присадки в моторное масло впервые были введены фирмой «Castrol» в 1935 г. В связи с форсированием ДВС и неуклонным ростом требований к их качеству содержание в них присадок постоянно увеличивается. Так, по данным С. В. Венцеля, среднее содержание присадок в моторных маслах в 1967 г. составляло 5 %, в 1969 г. – 10 %, в 1974 г. – 15 % и более. Содержание присадок в современных моторных маслах достигает 20...30 % и более. Основные типы присадок для современных моторных масел, и их свойства приведены в таблице 2.1.

Кроме приведенных в табл. 2.1 в последнее время разработаны присадки нового класса – металлосодержащие смазочные композиции, основными компонентами которых являются ультрадисперсные порошки меди, олова, свинца, цинка, алюминия, никеля, кобальта, кад-

мия, серебра и других металлов.

В качестве примера можно привести присадку «Кластер», применение которой снижает износ деталей ДВС в 1,4...1,8 раза, момент трения в 1,37 раза, дымность отработавших газов (ОГ) на 20...30 %, повышает противозадирную стойкость в 1,4 раза, давление в системе смазки на 10...15 %.

Известна также присадка «РиМЕТ», разработанная на основе ультрадисперсной композиции из сплава меди, олова и серебра, применение которой снижает потери на трение, восстанавливает изношенные детали, повышает давление ММ в системе смазки карбюраторных и дизельных двигателей, восстанавливает компрессию, а также другие присадки к ММ аналогичного действия – Energy Release (ER), XER₂ (США), Lubrifilm Diamond, СуперМЕТ, Ресурс, Феном, Форсан, Униплак и др.

Т а б л и ц а 2.1. Типы, свойства и некоторые марки присадок для моторных масел

Типы и основные свойства присадок	Марки присадок
Антиокислительные и антикоррозионные – повышают стойкость масел против окисления, защищают металлы от воздействия кислот, нейтрализуют образующиеся в масле кислоты	Зольные: ДФ-1, ДФ-11, ДФБ, А-22, ВНИИНП-354 Беззольные: ИНХП-21, АКОР-1, В-15/41, ВНИИНП-715, Ионол, Борин, Агидол-2
Моюще-диспергирующие – предотвращают образование лаковых отложений на поверхностях деталей, препятствуют коагуляции частиц загрязнений и поддерживают их во взвешенном мелкодисперсном состоянии	Сульфонатные: ПМСя, ПМС «А», ПМС «Б», СБ-3, СК-11, КНД, С-150, С-300, НСК (СНГ), Paranox 24/26 (Exxon Chem, США), Hitec 611/614 (Ethyl, США), LZ 52/72 (Lubrizol, США), OLOA-246B/247B (Chevron, США), ADX 450/3000 (BP, Adibis, Англия), MX 3250/3280 (Mixoil, Италия) Алкилфенольные: ЦИАТИМ-339, ВНИИНП-350/360/370/371, БФК, ДФК, КФК, Ферад, ВНИИНП-714, МАСМА-1603 (СНГ), LZ 6500 (Lubrizol), OLOA-218A/219 (Chevron), Paranox 52 (Exxon Chem), ADX 400/402 (BP, Adibis), TLA 327 (Texaco, США) Алкилсалицилатные: Детерсол Д-50, -140, -180, -300, Комплексал-100 (СНГ), SAP 001/002/005/007 (Shell, Англия), 405 Osca (Япония) Беззольные: С-5А, Дипол-40/45, ЛЗ-325, Днепрол, СД-73, ЭПОЛ (СНГ), LZ 890/894 (Lubrizol), Hitec 644/646 (Ethyl), OLOA-1200 (Chevron), SAP 220 (Shell)
Противоизносные, противо-	АБЭС, АДТФ, БМА-5, ВИГОС, ЛЗ-309/2, ЛЗ-

задирные и антифрикционные – улучшают смазывающие свойства масел, снижают износ и предотвращают задиры, уменьшают потери на трение и расход топлива	6/9, ЛЗ- 23К, Моника, Экомин, Фриктол, ИХП-14М, ТОС, МКФ-18/18Х, ЛКФ-85, ЛП-2, ПАФ-4, 13-23 К, ЭФО (СНГ), MoS ₂ , графит
Депрессорные – снижают температуру застывания масел	Депрессатор АзНИИ, АзНИИ-ЦИАТИМ-1, АФК, ПМА «Д», Депресал (СНГ)
Вязкостные (загущающие) – улучшают вязкостно-температурные свойства масел, повышают вязкость и индекс вязкости масел	КП-5, КП-10, КП-20, ПМА «В-1», ПМА «В-2», ВИНИПОЛ ВБ-2 (СНГ)
Антипенные – предотвращают пенообразование в маслах	ПМС-200А
Прирабочные – ускоряют процесс приработки деталей ДВС	«Г», АЛП-2
Многofункциональные – улучшают одновременно несколько свойств масла	АзНИИ-ЦИАТИМ-1, АзНИИ-7, АзНИИ-8, БФК, ВНИИНП-370, ИХП-388, МНИ-ИП-22к, ЦИАТИМ-339, 100-QR, KW 2515 и др.

Другим перспективным направлением является использование гео-модификаторов трения (ГМТ), представляющих собой присадки к маслу, созданные на основе природных минералов – слоистых силикатов, и инициирующие в трибосистемах самоорганизующиеся процессы. Применение ГМТ, позволяет повысить долговечность подшипников скольжения на 15...25 %.

Все более широкое применение находят металлоплакирующие присадки Металл-5, Медь-1, Медь-2, БДМ и др., при использовании которых износ деталей ДВС уменьшается на 20...40 %. Для снижения повреждения моторных масел в них вводят биоцидные присадки.

Производители ММ в странах СНГ все шире применяют присадки известных зарубежных фирм. Еще в СССР с 1989 г. при производстве масел М-8Г₂к, М-10Г₂к для автомобилей КамАЗ, МАЗ использовали пакет присадок фирмы «Lubrizol». В России при производстве моторных масел применяется до 70 % присадок зарубежных фирм «Lubrizol», «Shell», «ESSO», «Chevron» и др.

2.2.3. Классификация смазочных масел по отечественным и международным стандартам

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 присут-

ствуют 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 три класса (зимние, летние и всесезонные), а по эксплуатационным свойствам – на шесть групп, обозначаемых буквами А, В, В, Г, Д и Е.

Зимние масла нормируются значением кинематической вязкости при температурах +100 °С и –18 °С, летние – при температуре +100 °С. Всесезонные масла обозначаются дробью, в числителе которой указывается класс вязкости зимнего, а в знаменателе – летнего масла (табл. 2.2). 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 2.2. Классы вязкости моторных масел

Класс вязкости	Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре	
	100 °С	–18 °С, не более
3 _з	3,8	12500
4 _з	4,1	2600
5 _з	5,6	6000
6 _з	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 _з /8	7,0 ... 9,3	1250
4 _з /6	5,6 ... 7,0	2600
4 _з /8	7,0 ... 9,3	2600
4 _з /10	9,3 ... 11,5	2600
5 _з /10	9,3 ... 11,5	6000
5 _з /12	11,5 ... 12,5	6000
5 _з /14	12,5 ... 14,5	6000
6 _з /10	9,3 ... 11,5	10400
6 _з /14	12,5 ... 14,5	10400
6 _з /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.

Рекомендуемые для применения в автотракторных двигателях группы моторных масел отечественного производства в зависимости от эксплуатационных свойств представлены в табл. 2.3.

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

Таблица 2.3. Группы моторных масел в зависимости от эксплуатационных свойств по ГОСТ 17479.1– 85

Группа масла по эксплуатационным свойствам		Рекомендуемая область применения
А	-	Нефорсированные бензиновые двигатели и дизели
Б	Б ₁	Малофорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, которые способствуют образованию высокотемпературных отложений и коррозии подшипников
	Б ₂	Малофорсированные дизели
В	В ₁	Среднефорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, которые способствуют окислению масла и образованию отложений всех видов
	В ₂	Среднефорсированные дизели, предъявляющие повышенные требования к антикоррозионным, противозносным свойствам масел и способности предотвращать образование высокотемпературных отложений

Г	Г ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях, способствующих окислению масла, образованию отложений всех видов и коррозии
	Г ₂	Высокофорсированные дизели без наддува или с умеренным наддувом, работающие в эксплуатационных условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений
Д	Д ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжелых, чем для масел группы Г ₁
	Д ₂	Высокофорсированные дизели с наддувом, работающие в тяжелых эксплуатационных условиях или когда применяемое топливо требует использования масел с высокой нейтрализующей способностью, антикоррозионными и противоизносными свойствами, малой склонностью к образованию всех видов отложений
Е	Е ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели и дизели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжелых, чем для масел групп Д ₁ и Д ₂
	Е ₂	Отличаются повышенной диспергирующей способностью, лучшими противоизносными свойствами

М-4з/8-В₂Г₁ – моторное масло всесезонное, универсальное для среднефорсированных дизелей (группа В₂) и высокофорсированных бензиновых двигателей (группа Г₁);

М-14Г₂(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 DEC 99, введенная в действие с августа 2001 г., (табл. 2.4).

Таблица 2.4 **Международная классификация моторных масел по вязкости SAE J300 DEC 99**

Класс вязкости	Низкотемпературная (динамическая) вязкость,		Высокотемпературная вязкость	
	Проворачивание по методу ASTM D 5293 (вискозиметр CCS, иммитация	Прокачиваемость по методу ASTM D 4684 (вискозиметр MRV)	Кинематическая при 100°C (по методу ASTM D 445), мм ² /с	Динамическая при 150°C и скорости сдвига 10 ⁶ с ⁻¹ по ASTM D 4683 или

	холодного пуска				СЕС L-36-A-90, на коническом имитаторе подшипника МПа·с, не менее
	Максимальная вязкость, мПа·с, при температуре		min	—	—
0w	6 200 при -35°C	60 000 при -40°C	3,8	—	—
5w	6 660 при -30°C	60 000 при -35°C	3,8	—	—
10w	7 000 при -25°C	60 000 при -30°C	4,1	—	—
15w	7 000 при -20°C	60 000 при -25°C	5,6	—	—
20w	9 500 при -15°C	60 000 при -20°C	5,6	—	—
25w	13 000 при -10°C	60 000 при -15°C	9,3	—	—
20	—	—	5,6	9,3	2,6
30	—	—	9,3	12,5	2,9
40	—	—	12,5	16,3	2,9*
40	—	—	12,5	16,3	3,7**
50	—	—	16,3	21,9	3,7
60	—	—	21,9	26,1	3,7

* Для классов SAE 0w-40, 5w-40, 10w-40; ** для классов SAE 40, 15w-40, 20w-40, 25w-40.

Данная классификация содержит 11 классов: 6 зимних – 0w, 5w, 10w, 15w, 20w, 25w (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°C. Летние масла характеризуют пределы кинематической вязкости при 100°C, а также минимальное значение динамической высокотемпературной (при 150°C) вязкости и градиенте скорости сдвига 10^6 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.

В табл. 2.5 приведено примерное соответствие классов вязкости моторных масел по ГОСТ 17479.1– 85 классам вязкости по SAE J–300.

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 разделения масел на две категории (S и C) сохранился до настоящего времени.

Таблица 2.5. **Примерное соответствие классов вязкости моторных масел 5 по ГОСТ 17479.1– 85 классам вязкости по SAE J–300**

Класс вязкости		Класс вязкости	
по ГОСТ 17479.1–85	по SAE J – 300	по ГОСТ 17479.1–85	по SAE J–300
3з	5w	24	60
4з	10w	3з/8	5w-20
5з	15w	4з/6	10w-20
6з	20w	4з/8	
6	20	4з/10	10w-30
8		5з/10	15w-30
10		5з/12	
12	30	5з/14	15w-40
14		6з/12	20w-30
16		6з/14	20w-40
20	50	6з/16	

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. (приложение 1.).

В настоящее время API выдает лицензии на выпуск масел только высших категорий качества (не ниже SH), предназначенных для бен-

зиновых двигателей не позднее 1994 г. выпуска. Для эксплуатации бензиновых двигателей, выпущенных после 1997 г., предназначены масла класса SJ. Наиболее совершенное масло категории SL на частично или полностью синтетической основе с высокоэффективным пакетом присадок надлежит эксплуатировать в самых совершенных бензиновых турбонаддувных, многоклапанных двигателях производства 2001 г. и позже, вынужденных работать в наиболее напряженных условиях. Для дизельных масел лицензии API выдаются на продукты категории качества не ниже CF. Однако при поставке масел на экспорт и при их производстве в третьих странах могут вырабатываться масла и более низких классов по API. Примерное соответствие групп моторных масел по уровню эксплуатационных свойств по ГОСТ 17479.1–85 и API представлено в табл. 2.6.

Американские и японские автомобилестроители, сотрудничая в рамках Международного комитета по стандартизации и одобрению смазочных материалов (ILSAC), разработали минимальные стандартные требования к моторным маслам для автомобильных бензиновых двигателей. Классификация ILSAC содержит два класса масел, обозначаемых GF-1 и GF-2. С 2002 г. введены новые требования GF-3, а с 2004 г. требования GF-4. По уровню требований к эксплуатационным свойствам они практически идентичны требованиям к маслам классов SJ и SL по API, но обязательно предъявляются высокие требования по экономии топлива и отсутствию компонентов, отрицательно влияющих на каталитический дожигатель отработанных газов.

Таблица 2.6. Примерное соответствие групп моторных масел по уровню эксплуатационных свойств по ГОСТ 17479.1–85 и API

Класс вязкости		Класс вязкости	
по ГОСТ 17479.1–85	по API	по ГОСТ 17479.1–85	по API
A	SB	D ₁	SF
B ₁	SC	D ₂	CD
B ₂	CA	E ₁	SG
B	SC/CA	E ₂	CF, CF-4
B ₁	SD	Нет аналогов в отечественной классификации	SH
B ₂	CB		SJ
B	SD/CB		CG-4
G ₁	SE		CH-4
G ₂	CC		SL
G	SE/CC		CI-4

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.

Масла, сертифицированные по API на соответствие требованиям ILSAC, маркируются стандартным символом (знаком качества в виде шестеренки с текстом внутри рисунка на английском языке: "Американский институт нефти, для бензиновых двигателей, сертифицировано"). Классификация масел по API на получение знака "Донат" в сочетании со знаком ILSAC характерна для американских производителей масел и не нашла широкого применения в Европе.

Несмотря на исторический приоритет, в настоящее время американская классификация API утрачивает свою монополию в Европе. Учитывая тот факт, что основными критериями эксплуатационных свойств масел являются результаты испытаний на специальных серийных двигателях, различия в конструктивных решениях и методиках определения свойств моторных масел привели к появлению европейской классификации ACEA.

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.

Классификация эксплуатационных свойств моторных масел по ACEA приведена в приложении 2.

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.

Примерное соответствие европейской (ACEA) и американской (API) классификаций моторных масел представлено в табл. 2.7.

Таблица 2.7. Таблица примерного соответствия европейской (ACEA) и американской (API) классификаций моторных масел

ACEA 98-99					ACEA 2002				
A1-98	A2-96 выпуск 2	A3-98	A3-99	A5-01	A1-02	A2-96 выпуск 3	A3-02	A5-02	
API					API				
SH		SJ		SL	Нет соответствия				
ACEA 98-99					ACEA 2002				
B1-98	B2-98	B3-98	B4-98 (99)	B5-01	B1-02	B2-98 выпуск 2	B3-98 выпуск 2	B4-02	B5-02
API					API				
CE		CF-4	CG-4	CH-4	Нет соответствия				
ACEA 98-99					ACEA 2002				
E1-96 выпуск 2	E2-96 выпуск 3	E3-96 выпуск 3	E4-99	E5-99	E1-96 выпуск 4	E2-96 выпуск 4	E4-99 выпуск 2	E5-02	
API					API				
CD		CF-4	CG-4	CH-4	Нет соответствия				

Маркировка моторного масла для европейского рынка должна со-

держат 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 всесезонным 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. (MM 229.1), одобрено к применения для двигателей BMW и Porsche, используется как всесезонное масло (VW 501.01) для двигателей автомобилей Volkswagen и Audi и двигателей с турбонаддувом (VW 505.00) этих же заводов-изготовителей.

2.2.4. Ассортимент моторных масел для ДВС

2.2.4.1. Масла для бензиновых 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 спе-

цифические требования к маслам для четырехтактных бензиновых двигателей: с одной стороны, способность предотвращать образование высокотемпературных отложений (нагары, лак на деталях цилиндропоршневой 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.

Двухтактные бензиновые двигатели, устанавливаемые на мопедах, мотороллерах, мотоциклах, снегоходах, моторных лодках, а также бензопилах, газонокосилках, часто смазывают маслами, которые предварительно растворяют в топливе и которые сгорают вместе с ним. Специфические требования к маслам для двухтактных бензиновых двигателей – смешиваемость с бензинами, полная растворимость в них, способность предотвращать закоксовывание поршневых колец, образование отложений на поршне, в выпускных окнах и глушителе, повреждение поверхностей трения поршня и цилиндра (задиры, риски), защита деталей двигателя от ржавления, малая зольность для обеспечения работы свечей зажигания и предотвращения преждевременного воспламенения рабочей смеси от зольных отложений в камере сгорания, малое влияние на токсичность отработавших газов (дымность). Масла для четырехтактных бензиновых двигателей этими свойствами не обладают.

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 бензинах 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 В₁ предназначены для двигателей легковых и грузовых автомобилей, работающих на бензине с октановым числом до 80. Их применяют всесезонно. Они содержат композиции отечествен-

ных присадок или пакеты импортных присадок, добавляемых к дистиллятным или компаундированным базовым маслам.

Моторное масло М-5з/10Г1 (ГОСТ 10541–78) готовят на базовом масле И-20А. Используют в регионах с низкими температурами зимних месяцев как всесезонное.

Моторное масло М-6з/12Г1 (ГОСТ 10541–78) 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 (ГОСТ 10541–78) 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 (ГОСТ 10541–78) 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 (ГОСТ 10541-78) 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.

Основные характеристики масел приведены в приложении 3.

2.2.4.2. Масла для дизельных двигателей

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. Диапазон уровней эксплуатационных свойств дизельных масел охватывает все группы классификации ГОСТ 17479.1–85.

Масла групп А и Б₂. Масла групп А и Б₂ 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 Б₂ могут быть заменены более эффективными маслами группы В₂ того же класса вязкости.

Масло МС-20П (ТУ 38.101265–88) получают добавлением многофункциональной присадки к маслу МС-20. Применяют для смазывания судовых, тепловозных и стационарных дизелей типа 12СН 18/20, эксплуатируемых на малосернистом топливе.

Масло М-16ПЦ (ГОСТ 6360-83) вырабатывают из сернистых нефтей. Содержит многофункциональную и депрессорную присадки. Применяют для смазывания двигателей типов В-2, Д-6 при работе на малосернистом топливе.

Масло М-14Б (ТУ 38.101264–72) вырабатывают из малосернистых и сернистых нефтей компаундированием дистиллятного и остаточного компонентов с многофункциональной присадкой ВНИИ НП-360 и противопенной присадкой ПМС-200А. Применяют в двух- и четырехтактных тепловозных дизелях типов 2Д100, Д-50 и аналогичных им по уровню форсирования маневровых и промышленных тепловозах.

Масло МТЗ-10П (ГОСТ 25770–83) готовят на основе маловязкого дистиллятного компонента с нормированным фракционным составом путем загущения полимерной вязкостной присадкой и добавления композиции присадок. Применяют преимущественно для зимней эксплуатации транспортных дизелей невысокой степени форсирования.

Масло МТ-16П (ГОСТ 6360–83) вырабатывают из малосернистых нефтей компаундированием смеси остаточного и дистиллятного компонентов с композицией моющей, антиокислительной, депрессорной и

противопенной присадок. С использованием новой, более эффективной композиции присадок уровень эксплуатационных свойств масла МТ-16П превышает требования к маслам группы В2. Применяют для смазывания транспортных дизелей типа В-2 и аналогичных по уровню форсирования безнаддувных двигателей.

Основные характеристики масел приведены в приложении 4.

Масла группы В₂. Масла группы В₂ 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-8В₂ (ТУ 38.401-58-37-92) и **М-10В₂** (ГОСТ 8581-78) готовят на основе смесей дистиллятного и остаточного компонентов, выработанных из сернистых нефтей. Применяют для смазывания автотракторных дизелей СМД-14, А-41, Д-50, Д-37М и других зимой (М-8В₂) и летом (М-10В₂).

Масло М-10В₂С (ГОСТ 12337-84) производят преимущественно из малосернистых нефтей путем компаундирования дистиллятного и остаточного компонентов с композицией присадок. Применяют для смазывания главных и вспомогательных дизелей морских и речных судов, дизель-генераторов, а также в циркуляционных системах двухтактных крейцкопфных судовых дизелей. Может быть использовано в автотракторных дизелях наравне с летним маслом М-10В₂.

Масло М-14В₂ (ГОСТ 12337-84) получают смешением дистиллятного и остаточного компонентов, выработанных из сернистых или малосернистых нефтей, с композицией присадок. Используют для смазывания двух- и четырехтактных тепловозных и судовых дизелей тронкового типа при их эксплуатации на дистиллятных дизельных топливах с содержанием серы до 0,5 % (мас. доля), а также двигателей карьерных автосамосвалов.

Масло М-20В₂Ф (ГОСТ 12337-84) состоит из остаточного базового масла, получаемого из сернистых нефтей, и специальной композиции присадок без дитиофосфатов цинка. Применяют для смазывания судовых дизелей типов 12ЧН 18/20 и ЧН 16/17, имеющих повышенную степень форсирования или эксплуатируемых с увеличенными сроками замены масла.

Масла М-14В₂з и М-20В₂ (ГОСТ 23497-79) вырабатывают с использованием соответственно средневязкого компаундированного и

остаточного компонентов. К этим базовым маслам, получаемым из сернистых нефтей, добавлены композиции присадок, выбранные с учетом условий применения масел для смазывания дизелей буровых установок зимой и летом. Масло М-14В₂₃ (зимнее) загущено вязкостной присадкой, но не является всесезонным.

Масло **М-16В₂** (ТУ 38.101235–74) 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** (ГОСТ 25770–83) 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.

Основные характеристики масел приведены в приложении 5.

Масла группы Г₂. Масла группы Г₂ вырабатывают из сернистых и малосернистых нефтей. Все масла этой группы содержат значительно больше более эффективных присадок, чем масла группы В₂. Высокая степень легирования масел группы Г₂ 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 Г₂, 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-8Г₂ и М-10Г₂ (ГОСТ 8581–78) 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-10Г₂ применяют также для смазывания высокооборотных стационарных дизелей и дизель-генераторов.

Масла М-8Г_{2к} и М-10Г_{2к} (ГОСТ 8581–78) отличаются от масел М-8Г₂ и М-10Г₂ только существенно более эффективными композициями присадок, что дает возможность увеличивать сроки замены масла, успешно использовать масла М-8Г_{2к} и М-10Г_{2к} в современных автомобилях КамАЗ, ЗИЛ, а также автобусах "Икарус".

Масло М-14Г_{2к} (ТУ 38.401-58-98–94) имеет тот же состав, что и масла Г_{2к} (ГОСТ 8581–78). Предназначено для четырехтактных транспортных дизелей. Можно применять вместо масла М-10Г_{2к} для летней

эксплуатации автотракторных дизелей в регионах с продолжительным и жарким летом.

Масла М-8Г_{2у} и М-10Г_{2у} (ТУ 38.401-58-21-91) 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_{2к} и М-10Г_{2к}. Переход на масла марки Г_{2у} 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 М-10Г₂ЦС, М-14Г₂ЦС и М-16Г₂ЦС (ГОСТ 12337-84) состоят из смесей дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых или малосернистых нефтей, и композиции эффективных присадок. Предназначены для смазывания главных и вспомогательных тронковых дизелей судов морского транспортного, промыслового и речного флота. Масло М-10Г₂ЦС используют также в циркуляционных системах крейцкопфных дизелей высокой степени форсирования, а масло М-16Г₂ЦС – для смазывания цилиндров тронковых и крейцкопфных дизелей с помощью лубрикаторов, когда массовая доля серы в применяемом топливе не более 1,5 %. Масло М-14Г₂ЦС широко применяют в тепловозных дизелях типа ЧН 26/26, стационарных дизель-генераторах с двигателями типа ЧН 40/48, дизель-редукторных агрегатах с двигателями типа ЧН 40/46. Масла марки Г₂ЦС получили допуск к применению у зарубежных дизелестроителей. Масла М-10Г₂ЦС, М-14Г₂ЦС и М-16Г₂ЦС могут использоваться для смазывания ряда судовых механизмов и агрегатов, где необходимы масла соответствующих вязкостей (редукторы, компрессоры, воздухоудки и др.). Отличительная особенность этих масел – очень хорошая влагостойкость, малая эмульгируемость с водой и легкое отделение воды при сепарации.

Масло М-14Г₂ (ГОСТ 12337-84) состоит из смеси дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, и композиции присадок с особо высокими моющими свойствами. Предназначено для смазывания тепловозных дизелей типа ЧН 26/26 при работе на топливе с массовой долей серы до 0,5 %.

Масло М-20Г₂ (ГОСТ 12337–84) состоит из остаточного базового масла и композиции присадок, обеспечивающей надежное смазывание в специфических условиях двухтактных дизелей. Предназначено для эксплуатации судовых и стационарных дизелей типа ДН 23/230.

Основные характеристики масел приведены в приложениях 6, 7.

Масла группы Д₂. Масла группы Д₂ вырабатывают на основе базовых компонентов, получаемых из сернистых нефтей, или с применением синтетических компонентов. В составах масел группы Д₂ 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 (ГОСТ 8581–78) 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, трубоукладчики).

Масло М-14ДМ (ТУ 38.401-58-22–91) 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-6₃/14ДМ (ТУ 38.401-938–92) 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-5₃/10Д (ТУ 38.401-58-40–92) 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-4₃/8ДС (ТУ 38.401-58-54-92) 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-5₃/10Д при умеренных климатических условиях.

Масло М-14ДР (ТУ 38.401-1063-97) состоит из смеси дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, и композиции присадок, придающих маслу повышенную стойкость к старению. Предназначено для смазывания тепловозных дизелей типа ЧН 26/28 при работе на топливе с содержанием серы до 0,5 %. Обеспечивает значительное увеличение пробега без замены масла и увеличение срока службы элементов фильтров тонкой очистки по сравнению с маслами М-14Г₂ и М-14Г₂ЦС. Аналогично импортным маслам четвертого поколения.

Масло М-16ДР (ГОСТ 12337-84) отличается от масла М-14ДР только несколько большей вязкостью основы. Предназначено для смазывания судовых двух- и четырехтактных дизелей тронкового типа ДН 23/30, ЧН 26/28 и ЧН 30/38 при работе на топливе с массовой долей серы до 0,5 %. Обладает повышенной стойкостью к старению.

Масла М-10ДЦЛ20, М-14ДЦЛ20 и М-14ДЦЛ30 (ГОСТ 12337-84) состоят из смесей дистиллятного и остаточного компонентов, вырабатываемых из сернистых нефтей, и композиций присадок в различной дозировке для получения готового масла с щелочными числами около 20 или 30 мг КОН/г. Предназначены для смазывания среднеоборотных тронковых судовых дизелей с циркуляционной или комбинированной смазочной системой. Масла М-10ДЦЛ20 и М-14ДЦЛ20 используют при работе на тяжелых топливах с массовой долей серы до 2,5...3,0 %, масло М-14ДЦЛ30 – при большем содержании серы. Обладают хорошей влагостойкостью и малой эмульгируемостью с водой, легко отделяют воду при сепарации. Допущены к применению зарубежными ди-

зелестроительными фирмами.

Основные характеристики масел приведены в приложении 8.

2.2.5. Особенности синтетических и полусинтетических моторных масел

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. 2.8.

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°C (в 3...5 раз выше равновязких им минеральных масел при температуре 100°C) 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.

Таблица 2.8. Основные показатели синтетических и минеральных моторных масел

Показатели	Минеральное масло	Синтетические масла			
		Диэфирные	Полиалкенигликолевые	Полисилоксановые	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

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

Диэфиры, 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.

Полиалкенигликоли 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. Углеродородные 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.

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

2.3 ТРАНСМИССИОННЫЕ МАСЛА

2.3.1 Условие работы и требования, предъявляемые к трансмиссионным маслам

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 шестерённые (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 скрещающимися осями. Бесшумны. Передают большие крутящиеся моменты при относительно невысоких напряжениях, т. к. одновременно контактируют несколько зубьев.

Гипоидная (гиперолоидная) – вид винтовой зубчатой передачи, осуществляемый двумя коническими колесами со скрещающимися, смещёнными друг относительно друга осями. Нагрузочная способность гипоидных передач выше, чем в других передачах со скрещающимися 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.

В цилиндрических, конических и червячных передачах удельные нагрузки в полюсах зацепления составляют 0,5 ГПа, в гипоидных – до 3 ГПа и более. Это может вызвать разрушение масляной пленки и, как следствие, сухое трение.

Фактические скорости скольжения в цилиндрических и конических

передачах составляют на входе в зацепление 1,5–3,0 м/с, для гипоидных – до 15 м/с, а для червячных – 20–25 м/с.

В цилиндрических и конических передачах вектор скорости направлен по профилю вдоль эвольвентой образующей нормально к линии контакта, вследствие чего преобладает трение качения, когда контактирующие поверхности при вращении колес катятся друг по другу. В отличие от этого в гипоидной и червячной передачах происходит дополнительное движение – проскальзывание поверхностей в течение всего времени зацепления, что создает дополнительные напряжения в зоне трения.

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.

Гидромуфты и гидротрансформаторы. Применяют при необходимости мягкого бесступенчатого увеличения крутящего момента от нуля до максимально возможного. Передаточное число муфты достигает единицы, а трансформатора – до шести.

В гидромуфтах и гидротрансформаторах передача крутящего момента осуществляется при воздействии рабочей жидкости (маловязкого масла) отбрасываемой лопатками насосного колеса на лопатки турбинного колеса. Кроме того, это же масло должно обеспечить и смазку узлов трения.

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.

Применение фрикционов обуславливает наличие у рабочих масел

гидродинамических силовых передач фрикционных свойств. А в автоматических трансмиссиях фрикционные свойства рабочей жидкости приобретают особо важное значение, влияя на их классификацию.

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 Основные свойства трансмиссионных масел и методы их оценки

2.3.2.1 Вязкостно-температурные свойства

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. Так, время попадания масла в масляные каналы подшипников коробки передач и ведущих мостов ощутимо зависит как от вязкости масла, так и от его температуры (рис. 1.4).

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.

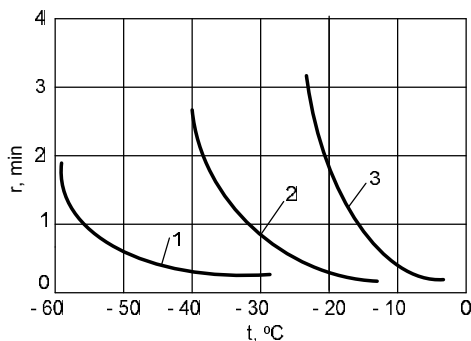


Рисунок 2.5 Зависимость времени достижения маслом канавки подшипника τ от температуры t .
1 – масло ТМ-5-9А; 2 – ТМ-5-12В; 3 – ТАД-17И.

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 $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ и скорости сдвига 106 c^{-1} ;
- 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. Температура застывания хотя и не включена в комплекс вязкостных показателей по SAE, но является одной из важнейших характеристик масел, особенно при эксплуатации в условиях холодного климата.

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 высоконагру-

женной 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.

Затраты энергии на трение зависят от величины вязкости и температуры застывания трансмиссионного масла. Фактическая рабочая вязкость в агрегатах трансмиссии зависит от температуры окружающей среды и эксплуатационной температуры масла в объеме картера.

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 тем-

пературе 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.

2.3.2.2 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 противоизносных 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.

Окисление масла при высокой температуре называется термоокислением, а способность противостоять окислению - антиокислительной стабильностью (oxidation stability).

Окисление углеводов является многостадийным процессом. В начале окисления накапливаются исходные продукты - перекиси, которые впоследствии резко ускоряют процесс. Первый этап заметно не изменяет физических свойств масла и называется индукционным периодом. Его продолжительность служит показателем стойкости масла к окислению.

После индукционного периода начинаются самоускоряющиеся реакции окисления, заметно изменяющие химические и физические

свойства масла. Образуются кислоты, смолы, увеличивается вязкость масла. На нагретых поверхностях образуются отложения, которые могут привести к повышенному износу.

Кислые продукты окисления способствуют коррозии деталей. В итоге термоокислительные процессы ухудшают эксплуатационные свойства, и поэтому стойкость к окислению является одним из основных эксплуатационных свойств масел.

Термоокисление масла в реальных условиях эксплуатации автомобиля является сложным и зависит от многих факторов: температуры масла и деталей двигателя (трансмиссии), взаимодействия с продуктами сгорания и др. Для оценки окислительной стойкости моторных и трансмиссионных масел используются лабораторные, стендовые и моторные испытания.

Лабораторные испытания применяются для прогнозирования срока службы масла и поведения масла во время эксплуатации. Они проводятся при разработке новых масел с базовыми маслами и готовыми продуктами с целью определения эффективности присадок. Антиокислительная стабильность оценивается несколькими стандартными методами и большим числом методов, разработанных отдельными компаниями.

Основные характеристики термоокислительной стабильности:

- индукционный период окисления;
- стойкость к термоокислению;
- склонность к коксованию;
- изменение щелочного числа.

Индукционный период окисления определяется по скорости расхода кислорода и применяется для моторных масел. Метод TFOUT, ASTM D 4742 «Испытание окислительной стабильности моторных масел для бензиновых двигателей методом поглощения кислорода тонким слоем».

Стойкость к термоокислению (ГОСТ 23175-78) – показатель, оценивающий стойкость моторного масла к образованию нагара на горячих поверхностях ЦПГ. Измеряется временем в мин, в течение которого масло при температуре 250 °С превращается в остаток, состоящий из 50 % фракций масла и 50 % нагара.

Склонность к коксованию (коксуемость) – свойство образовывать твердый кокс при нагревании масла без доступа кислорода. Определяется по методу Конрадсона, стандарты: ГОСТ 19932-74, ISO/DIS 6617, DIN 51352, ГОСТ 8852-74, DIN 51551.

Трансмиссионное масло во время работы не подвергается такому

перегреву, как моторное, но рабочие условия являются жесткими:

- постоянно высокая температура до 150 °С;
- интенсивное перемешивание;
- наличие цветных металлов - возможных катализаторов окисления;
- влияние больших нагрузок и высокой скорости сдвига.

При стендовом испытании трансмиссионное масло легковых автомобилей подвергается окислению в шестеренчатой машине.

Американский стандарт CRC L-60 (FTM 2504) «Метод испытания стойкости к термическому окислению TOST» (Thermal Oxidation Stability TEST) оценивает изменение свойств трансмиссионного масла при воздействии сильного окисления. Определяется увеличение вязкости, общего кислотного числа и нерастворимой части масла.

В Европе стойкость к окислению трансмиссионных масел оценивается стандартом CEC L-48-A-95 «Определение окислительной стабильности масел, используемых в коробках передач автомобилей, путем искусственного старения».

Масла (жидкости) для автоматических коробок передач (ATF) должны иметь высокую стойкость к термоокислению. Как и в трансмиссионных маслах механических передач, рабочая температура жидкостей ATF достигает 150 °С и более. Жидкости подвергаются интенсивному перемешиванию в присутствии катализирующих окисление сплавов меди. При этом жидкости ATF должны иметь большой ресурс работы (интервал замены через 30000...50000 км пробега). Кроме того, автоматическая коробка передач - агрегат высокой точности, работа которого в значительной степени зависит от чистоты деталей. Любые отложения продуктов окисления масла могут испортить автоматическую коробку передач.

Стойкость к термоокислению жидкостей Dexron определяется при помощи лабораторной машины «GM» («General Motors») окислением жидкости при 135 и 163 °С. Жидкости Mercon исследуются при помощи прибора ABOT (Aluminum Beaker Oxidation Test) компании «Ford Motor».

2.3.2.3 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.

Лабораторными методами коррозионные свойства масла оцениваются по следующим характеристикам:

- содержанию водорастворимых кислот и оснований;
- кислотному числу;
- содержанию серы;
- содержанию воды;
- характеру коррозии медной пластинки.

При моторных и стендовых испытаниях антикоррозионные свойства определяются совместно с другими характеристиками масла.

Коррозионность масла чаще всего определяется методом металлической пластинки. Коррозионные соединения не одинаково действуют на разные металлы. Испытанию подвергаются только те металлы, которые наиболее чувствительны к коррозии и контактируют с маслом.

Коррозионность трансмиссионного масла определяется отдельно для меди, медных сплавов и стали. Коррозия цветных металлов оценивается на пластинах при выдерживании их в течение установленного времени в горячем масле с последующей визуальной оценкой повреждения поверхности и изменения цвета или структуры поверхности.

Противозадирные EP присадки трансмиссионного масла, содержащие активные соединения серы, хлора и фосфора, являются агрессивными в отношении медных сплавов, поэтому коррозионность трансмиссионного масла определяется пробой медной пластинки по ISO 2160, ASTM D 130, ГОСТ 2917-76 и др.

Медный стержень выдерживается в течение 3 ч в масле при температуре 150 °С (или в других стандартных условиях) с последующей оценкой (в баллах) поверхности на интенсивность коррозии и на цвет. Интенсивность побежалости обозначается в цифрах (1 - слабая побежалость, 2 - умеренная побежалость, 3 - сильная побежалость, 4 - коррозия), а цвет - в буквах (a, b, c, d, e).

Например, балл «2с» означает поверхность средней интенсивности

(2) с фиолетово-синими и серебряными пятнами (с). Масло считается непригодным, если на поверхности медной пластины появляются зеленоватые, темно-серые, коричневые, черные пятна, отложения или поверхность покрывается пленкой. Жидкости автоматической трансмиссии пригодны к применению, если повреждение медного стержня не превышает 1b.

При испытании стальной пластинки масло считается пригодным, если на поверхности нет точек и пятен коррозии, замечаемых невооруженным глазом (по ASTM D 1748, ГОСТ 2917-76). Коррозионность масла в присутствии воды определяется по стандарту ASTM D 665/Proc.A и ГОСТ 19199-73 и оценивается терминами «соответствует» или «несоответствует».

Защитные свойства масел – способность масел предохранять от коррозии ржавления – определяются по двум методам:

- CRC L-33 (FTM 5326.1) «Определение способности трансмиссионного масла подавлять коррозию, вызываемую влагой» (Axle test to determine moisture corrosion protection of gear lubricants).

Условия испытаний: дифференциал «Spicer» прокручивается в течение 4 ч при частоте вращения 2500 мин-1 и температуре 82 °С; в последующем узел выдерживается 7 дней при температуре 52 °С, масло сливается, узел разбирается и осматривается. Для соответствия требованиям по категориям качества трансмиссионного масла допускаются следы ржавчины на крышке и никакой ржавчины на шестернях.

- CRC L-13 (FTM 5315.1) «Определение подавления коррозии в присутствии воды универсальными трансмиссионными маслами». Условия: два стальных стержня, очищенные струей песка, прокручиваются в масле, содержащем 2,5 % воды, в течение 4 ч при температуре 83 °С. Степень ржавления определяется визуально.

2.3.2.4 Склонность к пенообразованию

Пенообразование – 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. Агрегаты трансмиссии рассчитаны на образование некоторого количества пены, которая не должна выходить через сапуны. Пенообразование усиливается при наличии в масле воды. Прорыв масляной пены является первым признаком присутствия воды в масле.

Пенообразование масла, определяемое по стандарту ASTM D 892, оценивается двумя показателями: склонностью к пенообразованию и стабильностью пены.

Количество пены (мл), образующееся в масле в градуированном мерном цилиндре, прогретом до 24 °С и продуваемом воздухом в течение 5 мин, называется склонностью к пенообразованию (foaming tendency). Оставшийся объем пены (мл) после 10 мин называется стабильностью пены.

Более строгие требования по пенообразованию предъявляются к жидкостям для автоматических коробок передач. Для Dexron III оно определяется по методике «General Motors» (GM). Пенообразование уменьшается в присутствии специальных присадок, особенно силиконовых жидкостей.

2.3.2.5 Совместимость с эластомерами

Стойкость эластомерных деталей (сальников, манжет, прокладок и др.) при продолжительном контакте с маслом оценивается в зависимости от состава и типа эластомера.

Так как в эластомеры вводят противоокислительные, антифрикционные и другие добавки, при воздействии масла и смазки эластомерные детали могут набухать, терять свою эластичность или твердеть. Интенсивность старения зависит от свойств эластомеров, химического состава масла и температуры. Эластомеры быстро стареют при воздействии на них продуктов окисления масла. Отрицательное влияние на эластомеры, особенно при повышенной температуре, оказывают противозадирные (EP) присадки. Сера, входящая в состав таких присадок, вулканизует резину, которая от этого твердеет и уменьшается по объему. Воздействие масла для гипоидных передач на эластомеры всегда проверяется. В лучшем случае изменение объема эластомеров не

должно превышать 6 %, на практике допускается до 15 %.

Воздействие масла на эластомеры определяется стандартными методами по CEC L-39-X-95, ISO 1817, DIN 53521, ASTM D 471. ASTM D 2240, IP 278, ГОСТ 9.030 и др. Оценивается, например, изменение свойств образцов четырех эталонных резин при выдерживании их в масле в течение установленного времени при определенных условиях.

Оценочные показатели:

- увеличение твердости, ед. DIDC;
- изменение напряжения разрыва, %;
- изменение удлинения до разрыва, %;
- изменение объема, %, (увеличение (+), уменьшение (-)).

2.3.3 Оценка качества масел

Основные критерии при выборе масла для механической трансмиссии:

- степень вязкости SAE;
- класс качества и назначения.

При выборе масла в районах с холодным климатом следовало бы обратить внимание на температуру застывания.

В характеристиках трансмиссионных масел наряду с классом вязкости по SAE обычно представляются следующие параметры:

- плотность;
- кинематическая вязкость при 40 °C;
- кинематическая вязкость при 100 °C;
- индекс вязкости;
- вязкость по Брукфильду;
- температура вспышки;
- температура застывания.

Эти показатели не характеризуют эксплуатационные свойства масел и являются ориентационными при выборе масла по вязкости и температуре замерзания, а также для идентификации.

При определении класса качества трансмиссионных масел определяются следующие эксплуатационные показатели:

несущая способность: повреждение шестерен при низкой скорости и большом вращающем моменте; задир шестерен при высокой скорости и ударных нагрузках; нагрузка до появления задира прямоугольной цилиндрической шестерни;

термическая стойкость и стойкость к окислению: термическая стойкость и стойкость к окислению; чистота деталей; высокотемпера-

турная циклическая стойкость;

пенообразование;

антикоррозионная стойкость: испытание на коррозию медной пластинки; защита от коррозии в присутствии воды;

совместимость с уплотнителями; стойкость при хранении; взаимосмешиваемость.

Американские методы испытаний масел регламентируются стандартами США (ASTM, CRC и FTM). Некоторые европейские производители машин (OEM) вносят свои коррективы и дополнения. Наиболее значительны спецификации «Zahnradfabrik Friedrichshafen », «Volkswagen», «Mercedes-Benz». Другие компании если и не оглашают своих дополнительных спецификаций, требуют применять только масла, получившие их лицензии, например, «Opel», «Renault», BMW и др.

Каждая категория качества масла API проверяется по отдельному комплексу испытаний, который может дополняться другими методами, если производители автомобилей или трансмиссионных агрегатов требуют качества выше, чем установлено категориями масел и жидкостей API.

Соответствие качества трансмиссионных масел выдвигаемым требованиям и пригодность трансмиссионных масел для механических шестеренчатых передач определяется на стендах, имитирующих работу трансмиссии. Ниже приводятся некоторые лабораторные и стендовые испытания качества трансмиссионных масел.

Спецификации MIL. Спецификации трансмиссионных масел Вооруженных сил США были первыми, широко признанными во многих странах мира. На основе этих спецификаций были разработаны не только стандарты категорий качества API, но и спецификации почти всех производителей машин. В спецификациях MIL предусмотрена целая система химических, физических и стендовых испытаний, позволяющих оценить свойства трансмиссионных масел.

Спецификации OEM's. Как и в случае моторных масел, некоторые производители автомобилей, передач и других агрегатов трансмиссий выдвигают дополнительные требования к трансмиссионным маслам. Эти требования оформляются в виде заводских (фирменных) стандартов - спецификаций. Чаще всего в спецификациях изготовителей машин требуется проведение дополнительных испытаний, не предусмотренных в общей спецификации, или когда значение нормативного показателя является недостаточным для изготовителя машин. После проведения соответствующих испытаний производители масел получают подтверждения в виде документа о соответствии конкретной

марки масла дополнительным требованиям. Кроме того, производители машин включают эти масла в список допускаемых к применению материалов. На этикетке и в описании конкретного масла указывается номер спецификации производителя машин, который является официальным заявлением о признании соответствия масла требованиям изготовителя машин. При необходимости поставщик масла обязан предоставить покупателю копию подтверждающего документа или его номер. Кроме того, представитель изготовителя машин должен иметь список утвержденных материалов, по которому определяется действительность маркировки масла.

Испытания жидкостей ATF. Жидкости для автоматической трансмиссии (ATF) – это хорошо очищенные и специально подобранные минеральные или синтетические масла с присадками, придающими маслу требуемые свойства. Статический и динамический коэффициенты трения должны иметь постоянные значения в ходе всей эксплуатации для обеспечения легкого переключения передач и избежания рывков при работе трансмиссии. Плавная работа трансмиссии без рывков обеспечивается применением модификаторов трения, которые вводятся почти во все жидкости гидродинамических передач и имеют особое значение для жидкостей автоматической коробки передач. Параметры трения жидкостей автоматической коробки передач определяются в машине трения SAE №2. Высокий индекс вязкости (180 и более) обеспечивается модификаторами индекса вязкости или специально подобранными базовыми минеральными или синтетическими маслами. Пенообразование должно быть минимальным при самых больших оборотах и нагрузках.

Жидкости для автоматической трансмиссии должны обладать быстрой деаэрацией (выделением воздуха). Противоокислительная стойкость должна обеспечить стабильность свойств масла в ходе всего периода эксплуатации масла (30000...50000 км пробега).

Для улучшения смазочных свойств вводятся противоизносные и разделяющие присадки.

Обобщая вышеизложенное, можно отметить следующие основные требования к качеству жидкостей для автоматической трансмиссии:

- статический и динамический коэффициенты трения должны быть стабильными в течение всего периода эксплуатации жидкости;
- хорошие низкотемпературные свойства;
- высокий индекс вязкости;
- хорошие противоизносные свойства;
- высокая стойкость к окислению при высокой температуре и интен-

сивном перемешивании с воздухом;

- хорошие диспергирующие и моющие свойства;
- хорошие антикоррозионные свойства;
- малое пенообразование и хорошая деаэрация;
- хорошая совместимость с прокладками и деталями из синтетических эластомеров полимеров.

2.3.4 Международные классификации трансмиссионных масел

2.3.4.1 Классификация по вязкости

Стандарт SAE J306. 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» (Axle and Manual Transmission Lubricant Viscosity Classification). Вязкость масла выражается в условных единицах – степенях вязкости по SAE.

Спецификация SAE J306 (таблица 2.9) используется производителями автомобильных трансмиссий при определении и рекомендации трансмиссионных масел для ведущих мостов и механических коробок передач, а также производителями масел при разработке новых составов, производстве и маркировке готовых продуктов.

Таблица 2.9 Степени вязкости масел для механических трансмиссий (SAE J306 JUL98)

Степень вязкости по SAE	Максимальная температура при вязкости 150000 сП, °C ^{(a), (c)}	вязкость при 100 °C, мм ² /с ^(b)	
		min ^(c)	max
70W	-55 ^(d)	4,1	–
75W	-40	4,1	–
80W	-26	70	–
85W	-12	11	–
80	–	7.0	<11.0
85	–	11.0	<13.5
90	–	13.5	<24.0
140	–	24.0	<41.0
250	–	41.0	–

Примечания: (a) По методике ASTM D2983; (b) По методике ASTM D445; (c) Ли-

мит должен выдерживаться после 20-ти часов испытания CEC L-45-T-93, Method C; (d) Метод ASTM D2983 не обеспечивает необходимой точности при измерениях ниже -40°C; (e) Дополнительные требования к низкотемпературной вязкости могут быть предъявлены к жидкостям, предназначенным для использования в легконагруженных синхронизированных МКПП (легковые автомобили, микроавтобусы).

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 по Брукфильду достигает значения 150000 сР. Вязкость определяется по методу ASTM D2983-87(1993) «Стандартный метод определения низкотемпературной вязкости автомобильных масел путем измерения на вискозиметре Брукфильда» (Standard Test Method for Low-Temperature Viscosity of Automotive Fluid Lubricants Measured by Brookfield Viscometer).

Значение вязкости 150000 сР, используемое 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. Именно по этой причине следует четко соблюдать рекомендации производителей автомобиля или трансмиссии по низкотемпературным границам применения, занесенные в «Руководство пользователя» (Owners manual).

Требования к низкотемпературной вязкости масла, обеспечивающей бесперебойное переключение передач, в механических КПП значительно выше. В стандарте J306 редакции ОСТ-91, действовавшем до середины 1998 года, были приведены данные о том, что большинство механических КПП требуют для исправной работы вязкость масла, не превышающую 20000 сР.

В стандарте J306 JUL98 была введена рекомендация по дополнительному тестированию трансмиссионных масел, предназначенных

для использования в легконагруженных синхронизированных механических коробках переключения передач (легковые автомобили и микроавтобусы). В качестве теста рекомендуется использовать метод ASTM D5293-99а «Стандартный метод тестирования кажущейся вязкости моторных масел с использованием имитатора запуска холодного двигателя в интервале от -5 до -35 °C» (Standard Test Method for Apparent Viscosity of Engine Oils Between -5 and -35 °C Using the Cold-Cranking Simulator). Рекомендован лимит в 5000 сР при температуре -30 °C. Практически это может означать рекомендацию по применению в механических КПП синтетических, полусинтетических или гидрокрекингowych трансмиссионных масел SAE 75W-XX (для регионов с зимними температурами до -30 °C).

Показатель высокотемпературной вязкости оценивается на основе значения кинематической вязкости масла при температуре 100°C. Определяется по методу ASTM D445-97 «Стандартный метод определения кинематической вязкости прозрачных и непрозрачных жидкостей» (Standard Test Method for Kinematic Viscosity of Transparent and Opaque Liquids).

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 основными 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. Минимальное значение кинематической вязкости при 100°C не должно опускаться ниже указанного предела даже после 20 часового воздействия деформации сдвига. Условия деформации сдвига обеспечиваются оборудованием в рамках испытания СЕС L-45-T-93 «Тест по определению стабильности вязкости трансмиссионных масел к напряжению сдвига» (Viscosity shear stability of transmission lubricants).

Данное требование позволяет выявить трансмиссионные масла, производители которых максимально близко приближались к граничным лимитам вязкости либо использовали в составах недостаточно стабильные к напряжениям сдвига загустители.

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).

После издания новой редакции стандарта некоторые поставщики смазочных масел (oil marketers) вынуждены пересмотреть практику маркировки и, возможно, формулы составов (рецептуры) масел для соответствия новым требованиям отредактированной спецификации SAE.

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. Моторные и трансмиссионные масла, имеющие одинаковое значение вязкости, будут значительно различаться в обозначениях по SAE (таблицы 2.10 и 2.11).

Таблица 2.10 Примерное сопоставление степеней вязкости SAE моторных и трансмиссионных масел на основе высокотемпературных показателей кинематической вязкости при 100 °C

Степени вязкости по SAE	
Моторные масла	Трансмиссионные масла
0W	70 W 75W
5W	
10W	
15W	80W 80
20W	
20	
25W	85W 80
30	
40	
50	90
60	
	140
	250

Таблица 2.11 Примерное сопоставление зимних степеней вязкости SAE моторных и трансмиссионных масел на основе показателей низкотемпературной вязкости по Брукфильду

Степени вязкости по SAE	
Моторные масла	Трансмиссионные масла
0W	70W
5W	75W
10W	80W
15W	
20W	
25W	85W

2.3.4.2 Классификация по назначению

Единой системы классификации трансмиссионных масел по эксплуатационным свойствам, качеству и назначению нет. Общепринятой 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, вклю-

чая 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.

Классификация описана в документе API «Обозначение эксплуатационных смазочных масел для коробок передач ручного управления и для мостов. Публикация API 1560, февраль 1976 г.» (API Publication 1560, Lubricant Service Designation for Automotive Manual Transmissions and Axles, February 1976).

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 «Zahnradfabrik Friedrichshafen» (Германия, Фридрихсхафен, далее - ZF) 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 Концерна 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 Концерна 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 Концерна 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 Концерна ZFN 13022; вязкость SAE 10W-30 / 10W-40 / 15W-30 / 15W-40 / 20W-40;

- ZF TE-ML 07C - моторные масла, соответствующие требованиям стандарта Концерна 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 ZFN13015;

- 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.

2.3.4.3 Классификация масел по ГОСТ

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. В зависимости от уровня кинематической вязкости при 100°C трансмиссионные масла разделяют на четыре класса.

Таблица 2.12 **Классы трансмиссионных масел по ГОСТ 17479.2-85**

Класс вязкости	Кинематическая вязкость при 100 °С, мм ² /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°C 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, указанным в таблицах 2.13-2.14.

Таблица 2.13 **Классификация трансмиссионных масел по эксплуатационным свойствам**

Группа масел	Состав масел	Рекомендуемая область применения	Обозначение
1	Минеральные масла без присадок	Цилиндрические, конические и червячные передачи, работающие при контактных напряжениях от 900 до 1600 МПа и температуре масла в объеме до 90 °С	ТМ-1
2	Минеральные масла с противоизносными присадками	То же, при контактных напряжениях до 2100 МПа и температуре масла в объеме до 130 °С	ТМ-2
3	Минеральные масла с противоизносными присадками умеренной эффективности	Цилиндрические, конические, спирально - конические и гипоидные передачи, работающие при контактных напряжениях до 2500 МПа и темпера-	ТМ-3

		туре масла в объеме до 150 °С	
4	Минеральные масла с противозадирными присадками высокой эффективности	Цилиндрические, спирально-конические и гипоидные передачи, работающие при контактных напряжениях до 3000 МПа и температуре масла в объеме до 150 °С	ТМ-4
5	Минеральные масла с противозадирными присадками высокой эффективности и многофункционального действия, а также универсальные масла	Гипоидные передачи, работающие с ударными нагрузками при контактных напряжениях выше 3000 МПа и температуре масла в объеме до 150 °С	ТМ-5

Примечание: ТМ-1 и ТМ-2 имеют ограниченное применение ввиду низкого уровня смазывающих свойств;

ТМ-3 - смеси дистиллятного маловязкого низкотемпературного масла с остаточными вязкими маслами селективной очистки с добавлением противозадиной, противоизносной и антипенной присадок; иногда смеси дистиллятного масла с деасфальтизатором или загущаются полиметакрилатом;

ТМ-4 - смеси дистиллятных и остаточных масел, а в некоторых случаях включают осерненный нигрол, окисленный петралатум и загустители консистентных смазок;

ТМ-5 - масла предназначены для работы в самых тяжелых условиях и их состав зависит от конструкции трансмиссии и условий работы.

По классификации ГОСТ 17479.2-85 масла маркируют по уровню напряженности работы трансмиссии и классу вязкости. Например, в маркировке масла ТМ-5-18 ТМ означает начальные буквы русских слов "трансмиссионное масло", первая цифра – группа масла по эксплуатационным свойствам, вторая цифра – класс вязкости масла.

Группу масел устанавливают по результатам оценки их свойств по ГОСТ 9490-75 при разработке новых трансмиссионных масел и постановке их на производство, а также при периодических испытаниях товарных масел 1 раз в 2 года (таблица 2.14).

Таблица 2.14 **Оценочные показатели при определении группы масла**

Определяющее свойство	Группа масла			
	1,2	3	4	5
Предельная нагрузочная способность по нагрузке сваривания (Рс), Н, не менее	2700	2760	3000	3280
Противоизносное свойство по показателю износа Ди* при осевой нагрузке 392 Н при (20 ± 5) °С в течение 1 ч, мм, не более	0,5	–	–	0,4

* Ди - диаметр пятна износа при испытании на 4-х шариковой машине трения

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.

Для решения вопроса взаимозаменяемости отечественных и зарубежных масел в таблице 2.15 дано примерное соответствие классов вязкости и эксплуатационных групп трансмиссионных масел по ГОСТ 17479.2-85 классам вязкости по классификации SAE и группам по классификации API.

Таблица 2.15 Соответствие классов вязкости и групп эксплуатационных свойств трансмиссионных масел по ГОСТ 17479.2-85 классификациям SAE J306C и API

Класс вязкости по ГОСТ 17479.2-85	Класс вязкости по SAE J306C	Группа по ГОСТ 17479.2-85	Группа по API
9	75W	TM-1	GL-1
12	80W/85W	TM-2	GL-2
18	90	TM-3	GL-3
34	140	TM-4	GL-4
-	-	TM-5	GL-5

2.3.5 Эксплуатационные группы трансмиссионных масел

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: нефтенового 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 гипойдной 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:

- синхронизированные коробки передач;
- несинхронизированные коробки передач;
- передачи переднего ведущего моста;
- передачи, переключаемые под нагрузкой;
- малонагруженная главная передача с дифференциалом;
- раздаточная коробка;
- редукторы колес;
- делители, дополнительные коробки передач и др.

Основные требования к качеству:

- снижение износа;
- снижение трения;
- отсутствие коррозии синхронизаторов;
- защита от коррозии других деталей;
- отвод тепла;
- подавление вибрации и смягчение ударных нагрузок;
- удаление продуктов износа и загрязнений.

Синтетические трансмиссионные масла отличаются:

- малой вязкостью (SAE 75W-90);
- большим индексом вязкости (175...205);
- низкой температурой замерзания (ниже минус 50 °С);
- высокой устойчивостью к сдвиговой деструкции;
- стойкостью к термическому и окислительному воздействию;
- низкой склонностью к пенообразованию.

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 рас-

смазывают 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 СЕС 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 гидро-

трансформатором; 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 загруженными 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:

MIL-L-2105D (Multigrade), MIL-L-2105 B (Monograde); Ford SM-2C ЮНА, SQM-2C 9002AA; MAN 342; MB page 235; Volvo 97310, Volvo 97313; ZF TE-ML 01, ZF TE-ML 05, ZF TE-ML 07.

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 хоро-

шую 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 («Renault Espace Quadro», «Ford Escort RS 2000» и др.) 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 малонагруженных передач.

Режим работы некоторых агрегатов трансмиссии легкий, а конструкция - простая. Для них применяются масла, в которых присадки

отсутствуют или присутствуют в минимальном количестве. Такие масла дешевые и имеются в ассортименте каждой крупной компании (категория качества API GL-1). Для передач простой конструкции возможно применение смазочных масел более высокого класса, но это экономически невыгодно.

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. Разнообразие материалов 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®.

Автомобильная корпорация «General Motors» в 1949 г. создала специальное масло для автоматической коробки передач, которое условно называлось «Type A». В это время оно применялось для всех автомобилей, в том числе и «Ford». В 1961 году «Ford» издал спецификацию на масло M2C33-D с новыми требованиями по фрикционным свойствам; с этого периода выпускались и развивались два типа масел – «General Motors» и «Ford».

Со временем разница между этими маслами сократилась, и с 1993 года они стали взаимозаменяемы. Dexron III (G) и Dexron IV созданы с учетом требований для электронноконтролируемого сцепления автотрансформатора. Последняя модификация масла Ford Mercon V (M2C202 B, Type B) имеет особые свойства и с другими маслами не взаимозаменяемо.

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.

Спецификации производителей машин.

1. Для легковых автомобилей:

в Европе: ZF TE-ML 11; MB 236.2 (для легковых автомобилей MB); MB 236.6, 236.7 (универсальное); MB 236.8 (синтетическое, продлен-

ный интервал замены); VW G 052 162, G 052 990; Volvo 97330.

в Японии: Toyota; Nissan; Honda; Mazda; Mitsubishi.

2. Для автобусов, тягачей, грузовых автомобилей и мобильной техники:

в Европе: ZFTE-ML 14; MAN 339; MB 236.1-5; MB 236.2 (для автомашин MB); MB 236.6, 236.7 (универсальное); MB 236.8 (синтетическое, продленный интервал замены); Voith G 607; Voith G 1363 (продленный интервал замены); Volvo 97335, 97340.

в Северной Америке: Allison C-3, C-4; Caterpillar TO-2, TO-4; John Deere JDM 20A; Massey-Ferguson M 1135, M 1139.

Масла для бесступенчатой коробки передач.

В настоящее время производителями машин совместно с нефтекомпаниями ведутся интенсивные работы по созданию автоматических бесступенчатых коробок передач. Разрабатываются одновременно несколько направлений конструкционного решения создания такой передачи, все они основаны на использовании принципа фрикционных вариаторов:

- клиноременного (belt);
- торового (toroidal).

Пока наиболее полно разработана клиноременная передача с использованием стального или армированного эластомерного ремня. Такие передачи уже устанавливаются на некоторые модели легковых автомобилей (Fiat, Ford, Honda и др).

Бесступенчатая коробка передач обеспечивает плавную работу автомобиля и при этом является экономичной, как и передачи ручного управления.

Для жидкой среды бесступенчатой коробки передач разрабатываются специальные масла с определенными фрикционными свойствами при низкой скорости скольжения.

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 (ТУ 38.101529-75), 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 – ТС (ОСТ 38.01260-82), класс вязкости 18. Ввиду низких эксплуатационных качеств применяется только на старых моделях

легковых автомобилей.

К группе ТМ-3 относятся масла ТСП-10, ТАп-15В, ТСП-15к, выпускаемые по ГОСТ 23652-79.

К группе ТМ-4 относят масла ТСз-9гип (ОСТ 38.101158-78), ТСП-14гип (ГОСТ 23652-79) и ТСгип (ОСТ 38.01260-82).

Группа ТМ-5 включает масла ТМ-5-12рк (ТУ 38.101844-80) и ТАД-17и (ГОСТ 23652-79).

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.

До введения ГОСТ 17479.2-85 на классификацию и систему обозначений трансмиссионных масел маркировка масел в нормативно-технической документации была другой. Обозначение трансмиссионных масел по ГОСТ 17479.2-85 и соответствие их ранее принятым маркам приведены в таблице 2.17.

Таблица 2.17 Соответствие обозначений трансмиссионных масел по ГОСТ 17479.2-85 принятым в нормативно-технической документации

Обозначение масла по ГОСТ 17479.2-85	Принятое обозначение масла	Нормативно-техническая документация
1	2	3
ТМ-1-18	ТС-14,5	ТУ 38.101110-81
ТМ-1-18	АК-15	ТУ 38.001280-76
ТМ-2-9	ТСП-10 ЭФО	ТУ 38.101701-77
ТМ-2-18	ТЭп-15	ГОСТ 23652-79
ТМ-2-34	ТС	ТУ 38.1011332-90
ТМ-3-9	ТСзп-8	ТУ 38.1011280-89
ТМ-3-9	ТСП-10	ТУ 38.401809-90
ТМ-3-18	ТСП-15К, ТАп-15В	ГОСТ 23652-79
ТМ-5-9	ТСз-9гип	ТУ 38.1011238-89
ТМ-5-18	ТСП-14гип, ТАД-17и	ГОСТ 23652-79
ТМ-5-34	ТСгип	ОСТ 38.01260-82
ТМ-5-12з(рк)	ТМ5-12рк	ТУ 38.101844-80

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, КрАЗ, Урал и др. машин. Всесезонно для средней полосы, работоспособно при температуре до - 30 °С.

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 °С, контактных напряжениях до 2,5...10 Па и скоростях скольжения до 15 м/с. Всесезонно для средней полосы, работоспособно при температуре до минус 25 °С.

Масло **ТАД-17н** изготавливают из смеси дистиллятного и остаточного масел. Содержит многофункциональную серофосфорсодержащую, депрессорную и антипенную присадки. Применяется для смазывания цилиндрических, конических, червячных, спирально-конических и гипoidных передач автомобилей ВАЗ и другой техники. Всесезонно и работоспособно до минус 30 °С.

Масло **ТЭп-15** вырабатывают на базе ароматизированных остаточных продуктов и дистиллятных масел. Функциональные свойства масла улучшены благодаря введению противозадирной 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 °С.

Масло **ТСп-14гип** изготавливают из смеси остаточного и дистиллятного компонентов сернистых нефтей. Содержит противозадирную, анти-окислительную, депрессорную и антипенную присадки. Применяется для гипoidных передач грузовых автомобилей. Всесезонно до минус 30 °С.

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 рай-

онах 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°C.

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°C.

Масло **ТСгип** на осерненной минеральной основе. Содержит депрессорную присадку. Предназначено для гипоидных передач легкового 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 противозадириной, 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)** ТУ 38.101844-80. Универсальное всесезонное рабоче-консервационное масло для цилиндрических, конических и гипоидных передач при эксплуатации техники до минус 55 °С.

Показатели основных марок трансмиссионных масел отражены в табл. 2.18.

Масла для гидромеханической и гидрообъемной передачи.

Особенностью масел для гидромеханических и гидрообъемных передач является наличие фрикционных свойств, позволяющих организовать четкую работу фрикционных дисков включения передач.

Фрикционные свойства масел обеспечиваются за счет силы взаимодействия его молекул между собой и с поверхностью дисков. В результате создается сопротивление сдвигу больше, чем передаваемый крутящий момент. Фрикционные свойства оценивают коэффициентом трения, который находится в пределах 0,1–0,18 и зависит от фрикци-

онных свойств масла и скорости скольжения. Коэффициент трения обычно стабилизируется при скорости скольжения больше 0,1 м/с.

Антифрикционные, противоизносные и другие свойства масел для гидромеханических трансмиссий в соответствии с предъявляемыми к ним требованиями обеспечиваются их вязкостными характеристиками, наличием присадок, механизм действия которых аналогичен действию в механических трансмиссиях.

На технике, имеющей гидромеханические коробки передач широко используются масла марок А (ТУ 38.101179-79), МГТ (ТУ 38.401494-84), а для обеспечения работы гидроусилителей рулевого управления – масло Р (ТУ 38.101179).

Эти масла выполняют роль рабочего тела для бесступенчатого изменения, передаваемого от двигателя крутящего момента и частоты вращения, а также выполняют общие функциональные задачи масел: смазка узлов трения, охлаждение, защита от коррозии и др.

Масла для гидромеханических коробок передач получают на основе маловязкого минерального масла глубокой селективной очистки загущением полиизобутилена и добавлением антиокислительной противоизносной, депрессорной и антипенной присадок. Масляная основа и загуститель подбираются с учетом климатической зоны применения масла.

Таблица 2.18 Основные эксплуатационные характеристики масел для механических трансмиссий

Показатель	ТМ-5-12рк	ТСп-10	ТСз-9гип	ТАп-15В	ТСп-15к	ТСп-14гип	ТСгип
Вязкость динамическая, Па·с, при температуре:							
–50 °С.....	280–350	3000–8000	35–100	–	–	–	–
–40 °С.....	30–60	300–700	8–20	–	4500–8000	4000–8000	–
–30 °С.....	7,5–13	40–100	2–5	3000–5000	300–550	300–500	300–10000
–20 °С.....	2,5–4,5	9–25	1–2	200–300	40–70	не более 80	400–1000
–10 °С.....	1,4–1,7	3–6	0,5–0,9	20–40	8–15	10–20	55–150
0 °С.....	0,6–0,8	1–2	0,2–0,5	5–10	2–3	2–5	15–30
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при температуре:							
50 °С.....	48–55	55–60	36–40	130–140	95–100	95–100	200–300
100 °С.....	не менее 12	не менее 10	не менее 9	14–16	не менее 15	не менее 14	20,5–32,4
Температура застывания, °С, не выше	–45	–40	–50	–20	–25	–25	–20
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	180	128	160	180	180	180	170
Смазывающие свойства: удельная нагрузка заедания шестерен стенда IAE, МПа, не менее.....	3150	2340	2900	2270	2480	3000	2840
Показатель износа (ГОСТ 9490 – 75), мм, не более.....	0,6	0,7–0,9	0,8–1,1	0,6–0,8	0,5	0,7–0,8	0,9–1,2
Примерный температурный диапазон применения, °С.....	От –50 до 150	От –45 до 140	От –50 до 100	От –25 до 130	От –30 до 150	От –35 до 130	От –50 до 150

Продолжение т а б л и ц ы 2.18

Показатель	ТСЗп-8	МТ-8п	Шарнирное ВНИИ НП-25
Вязкость динамическая, Па·с, при температуре:			
–50 °С.....	50–80	–	–
–40 °С.....	11–15	–	не более 55
–30 °С.....	3,8–4,8	30	15
–20 °С.....	1–1,5	4,6	4,0
–10 °С.....	0,4–0,7	1,6	1,5
0 °С.....	0,2–0,3	0,8	0,7
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при температуре:			
50 °С.....	26–30	28–32	40
100 °С.....	7,5–8,5	8–9	не менее 9,8
Температура застывания, °С, не выше	–50	–30	–54
Температура вспышки в открытом тигле, °С, не ниже	170	180	135
Смазывающие свойства: удельная нагрузка заедания шестерен стенда IAE, МПа, не менее.....	2840	1900	–
Показатель износа (ГОСТ 9490 – 75), мм, не более.....	0,4–0,5	0,4–0,5	–
Примерный температурный диапазон применения, °С.....	От – 50 до 150	От – 35 до 150	От – 45 до 130

Для гидрообъемных передач и гидроусилителей рулей используется маловязкое, малосернистое масло типа веретенного **АУ** с комплексом присадок, улучшающих эксплуатационные свойства.

Для гидромеханических коробок передач применяются масла марок **А, Р, МГТ**.

Масло марки А представляет собой глубоочищенное дистиллятное масло, в которое введены противоизносная, антиокислительная, депрессорная и антипенная присадки. Применяется всесезонно при температуре окружающего воздуха от минус 35 °С в гидротрансформаторах и гидромеханических передачах автомобилей и автобусов.

Масло марки Р изготавливается на основе веретенного масла АУ, в которое вводится этот же комплекс присадок, что и в масло марки А. Применяется в гидроусилителях рулевого управления автомобилей всесезонно при температуре окружающего воздуха от минус 45 °С.

Масло МГТ представляет собой высокоочищенное минеральное масло, в которое введен комплекс высокоэффективных функциональных присадок, обеспечивающих маслу высокий индекс вязкости и хорошие вязкостно-температурные свойства. Применяется в гидромеханических коробках передач автомобильной и гусеничной техники при температуре окружающего воздуха от минус 55°С и контактом напряжении до 2000 МПа.

Основные характеристики масел для гидромеханических и гидрообъемных передач приведены в табл. 2.19.

Таблица 2.19 **Основные характеристики масел для гидромеханических и гидрообъемных передач**

Показатели	Для гидротрансформаторов и автомеханических передач		Для гидроусилителя руля, марка Р
	А	МГТ	
1	2	3	4
Вязкость кинематическая (мм ² /с) при температуре:			
50 °С	20–30	–	12–14
100 °С	–	6–7	–
–20 °С	2100	–	
Вязкость динамическая при температуре минус 50 °С – не более, Па·с	–	400	–
Температура вспышки – выше, °С	175	160	163
Температура застывания – ниже, °С	–40	–55	–45
Испытания на коррозию стальных пластин	Выдерживает		

Продолжение табл. 2.19

1	2	3	4
Увеличение массы резины после выдерживания ее в масле в течение 72 ч при температуре 130 °С – не более, %			
Марка 81-90	2	–	–
Марка В-1И	–	5,0	2,5
Испытание на вспенивание при температуре 125 °С	Пена должна исчезать не более чем через 30с		
Индекс задира, Из	–	40	2
Критическая нагрузка, Н	720	900	–
Нагрузка заедания, Н	2240	2000	–
Диаметр пятна износа, мм (4ч, 200Н)	0,55	0,50	–

2.3.6 Применение масел при низких температурах

Автомобили не имеют средств подогрева смазочного масла в агрегатах трансмиссий. В связи с этим трогание техники при низкой температуре после длительной стоянки определяется в основном вязкостно-температурными свойствами трансмиссионных масел.

На основании проведенных исследований и накопленного опыта применения трансмиссионных масел установлены предельно допустимые уровни их вязкости, при которых обеспечивается первоначальное свободное трогание машин без ущерба для зубчатых зацеплений и тел качения подшипников.

Одной из особенностей трансмиссионных масел является то, что при их разбавлении дизельным зимним или арктическим топливом даже на 20 %, смазывающие свойства масел (противоизносные, противозадирные, противопиттинговые и антифрикционные) практически не ухудшаются, так как масла содержат некоторый избыток соответствующих присадок. Это позволяет использовать масло, разбавленное дизельным топливом, без снижения установленных сроков смены даже при переходе на весеннее-летнюю эксплуатацию. С повышением температуры воздуха легкие фракции дизельного топлива постепенно испаряются и вязкость при положительных температурах приближается к вязкости исходного масла. Рекомендации о разбавлении трансмиссионных масел дизельным топливом приведены в таблице 2.20.

Второй особенностью применения масел при низких температурах является то, что в агрегатах трансмиссий накапливается вода от следов до 4...5 %, это ухудшает смазывающую способность некоторых масел. При эксплуатации машин в зимнее время рекомендуется периодически проверять наличие воды в картерах агрегатов трансмиссий и сливать ее через сливные отверстия.

Таблица 2.20 Применение трансмиссионных масел при низких температурах

Масла	Область применения	Температура, обеспечивающая свободное трогание техники, °С				
		Товарные партии масел	При добавлении дизельного, арктического или зимнего топлива по ГОСТ 305-82			
Трансмиссионное автомобильное ТАп-15В (ТМ-3-18) ГОСТ 23652-79	Масло общего назначения для смазки коробок передач, ведущих мостов, раздаточных коробок, коробки отбора мощностей, конечных редукторов, рулевых механизмов и других машин на их базе (кроме гипоидных передач)	До -25	До -30	До -35	До -40	До -45
Трансмиссионное ТСп-15К (ТМ-3-18) ГОСТ 23652-79		До -30	До -40	До -45	До -50	До -55
Трансмиссионное северное ТСп-10 (ТМ-3-9) ТУ 38.401 809-90		До -45	До -50	До -55		
Масло трансмиссионное гипоидное ТСп-14гип (ТМ-4-18) ГОСТ 23652-79	Для гипоидных передач грузовых автомобилей ГАЗ-53, ГАЗ-66, ГАЗ-52, ЗИЛ-133 всех модификаций и др. машин на их базе.	До -30	До -40	До -45	До -50	До -55
Масло для гипоидных передач, легковых автомобилей, ТСгип (ТМ-4-34), ТУ 38.1011232-90	Для гипоидных передач легковых автомобилей «Чайка», «Волга», «Москвич», и др. машин на их базе	До -20	До -25	До -30	При более низких t можно использовать масло ТАД-17 и с 10-15% дизтоплива	
Трансмиссионное ТАД-17 и (ТМ-5-18) ТУ 38.401739-88	Агрегаты трансмиссий с гипоидными передачами, коробки передач и рулевое управление легковых автомобилей; всесезонное, работоспособно до -30 °С	До -30	До -40	До -45	До -50	До -55
Трансмиссионное арктическое ТСЗ-9гип (ТМ-4-9), ТУ 38.101 1238-89	Для зимней смазки агрегатов трансмиссий автомобилей и спецмашин с гидравлическими коробками передач	До -55	-	-	-	-
Марка «А» для гидромеханических автоматических коробок передач, ТУ 38.101 1282-89	Для гидромеханических коробок передач автомобилей типа МАЗ-537, БелАЗ, автобусов ЛиАЗ-677 и др. машин	До -35 разбавление дизтопливом не рекомендуется. При t ниже -35° следует применять смесь марки типа «А» с маслами трансформаторными или МС-8 в соотношении 1:1. смесь работоспособна до -50 °С				
МГТ, ТУ 38.101 1103-87	То же	До -50				
Марка «Р» для гидрообъемных передач и систем гидравлического усиления рулей автомобилей, ТУ 387101 1282-89	Для гидрообъемных передач, систем гидроусиления рулей автомобилей, гидравлического управления машин	До -40	До -45			

Третьей особенностью применения масел при отрицательных температурах является снижение эффективности противозадирных и противоизносных присадок.

Не рекомендуется разбавлять трансмиссионные масла тракторным, авиационным или осветительным керосином, который резко ухудшает антифрикционные свойства масла за счет своей высокой диспергирующей способности.

Не рекомендуется также разбавлять трансмиссионные масла маловязкими маслами, так как для получения необходимого уровня вязкости при низких температурах потребуется 40...50 % маловязкого масла, что резко снизит концентрацию противоизносных присадок.

2.3.7 Периодичность замены трансмиссионных масел

Срок службы масел в агрегатах трансмиссий зависит от конструкции трансмиссии, качества масел, условий и режима эксплуатации автомобиля и находится в пределах от 14 до 75 тыс. км пробега.

Масло заменяют при значительном изменении его показателей качества по сравнению с исходным маслом: вязкости, кислотности, противоизносных, антикоррозионных, антиокислительных свойствах.

Условия эксплуатации для конкретной конструкции трансмиссии являются важнейшим фактором, определяющим срок смены масел.

К ним относятся: нагруженность трансмиссии, температурный режим, интенсивность поступления продуктов загрязнения (пыль, вода, продукты износа деталей), механическое воздействие и др. Наиболее нагружены агрегаты трансмиссии на грунтовой дороге.

Удельная энергия по сравнению с движением по скоростной дороге возрастает: по булыжной дороге в 1,66 раза, в городских условиях в 1,89 раза, в горных условиях в 1,94 раза, на грунтовой дороге в 2,21 раза.

Необходимым условием продолжительной работы масла является надежная защита агрегатов от проникновения пыли и влаги. Дорожная пыль (кварцевая) резко снижает противоизносные свойства масла, которые не компенсируются самыми эффективными присадками.

При попадании в масло ТСгип 5 % воды нагрузка сваривания снижается в 2 раза, а износ увеличивается в 2 раза.

Одним из параметров, определяющих необходимость замены масла, считают повышение вязкости на 50 %.

Сроки службы трансмиссионных масел в современных легковых автомобилях различны и составляют 60000...75000 км пробега. В некоторых моделях легковых автомобилей масло не заменяется в течение всего срока службы. Чаще всего это практикуется в ведущих мо-

стах с гипоидными передачами. Необходимым условием бесшумной работы масла являются его высокие эксплуатационные свойства и надежная герметизация трансмиссии.

Таблица 2.21 **Рекомендации по применению трансмиссионных масел**

Масло	Тип передачи	Срок замены масла, тыс. км	Минимальная температура, °С
ТСгип	Ведущие мосты старых моделей легковых автомобилей	24–30	–20
ТАД-17и*	Коробки передач и ведущие мосты легковых и грузовых автомобилей	60–80	–30
Тап-15В	Коробки передач грузовых автомобилей с карбюраторными двигателями; ведущие мосты грузовых автомобилей с негипоидными передачами	24–72	–25
ТСп-15	Коробки передач, ведущие мосты грузовых автомобилей с негипоидными передачами	36–72	–30
ТСп-14гип	Ведущие мосты грузовых автомобилей с гипоидными передачами	36	–30
ТСп-10**	Коробки передач грузовых автомобилей с карбюраторными двигателями; ведущие мосты грузовых автомобилей с негипоидными передачами	35–50	–45
ТСз-гип	Коробки передач и ведущие мосты на Севере	Зимний период эксплуатации	–50
ТМ-5-12рк	Коробки передач и ведущие мосты грузовых автомобилей	50	–50

Примечания.

*На автомобилях ВАЗ переднеприводных в трансмиссии используется моторное масло, которое заливается в двигатель.

**При отсутствии масла ТСп-10 и ТМ-5-12рк в зимний период допускается использовать смесь масел Тап-15В или ТСп-15к с 10–20% дизельного зимнего или арктического топлив (смесь работоспособна при температуре минус 40...50 °С).

Среднестатистические интервалы замены масла:

- для автоматической коробки передач легковых автомобилей - через каждые 30000...50000 км;
- для коробки передач и других агрегатов трансмиссии коммерческих автомобилей - через каждые 30000...50000 км;
- для коробки передач и других агрегатов трансмиссии машин с тяжелым режимом работы - через каждые 15000...30000 км.

В таблице 2.21 приведены рекомендации по применению марок трансмиссионных масел на различных автомобилях, типу передачи, пробегу и значению минимальных температур окружающей среды.

2.4. ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ МАСЛА

2.4.1 Общие требования и свойства

В гидросистемах различных исполнительных механизмов применяются специальные гидравлические масла. Поскольку их основной функцией является приведение в действие исполнительных механизмов за счет гидростатического давления, их часто называют гидравлическими жидкостями. Гидравлические масла (рабочие жидкости для гидравлических систем) разделяют на нефтяные, синтетические и водно-гликолевые. По назначению их делят в соответствии с областью применения:

- для летательных аппаратов, мобильной наземной, речной и морской техники;
- для гидротормозных и амортизаторных устройств различных машин;
- для гидроприводов, гидропередаточных и циркуляционных масляных систем различных агрегатов, машин и механизмов, составляющих оборудование промышленных предприятий.

В данной главе рассмотрены рабочие жидкости для гидросистем мобильной техники, обозначенные ГОСТ 17479.3–85 как гидравлические масла.

В постоянном совершенствовании конструкций гидроприводов отмечаются следующие тенденции:

- повышение рабочих давлений и связанное с этим расширение верхних температурных пределов эксплуатации рабочих жидкостей;
- уменьшение общей массы привода или увеличение отношения передаваемой мощности к массе, что обуславливает более интенсивную эксплуатацию рабочей жидкости;
- уменьшение рабочих зазоров между деталями рабочего органа (выходной и приемной полостей гидросистемы), что ужесточает требования к чистоте рабочей жидкости (или ее фильтруемости при наличии фильтров в гидросистемах).

С целью удовлетворения требований, продиктованных указанными тенденциями развития гидроприводов, современные рабочие жидкости (гидравлические масла) для них должны обладать определенными характеристиками:

- иметь оптимальный уровень вязкости и хорошие вязкостно-температурные свойства в широком диапазоне рабочих температур, т.е. высокий индекс вязкости;

-отличаться высоким антиокислительным потенциалом, а также термической и химической стабильностью, обеспечивающими длительную беспрерывную работу жидкости в гидросистеме;

- защищать детали гидропривода от коррозии;
- обладать хорошей фильтруемостью;
- иметь необходимые деаэрирующие, деэмульгирующие и антипенные свойства;
- предохранять детали гидросистемы от износа;
- быть совместимыми с материалами гидросистемы.

Большинство массовых сортов гидравлических масел вырабатывают на основе хорошо очищенных базовых масел, получаемых из рядовых нефтяных фракций с использованием современных технологических процессов экстракционной и гидрокаталитической очистки. Физико-химические и эксплуатационные свойства современных гидравлических масел значительно улучшаются при введении в них функциональных присадок – антиокислительных, антикоррозионных, противоизносных, антипенных и др.

2.4.2 Обозначение гидравлических масел

Система обозначений гидравлических масел, применяемых как на транспорте, так и в оборудовании, установлена ГОСТ 17479.3-85. Обозначение гидравлических масел состоит из групп знаков, первая из которых «МГ» означает «минеральное гидравлическое». Цифры, следующие за обозначением вида масла, характеризуют класс вязкости. Буква, следующая за обозначением класса вязкости, указывает на принадлежность масла к определенной группе по эксплуатационным свойствам.

В зависимости от величины кинематической вязкости при температуре 40 °С гидравлические масла делятся на 10 классов вязкости, указанных в таблице 2.22. Пределы кинематической вязкости для каждого класса установлены такими, какими они предусмотрены классификацией промышленных масел по вязкости ISO 3449-75.

Таблица 2.22 **Классы вязкости гидравлических масел**

Класс вязкости	Пределы кинематической вязкости при температуре 40 °С, мм ² /с		Средний величина кинематической вязкости для класса, мм ² /с (сСт)
	минимум	максимум	
1	2	3	4
5	4,14	5,06	4,6
7	6,12	7,48	6,8
10	9,0	11,0	10,0
15	13,5	16,5	15,0

1	2	3	4
22	19,8	24,2	22,0
32	28,8	35,2	32,0
46	41,4	50,6	46,0
68	61,2	74,8	68,0
100	90,0	110,0	100,0
150	135,0	165,0	150,0

В зависимости от эксплуатационных свойств гидравлические масла делятся на группы А, Б, В (таблица 2.23).

Таблица 2.23 Группы эксплуатационных свойств для гидравлических масел

Группа масла по эксплуатационным свойствам	Сведения о составе*	Рекомендуемая область применения
А	Минеральные масла без присадок	Гидросистемы с шестеренчатыми и поршневыми насосами, работающие при давлении до 15 МПа и температуре масла в объеме до 80 °С
Б	Минеральные масла с антиокислительными и антикоррозионными присадками	Гидросистемы с насосами всех типов, работающие при давлении до 25 МПа и температуре масла в объеме более 80 °С
В	Минеральные масла с антиокислительными, антикоррозионными и противоизносными присадками	Гидросистемы с насосами всех типов, работающие при давлении до 25 МПа и температуре масла в объеме более 90 °С

*Допускается добавление загущающих и антипенных присадок в гидравлические масла всех групп

Пример обозначения гидравлического масла: МГ-15-В, где МГ - минеральное гидравлическое масло, 15 - класс вязкости (средняя величина кинематической вязкости этого класса 15 мм²/с (сСт), В - группа масла по эксплуатационным свойствам (содержит антиокислительные, антикоррозионные и противоизносные присадки).

В зарубежной практике условные обозначения гидравлических масел также складываются из обозначений группы масла и класса вязкости. По стандарту ISO 6074/7-82 для гидравлических масел различных групп установлены категории НН, НL, НМ и НV (табл. 2.24).

В таблице 2.25 приведено соответствие гидравлических масел по ГОСТ 17479.3-85 с широко используемыми старыми обозначениями предыдущих лет.

В таблице кроме чисто гидравлических масел включены масла марок "А", "Р", МГТ, отнесенные к категории трансмиссионных масел для гидромеханических передач. Однако благодаря высокому индексу вязкости, хорошим низкотемпературным и эксплуатационным свойствам и

из-за отсутствия гидравлических масел такого уровня вязкости они также используются в гидрообъемных передачах и гидросистемах навесного оборудования наземной техники.

Таблица 2.24 Категории гидравлических масел по ISO 6074/7-82

Категория по ISO	Состав масла	Классы вязкости, предусмотренные данной категорией
HH	Неингибированное минеральное масло	10. 15. 22. 32. 46, 68, 100, 150
HL	Минеральное масло с ингибиторами окисления и коррозии	10. 15. 22, 32, 46, 68, 100. 150
HM	Минеральное масло с ингибиторами окисления, коррозии и противозносными присадками	10. 15, 22, 32, 46, 68, 100.150
HV	Как HM. но с улучшенными вязкостно-температурными свойствами	15,22, 32. 46. 68, 100

Таблица 2.25 Соответствие обозначений гидравлических масел по ГОСТ 17479.3-85 и предусмотренных нормативной документацией

Обозначение масла по ГОСТ 17479.3-85	Обозначение, предусмотренное НД	Нормативная документация
МГ-5-Б	МГЕ-4А ЛЗ-МГ-2	ОСТ 38 01281-82 ТУ 38.101328-81
МГ-7-Б	РМ	ГОСТ 15819-85
МГ-10-Б	РМЦ	ГОСТ 15819-85
МГ-15-Б	АМГ-10	ГОСТ 6794-75
МГ-15-В	МГЕ-10А ВМГЗ	ОСТ 38 01281-82 ТУ 38.101479-86
МГ-22-А	АУ	ТУ 38.0101232-89
МГ-22-Б	АУП	ТУ 38.1011258-89
МГ-22-В	Р	ТУ 38.1011282-89
МГ-32	Масло для механизмов наклона кузова вагонов-самосвалов	ОСТ 38.01150-78
МГ-32-А	ЭШ	ГОСТ 10363-78
МГ-32-В	А, МГТ	ТУ 38001347-83
МГ-46-Б	МГ-30	ТУ 38.10150-79
МГ-46-В	МГЕ-46В (МГ-30у)	ТУ 38.001347-83
МГ-68-В	МГ-8А (М-8А)	ТУ 38.0011135-87
МГ-100-Б	ГЖД-14с	ТУ 38.101252-78

Некоторые давно разработанные и выпускаемые гидравлические масла по значению вязкости нестрого соответствуют классу по классификации, обозначенной ГОСТ 17479.3-85, а занимают промежуточное положение. Например, масло ГТ-50, имеющее вязкость при 40°C 17-18

мм²/с, находится в ряду классификации между 15 и 22 классами вязкости.

Важнейшим свойством гидравлических масел является смазочная способность, так как большинство элементов гидравлической системы смазываются рабочей жидкостью. Смазывающая способность улучшается с возрастанием вязкости, но при этом неминуемо увеличиваются затраты энергии на перекачивание жидкости по системе. Исходя из этих противоположных моментов подбор гидравлической жидкости по уровню вязкости всегда представляется компромиссным.

2.4.3 Ассортимент гидравлических масел

2.4.3.1 Маловязкие гидравлические масла

Маловязкими гидравлическими маслами называют масла с классами вязкости с 5 по 15 (таблицы 2.26, 2.27).

Таблица 2.26 Характеристики низкозастывающих маловязких гидравлических масел

Показатели	ЛЗ-МГ-2	МГЕ-4А	РМ	РМЦ	МГ-7-Б	МГ-10-Б
Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре:						
50 °С	≥4,0	≥3,6	3,8-4,2	≥8,3	≥4	≥8,3
-40 °С	-	-	≤350	≤915	≤350	≤915
-50 °С	≤210	≤300	-	-	-	-
Температура, °С:						
вспышки в закрытом (открытом) тигле, не ниже	(92)	(94)	125	125	120	120
застывания, не выше	-70	-70	-60	-60	-60	-60
помутнения, не выше	-	-	-50	-50	-50	-50
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,03	0,4-0,7	0,02	0,02	0,02	0,02
Содержание, %: водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие					
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	840	-	845	845	845	845
Стабильность против окисления, показатели после окисления:						
массовая доля осадка, %, не более	0,04	Отсутствие	0,05	0,05	0,05	0,05
кислотное число (изменение кислотного числа), мг КОН/г, не более	0,2	(0,15)	0,09	0,09	0,09	0,09

Примечание. Для всех масел содержание воды и механических примесей - отсутствие.

Масло гидравлическое МГЕ-4А (новое обозначение МГ-5-Б) - глукбоочищенная легкая фракция, получаемая гидрокрекингом из смеси парафинистых нефтей, загущенная вязкостной присадкой. Содержит ингибиторы окисления и коррозии. Обладает исключительно хорошими низкотемпературными свойствами.

Масло МГЕ-10А (М-15-В) - глубокодеароматизированная низкозастывающая фракция, получаемая из продуктов гидрокрекинга смеси парафинистых нефтей. Содержит загущающую, антиокислительную, антикоррозионную и противоизносную присадки. Масло предназначено для работы в диапазоне температур от $-(60...65)$ до $+(70...75)$.

Таблица 2.27 Характеристики низкозастывающих гидравлических масел МГЕ-10А, ВМГЗ, АМГ-10

Показатели	МГЕ-10А	ВМГЗ	АМГ-10
Внешний вид	Прозрачная жидкость светлоричневого цвета	-	Прозрачная жидкость красного цвета
Цвет, ед. ЦНТ, не более	-	1,0	-
Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре:			
50 °С, не менее	10,0	10,0	10,0
-40 °С, не более	-	1500	-
-50 °С, не более	1500	-	1250
Температура, °С:			
вспышки в открытом тигле, не ниже	96	135	93
застывания, не выше	-70	-60	-70
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,4-0,7	-	$\leq 0,03$
Стабильность против окисления, показатели после окисления:			
кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре:			
50 °С, не менее	-	-	9,8
-50 °С, не более	-	-	1500
кислотное число, мг КОН/г, не более	-	-	0,08
изменение кислотного числа, мг КОН/г, не более	0,15	-	-
массовая доля осадка, %, не более	Отсутствие	0,05	Отсутствие
Изменение массы резины марки УИМ-1 после испытания в масле, %	5,5-7,5	4-7,5	-
Индекс вязкости, не менее	-	160	-
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	860	865	850

Масла РМ, РМЦ - дистиллятные масла, получаемые из нафтенowych нефтей, обладают улучшенными смазывающими свойствами. Применяют в автономных гидроприводах специального назначения, эксплуатируемых при температуре окружающей среды от –40 до +55 °С.

Масло МГ-7-Б (ТУ 38.401-58-101-92) – дистиллятное масло из продуктов гидрокрекинга смеси парафинистых сернистых нефтей, получаемое при вакуумной разгонке основы АМГ-10 и содержащее антиокислительную присадку.

Масло МГ-10-Б (ТУ 38.401-58-101-92) – дистиллятное масло из продуктов гидрокрекинга смеси парафинистых сернистых нефтей, получаемое из узкой фракции основы АМГ-10. Содержит вязкостную и антиокислительную присадки.

Масла МГ-7-Б и МГ-10-Б применяют в качестве низкозастывающих рабочих жидкостей и как заменители масел РМ и РМЦ.

Масло гидравлическое ВМГЗ (М-15-В) - маловязкая низкозастывающая минеральная основа, вырабатываемая посредством гидрокаталитического процесса, загущенная полиметакрилатной присадкой. Содержит присадки: противоизносную, антиокислительную, антипенную. Масло предназначено для систем гидропривода и гидроуправления строительных, дорожных, лесозаготовительных, подъемно-транспортных и других машин, работающих на открытом воздухе при температурах в рабочем объеме масла от –40 до +50 °С в зависимости от типа гидронасоса. Для северных регионов рекомендуется как всесезонное, а для средней географической зоны – как зимнее.

Кроме перечисленных гидравлических масел осваивается производство масел МГБ-10 и МГБ-15 (ТУ 0253-002-05766528-97).

2.4.3.2 Средневязкие гидравлические масла

Средневязкими гидравлическими маслами называют масла с классами вязкости от 22 до 32 (таблица 2.28).

Масло веретенное АУ (МГ-22-А) получают из малосернистых и сернистых парафинистых нефтей с использованием процессов глубокой селективной очистки фенолом и глубокой депарафинизации. Содержит антиокислительную присадку. Масло обеспечивает работу гидроприводов в диапазоне температур от -(30-35) до +(90-100) °С.

Масло гидравлическое АУП (МГ-22-Б) получают добавлением в веретенное масло АУ 2% присадок. Масло вырабатывают из низкозастывающих нефтей методом углубленной очистки, оно обладает хорошими противокоррозионными и антиокислительными свойствами, высокой химической стабильностью, имеет кислотное число 0,3...0,6 мг КОН/г масла. Изменение массы резины, испытываемой в этом мас-

ле при 130°C в течение 72 ч, составило 1,5%. Это масло обеспечивает пуск гидросистем без предварительного подогрева при температурах выше –40°C. Максимальная кратковременно допустимая температура масла при эксплуатации составляет 125°C, оптимальная рабочая температура 50...60°C, температура застывания –45°C.

Таблица 2.28 Характеристики средневязких гидравлических масел

Показатели	АУ из нефтей			АУП	ГТ-50	ЭШ
	беспарафиновых	малосернистых	сернистых			
Кинематическая вязкость мм ³ /с при температуре:						
50 °С	-	-	-	-	11-15	120
40 °С	16-22	16-22	16-22	16-22	-	-
-40 °С, не более	30000	14000	13000	-	-	-
Индекс вязкости, не менее	-	-	-	-	-	135
Кислотное число, мг КОН/г, не более	0,07	0,07	0,05	0,45-1,0	3,5	0,1
Температура, °С:						
вспышки в открытом тигле, не менее	163	165	165	145	165	160
застывания, не выше	-45	-45	-45	-45	-28	-50*
Массовая доля, %:						
Водорастворимых кислот и щелочей	Отсутствие					
серы, не более	-	0,3	1,0	-	-	-
Цвет, ед. ЦНТ, не более	2,5	2,5	2,5	-	3,5	4,0
Плотность при 20 °С, кг/м ³	884-894	890	890	-	1850	850-880
* Для умеренной, теплой, влажной и жаркой климатических зон допускается вырабатывать масло ЭШ с температурой застывания не выше -45 °С.						

Примечание. Для всех масел массовая доля воды и механических примесей - отсутствие.

Благодаря наличию антикоррозионной присадки масло надежно предохраняет от коррозии (в том числе во влажной среде) черные и цветные металлы.

Масло ЭШ для гидросистем высоконагруженных механизмов (МГ-32-А) представляет собой средневязкий дистиллят, в который после глубокой селективной очистки и глубокой депарафинизации вводят полимерную загущающую и депрессорную присадки. Масло предназначено для гидросистем управления высоконагруженных механизмов

(шагающих экскаваторов и других аналогичных машин). Работоспособно в интервале температур от -40 до $+(80 \dots 100)$ °С.

Масло ГТ-50 для гидродинамических передач тепловозов (ТУ 0253-011-39247202-96) - маловязкое минеральное масло глубокой селективной очистки, содержащее композицию присадок, улучшающих антиокислительные, противоизносные, антикоррозионные и антипенные свойства. Применяют для смазывания турбoredуктора гидropередачи дизель-поездов. Масло обладает хорошей смазочной способностью, высокой термоокислительной стабильностью и стабильностью вязкости.

Масло «Ангрол МГ-32АС» (ТУ 0253-277-05742746-94) вырабатывают на базе гидрированного полимеризата с вязкостью $6,2$ мм²/с при 100 °С с добавлением полимерной (загущающей и депрессорной), антиокислительной, противоизносной, диспергирующей и антипенной присадок. Требования по нормам показателей физико-химических и эксплуатационных свойств практически идентичны требованиям ГОСТ 10363-78 на масло ЭШ аналогичного назначения. В сравнении с маслом ЭШ масло «Ангрол МГ-32АС» обладает более низкой температурой застывания и более высоким потенциалом антиокислительных и противоизносных свойств. Масло разработано для гидросистем шагающих экскаваторов, эксплуатируемых в районах Восточной Сибири.

2.4.3.3 Вязкие гидравлические масла

Вязкими гидравлическими маслами называют масла с классами вязкости от 46 до 150 (таблица 2.29).

Масло МГЕ-46В (МГ-46-В) для гидрообъемных передач вырабатывают на базе индустриальных масел с антиокислительной, противоизносной, депрессорной и антипенной присадками. Масло обладает высокой стабильностью эксплуатационных (вязкостных, противоизносных, антиокислительных) свойств, не агрессивно по отношению к материалам, применяемым в гидроприводе. Предназначено для гидравлических систем (гидростатического привода) сельскохозяйственной и другой техники, работающей при давлении до 35 МПа с кратковременным повышением до 42 МПа. Работоспособно в диапазоне температур от -10 до $+80$ °С. Ресурс работы в гидроприводах с аксиально-поршневыми машинами достигает 2500 ч.

Масло МГ-8А (МГ-68-В) представляет собой смесь дистиллятного и остаточного компонентов с добавлением депрессорной, антипенной и многокомпонентной (улучшающей антиокислительные, антикоррозионные и диспергирующие характеристики) присадок. Обладает достаточно высоким уровнем противоизносных свойств. Применяют в гид-

равлических системах навесного оборудования и рулевого управления тракторов, самоходных сельскохозяйственных машин и самосвалных автомобилей. Ранее масло такого состава выпускали по ГОСТ 10541-78 под маркой моторного масла М-8А для карбюраторных двигателей.

Таблица 2.29 **Характеристики вязких гидравлических масел**

Показатели	МГЕ-46В	МГ-8А	ГЖД-14с
Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре:			
100 °С, не менее	6,0	7,5-8,5	13
50 °С	-	-	82-91
40 °С	41,4-50,6	57,0-74,8	-
0 °С, не более	1000	-	-
Индекс вязкости, не менее	90	85	-
Температура, °С:			
вспышки в открытом тигле, не ниже	190	200	190
застывания, не выше	-32	-25	-
Кислотное число, мг КОН/г	0,7-1,5	-	-
Массовая доля:			
механических примесей, %, не более	Отсутствие	0,0 15	0,02
воды	Отсутствие	Следы	
Испытание на коррозию металлов	Выдерживает		
Плотность при 20 °С, кг/м3, не более	890	900	-
Стабильность против окисления:			
осадок, %, не более	0,05	-	-
изменение кислотного числа, мг КОН/г масла, не более	0,15	-	-
Трибологические характеристики на ЧШМТ:			
показатель износа при осевой нагрузке 196 Н, мм, не более	0,45	-	-

Гидравлическая жидкость ГЖД-14с (МГ-100-Б) - смесь глубокоочищенных остаточного и дистиллятного компонентов из сернистых нефтей. Для улучшения эксплуатационных свойств в масло вводят антиокислительную, антикоррозионную и антипенную присадки. Применяют в основных гидравлических системах винтов регулируемого шага судов.

Следует отметить, что заводскими инструкциями по эксплуатации тракторов и комбайнов, как правило, рекомендуется использовать в гидросистемах навесного оборудования те же моторные масла, что и для смазки двигателей. Несмотря на то, что моторные масла не полностью отвечают требованиям, предъявляемым к рабочим жидкостям для

гидросистем (высокая вязкость, резкое ее увеличение при понижении температуры, высокое содержание присадок и их частое выпадение в осадок и т.д.), их использование частично оправдано. Причины применения моторных масел следующие: финансовые затруднения для приобретения современных гидравлических масел, стремление к сокращению ассортимента используемых для тракторов, комбайнов и автомобилей-самосвалов смазочных материалов.

Следует также учесть, что картер двигателя и насоса гидросистемы тракторов ДТ-75М, Т-70С и др. разделены только сальником, при разрушении которого масла из картера и гидросистемы будут смешаны, что приведет к неисправности двигателя.

В гидравлике автотракторной техники допустимо применять только моторные масла группы В (М-8-В,, М-10-Вь М-8-В2, М-10-В2). Высококачественные масла группы Г и Д использовать для гидросистем не рекомендуется, так как пакет эффективных присадок в данном случае не принесет пользы, а только вред.

2.5 ИНДУСТРИАЛЬНЫЕ МАСЛА

2.5.1 Требования, классификация и система обозначений

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.

Длительное время в не было технически обоснованной и общепри-

нятой классификации промышленных масел. В зависимости от области применения их условно классифицировали на масла общего и специального назначения. Кроме того, масла каждой из этих групп подразделяли на три подгруппы по кинематической вязкости при 50 и 100 °С.

Имело место деление: по характеру исходной нефти - на масла из малосернистых и сернистых нефтей; по способу очистки - на масла селективной, сернокислотной, адсорбционной очистки, выщелоченные и др. При разработке легированных масел их обозначали, руководствуясь сложившимися правилами, например: масла серии ИГП - промышленные гидравлические с присадками; ИСП - промышленные из сернистых нефтей с присадками и т. п.

Разнообразие требований машиностроителей и широкий температурный диапазон применения промышленных масел обусловили необходимость выделения их в самостоятельную группу.

На основе отечественного и зарубежного опыта по созданию классификаций смазочных масел, изучения технических требований к промышленным маслам, опыта разработки и применения легированных масел впервые разработана технически обоснованная классификация промышленных масел. В единой системе обозначений промышленных масел учтено их применение в различных промышленных оборудовании, например, в ткацких и токарных станках, прессах, прокатных станах, в редукторах и узлах трения, гидравлических системах и т.п., при различных условиях эксплуатации. Промышленные масла работают в узлах трения на открытом воздухе и в помещениях.

Классификация промышленных масел отражена в ГОСТ 17479.4 «Масла промышленные. Классификация и обозначение», который разработан с учетом требований международных стандартов ISO 3448 «Смазочные материалы промышленные. Классификация вязкости» и ISO 6743 «Классификация смазок и промышленных масел».

Обозначение промышленных масел включает группы знаков, разделенных между собой дефисом. Первая группа (буква «И») подтверждает принадлежность к промышленным 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 промышленного масла: И-ГН-Е-68, где И - промышленное масло, ГН –масло предназначено для гидравлических систем и направляющих скольжения, Е – масло с антиокислительными, антикоррозионными, адгезионными, противоизносными, противозадирными и противоскачковыми присадками для машин и механиз-

мов с повышенными требованиями к условиям работы, 68 – класс вязкости.

По назначению индустриальные масла делят на 4 группы (таблица 2.30), по уровню эксплуатационных свойств - на 5 подгрупп (таблица 2.31), по величине кинематической вязкости при 40 °С – на 18 классов (таблица 2.32). Деление масел по назначению соответствует стандартам ISO 3448.

Таблица 2.30 Группы индустриальных масел по назначению

Группа по ГОСТ 17479.4	Соответствие группы по ISO 6743/0-81	Область применения
Л	F	Легконагруженные узлы (шпиндели, подшипники и др. соединения)
Г	H	Гидравлические системы
Н	G	Направляющие скольжения
Т	C	Тяжелонагруженные узлы (зубчатые передачи)

Таблица 2.31 Группы индустриальных масел по назначению

Подгруппа масла	Состав масла	Рекомендуемая область применения
1	2	3
A	Нефтяные масла без присадок	Машины и механизмы промышленного оборудования, условия работы которых не предъявляют особых требований к антиокислительным и антикоррозионным свойствам масел
B	Нефтяные масла с антиокислительными и антикоррозионными присадками	Машины и механизмы промышленного оборудования, условия работы которых не предъявляют особых требований к антиокислительным и антикоррозионным свойствам масел
C	Нефтяные масла с антиокислительными, антикоррозионными и противоизносными присадками	Машины и механизмы промышленного оборудования, содержащие антифрикционные сплавы цветных металлов, условия работы которых предъявляют повышенные требования к антиокислительным, антикоррозионным и противоизносным свойствам масел
D	Нефтяные масла с антиокислительными, противоизносными и противозадирными присадками	Машины и механизмы промышленного оборудования, условия работы которых предъявляют повышенные требования к антиокислительным, антикоррозионным, противоизносным и противозадирным свойствам масел
E	Нефтяные масла с антиокислительными, антикоррозионными, адгезионными, противоизносными, противоскачковыми присадками	Машины и механизмы промышленного оборудования, условия работы которых предъявляют повышенные требования к противозадирным и антиокислительным, адгезионным, противоизносным, противозадирным и противоскачковым свойствам масел

Таблица 2.32 **Классы вязкости промышленных масел**

Класс вязкости по ISO 3448	Класс вязкости по ГОСТ 17479.4	Вязкость кинематическая при 40 °С, мм ² /с
ISO VG 2	2	1,9...2,5
ISO VG 3	3	3,0...3,5
ISO VG 5	5	4,0...5,0
ISO VG 7	7	6,0...8,0
ISO VG 10	10	9,0...11,0
ISO VG 15	15	13,0...17,0
ISO VG 22	22	19,0...25,0
ISO VG 32	32	29,0...35,0
ISO VG 48	46	41,0...51,0
ISO VG 68	68	61,0...75,0
ISO VG 100	100	90,0...110,0
ISO VG 150	150	135,0...165,0
ISO VG 220	220	198,0...242,0
ISO VG 320	320	288,0...352,0
ISO VG 460	460	414,0...506,0
ISO VG 680	680	612,0...748,0
ISO VG 1000	1000	900,0...1100,0
ISO VG 1500	1500	1350,0...1650,0

2.5.2 Ассортимент промышленных масел

Весь ассортимент промышленных масел делится на две большие группы:

1. Промышленные 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 предъявляются особых требования. Соответственно, и стоят они недорого.

2. Легированные промышленные 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

(легируемые) вязкостью при 50 °С от 2,2 до 190 мм²/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 легируемых масел включены масла с определенным комплексом свойств, обеспечивающих универсальность их применения. Эти масла, выпускаемые по ГОСТ 20799-88, представляют собой очищенные дистиллятные или смесь дистиллятных и остаточных масел. 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, замасливания 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⁻¹, для направляющих бабок фильерно-расточных, фильерно-полировочных и других станков, для подшипников мало-мощных 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** выпускают в соответствии с ТУ 38.1011191-97 и ТУ 38.101413-97. Это дистиллятные, остаточные или смесь дистиллятных и остаточных нефтяных масел из сернистых нефтей глубокой селективной очистки с антиокислительной, противозносной, 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 механиз-

мах, 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.

2.6. 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. Грубой моделью такой смазки может служить кусочек ваты, пропитанный маслом: волокнистое тело удерживает форму, а под нагрузкой деформируется, уподобляясь вязкой жидкости. При снятии нагрузки форма восстанавливается. Наличие структурного каркаса придает смазке свойства твердого тела.

Исследованиями установлено, что 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 алюминиевые 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 низкотемпературные, 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.

Для приготовления пластичных смазок применяют специальные варочные аппараты, которые могут быть периодического или непрерывного действия. Варочные аппараты (котлы) оборудованы мешалкой, паровой рубашкой, запорной арматурой, контрольно-измерительной аппаратурой и другими устройствами.

При одноступенчатом способе все стадии приготовления смазки (дозировка, диспергирование мыла и охлаждение) осуществляется в одном котле. При температуре 100°C варят кальциевые смазки. при 100...120°C – углеводородные, при 150°C – алюминиевые, а при 200...201°C – литиевые и натриевые. Охлаждение смазки ведут или с резким перепадом температур, или медленно в варочных котлах либо в специальных аппаратах, так как от режима охлаждения зависят структура мыльного каркаса и качество смазки.

2.6.1. Классификация и обозначение пластичных смазок

В соответствии с классификацией по ГОСТ 23258 - 78 пластичные смазки разделены на четыре группы: антифрикционные, консерваци-

онные (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°C) – солидолы; О – для повышенных температур (до 110°C); М – многоцелевые, работоспособные при – 30...+130°C в условиях повышенной влажности; Ж – термостойкие, работоспособные до 150°C и выше; Н – морозостойкие, работоспособные ниже минус 40°C; 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 – приработочные, 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 (табл. 2.33).

(Примечание: NLGI – Национальный институт смазочных веществ).

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 2.33 Классификация пластичных смазок по классам консистенции

Индекс класса консистенции	Диапазон пенетрации при 25 ⁰ С	Индекс класса консистенции	Диапазон пенетрации при 25 ⁰ 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 + 130⁰С; 3 – класс консистенции (пенетрация при 25⁰С составляет 220...205);

Смазка СКа 2/7-2,

где С – антифрикционная смазка общего назначения, применяемая при температуре до 70⁰С (солидол); Ка – загуститель – кальциевое мыло; 2/7 – рекомендуемый температурный диапазон применения от – 20 до +70⁰С (вязкость смазки при – 20⁰С близка к 2000Па·с); индекс дисперсионной среды отсутствует, следовательно, смазка приготовлена на нефтяном масле; 2 – класс консистенции смазки (пенетрация при 25⁰С составляет 265...295);

Смазка КТ 6/5к-г4,

где К – канатная смазка; Т – загуститель – твердые углеводороды; 6/5 – температурный интервал эксплуатации от – 60 до + 50⁰С; к – смазка приготовлена на основе кремнийорганической жидкости; г – в качестве добавки использован графит; 4 – класс консистенции смазки (пенетрация при 25⁰С 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: со-

лидол, 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.

2.6.2. Показатели качества пластичных смазок

Антифрикционные пластичные смазки с развитием техники находят все большее применение. Число узлов трения, смазываемых этими смазками, во много раз больше узлов трения, смазываемых маслами. Широкое применение пластичных смазок предъявляет высокие требования к качественным показателям этих смазок.

К важнейшим показателям качества антифрикционных пластичных смазок относятся: содержание механических примесей, предел прочности на сдвиг, температура каплепадения, пенетрация, коллоидная стабильность, водостойкость, испаряемость и др. Качественные показатели пластичных смазок оказывают большое влияние на эффективность работы деталей и механизмов машин, для смазывания которых применяются эти материалы. Применение смазок с низкими показателями качества или несоответствующей марки может повлечь за собой уменьшение срока работы деталей вплоть до аварийного состояния механизма и машины.

При этом большое значение также имеют вопросы рационального использования пластичных смазок в период эксплуатации техники.

Для определения основных показателей качества и свойств пластичных смазок созданы специальные приборы (аппараты) и стандартные методики, которые изложены ниже, а также более подробно описаны в специальной литературе по пластичным смазкам.

Определение механических примесей в пластичных смазках

К механическим примесям относятся все посторонние органические и минеральные частицы, находящиеся в смазке. Стандартами механические примеси и вода в смазках не допускается. Однако при неправильном хранении и при выполнении смазочных операций в смазку поступают различными путями механические примеси.

Одним из путей загрязнения смазок является то, что в хозяйствах в бочках или барабанах по 80...170 кг. На постах технического обслуживания машин смазки перекадывают в мелкую тару. В ряде случаев водители и механизаторы создают свои небольшие запасы смазок, поместив их в различную тару сомнительной чистоты (жестяные банки, полиэтиленовые пакеты и др.). Это приводит к увеличению потерь смазок и их загрязнению!

Наибольший вред приносят абразивные загрязнения смазок, так как вызывают интенсивный износ узла трения при работе машины.

Проведение испытаний. Наличие механических примесей в смазке чаще всего определяют простейшими методами. При этом поступают следующим образом. Вначале определяют внешний вид смазки.

Для определения внешнего вида пластичную смазку необходимо нанести шпателем на пластину размером 50×70×2 мм из оконного стекла при помощи шаблона (внутренние размеры 35×35×2 мм) и рассмотреть в проходящем свете.

Визуальным осмотром определяют цвет смазки, внешний вид, наличие в смазке посторонних примесей. Качественная смазка должна быть однородной, без комков и выделяющегося масла, и без различных примесей. Если обнаруживаются механические примеси, то смазку бракуют. Абразивные механические примеси можно так же определить, если по тонкому слою смазки, находящейся на стекле, потереть другим кусочком стекла. При наличии в смазке абразивных примесей будет слышен характерный скрип.

Наличие механических примесей в смазке можно определить при помощи микроскопа. Для этих целей следует пробу смазки нанести тонким слоем на поверхность кусочка стекла и при помощи окуляра микроскопа внимательно рассмотреть состав смазки.

При проведении научных исследований образцов смазок, с целью определения количества механических примесей каждого типоразмера используют стандарт «Метод определения механических примесей в камере для счисления» (ГОСТ 9270-86). Для проведения данных исследований необходимо иметь микроскоп с окулярным микрометром, дающим 50...60-кратное увеличение, камеру для счисления (Горява, Бюркера или др.), двухкоординатный препаратоводитель СТ-12, необходимые реактивы, материалы и т.д.

Определение предела прочности на сдвиг пластичной смазки (ГОСТ 7143-84). Предел прочности является важнейшей эксплуатационной характеристикой пластичной смазки.

Предел прочности на сдвиг характеризуется минимальным напряжением сдвига, при котором в пластичной смазке разрушается структурный каркас и она приобретает текучесть. Значение прочности на сдвиг определяется качеством загустителя и его концентрацией в пластичной смазке. Предел прочности зависит от температуры; при повышении температуры для большинства смазок он снижается. Температура, при которой предел прочности равен нулю, является температурой перехода смазки из пластичного состояния в жидкое. При данной температуре применение смазки является неэффективным. Чем выше предел прочности на сдвиг пластичной смазки, тем лучше она

удерживается на поверхности и меньше стекает. В лабораторных условиях предел прочности на сдвиг пластичной смазки определяют на пластомере К-2.

За единицу измерения величины предела прочности принят паскаль (Па). Метод определения предела прочности основан на измерении давления, при котором при заданной температуре происходит сдвиг смазки в капилляре пластомера К-2П. Прибор рассчитан на проведение измерений при давлениях до 0,1 МПа (1кг/см²). Давление в приборе создается за счет термического расширения жидкости в резервуаре, нагреваемом электропечью.

В табл. 2.34 приведены данные о пределе прочности на сдвиг некоторых пластичных смазок.

Таблица 2.34. Пределы прочности на сдвиг пластичных смазок

Смазка	Значение предела прочности на сдвиг, Па, при температуре	
	20°С	50°С
Солидол синтетический С (ГОСТ 4366-76)	300...700	200...350
Пресс-солидол синтетический С	70...200	60...180
Графитная смазка «УСсА» (ГОСТ 3333-80)	300...700	200...300
«Литол -24» (ГОСТ 21150-87)	500...1000	400...600
«Фиол-1»	≥ 250	200...350
«ЦИАТИМ-221» (ГОСТ 9433-80)	250...450	120...300
«ЦИАТИМ-201» (ГОСТ 6267-74)	350...500	250...350
Смазка «№ 158» (ТУ938.101.320-77)	150...500	150...300
«Униол-1»	200...500	250...400

Проведение испытаний. Пластомер К-2 (рис. 2.6) состоит из основания со стойкой, по которой вертикально перемещается электропечь 8. Электропечь нагревает резервуар 7 с маслом для повышения давления, которое контролируют по манометру 5. Воронка 6 служит для добавления масла в прибор, кран 4 – для сообщения воронки с внутренней полостью прибора.

Внутри оправки 2 находится капилляр. В комплект прибора входят два капилляра, один – длиной 100 мм, другой – длиной 50 мм. Короткий капилляр применяют в том случае, когда при испытании на длинном капилляре давление превышает допустимое для манометра.

Корпус 1 пластомера трубкой соединен с внутренней полостью прибора. Все внутренние полости прибора К-2, включая манометр, заполнены маловязким маслом с целью полного вытеснения воздуха.

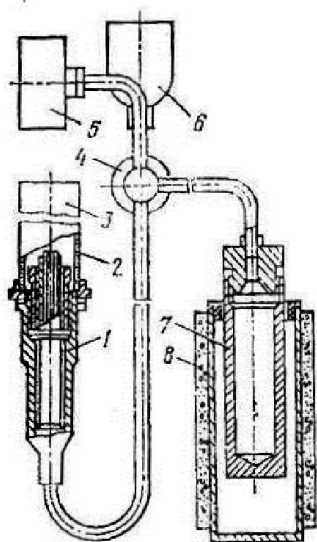


Рис. 2.6. Пластомер К-2:

1 – корпус; 2 – оправка; 3 – защитное стекло;
4 – кран; 5 – манометр; 6 – воронка; 7 – резервуар для масла; 8 – электропечь

Мешалка для перемешивания смазки (рис. 2.7) представляет собой полый стальной цилиндр 2 с внутренним диаметром 40 мм и высотой 75 мм. Цилиндр закрывается съемными крышками: нижней 1 и верхней 4. Через верхнюю крышку в цилиндр вставлен поршень 3 со штоком 5. Поршень имеет 38 отверстий диаметром 3 мм. К верхнему концу штока 5 прикреплена рукоятка 6.

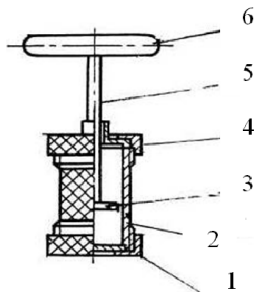


Рис. 2.7. Мешалка: 1 – крышка нижняя; 2 – цилиндр;
3 – поршень; 4 – крышка верхняя; 5 – шток; 6 – рукоятка.

В начале испытаний пробу пластичной смазки перемешивают при помощи мешалки. Затем перемешанной смазкой заполняют обе половинки желоба капилляра. Осторожно, чтобы не вызвать сдвига смазки соединяют их и надевают кольцо. Смазывают испытуемой смазкой наружную поверхность капилляра и вставляют его в оправку. На нижний обрез буртика оправки надевают резиновую прокладку и устанавливают оправку на выступ в корпусе пластомера. После этого пласто-

мер заполняют маслом, для чего открывают кран 4 воронки 6 и держат его открытым до тех пор, пока уровень масла в корпусе не достигнет верхнего обреза буртика оправки 2. Включают электропечь, обогревающую резервуар с маслом и по манометру контролируют рост давления. После того как давление в системе, достигнув некоторого максимума, начинает снижаться, выключают электропечь 8, открывают кран 4 воронки 6 и медленно вынимают оправку 2 с капилляром из корпуса 1, после чего кран закрывают.

В момент окончания опыта из капилляра выдавливается смазка, что можно наблюдать через защитное стекло.

Обработка результатов. Предел прочности τ (Па) испытуемой пластичной смазки вычисляют по формуле:

$$\tau = \frac{10^5 pr}{2l}, \quad (2.8)$$

где p – максимальное давление, определяемое по манометру 5 (кг/см²)

r – радиус капилляра, см,

l – длина капилляра, см ($l=5$ см или $l=10$ см).

За результат испытаний принимают среднее арифметическое двух параллельных определений.

Определение температуры каплепадения пластичной смазки (ГОСТ 6793-74). Температура каплепадения – это температура при которой смазка из пластичного (полутвердого) состояния переходит в жидкое. Плавление пластичных смазок сопровождается значительным понижением качественных показателей. По температуре каплепадения смазки можно оценить ее работоспособность при повышенной температуре. Для надежного смазывания узлов трения необходимо, чтобы их рабочая температура была на 10...20°C ниже, чем температура пластичной смазки.

Для определения температуры каплепадения смазок применяют специальный прибор. При определении температуры каплепадения пластичная смазка, нагретая в приборе, размягчается до такого состояния, при котором происходит образование жидкой капли и ее падение после истечения из отверстия прибора.

За температуру каплепадения испытуемой пластичной смазки принимают температуру, при которой падает первая капля или дно пробирки касается столбик смазки, вытекающей из отверстия прибора (длина столбика 25 мм).

В зависимости от температуры каплепадения пластичные смазки подразделяются на низкоплавкие – с температурой каплепадения до $+65^{\circ}\text{C}$, среднеплавкие – до $+100^{\circ}\text{C}$ и тугоплавкие – свыше $+100^{\circ}\text{C}$.

Проведение испытаний. Прибор для определения температуры каплепадения показан на рис.2.8.

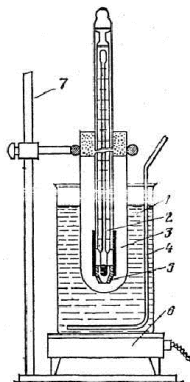


Рис.2.8. Прибор для определения температуры каплепадения:

1 – стакан с водой или глицерином; 2 – специальный термометр с гильзой; 4 – мешалка; 5 – капсуль (чашечка) для испытуемой смазки; 6 – электроплитка; 7 – штатив.

В данном приборе используют стандартный термометр типа Уббе-лоде. В нижней части термометра 2 смонтирована металлическая гильза, на которую навинчивается металлическая трубка с отверстием. В отверстие вставляют капсуль (чашечку) 5 стандартных размеров. Термометр укрепляют в пробирке 3 посредством пробки с отверстием. Пробирку размещают на штативе 7 и вставляют в стакан-баню 1, в которую заливают воду или глицерин.

Испытуемую пластичную смазку плотно вмазывают шпателем в чашечку прибора, следя за тем, чтобы на поверхности не было пузырьков воздуха. Лишнее количество смазки снимают ножом. Затем чашечку вставляют в гильзу термометра так, чтобы верхний край ее упирался в буртик гильзы. При этом нижним концом термометра выдавливаются через отверстие излишки смазки, который также снимают. На дно сухой чистой пробирки кладут кружок белой бумаги и помещают в пробирку термометр таким образом, чтобы нижний край чашечки находился на расстоянии 25 мм от кружка. Затем пробирку с термометром помещают в водяную или глицериновую баню. Глицерин используют для смазок с температурой каплепадения выше 80°C . Воду или глицерин подогревают таким образом, чтобы после достижения температуры на 20°C ниже ожидаемой температуры каплепадения скорость нагревания составляла 1 в минуту.

За температуру каплепадения испытуемой пластичной смазки принимают температуру, при которой падает первая капля или дна про-

бирки касается столбик смазки, выступивший из отверстия чашечки. При полученных опытным данным оценивают работоспособность пластичной смазки при повышенных температурах. За результат испытания принимают среднее арифметическое двух параллельных определений.

Температура каплепадения и температурный диапазон применения некоторых пластичных смазок приведен в табл. 2.35 и табл. 2.36.

Таблица 2.35. Пределы прочности на сдвиг пластичных смазок

Смазка	Температура каплепадения, °С	Температурный диапазон применения, °С
Солидол синтетический С	85...105	От -30 до +85
Пресс-солидол синтетический С	85...95	» -30 до +60
Графитная смазка «УСсА»	77...90	» -20 до +60
«Литол -24»	185...205	» -40 до +120
«Фиол-1»	185...200	» -40 до +120
«ЦИАТИМ-221»	230...250	» -30 до +150
«ЦИАТИМ-201»	200...220	» -60 до +150
Смазка «№ 158»	175...190	» -60 до +90
«Униол-1»	140...160	» -30 до +100
«Лита»	185...200	» -40 до +120
«ШРУС-4»	180...190	» -40 до +120
«ШРБ-4»	180...200	» -40 до +100

Практически установлено, что смазка сохраняет работоспособность до такой температуры смазываемого узла, которая на 15...20 °С ниже температуры ее каплепадения. Однако для современных смазок загущенных тугоплавкими загустителями (литиевыми или бариевыми мылами), этот показатель не характеризует отмеченных свойств. Так, температура каплепадения литиевой смазки около 190°С, а максимальная температура узла, для которого применяется литиевая смазка, часто не должна быть выше 100...120°С.

Температура каплепадения наиболее точно характеризует условия работы углеводородных пластичных смазок.

Таблица 2.36. Характеристика различных типов и марок пластичных смазок

Тип	Марка	Механическая стабильность		Физико-химическая стабильность	Водостойкость	Консервационная способность	Класс консистенции по NLGI	Коллоидная стабильность выделенного, % масла не более	Испаряемость за 1 ч при температуре 100 °С	Смываемость при температуре 40 °С за 6 ч	Диапазон рабочих температур, °С		Относительный предел прочности при температуре 20 °С	Относительная вязкость при температуре 20 °С	Относительный противоизносный показатель	Срок хранения смазки, лет
		3	4								min	max				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	
Кальциевые обычные	Солидол синтетический «С» (ГОСТ 4366-76)	С*	В	В	В	2	5	3	0...2	-30	+60	1,00	1,0	1,0	5	
	Пресс-солидол синтетический «С»					1	10	3	1..5	-40	+50	0,30	0,50	1,0		
	Солидол жировой «Ж»					2	5	3	0...2	-40	+70	0,95	0,5	1,0		
	Пресс-солидол жировой Ж					1	10	3	1...5	-40	+50	0,30	0,3	1,0		
	Графитная смазка «УСсА» (ГОСТ 3333-80)					2	10	4	10	-30	+60	1,30	0,7	1,1		
Кальциевые комплексные	«Униол -1»	В	В	С	С	2	10	10	6	-30	+150	0,70	0,5	1,5	3	
	«Униол -3» и «Униол-3 М»					2	10	10	6	-50	14	0,2	0,4	1,05		

Продолжение табл. 2.36

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Натриевые и натриево- кальциевые	Смазка «1-13»	С	С	Н	Н	3	5	4	3	-20	+110	6,00	1,3	1,2	3
	Консталин «УТ-1»					2	5	4	4	-20	+120	6,00	1,3	1,02	
	Консталин «УТ-2»					2	5	3	3	-30	+100	14,00	1,0	1,2	
	«ЯНЗ-2»					2	5	4	5	-30	+110	2,50	2,0	1,1	
	«КСБ»					2	5	4	5	-30	+110	1,40	2,0	1,1	2
Литиевые	«Лита» (ГОСТ 21150-87)	В	В	В	С	2	20	2	1...5	-50	+100	1,30	0,8	1,1	5
	«Литол-24» (ГОСТ 21150-87)					2	5	3	3	-40	+130	1,40	0,9	1,2	
	«ЦИАТИМ-221» (ГОСТ 9433-80)					2	7	2	3	-60	+150	1,80	0,8	1,5	
	«Фиол-1»					1	2	7	7	-40	+120	0,50	0,6	1,2	
	«Фиол-2»									-40	+120	0,8	0,9	1,2	
	«Фиол-3»									-40	+130	1,2	1,1	1,2	
	«Фиол-2М» (ТУ 38.201312-75)					1	2	10 (150 °С)	0	-40	+120	0,9	0,9	1,5	
	«ЛЗ-31»					2	3	4	3	-40	+130	5,00	1,4	1,1	
	«Зимол» (ТУ 38.201285-82)					2	20	0...2	3...4	-50	+100	2,00	1,0	2,4	
	«ШРУС-4» (ТУ 38.201312-81)					2	16	4	0	-40	+100	0,80	0,4	1,1	3
	«Северол-1»					2	15	4	4	-50	+130	1,80	0,8	2,3	5
	«ЦИАТИМ-201» (ГОСТ 6267-74)					2	26	10	10...25	-60	+90	1,70	0,7	0,5	4
	«ЛСЦ-15»					1	15	8	10	-40	+130	1,40	1,0	1,2	5
	Смазка «№ 158» (ТУ938.101.320-77)	С	В	В	С	2	23	0	25	-30	+100	0,50	0,9	1,0	5

Продолжение табл. 2.36

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Бариевые	«ЩРБ-4»	В	В	В	В	2	20	7	8	-40	+100	0,70	0,5	1,1	3
	«МС-70»					2	18	5	6	-35	+100	0,60	0,45	1,1	
Углеводородные	«ВТВ-1» (немыльная смазка)	В	В	В	В	2	22	6	8	-40	+40	2,00	0,2	1,0	5
Силикогелевые	«Лимол» (дисульфидмолибденовая смазка)	В	В	В	В	2	17	5	4	-40	+160	1,50	1,0	1,5	5
	«Силикол» (немыльные смазки)					2	18	6	4	-40	+130				

* Примечание: В – высокая; С – средняя; Н – низкая

Определение пенетрации пластичной смазки (ГОСТ 5346-78)

Пенетрация характеризует густоту смазки. Значение пенетрации выражается целым числом десятых долей миллиметра по шкале прибора и соответствует глубине погружения в смазку стандартного конуса под действием собственной массы. Чем выше значение пенетрации, тем меньше густота смазки. Смазки с большим значением пенетрации рекомендуют применять зимой с меньшим – летом.

В технической литературе величину пенетрации различных смазок указывают в округленных числах, кратных пяти.

Изменение пенетрации пластичных смазок при хранении указывает на снижение или увеличение ее густоты. Такую смазку следует быстрее использовать.

Проведение испытаний. Лабораторный пенетрометр ЛП (рис. 2.9) состоит из штатива 1 с плитой, на которой установлен круглый уровень 2 и круглый столик 3. Положение столика по высоте можно регулировать. На штативе 1 укреплен кронштейн 9 с плунжером, индикатор 7 и зеркало (на рисунке не показано). Плунжер свободно перемещается в направляющей втулке кронштейна и фиксируется с помощью зажима. Пусковая кнопка 5 служит для освобождения плунжера. К плунжеру прикреплены конус 4 с иглой. Общая масса плунжера конуса с иглой составляет 150 г. Индикатор 7 состоит из кремальеры 6, которая входит в зацепление с шестерней. Ось шестерни соединена со стрелкой.

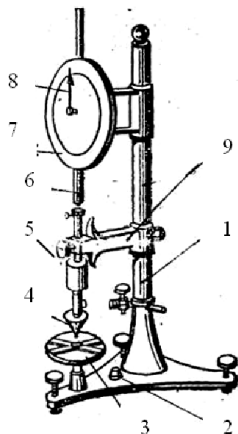


Рис. 2.9. Пенетрометр: 1 – штатив; 2 – уровень; 3 – столик; 4 – конус; 5 – пусковая кнопка; 6 – кремальера; 7 – индикатор; 8 – стрелка; 9 – кронштейн.

Опыты проводят следующим образом. Стекланный стакан с тщательно перемешанной смазкой помещают на столик и выравнивают

поверхность смазки. Избыток смазки снимают. С помощью зажима перемещают кронштейн по стойке так, чтобы наконечник конуса коснулся поверхности смазки. Положение наконечника конуса контролируют с помощью зеркала. При этом необходимо предотвратить возможность соприкосновения конуса со стенкой стакана. Кремальеру 6, снабженную сферическим наконечником, перед измерением подводят к установленному и зафиксированному зажимом плунжеру, после чего стрелку устанавливают на нуль по шкале (360 делений ценой 0,1 мм). При установке индикатора следят за тем, чтобы осталась необходимая длина хода кремальеры (30...35 мм). Этого достигают смещением индикатора вдоль стойки. Затем одновременно включают секундомер и нажимают пусковую кнопку 2. Конус свободно погружается в смазку в течение 5 с, после чего отпускают кнопку, прекращая погружение.

После подсчета показаний по шкале индикатора (в десятых долях миллиметра) приподнимают кремальеру, тщательно очищают плунжер от смазки, выравнивают поверхность испытуемой смазки в стаканчике и повторяют опыт.

За результат испытания принимают среднее арифметическое трех определений, округленное до значения, кратного пяти.

Таким образом, если конус прибора за 5 с опустился в смазку на 25 мм, это значит, что пенетрация равна 250. Результаты опытов показывают, чем больше глубина погружения конуса, тем «мягче» смазка и тем больше величина (число) пенетрации. И наоборот, более твердые смазки характеризуются меньшим числом пенетрации. В соответствии с классификацией API в зависимости от величины пенетрации смазки разделяют на классы (табл. 2.37).

Таблица. 2.37. Классы смазок по API

Пенетрация при температуре 25 °С	Индекс класса консистенции (класс NLGI)
445...475	000
400...430	00
355...385	0
310...340	1
265...295	2
220...250	3
175...205	4
130...160	5
85...115	6
ниже 70	7

Часто в технической литературе консистенцию (пенетрацию) различных марок смазок обозначают условным классом от 000 до 7, по аналогии с зарубежной классификацией NLGT. (Примечание: NLGT – национальный институт смазочных веществ).

В табл. 2.38 приведены значения чисел пенетрации при 25°C для некоторых пластичных смазок, применяемых в сельском хозяйстве.

Таблица. 2.38. **Пенетрация и коллоидная стабильность пластичных смазок**

Смазка	Пенетрация при 25 °С	Коллоидная стабильность, %
Солидол синтетический С	270...330	1...5
Пресс-солидол синтетический С	330...360	2...10
Графитная смазка «УССА»	250...270	0,5...4
«Литол -24»	220...250	8...12
«Фиол-1»	310...340	15...20
«Униол-1»	280...320	2...7
«ЦИАТИМ-221»	280...320	4...7
«ЦИАТИМ-201»	290...320	16...30
«Лита»	290...320	15...20
Смазка «№ 158»	265...295	8...15
«КСБ»	245...275	4...8
«ШРБ-4»	265...295	18...20

Определение коллоидной стабильности пластичной смазки (ГОСТ 7142-74). Коллоидная стабильность характеризует способность смазок сопротивляться выделению из них масляной основы во время хранения и эксплуатации. Количество выделяемого масла увеличивается при повышении температуры и давления. Интенсивное выделение масла недопустимо, так как смазка при этом будет ухудшать свои смазочные свойства. Появление слоя масла на поверхности смазки, например в бочке, при хранении свидетельствует о «старении» смазки, т.е. ухудшении ее эксплуатационных свойств.

Для оценки коллоидной стабильности используют прибор КСА, в котором опрессовывают испытуемую пластичную смазку при заданных нагрузке, времени и температуре. Коллоидная стабильность выражается в процентах (по количеству выделенного масла).

Проведение испытаний. Для определения стабильности служит прибор КСА (рис. 2.10). Он состоит из штатива 1 с плитой на которой установлен круглый уровень 11 и столик 10. На стойке штатива укреплен подвижный кронштейн 2, в сверлении которого размещен шток 6 с двумя выемками для крепления груза 5. Металлический шарик 7 диаметром 8мм служит для передачи давления на хвостик поршня 8. На

столик 10 устанавливают чашечку 9 для испытаний смазки. Во втулку чашечки 9 вставлен поршень 8, который на хвостовике имеет лыску для предотвращения создания вакуума над поршнем. Общая масса штока, шарика, поршня и груза составляет 100 ± 10 г.

Прибор также имеет пусковую кнопку 3 и скобу 4 для закрепления пусковой кнопки на кронштейне 2. Чашечку с поршнем взвешивают на аналитических весах, затем в нее вмазывают шпателем испытуемую смазку, не допуская образования пузырьков воздуха и пустот, взвешивают и вычисляют массу смазки, взятой на испытание. Один кружок фильтровальной бумаги смачивают маслом, отжимают между листами фильтровальной бумаги и взвешивают. Стекло со стопкой фильтровальной бумаги (7...9 кружков) помещают на столике штатива. На смазку в чашечке кладут пропитанный маслом кружок фильтровальной бумаги так, чтобы между бумагой и смазкой не было пустот, и ставят чашечку на стопку фильтровальной бумаги, положенную на стекло.

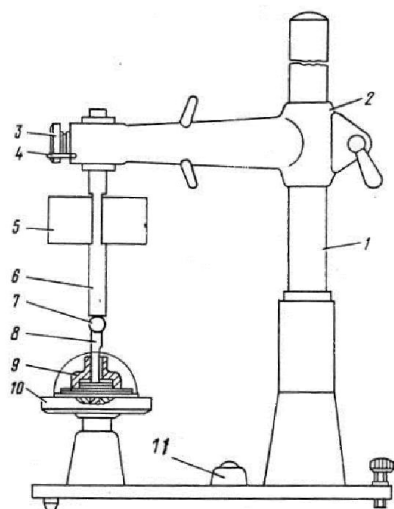


Рис. 2.10. Прибор КСА:
1 – штатив; 2 – кронштейн;
3 – пусковая кнопка; 4 – скоба; 5 –
груз; 6 – шток; 7 – шарик; 8 – поршень;
9 – чашечка; 10 – столик; 11 – уровень.

В лунку хвостовика поршня помещают шарик, передающий давление. Нажимают пусковую кнопку, освобождают шток и опускают его до соприкосновения с шариком. На шток надевают груз, нажимают пусковую кнопку, закрепляют его скобой и отмечают время начала

испытания. По истечении 30 мин взвешивают чашечку со смазкой и кружком фильтровальной бумаги (погрешность на более 0,0002 г).

Обработка результатов. Количество масла X (%), выделившегося после опрессовывания пластичной смазки, вычисляют по формуле:

$$X = 100 \frac{(m_1 - m_2)}{m}, \quad (2)$$

где m_1 – масса чашечки со смазкой и пропитанным маслом кружком фильтровальной бумаги до испытания, г;

m_2 – масса чашечки со смазкой и пропитанным маслом кружком фильтровальной бумаги после испытания, г;

m – масса испытуемой смазки, г.

За результат испытаний принимают среднее арифметическое двух параллельных определений.

Результаты определения коллоидной стабильности некоторых пластичных смазок представлены в табл. 2.4.

Определение вязкости пластичной смазки (ГОСТ 7163-84).

Вязкость пластичных смазок является одним из важнейших эксплуатационных показателей. Вязкость пластичной смазки в отличие от вязкости масла может изменяться при одной и той же температуре в довольно широких пределах и зависит от скорости перемещения ее слоев относительно друг друга. Чем быстрее продавливают смазку через капиллярную трубку, тем меньше становится ее вязкость. Поэтому при определении вязкости смазки нужно фиксировать и температуру и скорость ее подачи через капилляр.

Вязкость смазки, определенная при заданных скорости деформации и температуре является постоянной величиной и называется эффективной вязкостью. Эффективную вязкость пластичных смазок определяют с помощью капиллярного вискозиметра АКВ-2 или АКВ-4.

Вязкость смазки зависит также от вида и концентрации загустителя. От вязкости зависит прокачиваемость смазок, затраты энергии на привод в движение смазанных деталей (механизмов).

Проведение испытаний. Общий вид капиллярного вискозиметра АКВ-2 показан на рис. 2.11.

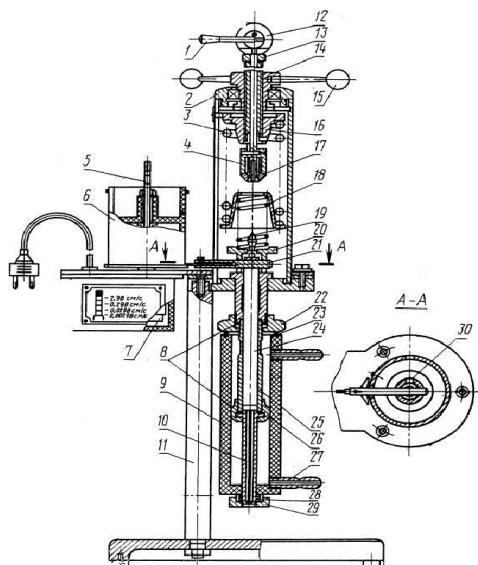


Рис. 2.11. Общий вид вискозиметра АКВ-2: 1 – рукоятка; 2 – стержень; 3 – пружина; 4 – втулка; 5 – ось; 6 – барабан; 7 – электродвигатель; 8 – прокладка; 9 – ермостатирующая рубашка; 10 – капилляр; 11 – штатив; 12 – эксцентрик; 13 – винт; 14 – гайка; 15 – уколь; 16 – стакан; 17 – цанга; 18 – пружина; 19 – штырь; 20 – опора; 21 – карандаш; 22 – гайка; 23 – прокладка; 24 – шток; 25 – измерительная камера; 26 – гайка накидная; 27 – штуцер; 28 – прокладка; 29 – гайка; 30 – винт.

Перед испытаниями вискозиметр АКВ-2 соединен с термостатом 2 и охладителем 3 согласно схеме (рис. 2.12).

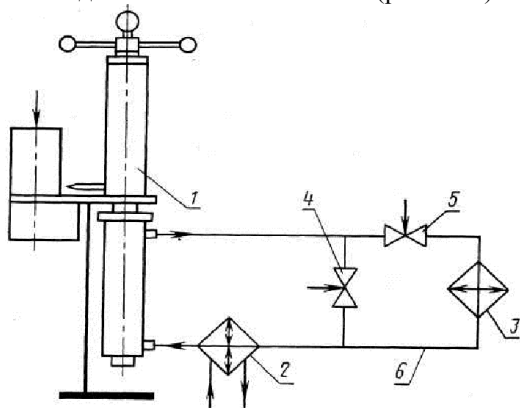


Рис. 2.12. Схема подключения вискозиметра АКВ-2: 1 – вискозиметр АКВ-2; 2 – термостат; 3 – охладитель; 4, 5 – запорный вентиль; 6 – резиновые трубки.

Испытания проводят следующим образом. Вращением рукоятки 15 (рис. 2.6) опускают винт 13 настолько, чтобы цанга 17 захватила штырь 19. Момент захвата сопровождается легким щелчком. Затем необходимо перевернуть рукоятку 1 на 180° и опустить вниз эксцен-

трик 12, вследствие чего зажимается цага 17. После этого, вращением рукоятки 15 в обратную сторону, поднимают шток 24 в крайнее верхнее положение (выше нуля).

Снимают термостатирующую рукоятку 9, капилляр 10 и измерительную камеру 25. Измерительную камеру промывают бензином и просушивают. Присоединяют камеру с образцом пластичной смазки через прокладку к прибору, плотно привинтив ее гайкой 22. Затем присоединяют к камере капилляр при помощи накладной гайки 26.

Запись перемещения штока прибора во время опытов производят при помощи самописца прибора. Для этой цели обертывают барабан 6 самописца листом миллиметровой бумаги, предназначенным для записи так, чтобы нижний обрез его соприкасался с нижним буртиком барабана и прижимают бумагу резиновыми кольцами. Устанавливают необходимую скорость вращения барабана. Затем надевают термостатирующую рубашку 9 на измерительную камеру, закрепив ее при помощи гайки 29 к гайке 22. В термостат заливают дистиллированную воду или глицерин (при температуре испытаний 125...130°C) и включают его в сеть. Открывают вентиль 5 (рис. 2.7) и, регулируя расход жидкости через систему при помощи вентиля 4, в термостате создают необходимую температуру испытания. После этого устанавливают держатель карандаша так, чтобы графит плотно прижимался к бумаге на барабане и включают двигатель, вращающий барабан. При вращении барабана карандаш вычерчивает на бумаге горизонтальную линию на уровне, соответствующем максимальному сжатию пружины. Вращением рукоятки вискозиметра стрелку устанавливают на нуль. Затем с помощью рукоятки 1 эксцентрика освобождают от фиксации нагружающую шток пружину и под ее усилием он опускается, создавая в камере давление, под действием которого смазка продавливается из камеры через капилляр в приемник.

По мере разжатия пружины вискозиметра самописец вычерчивает на бумаге кривую линию. Когда записываемая кривая приблизится к горизонтали, переключают скорость вращения барабана на меньшую. При достижении крайнего нижнего положения штока, останавливают двигатель барабана самописца.

На листе бумаги самописца получается кривая линия (диаграмма), характеризующая зависимость перемещения штока h от времени t .

Обработка результатов. Для определения вязкости пластичной смазки на диаграмму зависимости перемещения штока (h) от времени (t) накладывают прозрачный трафарет с нанесенной на него наклонной линией, соответствующей данному капилляру и заданному градиенту

скорости деформации сдвига. Трафарет передвигают вдоль диаграммы до касания наклонной линии со снятой во время испытаний кривой. Необходимо чтобы при этом горизонтальная линия миллиметровой бумаги. Замечают какой высоте (h) соответствует точка касания и по специальной таблице определяют эффективную вязкость пластичной смазки (η , Па·с).

За результат испытания принимают среднее арифметическое результатов двух определений, с точностью до целого значения.

Следует отметить, что трафарет, таблица расчетных данных, прозрачный транспортир и методика проведения расчетов прилагаются к вискозиметру АКВ-2 и имеются на рабочем месте в лаборатории.

Определение других показателей качества и свойств пластичных смазок

Термическая стабильность (ГОСТ 7143-73). Термическая стабильность характеризует способность смазок сохранять свои эксплуатационные свойства без изменения при повышенных температурах. Свойства большинства смазок при нагреве их на 50...100°C ниже температур плавления и при последующем охлаждении практически не изменяются. Однако у некоторых смазок после нагрева и охлаждения повышаются плотность, предел прочности и вязкость, вплоть до потери пластичности. Происходит термоупрочнение смазки, которое отрицательно сказывается на ее эксплуатационные свойства. Термоупрочнившиеся смазки не поступают к рабочим поверхностям в узлах трения в связи с большими значениями предела прочности и вязкости.

Склонность к термоупрочнению смазок определяют на прочномере СК, измеряя предел прочности до и после их нагрева.

Прочномер СК состоит из корпуса, съемного датчика, электродвигателя с понижающим редуктором, приводной втулки, цилиндрической колонки, пружины, контрольной стрелки, стрелки-фиксатора, шкалы и других деталей.

Определение термоупрочнения. Один из датчиков прибора, заполненный испытуемой смазкой, помещают в термостат и выдерживают в нем 1ч при температуре, указанной в стандарте или технических условиях на смазку. Затем датчик охлаждают до температуры окружающей среды. Второй датчик прибора, заполненный смазкой, термообработке не подвергается.

После этого выдерживают каждый датчик со смазкой в жидкостном термостате в течении 15 мин при 20 °С. Затем при помощи проч-

номера СК определяют максимальный угол поворота контрольной стрелки (град). Используя результаты опытов и некоторые конструктивные параметры прочномера по специальным формулам определяют термоупрочнение смазки (в %).

Результат получают на основании сравнения пределов прочности нагретой до определенной температуры смазки и не подверженной нагреву смазки.

Химическая стабильность (ГОСТ 5734-76) характеризуется устойчивостью смазок противокисления при хранении и эксплуатации. Окисление смазок ухудшает многие перечисленные свойства. При повышении температуры окисление смазок ускоряется. Химическая стабильность смазок зависит также от вида загустителя и качества дисперсионной среды.

Химическая стабильность очень важна для долгорботающих смазок, заправляемых в узлы трения один-два раза в течение 10...15 лет или один раз за весь период эксплуатации. Это свойство очень необходимо для смазок, применяемых в современных автомобилях и в другой технике.

По данным технической литературы следует, что при сборке автомобилей, например, на Волжском автозаводе, смазки закладывают более чем в сто различных точек. Для многих узлов трения эти смазки являются несменяемые за весь период эксплуатации.

Современные пластичные смазки готовят из высококачественных масел и химически стойких загустителей с добавлением специальных присадок. Оценку химической стабильности осуществляют по кислотному числу смазки после ее окисления на меди при температуре 120 °С.

Противокоррозионные свойства смазки. Под противокоррозионными свойствами подразумевают отсутствие коррозионного воздействия смазки на металлические поверхности. Если свежие смазки обладают достаточно устойчивыми противокоррозионными свойствами, то в процессе их применения возможно ухудшение этих свойств. Поэтому после длительного хранения смазки необходимо проверять. Делается это путем погружения металлических поверхностей в смазку и осмотра их поверхности после выдержки в течение определенного времени при повышенной температуре.

Консервационные (защитные) свойства (ГОСТ 0.054-75) характеризуются способностью смазки предохранять металлические поверхности от коррозионного воздействия внешней среды. Консервацион-

ные свойства смазок зависят от следующих факторов: способности удерживаться на поверхности металла, не стекая; водостойкости и воздухопроницаемости. В качестве консервационных непригодны водорастворимые смазки. Качественные пластичные смазки предотвращают коррозию металлов в условиях 100%-ной относительной влажности в течение многих месяцев и лет даже при значительной толщине смазочного слоя.

Водостойкость пластичных смазок оценивается совокупностью свойств: растворимостью в воде, способностью поглощать влагу из воздуха, устойчивостью к действию капельной и струйной воды и др.

Водостойкость прежде всего важнее для смазок, работающих в негерметизированных узлах трения или контактирующих с водой. Влагостойкость смазок зависит главным образом от вида загустителя. Низкой водостойкостью обладают натриевые смазки, повышенной – консервационные (защитные), а высокой – литиевые.

Водостойкость смазок определяют только качественно по изменению внешнего вида (по степени распада) комка смазки в холодной (при 20°C выдерживают 24 ч) и кипящей (1 ч выдерживают) воде. Если температура плавления смазки ниже 100°C, испытание в кипящей воде не проводят.

Испаряемость определяется летучестью дисперсионной среды (масляной основы). Увеличение скорости испарения масляной основы сокращает срок службы смазок. При этом смазки высыхают, в результате чего растёт вязкость и уменьшается адгезия к металлу. Оценивают испаряемость смазок потерей их массы при стандартных условиях: температуре, давлении, толщине слоя смазки и др.

2.6.3 Ассортимент 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.), немые (неорганические и органические), углеводородные.

По структуре вырабатываемых смазок Республика Беларусь и Россия значительно отстают от европейских стран и США, где основными являются литиевые смазки. Доля литиевых смазок от общего объема их выпуска в США составляют 60%, в Западной Европе – 70%, в России – 24%. Основу ассортимента пластичных смазок, выпускаемых в России, составляют кальциевые смазки (солидол -45%) и натриево-кальциевые (31%).

В табл. 2.39 приведены основные характеристики пластичных смазок, а в табл. 2.40 – рекомендации по их применению.

Таблица 2.39. Основные характеристики пластичных смазок

Тип	Водостойкость	Класс консистенции по NLGI	Марка	Диапазон рабочих температур		Заменитель
1	2	3	4	5		6
Кальциевые обычные	высокая	2	Солидол синтетический С (ГОСТ 4366-76)	-30	85	Любые смазки, кроме натриевых и углеводородных, солидолы других марок
		1	Пресс-солидол синтетический С	-30	60	
		2	Солидол жировой	-30	70	
		1	Пресс-солидол жировой	-30	60	
		2	Графитная смазка «УССА» (ГОСТ 3333-80)	-20	60	Солидол марки «С» с 10% содержанием графита
Кальциевые комплексные	средняя	2	«Униол-1»	-30	150	«Литол-24» и др. литиевые
		2	«Униол-3» и «Униол-3М»	-50	140	«Северол-1» и др. литиевые

Продолжение табл. 2.39

1	2	3	4	5	6	7	
Натриевые и натриевокальциевые	низкая	3	Смазка «1-13»	-20	110	Любые смазки, кроме кальциевых и углеводородных, др. натриевые	
		2	Консталин «УТ-1»	-20	120		
		2	Консталин «УТ-2»				
		2	«ЯНЗ-2»	-30	100		
		2	Карданная смазка «АМ»	-10	100		
		2	КСБ	-30	110		
Литиевые	высокая	2	«Лита» (ГОСТ 38-01295-893)	-40	120	«ЦИАТИМ-221», «Зимол»	
		3	«Литол -24» (ГОСТ 21150-87)	-40	120	«Фиол-3», «Фиол-2У»	
		2	«ЦИАТИМ-221» (ГОСТ 9433-80)	-60	150	«Лита», «Зимол»	
		1	«Фиол-1»	-40	120	«Литол -24», «Фиол-2»	
		1	«Фиол-2»	-40	120	«Литол -24», «Фиол-3»	
		1	«Фиол-3»	-40	130	«Литол -24»	
		1	«Фиол-2М» (ТУ 38-201312-75)	-40	120	«Литол -24» с 2%-ным содержанием MoS ₂	
		2	«ЛЗ-31»	-40	130	«Литол -24», «ШРБ-4»	
Литиевые	высокая	2	«Зимол» (ТУ38.201285-82)	-50	100	«ЦИАТИМ-221», «Лита»,	
		2	«ШРУС-4» (ТУ 38.201312-81)	-40	120	«Униол-3»	
		2	«Северол-1»	-50	130	«Униол-3М», «ЦИАТИМ-201»	
		2	«ЦИАТИМ-201» (ГОСТ 6267-74)	-60	90	«ВНИИ НП»-207,-242, «Фиол-2У»	
		1	«ЛСЦ-15»	-40	130	«Литол-24», «ШРБ-4», «ШРУС-4», смазка «№ 158»	
		2	смазка «№ 158» (ТУ938.101.320-77)	-30	100	«ШРУС-4», «Литол-24»	
		барьерные	высокая	2	«ШРБ-4»,	-40	100
2	«МС-70»			-35	100		
углеводородные	очень высокая	2	«ВТВ-1» (немыльная смазка)	-40	40	Любые кальциевые и барьерные смазки, «Литол-24», фиолы	
силикогелевые	высокая	2	«Лимол» (дисульфидомolibденовая смазка)	-40	160	«Литол-24», «ШРБ-4», «Фиол-3», «Фиол-3М»	
		2	«Силикол» (немыльная смазка)	-40	130	«Литол-24», «Фиол-3», «Фиол-3М»	

Таблица 2.40 **Рекомендации по применению пластичных смазок в автомобилях**

Узлы трения	Рекомендуемая смазка	Периодичность замены, тыс. км.
1	2	3
Ступицы колес	«Литол-24», «ЛСЦ-15»	40...50
Шарниры рулевого управления	«Литол-24», солидол синтетический С, пресс-солидол синтетический С	4...5
Шкворни поворотных кулаков	То же	4...5
Подшипники водяного насоса	«Литол-24»	60...80
Оси педалей, рычагов, валов разжимных кулаков	«Литол-24»	16...20
Механизмы лебедки	«Литол-24», солидол синтетический С, пресс-солидол синтетический С	16...20
Буксирные и седельные устройства	То же	14...20
Игольчатые подшипники карданных шарниров	смазка «№ 158»	
Шарниры равных угловых скоростей	«ШРУС-4»	Без замены в герметичных узлах
Промежуточная опора карданного вала	«Литол-24», «ЛСЦ-15»	30...40
Механизм стеклоподъемника, петли дверей	То же	15...20
Выжимной подшипник сцепления	То же	15...20
Подшипники приборов электрооборудования	«Фиол-2М», «ЦИАТИМ-201»	60...80
Гибкий вал спидометра	«ЦИАТИМ-201»	40...60
Тросы стояночного тормоза и другие	«ЦИАТИМ-201», «Литол-24»	50...70
Рессоры	«УСсА»	По потребности
Клеммы аккумулятора	Смазка пушечная, «ВТВ-1»	По потребности

В Республику Беларусь для применения в автотракторной технике поступает значительное количество пластичных смазок ведущих зарубежных фирм. Соответствие марок смазок отечественных и зарубежных производителей приведено в табл. 2.41.

Кальцевые смазки. Кальцевыми принято называть только смазки, загущенные гидратированными кальцевыми мылами. Они известны под названием «Солидолы». Это наиболее массовые и дешевые антифрикционные пластичные смазки.

Таблица 2.41. Соответствие марок отечественных и зарубежных пластичных смазок

Отечественные смазки	Зарубежные смазки фирмы			
	Shell	Mobil	BP	Exxon
Солидол С	Uneda 2, 3, Retinax C, Livona 3	Mobilgrease AA2, Gargoil B60, Greasrex D60	Enegrease C2, C3, GP2, GP3	Chassis XX, Cazar K2
Пресс-солидол С	Uneda 1, 2, 3, Retinax C	Mobilgrease AA, N1	Enegrease C1, C3	Chassis L, H Cazar K1
Графитная «УССА»	Barbatia 2, 3, 4	Grafited N3	Enegrease C-3G, Enegrease GP-2G	Van Estqn 2
«ЦИАТИМ-201»	Retinax A, Aeroshell G	Mobilgrease BRB Zero	—	Beacon 325
«Литол-24»	Alvania R3, Cyprina RA	Mobilux 3	Enegrease L2, Multipurpose	Beacon 3
«Фиол-2М»	Retinax AM 2	Lithium special	Enegrease L21-M	Beacon Q2
«ЦИАТИМ-221»	Aeroshell 15, 15A, 22C	Mobilgrease 24, 28	—	Araren BC 290
«Лита»	Band B	Mobilgrease BRB Zero	Enegrease LC	Lotemp Moly
«Зимол»	Aeroshell 16	Mobilgrease BRB Zero	Enegrease LT-2	Beacon P-230
«№ 158»	Alvania, Retinax J	Lithium special	Enegrease L2-M	Beacon Q2
«ШРУС-4»	Alvania EP2, Darina R2	Mobilgrease special	Enegrease L21-M	Nebula EP2

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 (ГОСТ 4366-76) 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 (ГОСТ 1033-79). 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.

Смешивание жировых и синтетических солидолов не ухудшает их эксплуатационные характеристики.

Графитная смазка УСсА (ГОСТ 3333-80) представляет собой мазь черного цвета. Это кальциевая смазка с добавлением 10 % мягкого чешуйчатого графита. Несмотря на плохие низкотемпературные свойства, смазку используют всесезонно в тяжелонагруженных 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 (ОСТ 38.01145-80) – 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 раз-

нообразных подшипниках качения (ступицы колес подшипники водяного насоса). Смазка работоспособна при температуре $-20...+110\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Консталин жировой – плотная мазь желтого или светло-коричневого цвета с мелкозернистой или слабоволокнистой структурой (ГОСТ 1957-73). 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°C . 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 (ГОСТ 21150-87) – 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 $-40...+120\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 (ТУ 38 101320 –77) 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 (ОСТ 37.01298-83) – 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*. Рекомендуются 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 (ГОСТ 6267-74) – 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 °С. 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°C (превосходит смазку *ЦИАТИМ – 201*). Максимальная температура применения – около $+150^{\circ}\text{C}$, однако выдерживает кратковременный перегрев до 180°C . Смазка весьма стабильна химически и инертна по отношению к резине и полимерным материалам. Коллоидная стабильность смазки удовлетворительная, а испаряемость масла даже при 150°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° до 150°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°C .

Зимол является многоцелевой морозостойкой смазкой по свойствам и назначению близкой к смазке *лита*. *Зимол* готовят загущением нефтяного масла АСВ-5, обладающего хорошими низкотемпературными свойствами0 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°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 *Ли-*

тол-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 оболочку 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°C.

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 (ТУ 38 УССР 2-01-150 – 78) – 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 жирных 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 противозносными 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 загустителе, что и смазки серии *фиол* и *литол-24*, но содержит до 17% окиси цинка и антиокислительную присадку, которые эффективно предотвращает ее окисление. Смазка обладает высокой водостойкостью, адгезией к металлу и хорошими консервационными свойствами. Температурный диапазон ее применения – 40...+140°C.

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-барьерной 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°C.

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°C и даже до -50°C. 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* неводо-

стойкая, 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 $-40...+150^{\circ}\text{C}$, временно до 170°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 об/мин в диапазоне температур $-50...+120^{\circ}\text{C}$.

Смазка *ВНИИНП-223* состоит из комплексного натриевого мыла имеет высокую чистоту. Применяется в герметизированных подшипниках приборов при частотах вращения до 60000 мин^{-1} .

2.6.4. 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 испаряемо-

стью также можно использовать в качестве консервационных смазочных материалов, так как они обладают хорошими защитными свойствами (солидол, литол-24 и др.)

Смазка пушечная (ГОСТ 19537-83) – 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°C . При температуре выше 50°C она оплавляется и стекает с защищаемых поверхностей. Ее используют для защиты от коррозии металлических изделий любой формы и размеров.

Вазелин технический волокнистый ВТВ-1 (ТУ 38 101180-76) 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 (ГОСТ 2712-15) 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 (ГОСТ 3276-74) представляет собой индустриальное масло МВП, загущенное церезином с добавлением антикоррозионной присадки. Данная смазка работоспособна при температуре не выше 50°C . Ее используют для консервации точных механизмов и приборов на срок до 5 лет.

Смазка НГ-203 (нефтегаз-203, ГОСТ 12328-77) 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 петролатума.

Смазка НГ-204у (нефтегаз-204, ГОСТ 18974-73) 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.

Некоторые из перечисленных пластичных смазок изготовлены в соответствии с техническими условиями, номер которых в тексте не указан.

Следует отметить, что в РБ на предприятии «Завод горного воска» (концерн «Белнефтехим») производятся следующие пластичные смазки: *Литол-24, солидол жировой, ЦИАТИМ-201, 205, канатная, графитная, пушечная и др.*

Значительное количество марок пластичных смазок на рынок нашей страны также поступает из России, Украины и других стран.

2.6.5. Особенности применения пластичных смазок в узлах трения

Повышение требований к надежности техники, снижение расходов на ее эксплуатацию является одним из основных направлений развития современной автотракторной техники.

От узлов и агрегатов автотракторной техники требуется длительная работа без обслуживания, в том числе без пополнения узлов трения смазочными материалами. Это связано с тем, что значительная часть работ по техническому обслуживанию приходится на смазочные операции машин.

Доля смазочных работ в суммарных затратах на ТО-1 автомобиля составляет 14...27%, а при ТО-2 – 13...30%. В условиях реальной эксплуатации часто бывает, что затраты значительно выше.

В условиях обостряющейся конкуренции на мировом автомобильном рынке сокращение потребности в техническом обслуживании для конкретной модели автомобиля имеет не меньшее значение, чем мощность его двигателя или другие эксплуатационные качества.

Данное требование также актуально для современных энергонасыщенных тракторов и другой техники.

Для современной автотракторной техники применяются как правило высококачественные литиевые и другие пластичные смазки. За счет этого в значительной мере повышается эффективность использования различных машин.

В развитых странах ведутся большие работы по созданию высококачественных автомобильных смазок, сокращению числа точек смазки и увеличению сроков эксплуатации до пополнения узлов смазкой.

Анализ динамики изменения числа пресс-масленок на автомобилях российского производства показывает, что число точек смазки грузовых автомобилей все еще велико и на некоторых моделях достигает 60 и выше. В то же время на ряде автомобилей, особенно легковых, внедрение закрытых подшипников и герметизированных узлов позволило резко сократить число точек смазки, а применение высококачественных автомобильных смазок, в том числе многоцелевых, позволило увеличить интервал между смазочными операциями в 3...4 и более раз. Напряженная эксплуатация в более тяжелых условиях, в частности при использовании автомобилей в условиях бездорожья, приводит к более интенсивному износу уплотнений. В таких условиях значительно труднее обеспечить надлежащую герметизацию узлов, особенно при длительной эксплуатации. Поэтому наряду с узлами, не требующими пополнения смазкой, на многих грузовых автомобилях некоторые узлы, условия, работы которых особенно тяжелы, снабжаются пресс-масленками и пополняются смазками в процессе эксплуатации. Положительная роль герметизации узлов проявляется здесь в значительном увеличении интервалов между проведением смазочных операций по сравнению с узлами, уровень герметизации которых недостаточен.

В принципе, герметизации узла можно достичь с помощью уплотнений, применения пластичных смазок с хорошими адгезионными свойствами или того и другого вместе. В сущности, пластичная смазка в узлах трения автотракторной техники традиционно использовалась для выполнения двух основных функций – смазывания поверхностей трения и герметизации узла.

Функция герметизации заключается в удержании подвижной части смазки в зоне трения и предотвращении попадания в нее абразивных частиц, агрессивных агентов и влаги извне. Герметизирующая способность смазки определяется ее реологическими свойствами (пределом

прочности, вязкостью, адгезией и т.д.) и особенностями узла трения: его размерами, конструкцией, скоростью перемещения деталей подшипника качения или скольжения. Однако чем менее защищен узел трения, тем большие требования предъявляются к герметизирующей способности смазок. В этом случае достаточно эффективными являются смазки, образующие защитные валики на осях, которые улавливают загрязнения, проникающие через неплотности уплотнений.

Наиболее эффективно пластичная смазка препятствует проникновению загрязнений в зону трения узла тогда, когда она применяется совместно с многокромочными или лабиринтными уплотнениями, заполняя объем между кромками. С ростом числа кромок резко сокращается количество абразивных частиц, проникающих в узел, а износостойкость уплотнений резко возрастает. С уплотнениями такого типа исключительно хорошо работают литиевые и комплексные, особенно алюминиевые смазки. Однако многокромочные и лабиринтные уплотнения по конструктивным и иным соображениям устанавливаются пока не на всех автомобильных узлах. Следует иметь в виду, что плотная набивка узла смазкой не только не улучшает герметизации узла, но приводит к прямо противоположному результату, так как при этом в узле возникает циркуляция смазки, которая переносит абразивные частицы в зону трения. Поэтому количество смазки, закладываемой в узел, должно быть оптимальным.

Смазка не в состоянии полностью заменить уплотнения, чем и объясняется неэффективность открытых или недостаточно герметизированных узлов устаревших моделей автомобилей и массовый переход к закрытым и герметизированным узлам преимущественно с несменяемой смазкой.

Применение высокоэффективных уплотнений позволяет в значительной мере освободить смазку от функции герметизации узла и создать благоприятные условия для обеспечения надежной его работы. Одновременно необходимо иметь в виду, что надежная смазка узла в течение всего времени его эксплуатации может быть обеспечена только при наличии уплотнения, не разрушающегося в процессе работы. Известно, например, что уплотнения со скользящим контактом часто выходят из строя быстрее, чем подшипники. Если в этом случае уплотнение не будет заменено, то рабочие поверхности подшипника преждевременно выйдут из строя из-за проникновения внешних загрязнений. В ходе испытаний, проведенных на ряде большегрузных автомобилей, установлено, что нормальная работа подшипников сту-

пиц колес при одноразовой заправке смазкой литол-24 обеспечивает пробег не менее 40...50 тыс. км, а в ряде случаев до 100 тыс. км. Однако из-за недостаточной износостойкости и надежности уплотнений периодичность смены смазки в этих узлах в зависимости от модели автомобиля установлена 24...33 тыс. км, т.е. дозаправка предусматривается через 2...3 ТО-2. Аналогичный результат дает применение смазок литол-24 и ШБР-4 в герметизированных шарнирах рулевого привода и реактивных тяг.

Узлы трения автотракторной техники обычно работают в сильно загрязненной среде, поэтому требования, предъявляемые к уплотнениям для них, достаточно жесткие. Так, уплотнения должны, прежде всего, обеспечивать герметичность узлов в рабочем диапазоне температур, давлений, скоростей скольжения. Они должны быть совместимыми с пластичной смазкой, обладать высокой износостойкостью, быть мало чувствительными к биению валов и одновременно просты в изготовлении и монтаже.

Таким образом, переход автомобильного транспорта и другой техники на высокоэффективные многоцелевые смазки типа литол-24 и герметизированные узлы трения позволяет получить значительный экономический эффект, который образуется не только за счет сокращения затрат на техническое обслуживание, но и за счет сокращения потребления смазок. Одновременно удастся достигнуть значительной степени унификации и сокращения ассортимента смазок.

Оптимизация количества смазки, заправляемой в узлы трения. Узлы трения автотракторной и другой техники с точки зрения герметизации и условий работы смазок могут быть разделены на следующие типы: узлы трения скольжения – на открытые (или слабо защищенные); герметизированные с несменяемой в процессе эксплуатации смазкой и герметизированные узлы, пополняемые через длительные интервалы времени, а подшипники качения – на обычные и закрытые.

Количество смазки, заправляемой в узел трения скольжения, определяется конструкцией узла, т.е. наличием в нем полостей, которые заполняются смазкой. В негерметизированный узел смазку обычно нагнетают через пресс-масленку до тех пор, пока она не начнет выдавливаться через уплотнения, клапан или контрольное отверстие. При эксплуатации такого узла в начальный период работы из него удаляется избыток смазки, а через некоторое, обычно короткое время, и смазка, участвующая в обеспечении нормальной работы узла, особенно если смазка обладает недостаточной механической стабильностью и

водостойкостью. Типичным примером является разжижение и вытекание солидола из шарниров подвески и рулевого управления и других недостаточно герметизированных узлов автомобилей устаревших моделей уже через 100...300 км пробега. Таким образом, при заправке негерметизированных узлов теряются значительные количества смазочного материала. Очевиден и другой существенный недостаток в конструкции таких узлов – оптимальное количество смазки сохраняется в узле очень короткое время, а для его пополнения требуются дополнительные расходы на смазку и техническое обслуживание.

Резкое снижение затрат на смазку и техническое обслуживание может быть достигнуто только путем герметизации узлов трения. При этом наиболее эффективно применение узлов с несменяемой смазкой. В герметизированных узлах трения, которые пополняются смазкой в процессе эксплуатации, смена работавшей смазки осуществляется так же, как в негерметизированных узлах, с тем лишь существенным отличием, что свежая смазка надежно удерживается в них в течение длительного времени до следующей дозаправки. В герметизированные узлы трения скольжения с несменяемой смазкой она закладывается в строго определенном количестве при сборке узла, в процессе работы смазка не только не пополняется, но, что очень важно, не удаляется из узла. Пополнение смазкой герметизированных узлов с пресс-масленками, осуществляемое с длительными интервалами, связано с предотвращением загрязнения смазки, вызываемого износом уплотнений. Эта операция облегчает поддержание количества и режима смазки на оптимальном уровне.

Определение оптимального количества смазки, необходимого для обеспечения нормальной работы подшипников качения, более сложно, чем для подшипников скольжения, и решается в зависимости от условий работы и типа подшипника.

Степень заполнения смазкой подшипника и всего узла в целом является важной, но не всегда учитываемой характеристикой, которая оказывает существенное влияние на поведение смазки в узле и его температурный режим, а в конечном счете – на надежность подшипника. Поведение смазки в подшипниковом узле существенно различается при разной степени его заполнения. При неплотной набивке узла основная масса пластичной смазки не принимает участие в смазывании тел и дорожек качения, она перемещается только в зоне, прилегающей к полости тел качения. В этом случае смазка вытесняется с дорожек качения и из внутренней полости подшипника вскоре после

начала работы узла. Например, из подшипников ступицы колеса в первые же минуты движения автомобиля в полость ступицы выдавливается до 40% смазки, а из подшипников водяного насоса – 10...30%. В дальнейшем существенное вытеснение и макроциркуляция смазки прекращаются.

При плотной набивке пластичной смазкой герметизированных узлов трения автотракторной техники, вытеснение ее излишков из подшипника затруднено. Поэтому при работе подшипникового узла в процессе циркуляции вовлекается вся масса смазки, что приводит к увеличению энергетических потерь и перегреву смазки и подшипников. При интенсивном перемешивании большинство смазок разупрочняется и вытекает из узла, однако некоторые смазки могут при отдыхе упрочняться. Затвердение смазок приводит к ухудшению подпитки зоны трения, вследствие чего подшипник быстро выходит из строя. Наиболее склонны к уплотнению комплексные кальциевые смазки. Литиевые и другие перспективные смазки обеспечивают лучшие условия для работы подшипников.

При нормальной набивке смазкой температура подшипника в начале работы резко возрастает, достигает максимума, а затем постепенно снижается и стабилизируется. Отклонения от оптимального количества смазки проводили к изменению температурной кривой.

Оптимизация количества смазки, необходимого для нормальной работы узла, особенно важна в тех случаях, когда предъявляются повышенные требования к пусковым моментам (моментам сопротивления при начале вращения), в частности в процессе эксплуатации техники при пониженных температурах. На примере поддерживающего ролика ходовой части гусеничной машины при использовании смазки литол-24 доказано, что оптимальная набивка (в данном случае 60% от объема полости подшипникового узла) позволяет значительно снизить пусковой момент (табл. 2.42).

Оказались несостоятельными и расчеты на то, что избыток пластичной смазки снизит шумность работы подшипников и защитит их от проникновения воды, пыли и грязи. При избытке смазки шум даже возрастает, а в результате перегрева нарушается нормальная работа сальниковых уплотнений. При нагреве смазка расширяется, при отсутствии свободных полостей она выгибает и повреждает сальники, а при охлаждении объем смазки втягивается внутрь подшипникового узла вместе с загрязнениями, количество которых в процессе работы плотно набитого узла может достигнуть 50%.

Таблица 2.42. Зависимость пускового момента от степени заполнения узла

Степень заполнения узла, %	Пусковой момент Н·м·10 ⁻² при температуре, °С		
	50	0	-50
100	0,6	3,4	31
60	0,15	2,5	21

Таким образом, заполнение подшипников и узлов смазкой должно строго нормироваться, хотя до настоящего времени в инструкциях по эксплуатации автомобилей и другой техники этому вопросу уделяется недостаточно внимания и часто встречаются рекомендации по плотной набивке узлов.

Существуют рекомендации, что в зависимости от типа, конструкции и условий эксплуатации степень заполнения узла смазкой должна колеблется в пределах 30...70%.

Однако часто на практике, независимо от качества герметизации узла, производят полное заполнение полостей пластичной смазкой до тех пор, пока она не начнет выдавливаться через уплотнения. При этом делают предпосылку на то, что все современные смазки водостойкие и они в значительной мере защитят подшипники автотракторной техники от износа и коррозии при работе в условиях повышенной влажности.

В настоящее время на современных моделях автотракторной техники большое распространение получили закрытые подшипники и герметизированные узлы с несменяемой пластичной смазкой. При этом, как правило, в подшипник закладывается оптимальное количество смазки при его сборке.

2.6.6. Совместимость пластичных смазок

Смешение смазок обычно наблюдается при периодической доправке узлов трения автотракторной техники, когда в процессе эксплуатации узел пополняется смазкой того же назначения, что и работавшая, но иного состава. Во многих инструкциях по эксплуатации автомобилей допускается использование в одном и том же узле нескольких сортов смазок – обычно основной и заменителей. В качестве основной все шире используется многоцелевая смазка литол-24, которая повсеместно вытесняет старые смазки общего назначения ЯНЗ-2, 1 – 13, солидолы и констаины, но последние все еще рекомендуются в качестве заменителей на ряде автомобилей. Смешение смазок в узлах трения возможно при техническом обслуживании автомобилей зарубеж-

ного производства, а также из-за отсутствия основного сорта и в результате ошибок.

Совместимость – это способность смазок смешиваться с другими марками смазок и не расслаиваться, не вступать в химические реакции и не снижать показателей качества. Совместимость смазок существенно зависит от типа загустителя, присадок и других факторов.

В России проведены детальные исследования совместимости, включающие оценку реологических, смазочных и эксплуатационных свойств смесей смазок. Установлено, что при смешении смазок их свойства и эксплуатационные характеристики ухудшаются довольно часто. Однако при смешении совместимых смазок свойства смесей, как правило, занимают промежуточное положение между свойствами исходных смазок. Во многих случаях характеристики смесей изменяются пропорционально изменению состава. Различная совместимость смазок связана с различиями в природе катионов мыл смешиваемых смазок. Смазки без присадок и ПАВ, приготовленные на мылах щелочных металлов – стеаратах лития и натрия, гидроксистеаратах лития, образуют смеси, свойства которых в основном изменяются адекватно. Наиболее полное соблюдение этого правила наблюдается при оценке свойств смесей смазок, приготовленных на обычных мылах с одним и тем же катионом. Например, хорошей совместимостью обладают смазки Лита и ЦИАТИМ-203. Смазки, приготовленные на гидратированных мылах щелочноземельных металлов (например, кальция), при смешении со смазками, приготовленными на мылах щелочных металлов (лития и натрия), образуют смеси с существенными отклонениями показателей. Особенно резко снижается температура каплепадения таких смесей.

Смазки, загущенные мылами тяжелых металлов, плохо совмещаются со смазками, приготовленными на мылах как щелочных, так и легких металлов третьей группы периодической системы Менделеева. Так, при смешении смазок, содержащих мыла лития и свинца, установлена депрессия коллоидной стабильности, предела прочности и противоизносных свойств. Очень плохо совмещаются смазки, приготовленные на смешанных мылах, даже если одна из смазок содержит мыло, содержащееся в другой смазке.

Поскольку эксплуатационные свойства товарных смазок при их смешении в процессе обслуживания автотракторной техники могут существенно ухудшаться, необходимо строго соблюдать инструкции по эксплуатации техники и избегать смешения смазок. При переходе

из одного сорта смазки на другой наиболее целесообразна разборка узла с полным удалением старой смазки и его промывкой. Если такая операция по какой-либо причине нежелательна и смешения смазок избежать нельзя, следует шприцевать узел свежей смазкой до ее выхода из узла. Однако доказано экспериментально, что полностью удалить работавшую смазку без разборки различных узлов трения не удастся даже при многократном шприцевании. Так, из рулевых шарниров при четырехкратном шприцевании и обкатке удастся удалить не более 60% заменяемой смазки. Остальная смазка находится в так называемых «мертвых зонах», образование которых вызвано конструктивными особенностями шарниров и нерациональным расположением пресс-масленок, которые обычно устанавливают на боковой поверхности шарниров. Размещение их в крышке корпуса шарнира значительно улучшает степень заполнения узла и, соответственно, удаление заменяемой смазки.

Совместимость основных автотракторных смазок приведена в таблице 2.43. Следует отметить, что совместимость специализированных автотракторных смазок здесь не рассматривается, так как они применяются в закрытых узлах трения и заменяются только при разборке узлов.

Смазка литол-24РК, представляющая собой смазку с улучшенными консервационными свойствами, совмещается с другими смазками аналогично смазке литол-24.

Таблица 2.43. Совместимость товарных автотракторных смазок

Смазка	Литол-24	Зимол	Лита	МЗ-10
Солидол С	Н	Н	Н	С
Солидол Ж	С	С	Н	С
Консталин-1,2	С	—	С	С
1-13 жировая	С	С	С	С
Автомобильная (ЯНЗ-2)	С	С	С	С
ЦИАТИМ-201	С	С	С	С
ЦИАТИМ-203	—	—	С	С
Литол-24	—	С	С	С
Зимол	С	—	С	С
Лита	С	С	—	Н

С – совместимые, Н – несовместимые

Для обеспечения максимальной эффективности, надежности и долговечности узла трения пластичные смазки должны быть совместимы со всеми конструкционными материалами, применяемыми в данном

узле, особенно с резиновыми деталями. Известно, однако, что некоторые смазки могут оказывать заметное вредное воздействие на резиновые уплотнения. Очевидно, что совместимость смазок с уплотнениями особенно важна для герметизированных узлов трения с несменяемой или редко пополняемой смазкой. Наиболее типичными проявлениями несовместимости со смазкой являются чрезмерное набухание, усадка, растрескивание резиновых деталей, ухудшение их физико-химических, фрикционных и других свойств. В результате этого герметичность узла нарушается, уплотнения теряют способность удерживать смазку в узле и предотвращать проникновение в него загрязнений.

Совместимость смазок с резинами оценивается по изменению массы или геометрических размеров резинотехнических изделий, находящихся в контакте со смазочным материалом, и зависит, с одной стороны, от типа полимера, на котором приготовлена резина и его концентрация, а с другой стороны – от природы дисперсионной среды, типа и концентрации присадок, содержащихся в пластичной смазке. Тип загустителя слабо влияет на совместимость резин со смазками. Поскольку в подавляющем большинстве случаев дисперсионной средой автомобильных смазок служат нефтяные масла, здесь рассмотрена совместимость резин с маслами этого типа. В общем случае нефтяные масла парафинового основания с высоким индексом вязкости в наименьшей степени взаимодействуют с резиной, хотя в некоторых случаях возможна усадка уплотнений. Масла нефтяного основания, особенно, при высоком содержании ароматических углеводородов, вызывают набухание резин.

Взаимодействие смазок с резиной обусловлено одновременным протеканием двух конкурирующих процессов – проникновением в резину дисперсионной среды и экстракцией пластификатора из резины дисперсионной средой. В первом случае наблюдается набухание, а во втором – уменьшение массы резины.

Влияние присадок, содержащихся в смазках, на резиновые уплотнения в зависимости от их типа, химической и поверхностной активности весьма разнообразно и может быть весьма существенным. Так, при изучении набухания резин различных типов в смазках ЦИАТИМ-201 и ЦИАТИМ-203 установлено, что первая смазка вызывает набухание нитрильных резин на 17...33%, а вторая – на 20...45%, эти же показатели для силиконовых резин соответственно 45...55% и 69...80%. По-видимому, в этом случае сказывается различный состав и содержание нафтеново-ароматических углеводородов в базовых маслах.

Таким образом, при подборе смазок для узлов трения автотракторной техники с целью обеспечения их надежной работы необходимо учитывать результаты научных исследований по совместимости смазок.

2.6.7. Хранение, нормирование расхода и пути экономии смазок

Топливо и смазочные материалы хранят на складах, которые для большего удобства располагают вблизи центральной усадьбы. Наилучшими условиями для хранения и сокращения потерь нефтепродуктов созданы в хозяйствах, где нефтесклады построены по типовым проектам. Однако некоторые сельскохозяйственные предприятия имеют нефтесклады, построенные еще по старым проектам или хозяйственным способом.

Правильное хранение пластичных смазок, как и нефтепродуктов в целом, имеет важное значение для сельскохозяйственных предприятий. Пластичные смазки в отличие от большинства нефтепродуктов хранят и транспортируют только в той таре, в которую они были расфасованы при производстве.

Все пластичные смазки, применяемые для автотракторной техники при хранении достаточно стабильны. При соблюдении правил хранения в них не наблюдается быстро протекающих химических процессов. Скорость последних зависит от температуры, наличия контакта с цветными металлами, степени заполнения тары и т.д. Наибольшее ускоряющее действие на химические и физические процессы, протекающие в смазках при хранении, оказывает температура хранения.

Все изменения качества пластичных смазок при хранении можно условно подразделять на три основные группы: связанные с химическими, физическими процессами и вызванные появлением в смазках посторонних веществ.

При хранении из многих смазок отделяется масло (коллоидно неустойчивые смазки могут выделять до 10...20% масла). При этом не только нарушается однородность смазки, но одновременно растет ее вязкость и ухудшаются низкотемпературные свойства. Масла, вытекая из тары, загрязняют территорию склада и создают пожарную опасность.

Некоторые типы смазок, прежде всего натриевые и кальциевые, приготовленные на малых синтетических жирных кислотах, при хранении уплотняются, что выражается в резком повышении предела проч-

ности и вязкости. При хранении смазок в негерметичной таре возможно поглощение ими влаги из воздуха. Свойства обводненной смазки существенно меняются, у большинства смазок снижаются предел прочности и температура каплепадения, но некоторые типы смазок, например комплексные кальциевые, силикагелевые, наоборот, затвердевают.

Смазки необходимо хранить в исправной таре в специально оборудованных хранилищах или на складах при возможно более низкой температуре, но не ниже 0°C, так как в этом случае заправка смазкой смазочного оборудования и узлов трения автотракторной техники затруднена из-за высокой вязкости смазочного материала. Наиболее пригодны для хранения смазок сухие прохладные наземные или полуподземные хранилища. В крайнем случае, допускается краткосрочное хранение смазок под навесами. Необходимо строго соблюдать сроки освежения смазок.

Правила хранения пластичных смазок и рекомендуемые сроки хранения, как правило, изложены в ГОСТах и технических условиях в соответствии с которыми производятся конкретные марки смазок. По данным нормативных документов большинство автотракторных смазок может храниться в закрытой таре в течение 4...5 лет.

Хранение смазок в открытой таре недопустимо, поскольку наибольшую часть смазки, безвозвратно теряемой в эксплуатации, составляют потери от порчи и загрязнения при хранении в открытой крупной таре (бочках). После вскрытия бочки из нее извлекают обычно небольшую часть, остальная же смазка загрязняется пылью, водой, посторонними предметами. При необходимости заправки автотракторной техники верхний слой загрязненной смазки приходится удалять.

В настоящее время автомобильные смазки выпускаются нефтемаслозаводами в упаковке от 200 до 0,5 л., а некоторые специализированные – в еще меньшей упаковке. Основная масса смазок выпускается в крупной таре (деревянные и металлические бочки по 180 кг, бидоны по 20 л.).

Для мелких потребителей, а также для владельцев индивидуальных автомобилей наиболее приемлема расфасовка в мелкой и особо мелкой таре (в банках из различных материалов по 0,5; а также тубах емкостью 25...250 мл. Использование мелкой тары способствует более экономному расходованию смазок, так как на стенках мелкой тары остается значительно меньшее количество смазки, чем на стенках крупной

тары. Весьма эффективно также использование смазок в аэрозольной упаковке, особенно при необходимости нанесения тонких слоев смазок. При этом ее расход снижается в 3...4 раза по сравнению с традиционными способами нанесения. В настоящее время в таком виде тары выпускаются смазка ВТВ-1, паста литол и другие. Широкое внедрение прогрессивных видов тары позволит повысить культуру применения и уменьшить нерациональный расход смазок.

На расход пластичных смазок и других нефтепродуктов влияет большое число факторов, которые могут быть объединены в следующие основные группы: конструктивно-технологические, эксплуатационные, организационные и связанные с качеством применяемых смазочных материалов.

Нормы расхода пластичных смазок на работу автомобилей, тракторов и мелиоративно-строительной техники в зависимости от расхода топлива приведены в табл. 2.44 и табл. 2.45.

Таблица 2.44. Нормы расхода пластичных смазок для автомобилей

Типы автомобилей	Норма расхода смазок кг на 100 л расхода топлива
Легковые, грузовые автомобили и автобусы, работающие на бензине и сжиженном газе	0,18...0,20
Грузовые автомобили и автобусы, работающие на дизельном топливе	0,27...0,30
Автомобили БелАЗ, МАЗ	0,25...0,30

Таблица 2.45. Нормы расхода пластичных смазок на работу тракторов, строительных и дорожных машин (в % к расходу топлива)

Марка машины	Пластичные смазки
Тракторы:	
Т-130	0,06
Т-150, Т-150 К	0,06
Т-4А	0,02
ДТ-75М	0,02
К-701М	0,02
МТЗ-80/82	0,06
ЮМЗ-6Л, 6Н	0,06
МТЗ-12212 и др.	0,06
Тракторы трелевочные	0,10
Экскаваторы:	
одноковшовые	0,40
непрерывного действия	0,40
Скреперы	0,20

Автогрейдеры	0,50
Краны экскаваторные	0,40

К эксплуатационным факторам эффективности использования относятся мероприятия по улучшению качества технического обслуживания и ремонта автотракторной техники, способствующие снижению внутригаражных расходов и ликвидации перерасхода смазок. К ним относятся организация типовых производственных отделений и постов по обслуживанию, ремонту и смазке агрегатов, внедрение средств диагностики технического состояния и рациональных режимов технического обслуживания и текущего ремонта техники, повышение качества текущего и капитального ремонта.

Анализ потерь смазки при обслуживании автотракторной техники показал, что при поставке смазки в крупной таре на ее стенках остается неиспользованной не менее 2...3% от общей массы поступившей смазки. Сколько же теряется при перекладке ее в меньшую тару, а при заполнении шприцев руками или лопатками теряется 2...5% смазки. Конструкция узлов, смазываемых через пресс-масленки, такова, что при заполнении узла свежую смазку нагнетают до тех пор, пока не будет удалена старая и не появится свежая смазка. Таким образом, в данной операции потери свежей смазки неизбежны и в процентном отношении в зависимости от конструкции солидолонагнетателя они могут достигать 50...100% от заправляемой в узел смазки. Безвозвратно теряется 4...5% смазки при холостых ходах солидолонагнетателя, которые необходимы для удаления воздуха из плунжерной пары. На поверхности пресс-масленки смазываемого узла остается 2...3% смазки. Кроме того, велики потери из-за неполного удаления смазки из тары, несовершенства смазочного оборудования (потери при заправке узлов), а также вследствие порчи смазок в процессе хранения, особенно в открытой таре из-за окисления, обводнения и загрязнения.

Организационные факторы экономного использования смазок – это система мероприятий по совершенствованию планирования и нормирования расхода смазок, по их строгому бухгалтерскому учету в хозяйствах и исключению хищения смазок.

Важными мероприятиями в организации экономного использования пластичных смазок и других нефтепродуктов являются премирование трактористов-машинистов, водителей и других лиц, достигших реальной экономии, и удержание части стоимости нефтепродуктов с заработка указанных лиц при неоправданном перерасходе этих материалов.

Нормативные материалы по данному вопросу имеются в каждом

сельскохозяйственном предприятии.

3. ХИММОТОЛОГИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ЖИДКОСТЕЙ

3.1. Жидкости для охлаждения двигателей внутреннего сгорания.

3.1.1 Основные марки антифризов и показатели их качества

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 циркуляцией 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 °С), большую теплопроводность, небольшую вязкость ($\nu_{20}=1 \text{ мм}^2/\text{с}$), большую теплоту испарения, она пожаробезопасна, не ядовита, дешева.

Однако вода обладает и существенными недостатками, затрудняющими ее применение в качестве охлаждающей жидкости. При 0°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 минус 75°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 °С. Если смешать 33,3% воды и 66,7 % этиленгликоля, то температура замерзания полученной смеси будет минус 75°C. При любых других соотношениях названных компонентов температура замерзания смеси будет выше. Диаграмма кристаллизации водоетиленгликолевых смесей показана на рис. 3.1.

Промышленность производит чистый этиленгликоль, а также выпускает специальные водоетиленгликолевые 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 °С 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.

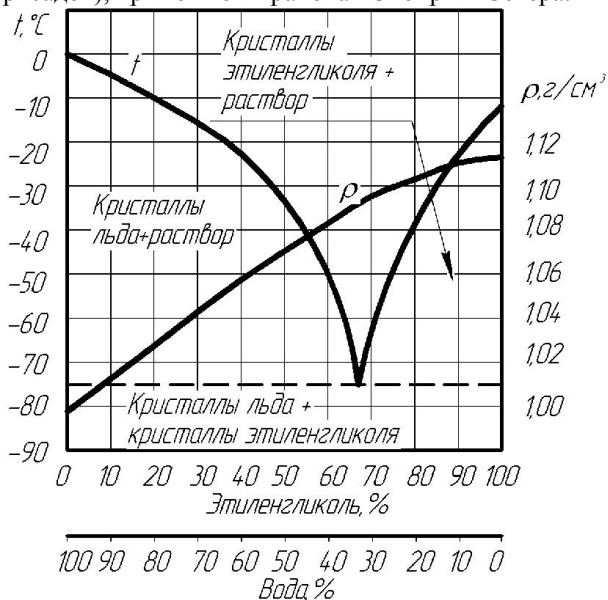


Рис. 3.1. Диаграмма кристаллизации водозетиленгликолевых смесей:
 t – кривая кристаллизации; ρ – кривая изменения плотности.

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 1 л 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» (табл. 3.1). 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. Пользо-

ваться Тосолом АМ следует после разведения его дисциллированной водой в необходимой пропорции. Смесь Тосола АМ и воды в соотношении 1:1 имеет температуру начала кристаллизации минус 35°С.

Таблица 3.1. Основные показатели жидкостей для системы охлаждения двигателей

Показатели	Тосол ТУ 6-02-751-86			«Лена» ТУ 113-07-02-88		
	АМ концен- трат	А-40М	А-65М	ОЖ-К концен- трат	ОЖ-40	ОЖ-65
Цвет	Голубой		Крас- ный	Желто-зеленый; жидкость без механических примесей; допускается опалесценция*		
Плотность при 20 °С, кг/м ³	1120... 1140	1075... 1085	1085... 1095	1120... 1150	1075... 1085	1085... 1100
Температура начала кристаллизации, °С, не выше	—	-40	-65	—	-40	-65
Температура кипения, °С	170	108	115	160	100	100
Коррозионные потери металлов при испытаниях, мг, не более:						
	10	10	10	7	7	7
	12	12	12	12	12	12
	20	20	20	10	10	10
чугуна	10	10	10	7	7	7
Состав охлаждающей жидкости, %:						
этиленгликоль	97	56	64	96	56	65
вода	3,0	44	36	3,0	44	35

* Опалесценция – яркое свечения голубого цвета.

Водный раствор Тосола АМ с температурой застывания минус 40°С маркируют как Тосол А-40 М, а с температурой минус 65 °С – 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 кг/м³ [69].

В нашей стране для автомобилей и другой техники широко используются охлаждающие жидкости «Лена»: ОЖ-К, ОЖ-40 и ОЖ-65 (табл. 3.1), а также и другие марки антифризов (в том числе зарубежные).

Следует отметить, что процентное содержание этиленгликоля и дистиллированной воды в отечественных антифризах и зарубежных почти одинаковое.

На рынок Республики Беларусь часто поступают перспективные охлаждающие жидкости российского производства.

«Спектрол Тосол А-40» - всесезонная охлаждающая жидкость с температурой кристаллизации не выше -40°C и плотностью $1062...1067\text{ кг/м}^3$ при 20°C . Воздействие на резину – набухание не более 5%, коррозионное воздействие на металлы (латунь, сталь, чугун, алюминий) – $0,1\text{ г/м}^2$. «Спектрол 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, изготавливаемые, как правило, на основе этиленгликоля, применяют в системе охлаждения автотракторной техники.

Антифриз «NORD» - прозрачная жидкость без механических примесей зеленого цвета. Температура начала кристаллизации минус 40°C . Плотность при 20°C 1074 кг/м^3 . 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 минус 40°C . 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 минус 40 и минус 65°C . «Тосол-Север-40» – однородная жидкость без механических примесей синего цвета, плотность при 20°C 1073 кг/кг^3 .

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.

Группа компаний «ХимАвто» производит также бытовой антифриз – теплоноситель «Теплый дом» для жилых помещений. Антифриз представляет собой водный раствор высококачественного этиленгликоля, который обеспечивает работу системы отопления помещения (в течение пяти лет без замены) в температурном диапазоне от минус 65 до плюс 112 °С. Исключается «размораживание» системы отопления. Теплоноситель имеет гигиенический сертификат, что позволяет использовать его в жилых помещениях.

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.

Следует помнить, что перед заправкой антифризом систему охлаждения необходимо тщательно промыть, так как накипь разрушает присадки, находящиеся в антифризе. Антифриз в систему охлаждения заливают на 5...7% меньше полного объема, поскольку при нагревании он расширяется больше, чем вода. Поэтому в конструкции систем охлаждения легковых, грузовых автомобилей и другой техники предусмотрены специальные расширительные бачки емкостью 2,5...3 л. На этих бачках как правило указана метка, до которой необходимо заливать антифриз в системе охлаждения. В табл. 3.2 приведены марки автомобилей, рекомендуемые охлаждающие жидкости и емкость систем охлаждения двигателей.

Основной недостаток этиленгликолевых жидкостей и их смесей с водой – токсичность. При попадании антифриза в организм человека происходят тяжелые отравления. Поэтому необходимо соблюдать при обращении с антифризом основные меры предосторожности: смеси нельзя засасывать ртом и допускать их разлива на различные предметы при заправке систем охлаждения, работать следует в резиновых перчатках и специальной одежде. После работы тщательно вымыть руки мылом.

В качестве антифризов можно применить также водноспиртовые, водоглицериновые и спиртоводоглицериновые смеси. Но все эти смеси из-за существенных недостатков распространения не получили.

При эксплуатации двигателей из этиленгликолевой жидкости испаряется главным образом вода, а также может иметь место утечка

антифриза через неплотности в системе охлаждения. Поэтому следует быстро устранить утечку путем тщательной герметизации системы охлаждения и после этого долить в систему охлаждения воду или антифриз определенного состава до необходимого уровня.

Таблица 3.2. Основные марки автомобилей и рекомендуемые охлаждающие жидкости для них

Марки автомобилей	Рекомендуемые охлаждающие жидкости	Емкость системы охлаждения, л
Москвич-2140, ИЖ-2125 и др.	Вода или антифриз	10
ВАЗ-2106 и ее модификации	Тосол А-40 и др. антифризы	9,6
ВАЗ-2109	Тосол А-40 и др. антифризы	7,8
ВАЗ-2110, 2111, 2112	Антифриз	7,8
ГАЗ-3110 «Волга»	Антифриз	7,8
ГАЗ-2217 «Соболь»	Антифриз	11,5
УАЗ-3160	Вода или антифриз	13,7
ГАЗ-53А	Вода или антифриз	23
ЗиЛ-130, 133	Вода или антифриз	29
КамАЗ55102	Антифриз	35
МАЗ-5432	Вода или антифриз	30
Фольсваген Пассат	Антифриз	8

В целях экономного использования антифриза при переходе на летнюю эксплуатацию его необходимо слить из системы охлаждения двигателя в специальную посуду, профильтровать и хранить до следующего сезона в надежном месте. Систему охлаждения двигателя тщательно промыть водой. В автомобилях зарубежного производства в системах охлаждения, как правило, антифризы применяют внесезонно.

3.2.2. Определение состава антифриза и восстановление его стандартных свойств

Состав и температуру замерзания антифриза определяют прибором, называемым гидрометром (рис. 3.2). По внешнему виду и принципу действия прибор напоминает ареометр. На узкой части прибора имеются две шкалы: одна показывает процентное содержание этиленгликоля с водой, а другая – температуру замерзания смеси.

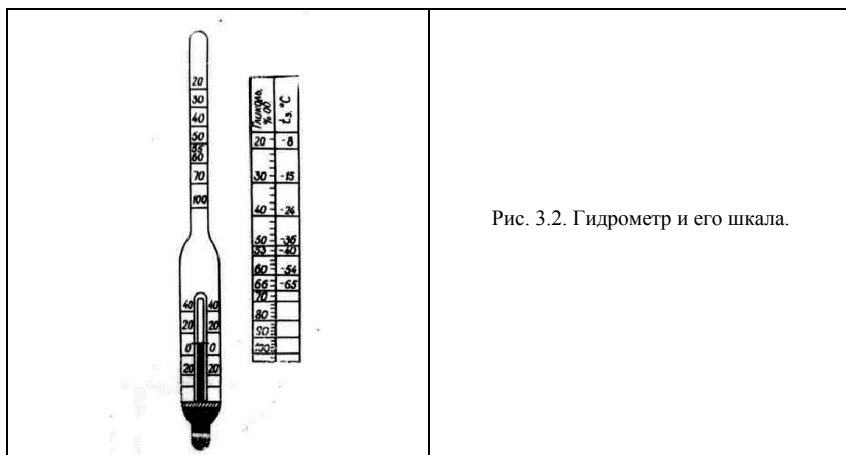


Рис. 3.2. Гидрометр и его шкала.

Определение состава антифриза производят в мерном цилиндре (рис. 3.3) аналогично определению плотности жидкостей. Опыты ведут при температуре 20 °С. Если температура при проведении опыта другая, то в показания гидрометра вносят поправку (табл. 3.3).

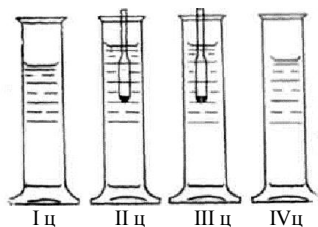


Рис. 3.3. Образцы антифриза Тосол-А-40М различного качества:
I ц. – антифриз стандартного качества; II ц. – антифриз с пониженным содержанием этиленгликоля; III ц. – антифриз с повышенным содержанием этиленгликоля; IV ц. – антифриз, проработавший в системе охлаждения автомобиля «Жигули» более 3 лет.

Таблица 3.3. Поправки к показаниям гидрометра

Температура испытуемого антифриза, °С	Содержание этиленгликоля, % к объему									
+30	17	22	27	32	36	41	46	50	55	
+20	20	25	30	35	40	45	50	55	60	
+15	21	26	32	37	42	47	52	57	63	
+10	22	27	33	38	44	49	54	59	65	
0	24	29	35	40	47	52	58	63	69	
-10	26	31	37	43	50	56	62	67	73	

Если состав антифриза не соответствует стандарту, то его качества необходимо восстановить. С этой целью проводят расчет необходимой добавки воды или этиленгликоля в заданный объем смеси. Количество добавляемого компонента подсчитывают по формулам: при добавке этиленгликоля:

$$\tilde{\delta}_y = \frac{a-b}{b} V ; \quad (3.1)$$

при добавке воды:

$$\tilde{\delta}_B = \frac{c-d}{d} V , \quad (3.2)$$

где x_3 и x_B – количество добавляемого компонента, мл;

V – объем антифриза, взятого для опыта, мл;

a – объемный процент воды в исходном образце;

b – объемный процент воды в заданном стандартном антифризе (находят по диаграмме);

c – объемный процент этиленгликоля в исходном образце;

d – объемный процент этиленгликоля в заданном стандартном антифризе (находят по диаграмме).

3.2. Жидкости для тормозных систем и амортизаторов

3.2.1. Основные марки тормозных жидкостей и показатели их качества

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 °С). Поэтому ее нельзя использовать в приводах с дисковыми тормозами, так как жидкость в их рабочих цилиндрах может достигать температуры 150°С, а иногда и более высокой. При отрицательных температурах вязкость БСК сильно возрастает, а при минус 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 применяют 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» (ТУ 6 01 1163-78) имеет цвет от светло-желтого до желтого, прозрачная [32]. 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/м³, кинематическая вязкость при 50 °С не менее 5 мм²/с. Температура кипения жидкости 190 °С, а застывания минус 60 °С. Тормозная жидкость «Нева» огнеопасна, попадание ее на кожу человека приводит к дерматитам.

Жидкость используют в гидроприводе тормозов и сцеплений старых моделей грузовых и легковых автомобилей выпуска до 1985 г. Срок службы жидкости не превышает одного года.

Тормозная жидкость «Томь» (ТУ 6 011276 – 82) 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 минус 40 до плюс 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» (ТУ 6 05221569 – 84) представляет собой смесь полигликолей и эфиров борной кислоты с добавлением антиокислительных и антикоррозионных присадок [3,4]. Имеет исключительно хорошие высокотемпературные свойства. Ее можно использовать в тормозных системах всех типов автомобилей при температуре от минус 50 до плюс 50 °С. Температура кипения жидкости «Роса» 260°С, а застывания минус 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 про-

изводятся 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 борсодержащего 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 минус 40 до плюс 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.

Главное различие между жидкостями состоит в температурах их кипения. Согласно техническим условиям температура у «Невы» не ниже 190 °С, у «Томи» - 205 °, у «Росы» - 260 °С. Однако следует помнить, что гликолевые соединения гигроскопичны и активно поглощают влагу. При поглощении влаги резко понижается температура кипения тормозных жидкостей. Так, например, при содержании 3,5% влаги температура кипения у «Невы – 145, «Томи» – 151, «Росы» – 193 °С.

При скоростной езде автомобиля в экстремальных условиях температура нагрева деталей дисковых тормозов достигает 150 °С. Поэтому в случае применения тормозных жидкостей с содержанием влаги 3,5% и более «Нева» и «Томь» будут кипеть, что крайне недопустимо. Обводненные тормозные жидкости следует заменить на свежие.

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.

Все жидкости на гликолевой основе ядовиты. Поэтому при обращении с ними следует соблюдать особую осторожность. Характеристики тормозных жидкостей приведены в табл. 3.3.

Таблица 3.3. **Характеристика тормозных жидкостей**

Показатели	БСК	«Нева»	«Томь»	«Роса»	«Роса DOT4»
Внешний вид	Прозрачная жидкость ярко-красного цвета	Прозрачная жидкость желтого цвета			
Вязкость, мм ² /с при 50 °С, не менее	9,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Температура кипения, °С	115	190	205	260	260
Температура застывания, °С	–20	–60	–60	–60	–60
Изменение объема резины при взаимодействии с жидкостью, %	5...10	2...10	2...8	1...6	2...10
Плотность при 20 °С, кг/м ³	850...900	1010...1015	1005...1015	1005...1010	1005...1010

Силиконовые тормозные жидкости (SAE J 1705), как и минеральные масла, не абсорбируют влагу. Накопленная в тормозной жидкости вода в свободном состоянии при нагревании более 100 °С выпаривается, а при охлаждении ниже 0 °С замерзает, что препятствует нормальной работе тормозной системы. Кроме того, тормозные жидкости на основе силиконов имеют худшие смазывающие свойства. Эти жидкости имеют ограниченное применение.

3.1. Основные марки амортизаторных жидкостей 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, строительно-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 хоро-

шие 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 минус 20 °С вязкость не должна превышать 800 мм²/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.

Ассортимент амортизаторных жидкостей небольшой. Многие годы для автомобилей и другой техники применяют следующие марки жидкостей: АЖ-12Т, МГП-12, ГРЖ-12

Амортизаторная жидкость АЖ-12Т (ГОСТ 23008-78) предназначена для телескопических и рычажно-кулачковых амортизаторов. Жидкость состоит из смеси нефтяного масла глубокой селективной очистки из сернистого сырья и полиэтилсилоксановой жидкости с противоизносной и антиокислительной присадками. Применяют в амортизаторах автомобилей и специальной техники. Кинематическая вязкость жидкости не менее 12 мм²/с (при 50 °С), температура застывания не выше минус 52 °С, 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 минус 50 °С. Кинематическая вязкость не менее 12 мм²/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 минус 50 °С. Кинематическая вязкость жидкости ГРЖ-12 равна 16...20 мм²/с при 40 °С.

Характеристика амортизаторных жидкостей приведена в таблице 3.4. 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 мм²/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.

Таблица 3.4. Характеристика тормозных жидкостей

Показатели	АЖ-12Т	МГП-12 («Славол-АЖ»)	ГРЖ-12
Кинематическая вязкость, мм ² /с при температуре:			
40 °С, не менее	—	—	—
50 °С, не менее	12	12	16...20
100 °С, не менее	3,6	3,8	—
-20°С, не более	—	800	3,9
-40 °С, не более	6500	—	800
Температура, °С:			
вспышки, не ниже	165	140	140
застывания, не выше	-52	-50	-50
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	—	917	917
Стабильность против окисления:	отсут-		
осадок после окисления, %	ств	—	—
кислотное число до (после) окисления, мг	0,04		
КОН/г, не более	(0,1)	—	—
Содержание механических примесей и воды, %	—	отсутствие	
Испытание на коррозию	выдерживает		

4. РАЦИОНАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТОПЛИВА И СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

4.1 Контроль качества нефтепродуктов в условиях эксплуатации

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.

Виды и параметры необходимых анализов перечислены в табл. 4.1.

Т а б л и ц а 4.1. **Виды и параметры анализов нефтепродуктов**

Нефтепродукт	Назначение пробы	Проверяемые параметры
Автомобильный бензин	Приёмсдаточный анализ	Цвет, прозрачность, плотность, содержание механических примесей
	Контрольный анализ	Цвет, прозрачность, плотность, содержание механических примесей, содержание воды, водорастворимых кислот и щелочей
Дизельное топливо	Приёмсдаточный анализ	Содержание воды, плотность, наличие механических примесей
	Контрольный анализ	Содержание воды, механических примесей, водорастворимых кислот и щелочей, фракционный состав, вязкость, температура вспышки
Масло моторное	Приёмсдаточный анализ	Плотность, содержание воды, наличие механических примесей
	Контрольный анализ	Вязкость, содержание воды, механических примесей, водорастворимых кислот и щелочей, температура вспышки

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. 4.1). 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.



Рис. 4.1: 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.

Технические характеристики лабораторий ПЛ-2М и РЛ приведены в табл. 4.2.

Т а б л и ц а 4.2. Технические характеристики лабораторий

Показатель	Название лаборатории	
	ПЛ-2М	РЛ
Габариты, мм:		
длина	726	625
ширина	560	240
высота	760	265
Масса, кг	111	14
Время, мин, необходимое:		
для развёртывания лаборатории в рабочее положение	90	5
для свёртывания лаборатории	45	5

Перечень анализов, выполняемых при помощи лабораторий ПЛ-2М и РЛ, приведен в табл. 4.3. Анализы производятся в строгом соответствии со стандартной методикой, установленной для каждого определения.

Т а б л и ц а 4.3. 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	–	–	+	–	–	–

П р 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 (см. рис 4.1) 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 (см. рис.4.1), 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 4.2). 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.

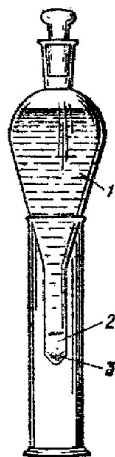


Рис. 4.2. Отстойник для определения механических примесей и воды в нефтепродуктах: 1 – топливо; 2 – вода; 3 – механические примеси.

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. Описание опыта изложено в разделе «1. Методы отбора проб нефтепродуктов».

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 про-

бирки 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. 4.4, определяют содержание смол в испытуемом образце бензина.

Т а б л и ц а 4.4. 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 ³ 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 нефтенсиметрами, 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. 4.3).



Рис. 4.3. 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 вхо-

дуть 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°. Шарик во всех пробирках начинают опускаться. Как только шарик в пробирке с испытуемым маслом достигнет риски, нанесенной на раму вискозиметра, прибор поворачивают на 90° 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.4.4.

На левой боковой стороне находятся разъемы для подключения датчиков и разъем для подключения к компьютеру. На передней панели расположен жидкокристаллический дисплей и кнопки управления. В таблице 4.6 описаны функции кнопок управления.

Датчик прибора представляет собой неразборную конструкцию в виде стакана емкостью 75 мл (рис. 4.5). 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.

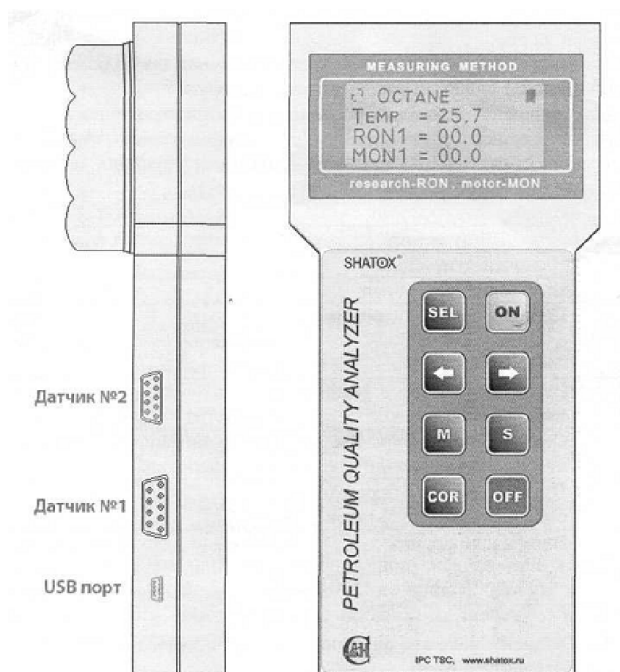


Рис. 4.4 Внешний вид прибора (электронный блок).

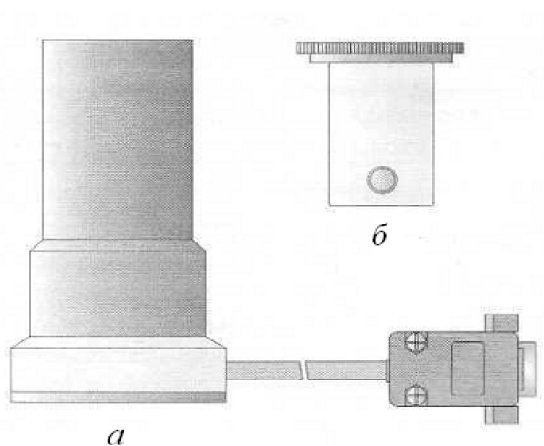


Рис. 4.5 Датчик (а) и имитатор пробы топлива (б).

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 минус 10 °С до плюс 45°С. 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.

4.2. Отбор проб нефтепродуктов.

При проведении лабораторных анализов результаты будут достоверны лишь в том случае, если правильно отобрана и подготовлена проба образца нефтепродукта. Требования к правильному отбору проб различных нефтепродуктов подробно изложены в ГОСТ 2517–85. Нефть и нефтепродукты. Методы отбора проб.

Данный стандарт устанавливает методы отбора проб нефтепродуктов из резервуаров, подземных хранилищ, железнодорожных и автомобильных цистерн, бочек, бидонов и других емкостей.

Особые требования к отбору проб предъявляются потому, что при хранении в емкостях состав топлива, смазочных материалов и технических жидкостей на разных уровнях неоднороден по плотности, фракционному составу, содержанию механических примесей и воды.

Топливо для автотракторных двигателей в верхних слоях содержит более легкие фракции, а концентрация механических примесей в топливе увеличивается к низу емкости.

Если проба отобрана с одного уровня емкости, то результаты анализа не объективно характеризуют качество нефтепродукта. Только пробы, отобранные с разных уровней, позволяют оценить средние значения качественных показателей нефтепродукта.

Проба нефтепродукта может быть индивидуальной, характеризующей его качество на определенном уровне в резервуаре или другой емкости (бидоне, бочке, цистерне и т.п.); средней, которая характеризует среднее качество нефтепродукта во всем резервуаре или в нескольких тарных емкостях; контрольной, которая представляет собой

часть индивидуальной или средней пробы.

Средняя проба получается путем смешения нескольких индивидуальных проб, число которых зависит от объема, формы и числа резервуаров. Количество контрольной пробы для различных нефтепродуктов устанавливается ГОСТом.

Для отбора проб нефтепродуктов из различных емкостей применяют специальные пробоотборники (рис. 4.6, 4.8, 4.9). Их изготавливают из материалов, стойких против коррозионного воздействия отбираемых нефтепродуктов и влаги, а при случайном ударе о кромку люка резервуара или других предметов должно быть исключено образование искры. Поэтому переносные пробоотборники изготавливают из алюминия, бронзы, латуни и других материалов.

Во избежание загрязнения переносные пробоотборники хранят и переносят в чехлах, футлярах или другой упаковке. Лот состоит из стакана 1 емкостью 200 мл, линейки 2, крышки 3 со штуцером 4, рулетки 5, резиновой трубки 6 и серги 7.

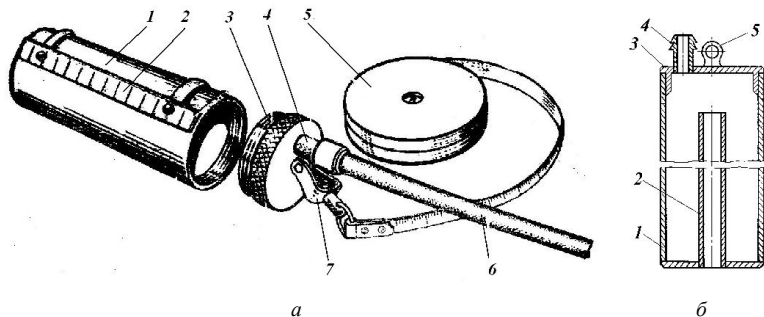


Рис. 4.6 Лот с рулеткой для отбора проб топлива: а — общий вид: 1 — стакан; 2 — линейка; 3 — крышка; 4 — штуцер; 5 — рулетка; 6 — резиновая трубка; 7 — серга; б — продольный разрез лота: 1 — стакан; 2 — входной патрубков; 3 — крышка; 4 — штуцер; 5 — серга.

При отборе пробы топлива из резервуара поступают следующим образом. Открывают замерный люк резервуара и, зажав верхний конец резиновой трубки 6, при помощи рулетки 5 опускают лот в резервуар с топливом на необходимую глубину. После этого резиновую трубку разжимают и топливо заполняет стакан 1. Лот извлекают из резервуара, отвинчивают крышку 3 и выливают пробу топлива в чистую посуду. Для определения высоты слоя воды, находящейся на дне резервуара

ра, на линейку 2 наносят тонкий слой водочувствительной пасты или прикрепляют к ней водочувствительную бумагу. Лот опускают в резервуар и устанавливают его на дне. Затем извлекают лот и по измененному цвету пасты или бумаги на линейке определяют толщину слоя воды.

Отбор проб нефтепродуктов из горизонтальных резервуаров. ГОСТ 2517–85 устанавливает следующий порядок отбора проб. Перед отбором пробы из резервуара нефть и нефтепродукты отстаивают не менее 2 ч и удаляют отстой воды и загрязнений. Пробу жидких нефтепродуктов следует брать из резервуара не ранее чем через 2 ч после окончания заполнения.

Точечные пробы нефтепродукта из горизонтального цилиндрического резервуара диаметром более 2500 мм (рис. 4.7) отбирают переносным пробоотборником с трех уровней:

верхнего – на 200 мм ниже поверхности нефти или нефтепродукта;

среднего – с середины высоты столба нефти или нефтепродукта;

нижнего – на 250 мм выше нижней внутренней образующей резервуара.

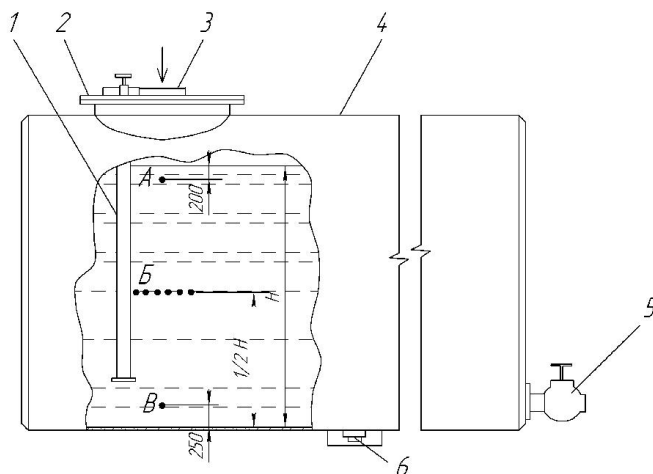


Рис. 4.7. Схема взятия точечных проб нефтепродуктов из горизонтального резервуара: 1 – приемная труба; 2 – люк резервуара; 3 – замерный люк; 4 – резервуар; 5 – вентиль; 6 – водогрязеспускная пробка; А – верхний уровень; Б – средний уровень; В – нижний уровень.

Объединенную пробу составляют смешением точечных проб верх-

него, среднего и нижнего уровней в соотношении 1:6:1.

Точечные пробы нефтепродукта из горизонтального цилиндрического резервуара диаметром менее 2500 мм независимо от степени заполнения, а также из горизонтального цилиндрического резервуара диаметром более 2500 мм, но заполненного до высоты, равной половине диаметра и менее, отбирают с двух уровней: с середины высоты столба жидкости и на 250 мм выше нижней внутренней образующей резервуара.

Объединенную пробу составляют смешением точечных проб среднего и нижнего уровней в соотношении 3:1.

При высоте уровня нефтепродукта менее 500 мм отбирают одну точечную пробу с нижнего уровня.

Нефтехозяйства сельскохозяйственных предприятий страны в основном укомплектованы горизонтальными резервуарами на 10, 25 м³ и более.

Отбор проб нефтепродуктов из вертикальных резервуаров заключается в следующем. Точечные пробы нефтепродукта отбирают стационарным или переносным пробоотборником с трех уровней:

верхнего – на 250 мм ниже поверхности нефтепродукта;

среднего – с середины высоты столба нефтепродукта;

нижнего – на 250 мм выше днища резервуара.

Объединенную пробу нефтепродукта составляют смешением точечных проб верхнего, среднего и нижнего уровней в соотношении 1:3:1.

Отбор проб из железнодорожных и автомобильных цистерн. Точечную пробу из железнодорожной или автомобильной цистерны отбирают переносным пробоотборником (лотом) с уровня, расположенного на высоте 0,33 диаметра цистерны от нижней внутренней образующей.

Донную пробу нефтепродукта определяют так же, как и в горизонтальных цистернах – на 250 мм выше нижней образующей цистерны.

Отбор проб нефтепродуктов из бочек, бидонов, канистр и другой тары. Отбор проб проводят в месте, защищенном от пыли и атмосферных осадков.

Жидкий нефтепродукт перед отбором пробы из тары перемешивают. Содержимое бочки необходимо перемешать перекачиванием в течение 5 мин. Содержимое бидона, банки, бутылки перемешивают в течение 5 мин тщательным встряхиванием или с помощью специальной мешалки. Поверхность вокруг пробок, крышек и дна перед открытием очищают.

Пробоотборную трубку для отбора точечной пробы жидкого нефтепродукта опускают до дна тары, затем верхнее отверстие закрывают пальцем и извлекают трубку из тары. Пробу сливают, открывая закрытый конец трубки. Если жидкий нефтепродукт находится в 2-х или 3-х бочках, то также берут по одной точечной пробе из каждой бочки. При другом количестве бочек или аналогичной тары пробы берут методом выборки. Так, например, ГОСТ 2517–85 рекомендует следующее правило. При количестве бочек от 4 до 64 выборочно берут точечные пробы из любых четырёх бочек, а при количестве от 65 до 125 – из пяти бочек. В данном стандарте приведены и другие примеры.

Объединенную пробу нефтепродукта составляют смешением взятых точечных проб.

Точечную пробу пластичных смазок отбирают специальными щупами: поршневым, винтообразным или трубчатым с продольным вырезом (рис. 4.8 и 4.9).

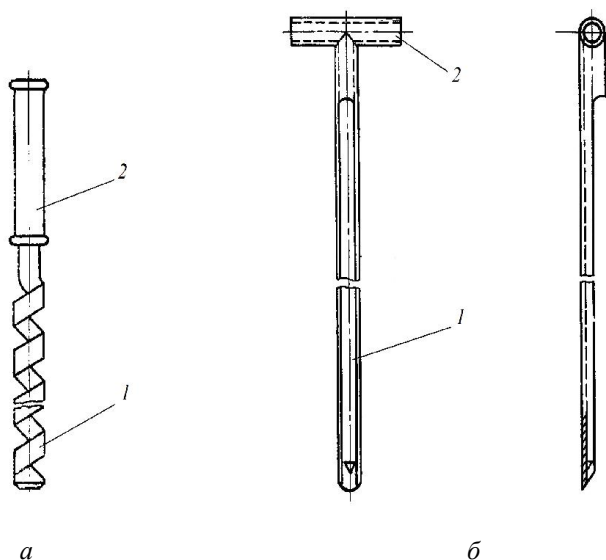


Рис. 4.8: Щуп для отбора проб: а – винтообразный щуп: 1 – рабочая часть; 2 – ручка; б – щуп с продольным вырезом: 1 – труба с вырезом; 2 – ручка.

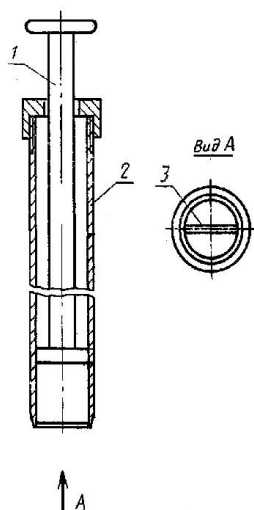


Рис. 4.9. Поршневой шуп: 1 – шток с поршнем; 2 – корпус из тонкостенной трубки; 3 – проволочка.

Для взятия проб топлив, масел и пластичных смазок ручная лаборатория РЛ комплектуется пробоотборниками в виде трубок (рис. 4.10).

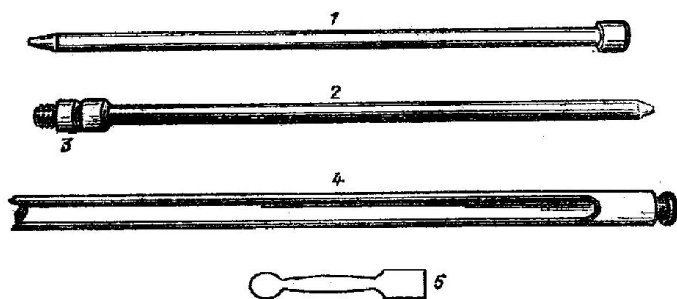


Рис. 4.10. Трубчатые пробоотборники: 1 и 2 – пробоотборники для отбора топлив и масел; 3 – переходник; 4 – пробоотборник для отбора пластичных смазок; 5 – лопатка.

При взятии проб смазок шупами поступают следующим образом. На месте погружения шупа удаляют верхний слой смазки толщиной 25 мм. Винтообразный шуп опускают, ввинчивая его в нефтепродукт,

до дна тары, затем извлекают и лопаткой 5 снимают с него пробу.

Щуп с продольным вырезом опускают, ввинчивая в смазку до дна бочки или другой тары, затем щуп извлекают и освобождают из него пробу шпателем. Шпатель следует перемещать по вырезу щупа сверху вниз.

При взятии пробы поршневым щупом его опускают вдавливанием в смазку до дна тары и, поворачивая на 180^0 , прорезают смазку проволокой, припаянной к нижнему концу щупа. Затем щуп извлекают и поршнем выдавливают из него пробу.

Пробы из бочек, бидонов и других небольших емкостей берут при помощи трубок диаметром 10...15 см с оттянутым концом. Нефтепродукты перед отбором пробы тщательно перемешиваются.

Пробы нефтепродуктов из средств заправки отбираются через раздаточные краны в чистые мерные цилиндры или стеклянные банки. Эти пробы характеризуют заправляемый в настоящее время нефтепродукт.

При отборе проб из топливных, масляных или гидравлических систем используют сливные краны и пробки, штуцеры подключения манометров и других приборов, а также медицинские и специальные шприцы-отборники.

При отборе проб необходимо строго следить за тем, чтобы в отбираемый продукт не попадали загрязняющие вещества. Поэтому пробоотборники, мерные цилиндры, стеклянную посуду, трубки, шприцы и другое оборудование тщательно промывают и хранят в чистых, плотно закрывающихся шкафах. Краны, сливные пробки, заглушки и другие детали следует тщательно очистить от загрязнений и промывать потоком отбираемого нефтепродукта. Наливать нефтепродукт в пробоотборник и переливать в посуду надо закрытой струёй. В этом случае исключается контакт отбираемого нефтепродукта с атмосферной пылью и влагой.

Минимальный объём проб составляет 0,5...0,7 л для контрольных и 1,0...1,5 л – полных анализов.

Отбор пробы оформляется актом. На этикетке, прикрепленной к бутылке или банке, указывают наименование и марку нефтепродукта, наименование завода-изготовителя или базы-поставщика, номера цистерн, бочек, резервуаров или партий, дату отбора пробы, номер ГОС-Та или ТУ на нефтепродукт, фамилии и подписи лиц, отбравших пробу.

Проба делится на две равные части и опечатывается. Одна проба

направляется в лабораторию Госагропрома, осуществляющую контрольные функции в данной зоне для определения качества нефтепродукта, а другая остаётся в хозяйстве для использования при необходимости арбитражного анализа.

Взятые пробы используют для проведения лабораторных анализов нефтепродуктов по определению их показателей качества. Результаты анализов сравнивают с техническими нормами, указанными в соответствующих ГОСТах, ТУ или техническом паспорте на полученный нефтепродукт.

4.3. Структура нефтехозяйства и организация снабжения нефтепродуктами

Нефтехозяйство – важное подразделение материально-технического снабжения сельскохозяйственного производства, от четкой работы которого зависит производительное использование МТП, работа теплогенерирующих установок, теплиц, сушилок и другого оборудования.

Нефтехозяйство сельскохозяйственного предприятия призвано обеспечить потребности хозяйства всеми видами нефтепродуктов. Функции службы нефтехозяйства сводятся к следующему:

- участие в составлении заявок и планов-графиков завоза нефтепродуктов;
- организация доставки нефтепродуктов в хозяйство (или прием их от снабжающей организации при централизованной доставке) и к местам заправки машин;
- хранение необходимых производственных запасов в соответствии с техническими требованиями;
- контроль качества поступающих и хранящихся нефтепродуктов (проверка соответствия поступающих нефтепродуктов паспортам качества, выдаваемым на каждый вид нефтепродукта снабжающей организацией по требованию заказчика, и проведение анализа с помощью лабораторий РЛ и ПЛ-2М;
- исправление качества нефтепродуктов;
- заправка МТП топливом, маслами и смазками и обеспечение нефтепродуктами других производственных объектов;
- учет нефтепродуктов;
- организация сбора и сдачи отработанных нефтепродуктов;
- организация зачистки стационарных резервуаров и транспортных

цистерн и емкостей передвижных заправочных агрегатов;

- организация профилактического обслуживания и ремонта нефтеоборудования;

- разработка мероприятий по снижению количественных и качественных потерь нефтепродуктов и их реализация;

- выполнение правил техники безопасности и пожарной охраны при работе с нефтепродуктами.

Организационно нефтехозяйство подчиняется руководителю предприятия, наряду с этим по вопросам обеспечения ГСМ МТП подчиняется службам главных специалистов.

Организацию и эксплуатацию нефтехозяйств обеспечивают в сельхозпредприятии работники нефтехозяйства, прошедшие специальную подготовку по правилам перевозки, хранения и заправки нефтепродуктов. Они должны знать существующие сорта топлив, масел и смазок, применяемых на сельскохозяйственной технике, уметь вести учет и проводить простейшие анализы для проверки качества нефтепродуктов.

Штат работников нефтехозяйства определяется в соответствии с годовым расходом нефтепродуктов и конкретными условиями хозяйства. Должность заведующего нефтехозяйством предусмотрена в каждом сельхозпредприятии. При наличии центрального нефтесклада и годовом расходе нефтепродуктов свыше 500 т дополнительно вводится должность кладовщика центрального нефтесклада.

Если на постах заправки при центральном нефтескладе заправляют свыше 30 машин в день, вводится должность заправщика (оператора).

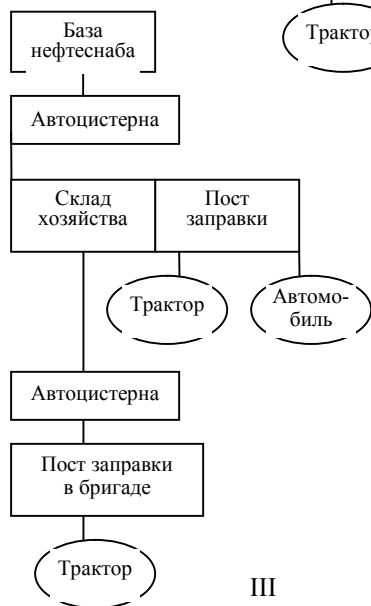
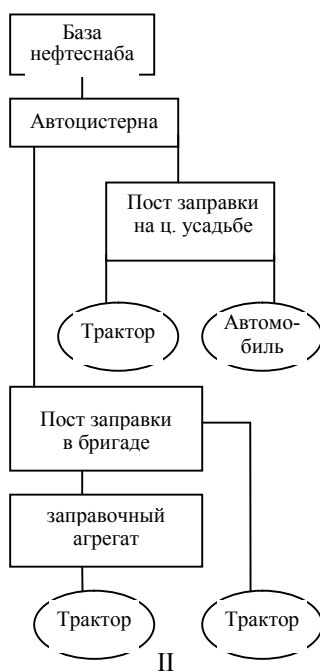
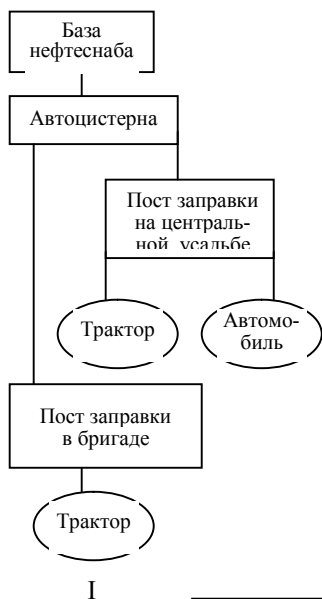
В каждой бригаде (отделении) на пунктах заправки должен быть заправщик. Если машины заправляют передвижными механизированными заправочными агрегатами, обязанность заправщика выполняет водитель (на МЗ-3904) или тракторист-машинист (на МЗ-3905Т).

Нефтехозяйство объединяет нефтесклады, пункты заправки в бригадах и отделениях, заправочные станции, средства доставки нефтепродуктов с нефтебаз снабжающих организаций и передвижные заправочные средства.

Существует несколько схем организации нефтехозяйства, выбор которых определяется расстоянием от снабжающей нефтебазы, наличием и состоянием дорог, наличием средств доставки (регулярностью доставки – при центрозавозе) и обеспеченностью передвижными механизированными средствами заправки.

На рис. 4.11 показаны возможные схемы организации нефтехозяй-

ства сельхозпредприятия.



а)

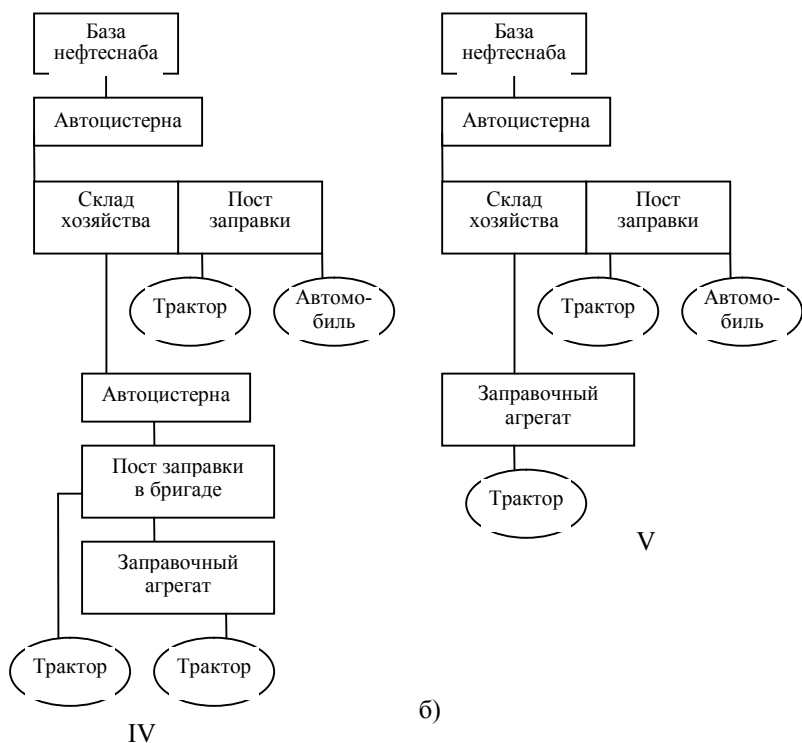


Рис. 4.11. Схемы организации нефтехозяйства:
а) – без центрального склада; б) – с центральным складом.

Исходя из местных условий, может быть выбрана одна из приведенных схем.

Наиболее экономически целесообразной является схема, когда нефтепродукты доставляют на склад хозяйства, а оттуда заправочные агрегаты доставляют их к тракторам, комбайнам, на место их работы. При этом в бригадах (отделениях) склады нефтепродуктов и стационарные посты заправки не организуют.

Выбрав рациональную для своего хозяйства схему, обычно приступают к определению производственного запаса нефтепродуктов и емкостей для его хранения. Запас нефтепродуктов зависит от объема механизированных работ и от других местных условий и может коле-

баться в довольно значительных пределах.

Увеличенный запас нефтепродуктов допускается для хозяйства, расположенного на большом расстоянии от базы нефтеснабжающей организации, и если своевременная доставка затруднительна из-за распутицы, разлива рек, снежных заносов и т.д.

Запас нефтепродуктов рассчитывают по максимальному его расходу на работы весеннего сева или уборочные с таким расчетом, чтобы запас обеспечивал бесперебойную работу МТП хозяйства в напряженный период его работы.

Опыт показывает, что при централизованной доставке нефтепродуктов в хозяйство и удовлетворительном состоянии дорог вполне достаточно иметь запас нефтепродуктов, равный 5...10% годовой потребности.

При неудовлетворительном состоянии дорог, а также при доставке нефтепродуктов транспортными средствами хозяйства, производственный запас повышается до 15...20% годовой потребности.

В настоящее время действуют типовые проекты нефтескладов вместимостью 40, 80, 150, 300, 600 и 1200 м³ для сельскохозяйственных предприятий.

В состав нефтескладов входят следующие сооружения:

1. Операторская с маслораздаточной и маслоскладом совмещены в одном здании, строительная часть которого одинакова для всех проектов. Хранение больших партий масел предусмотрено в подземных резервуарах маслосклада. Наземное помещение маслосклада позволяет хранить 30 бочек масла и нефтепродукты, расфасованные в мелкую тару.

2. Приемо-раздаточная площадка. Размеры и особенность размещения технологического оборудования индивидуальны для каждого склада.

3. Резервуарный парк склада на 40 м³ размещен под землей, складов 80 и 150 м³ – в подземном и надземном вариантах, а складов 300, 600 и 1200 м³ – в надземном варианте.

4. Пожарный сарай и пожарный резервуар для воды на 100 м³ одинаковые для всех складов, за исключением склада на 1200 м³, где предусмотрен пожарный водоем на 250 м³. Проектами допускается использовать для пожаротушения естественные водоемы, расположенные не далее 250 м от нефтесклада.

Здания, сооружения, оборудование, установки и арматура нефтескладов обеспечивают:

– закрытый слив нефтепродуктов из автоцистерн, автозаправщиков, механизированных заправочных средств, прием нефтепродуктов из железнодорожных цистерн для нефтескладов вместимостью 600 и 1200 м³;

– механизированную выдачу дизельного и жидкого котельного топлива, бензина, керосина, масел в автоцистерны и механизированные передвижные заправочные агрегаты;

– механизированную заправку автомобилей, тракторов, комбайнов и других самоходных машин;

– хранение нефтепродуктов в условиях, исключаящих потери сверхустановленных норм естественной убыли.

Наиболее характерными нефтескладами для колхозов и совхозов Республики Беларусь являются нефтесклады на 40, 80, 150 и 300 м³.

Склад вместимостью 40 м³ (проект 704-1-99) рассчитан на хранение дизельного топлива, двух марок бензина, двух сортов масел в резервуарах и расфасованных нефтепродуктов в маслоскладе. Дизельное топливо, бензин и масла сливаются насосом из автоцистерны через сливное устройство, снабженное быстроразъемной муфтой. Дизельное топливо, бензин и масла из резервуаров отпускаются через топливо- и маслораздаточные колонки, а из бочек – насосом-дозатором. Резервуары ёмкостью более 5 м³ оснащены уровнемерами с местным отсчетом.

Склад вместимостью 80 м³ (проект 704-1-100) предназначен для хранения дизельного топлива, бензина, керосина, котельного топлива и трех сортов масел в резервуарах и расфасованных нефтепродуктов в помещении маслосклада. Нефтепродукты в резервуары сливают насосом автоцистерны через сливные устройства, снабженные быстроразъемной сливной муфтой.

Заправка машин дизельным топливом, бензином, выдача керосина и котельного топлива осуществляется через топливораздаточные колонки. Масла из бочек выдают насосом-дозатором. Резервуары более 5 м³ оснащены уровнемерами с местным отсчетом.

Склад вместимостью 150 м³ (проект 704-1-101) служит для хранения дизельного топлива, бензина, керосина, котельного топлива и четырех сортов масел в резервуарах. Остальные нефтепродукты, расфасованные в тару, хранятся на маслоскладе. Дизельное топливо и керосин сливаются в резервуары и выдаются в автоцистерны через приемораздаточный стояк. Слив бензина и котельного топлива осуществляется насосом автоцистерны через сливные устройства, снабженные быстроразъемными муфтами. Заправка машин бензином, дизельным

топливом, выдача керосина и котельного топлива производится через топливораздаточные колонки. Масла сливают с помощью сливных устройств, выдачу их из резервуаров проводят через маслораздаточную колонку, а из бочек – насосом-дозатором. Резервуары оснащены уровнемерами с местным отсчетом.

Склад вместимостью 300 м³ (проект 704-1-102) предназначен для хранения дизельного топлива, бензина, керосина, котельного топлива и 10 марок масла в резервуарах, а расфасованных нефтепродуктов – в маслоскладе. Топливо принимают и выдают в автоцистерны через приемо-раздаточные стояки, кроме котельного топлива, которое сливают через сливное устройство с быстроразъемной муфтой. Заправка машин бензином, дизельным топливом, выдача керосина и котельного топлива осуществляется через топливораздаточные колонки. Масла принимают и выдают с автоцистерны через сливноналивные стояки. Машины заправляют через маслораздаточные колонки, а отпускают из бочек – насосами-дозаторами. Резервуары оснащены уровнемерами с дистанционным пультом.

Склады нефтепродуктов рекомендуется размещать на специально отведенной территории в соответствии с генеральным планом застройки колхоза или совхоза. Необходимо учитывать возможность дальнейшего расширения нефтесклада. Площадку под нефтесклад выбирают с ровным рельефом или небольшим уклоном, направленным в противоположную сторону от застройки, посевов и лесных массивов, чтобы обезопасить их от растекания нефтепродуктов при возможной аварии. При выборе площадки под строительство необходимо также предусмотреть, чтобы ливневые и аварийные стоки не попадали в ближайшие водоемы и реки.

Стационарный пункт заправки, кроме пункта заправки при центральном нефтескладе, организуют в тракторных бригадах (отделениях). Стационарные пункты заправки, как правило, сооружают из имеющихся горизонтальных резервуаров ёмкостью не более 25 м³ хозяйственным способом. При регулярной доставке на большинстве стационарных заправочных пунктов бригад достаточно иметь ёмкость под дизельное топливо 10 м³ и ёмкость 5 м³ под моторное масло для тракторов. Трансмиссионные, индустриальные масла и смазки целесообразно хранить на небольшом маслоскладе, рассчитанном на хранение масел в бочках и расфасованными в мелкую тару. Исключение составляют хозяйства, имеющие машинные дворы, где предусматривается хранение масел и смазок на пунктах

технического обслуживания машин. В этом случае устанавливаются посты заправки маслом или смазками с использованием для этих целей маслораздаточных колонок, насосов-дозаторов, установки ОЗ-4967 ГОСНИТИ и др.

4.4 Получение, хранение и выдача нефтепродуктов

4.4.1 Оборудование нефтескладов и организация заправки машин

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 маслзаправщики, 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 м³. 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 за-

мерным люком, вентилем ВФ-50 или краном БК.-50. Нефтерезервуары емкостью 5, 10, 25 м³ комплектуются водогазеспускными пробками 03-3062. Нефтерезервуары ёмкостью 50 и 75 м³ 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 сливоналивной 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 отапливаемом помещении.

Для заправки в полевых условиях используют автоотопливозаправщики АТЗ-3,8-130, АТЗ-3,8-53А, АТЗ-2,4-52, МЗ-3904, МЗ-3905, модель 4611 и заправочные установки 03-2842, ОЗ-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.

Мерная рулетка с лотом, предназначенная для определения высоты налива нефтепродуктов, а также уровня воды в резервуарах, представляет собой стальную ленту длиной 5, 10, 15, 20 м с нанесенными на ней делениями через 1 мм; лента соединяется с лотом, на котором нанесены миллиметровые деления. Точность измерения высоты налива зависит от правильного (без перекосов) соединения ленты рулетки с лотом.

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 автотрак-

торными 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.

Средства контроля качества нефтепродуктов. Лабораторные анализы нефтепродуктов подразделяют на приёмосдаточные, контрольные и полные.

Приёмосдаточный анализ проводят при получении и выдаче нефтепродуктов крупными партиями и в случаях, когда возникает подозрение на несоответствие качества нефтепродуктов требованиям ГОСТ или ТУ).

Контрольный анализ проводят периодически при хранении нефтепродуктов для оперативной проверки их качества, чтобы по наиболее важным показателям определить, удовлетворяет их качество требованиям ГОСТ или они должны быть сняты с хранения и заменены свежими.

Полный анализ проводят в особых случаях при приеме, хранении или в случае необходимости предъявления претензий нефтеснабжающим организациям.

Приёмосдаточные и контрольные анализы нефтепродуктов в хозяйствах проводят в объеме, предусмотренном набором оборудования ручной лаборатории (РЛ). Комплект оборудования и реактивов лаборатории РЛ обеспечивает контроль качества горючего, смазочных материалов и специальных жидкостей по следующим показателям: плотность (нефтенсиметром); содержание механических примесей (визуально); содержание воды (с помощью индикатора – мар-

ганцвокислого калия или водочувствительной пасты); прозрачность и цвет (визуально); состав (в процентах) и температура замерзания (гидрометром) низкотемпературных охлаждающих жидкостей; крепость спирта (спиртометром).

При периодической проверке качества и условий хранения нефтепродуктов в хозяйствах со стороны вышестоящих сельскохозяйственных органов контрольные анализы проводят с помощью полевой лаборатории (ПЛ-2М).

Трубопровода и арматура. Трубы стальные водогазопроводные (газовые) применяют при монтаже топливо- и маслораздаточных колонок и оборудования нефтерезервуаров, устанавливаемых при строительстве нефтескладов в колхозах и совхозах.

Трубы в зависимости от диаметра условного прохода используют: на обратном сливе из топливораздаточных колонок – 15, 20, 25, 32, 40 мм; на всасывающем и напорном трубопроводах маслораздаточных колонок – 25 мм; на всасывающих и напорных трубопроводах топливораздаточных колонок – 40 мм; на сливных устройствах – 50, 70, 80 мм и на замерных устройствах – 40 мм.

Устройства присоединительные для технических средств заправки, перекачки, слива-налива предназначены для соединения систем и устройств сливо-наливных операций с нефтепродуктами. Присоединительные устройства изготавливаются нескольких типов: вентиль запорный фланцевый ВФ50-180-00 с условным проходом 50 мм предназначен для установки на фланцах приемораздаточных труб нефтерезервуаров ёмкостью 5 м³ при рабочем давлении до 0,6 МПа; кран со смазкой БК-50 предназначен для обеспечения герметичности трубопроводов при хранении и выдаче нефтепродуктов при давлении не более 0,6 МПа. Устанавливается на наружном фланце приемораздаточной трубы резервуаров вместимостью 10...75 м³; шаровой кран ОЗ-4568А предназначен для установки на трубопроводы нефтескладов и служит в качестве запорного устройства с минимальным гидравлическим сопротивлением; задвижка параллельная с выдвижным шпинделем (ГОСТ 8437-75) предназначена для установки на трубопроводы с давлением нефтепродуктов до 1,0 МПа.

Организация заправки машин. Стационарный пункт заправки при центральном нефтескладе осуществляет заправку автомобилей, тракторов, выполняющих транспортные работы и работающих вблизи усадьбы. Этот же пункт отпускает нефтепродукты подсобным

предприятиям хозяйства (мастерским и др.). В отдельных случаях пункт заправки автомобилей организуют при гараже хозяйства (АЗС).

Основная производственная операция, выполняемая на пункте заправки бригад (отделений) – заправка тракторов всеми необходимыми видами нефтепродуктов и водой. Наряду с этим на пункте заправки выполняются операции по приему нефтепродуктов и их хранению, осуществляется учет и контроль их качества.

При наземном расположении резервуаров на пункте заправки устанавливают приемораздаточный стояк с устройством для присоединения напорных рукавов транспортной автоцистерны. Приемораздаточный стояк ОЗ-9721 может выполнять прием и выдачу дизельного топлива (бензина) в автоцистерны, а также выдавать топливо в баки машин. В этом случае топливо-раздаточную колонку устанавливать нецелесообразно.

При подземном расположении резервуаров для слива топлива в резервуар вместо приемораздаточного стояка устанавливают трубопровод с присоединительным устройством. Масла, смазки и пусковой бензин, доставляют на пункт и хранят в бочках в помещении маслосклада.

Оборудование для выдачи смазочных материалов рекомендуется размещать в специальном помещении маслосклада – раздаточной, что обеспечивает его сохранность и работоспособность в любую погоду. В помещении маслосклада необходимо поддерживать температуру не ниже + 10°C. При более низкой температуре нарушается нормальная работа маслораздаточных колонок. Запасы масла хранят в бочках, смазок – в бочках и фанерных барабанах, промышленных и специальных масел – в таре, полученной с нефтебазы.

Заправка передвижными средствами. При выборе схемы организации работы механизированного заправочного агрегата в конкретных условиях исходят из двух показателей: времени загрузки агрегата (в день) и затрат средств на заправку 1 т нефтепродукта (не считая стоимости заправленного нефтепродукта).

Дневная продолжительность работы механизированного заправочного агрегата складывается из затрат времени:

- на переезд от места стоянки агрегата до центрального склада за получением нефтепродуктов;
- на переезд от одного трактора к другому;
- на заправку трактора или комбайна (в среднем от 6 до 14 мин);

- на проведение технического обслуживания оборудования заправочного агрегата;
- на переезд (возвращение) заправочного агрегата на базу стоянки агрегата;
- на получение нефтепродуктов и оформление документов выдачи и отчетности.

При расчете можно использовать данные, полученные из опыта работы агрегата в ряде хозяйств. Время на переезды заправочного агрегата определяют с учетом расстояния и скорости передвижения агрегата. По улучшенным дорогам скорость движения заправочного агрегата на шасси автомобиля принимают 30...35 км/ч, а по проселочным дорогам – 20...25 км/ч. На получение нефтепродуктов и оформление документов, а также на техническое обслуживание машины и агрегата в целом необходимо от 30 до 60 мин ежедневно. Как правило, заправочный агрегат работает одну смену в течение семи часов, а в напряженный период (весенний сев и уборка урожая) – до десяти часов в сутки. Заправочные агрегаты (особенно в напряженный период) могут быть использованы и в две смены при наличии двух водителей-заправщиков.

Затраты времени непосредственно на заправку обычно составляют 40...50%, а на переезды от одного трактора к другому – 30...40% от времени смены. Остальное время расходуется на обслуживание агрегата, заполнение емкостей нефтепродуктами на складе и переезды от склада до бригады обратно.

При определенных условиях в хозяйствах использование агрегата может быть организовано следующим образом. Тракторы, работающие вблизи стана бригады (до 2 км), заправляют на стационарном пункте заправки, а остальные – с помощью механизированного заправочного агрегата.

4.4.2. Организация хранения нефтепродуктов

Наружные поверхности наземных емкостей, трубопроводов и другого нефтеоборудования нефтесклада окрашиваются масляной краской в светлый цвет, хорошо отражающий солнечные лучи. В табл. 4.5. 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, по-

ступающие 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 4.5. 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	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 масло-раздаточную 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 м³ 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.

Для ежемесячного снятия остатков нефтепродуктов на нефтескладе руководитель хозяйства назначает комиссию сроком на год. В состав комиссии входят представители бухгалтерии, инженерно-технической службы и при необходимости – других служб. Комиссия ежемесячно сверяет приходно-расходные документы, определяет по ним остатки нефтепродуктов и непосредственным замером или взвешиванием устанавливает их фактическое наличие. Подсчитывает естественные потери нефтепродуктов за проверяемый период и списывает их с баланса нефтесклада согласно утвержденным нормам. Массу (вес) нефтепродукта в резервуаре определяют расчетом по тарифовочным таблицам и плотности. Масла и смазки в мелкой таре взвешивают на весах с вычетом массы тары.

Допустимые сроки хранения нефтепродуктов на складах хозяйств приведены в табл. 4.6.

Т а л и ц а 4.6. Допустимые сроки хранения нефтепродуктов (в годах)

Нефтепродукты	Климатические зоны		
	Северная	Средняя	Южная
Автомобильные бензины: в наземных резервуарах в полуподземных и подземных резервуарах в бочках в баках машин	1,5	1,5	1,0
	2,0	2,0	1,5
	1,25	1,0	0,5
	0,5	0,25...0,5	0,25
Дизельное топливо: в резервуарах в баках машин	6,0	6,0	6,0
	5,0	5,0	5,0
Моторные масла с присадками	4,0	4,0	4,0
Моторные масла без присадок	5,0	5,0	5,0
Масла трансмиссионные	5,0	5,0	5,0
Охлаждающая жидкость	5,0	5,0	5,0

4. 5. 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.

Форма 1
(Лицевая сторона)

Заправочная ведомость механизированного заправочного агрегата

Колхоз _____ (совхоз) _____, бригада _____ (отделение)
№ _____,
агрегат № _____
выдана _____ « _____ » _____ № _____ 200 г.
(ф. и. о. водителя-заправщика)

а) Расходные операции

Дата выдачи	ФИО тракториста-машиниста	Марка и хаз. № машины	Выдано нефтепродуктов, кг					Роспись в получении
			Бензин	Моторное масло	Трансмиссионное масло	Смазка	Дизельное топливо	
1	2	3	4	5	6	7	8	9

(Оборотная сторона)

Выдано всего _____
Заправщик _____
б) Приходные операции

Дата	Приходно-расходные операции	Дизельное топливо	Бензин	Моторное масло	Трансмиссионное масло	Смазка	Роспись в получении
1	2	3	4	5	6	7	8

Остаток _____
Получено на нефтескладе _____
Получено всего _____
Остаток _____
Зав. нефтескладом _____
(подпись)

Водитель-заправщик ежедневно отчитывается перед заведующим нефтехозяйством, который на основании заправочной ведомости делает разnosку 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 обслуживания тракторов. Это позволяет контролировать своевременность проведения 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. Для такого способа учета рекомендуется применять форму №2.

Форма №2

Заправочная ведомость № _____

Выдана _____
(ф. и. о. получателя)

Машина _____ Гос. № _____

Техуход № _____ проведен « _____ » _____ 200 г.

Дальнейшую работу разрешаю _____
(мастер-наладчик)
(механик)

Лимит: дизельного топлива _____ кг, моторного масла _____ кг.

Отпуск нефтепродуктов разрешаю _____
(подпись)

Дата			Моторное масло, кг	Автомобильное, кг	Бензин, кг	Трансмиссионное масло, кг	Солидол, кг	Получил	
	заправлено	нарастающим итогом						Тракторист-машинист (ф. и. о.)	Подпись

Отпустил _____
(заправщик)

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 талон-

ную 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 (сельхозучет, ф. № 67), в 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.

4.6. Основные принципы нормирования расхода нефтепродуктов

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.

4.7. Нормирование расхода топлива на работы тракторов и самоходных комбайнов

С позиции нормирования полевые работы, выполняемые машинно-тракторными агрегатами, можно разделить на следующие группы:

– пахотные и непахотные 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.

При разработанных нормативах часового расхода топлива на разных режимах (под нагрузкой, на поворотах, остановках) и затратах времени смены по элементам, норму расхода топлива (q) на единицы выполняемой работы рассчитывают по формуле:

$$q = \frac{G_o T_o + G_{пов} T_{пов} + G_{п} T_{п} + G_{ост.х} T_{ост.х} + G_{ост} T_{ост}}{W_{см}}, \quad (4.1)$$

где $G_o, G_{пов}, G_{п}, G_{ост.х}, G_{ост}$ – соответственно часовой расход топлива при работе агрегата под нагрузкой, на поворотах, переездах, на остановках при работе вхолостую рабочих органов машин и на остановках, кг/ч;

$T_o, T_{пов}, T_{п}, T_{ост.х}, T_{ост}$ – продолжительность работы агрегата соответственно при рабочем ходе, на поворотах, на переездах, время технологических остановок агрегата с работающими вхолостую и неработающими рабочими органами машины;

$W_{см}$ – сменная производительность (норма выработки) агрегата.

Значения $T_o, T_{пов}, T_{п}, T_{ост.х}, T_{ост}$ определяют по балансу времени смены, составленному на основе фотографии рабочего дня (по наблюдательным листам).

Часовой расход топлива при работе под нагрузкой определяют:

на тяговых работах – по типовой тяговой характеристике трактора в соответствии со значениями тягового сопротивления агрегата и скорости движения агрегата;

на работах, выполняемых машинами с приводом от ВОМ трактора, – по приведенной тяге на основе типовой тяговой характеристики трактора или по регуляторной характеристике двигателя;

на работах, выполняемых самоходными комбайнами, – по регуляторной характеристике двигателя и балансу мощности, расходуемой

двигателем комбайна в зависимости от условий работы.

Часовой расход топлива по заданным тяговому сопротивлению и скорости движения агрегата определяют по типовой тяговой характеристике, которая представляет собой график, построенный по результатам тяговых испытаний трактора на соответствующем агрофоне почвы.

Часовой расход топлива на холостых поворотах и переездах устанавливают ориентировочно по тяговым характеристикам в соответствии с тяговым сопротивлением сельскохозяйственной машины и скоростью движения агрегата.

Часовой расход топлива при работе двигателя на остановках на холостом ходу принимают по технической характеристике двигателя.

4.8 Нормирование расхода топлива на тракторно-транспортных работах

Нормы расхода топлива на тракторно-транспортные работы выражаются в килограммах топлива на тонну перевезенного груза (q_t) и определяется по формуле:

$$q_t = \frac{G_o T_o + G_n T_n + G_{ост} T_{ост}}{W_{см}}, \quad (4.2)$$

где G_o , G_n , $G_{ост}$ – часовой расход топлива при движении с грузом, без груза и на остановках трактора с работающим вхолостую двигателем, кг/ч;

T_o , T_n , $T_{ост}$ – время движения в течение смены, с грузом, без груза и время остановок, при которых двигатель работает вхолостую, ч;

$W_{см}$ – сменная норма выработки транспортного агрегата, т.км.

Часовой расход топлива при движении трактора с грузом и без груза определяют для данных дорожных условий работы по типовым тяговым характеристикам по соответствующим величинам тягового сопротивления прицепа с грузом и без груза. Дорожные условия характеризуются видом и состоянием покрытия дорог.

Все типы дорог по их состоянию объединены в три группы.

1-я группа – дороги с твердым покрытием, обычные грунтовые дороги, сухие, в хорошем состоянии, снежные укатанные дороги.

2-я группа – гравийные, щебенчатые разбитые, песчаные проселочные, грунтовые разъезженные после дождя, стерня зерновых, задер-

невшая почва в твердом состоянии зимой и летом.

3- группа – разбитые, с глубокой колеей, оттаявшие после длительных оттепелей, гребнистые, пашня нормальной влажности и замерзшая, поле после уборки корнеклубнеплодов, переувлажненное бездорожье в весеннюю и осеннюю распутицу, снежная целина.

Виды груза при нормировании транспортных работ классифицируют по степени использования номинальной грузоподъемности тракторного прицепа, характеризуемой коэффициентом использования (отношение фактической грузоподъемности к номинальной). При коэффициенте использования грузоподъемности, равной 1, грузы относятся к 1 классу, при коэффициенте 0,8 – к 2 классу, 0,6 – к 3 классу и менее 0,5 – к 4 классу.

Время движения трактора с грузом T_o и без груза T_n рассчитывается по времени движения за один рейс с грузом T_o' и без груза T_n' , которое определяется по формулам:

$$T_o' = \frac{L}{V_o}; \quad T_n' = \frac{L}{V_n}, \quad (4.3)$$

где L – расстояние перевозки, км;

V_o, V_n – скорость движения трактора с грузом и без груза, км/ч;

$$T_o' = n T_o''; \quad T_n' = n T_n'', \quad (4.4)$$

где n – число рейсов за смену.

4.9. 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-колометр;
- 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.

4.10 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, складывается 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.

4.11 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 организации 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.

Схемы расчета средневзвешенной нормы расхода топлива на полевых тракторных работах и тракторно-транспортных работах представлены в табл. 4.6 и 4.7.

Потребность в топливе для работы комбайнов определяют по ин-

дивидуальным 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.

Т а б л и ц а 4.6. Схема расчета средневзвешенной нормы расхода топлива на полевых работах (на примере возделывания и уборки картофеля, площадь 100 га, урожайность 250 ц с га)

Наименование работ	Агротребования	Состав агрегата		Объем работ, га	Норма выработки, кг, га	Расход топлива		Кол-во нормо-смен	Эталонная выработка, усл. эт. га	
		Марка трактора	Марка с.-х. машины			по норме, кг	всего, ц		за смену	всего
Лущение стерни	12–15 см	T-150K	ППЛ-10-25	30	13,6	10,2	3,06	2,2	11,6	25,5
	6–8 см	T-150K	ЛДГ-15	40	57,5	2,3	0,92	17,4	11,6	201,8
	6–8 см	ДТ-75	ЛД-10	30	33,0	2,5	0,75	12,0	7	60,5
Разбрасывание органических удобрений	60 т/га	МТЗ-82	РПН-4	40	3,3	5,4	2,16	12,1	5,0	60,5
Опрыскивание полей при засоренности пыреем	300 л/га	МТЗ-80	ОВТ-1,0А	30	20,0	1,5	0,45	1,5	3,9	5,8
Вспашка зяби	20–22 см	К-701	ПТК-9-35	20	13,7	16,1	3,22	1,5	18,2	27,3
		ДТ-75М	ПЛП-6-35	50	12,3	16,3	8,15	4,1	7,7	31,6
		ДТ-75М	ПН-4-35	30	5,6	13,5	4,05	2,2	7,7	16,9
Внесение минеральных удобрений	10 ц/га	МТЗ-80	РТТ-4,2	60	18,0	2,1	1,26	3,3	4,9	16,2
		МТЗ-80	ІРМГ-4	40	25,5	1,9	0,76	1,6	4,9	7,8
Уборка картофеля	250 ц/га	МТЗ-80	КТН-2Б	20	1,80	26,0	0,52	11,1	4,0	44,4
		МТЗ-80	УКВ-2	20	1,07	30,2	0,60	18,7	5,0	93,5
		МТЗ-82	ККУ-2	60	0,76	46,8	28,08	78,9	4,9	406,6
Итого по полевым работам	–	–	–	–	–	–	171,70	395,1	–	2271,3
Норма расхода топлива на 1 усл. эт. га, кг	–	–	–	–	–	7,56	–	–	–	–

Т а б л и ц а 4.7 Схема расчета средневзвешенной нормы расхода топлива на тракторно-транспортных работах (на примере возделывания и уборки картофеля, площадь 100 га, урожайность 250 ц с 1 га)

Наименование работ	Расстояние перевозок, км	Состав агрегата		Объем работ		Класс груза	Норма выработки	Расход топлива		Кол-во нормо-смен	Эталонная выработка	
		марка трактора	марка прицепа	т-км	т			по норм-ме, кг	всего, ц		за смену	всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10=6х9	11=6:8	13	13=11х12
Транспортировка нестандартного картофеля и отходов, т/га	3 км	МТЗ-80	2ПТС-6	1800	600	II	59,4	0,83	4,98	10,1	4,9	49,5
Транспортировка картофеля на площадку прогрева	1 км	МТЗ-80	2ПТС-6	90	90	II	90,8	0,35	0,31	0,99	4,9	4,8
Вывоз ботвы с поля	6 км	МТЗ-80	2ПТС-6	4800	800	III	22,7	1,98	15,84	35,24	4,9	172,7
Транспортировка картофеля, 25 т/га	6 км	МТЗ-80	2ПТС-6	7350	1225	II	42	1,98	24,25	29,76	4,9	185,8
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
Транспортировка контейнеров	6 км	МТЗ-80	2ПТС-6	450	75	II	42	1,98	1,48	1,79	4,9	8,77
Транспортировка соломы к буртам	1 км	МТЗ-80	2ПТС-4	13,5	13,5	IV	28,9	0,68	0,09	0,47	4,9	2,3
Итого	—	—	—	28152	6755	—	—	—	109,8	187,5	—	1033,8
Расход топлива в кг: на 1 т-км – 0,39 на 1 усл. эт. га – 10,5												

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 переезды 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.

4.11.1. Расчет потребного количества смазочных материалов

Количество масел и смазок на эксплуатацию и техническое обслуживание машин определяется на основании индивидуальной эксплуатационной нормы расхода масла (плановое количество, установленное в процентах к основному топливу и выделенное для смазки трактора данной марки в процессе его эксплуатации). Нормы расхода приведены в табл. 3. Индивидуальная эксплуатационная норма расхода масла для данного трактора учитывает расход масла трактором данной марки в процессе эксплуатационной обкатки, расход на его долив в составные части для возмещения убыли масла в процессе использования и планового технического обслуживания трактора при устранении неисправностей (отказа), расход на плановую замену масла, технологические его потери и расход масла при хранении трактора. Расход масла, связанный с ремонтом машин, при определении индивидуальных норм не учитывается. С целью планирования потребности в маслах для хозяйства разрабатываются групповые нормы их расхода. Они составляются с учетом соответствующих индивидуальных норм расхода масла.

Групповая норма равна средневзвешенному значению индивидуальных норм расхода для тракторов, используемых в хозяйстве в данном году, каждая из которых взвешивается относительно расхода топлива трактором соответствующей марки (табл. 4.8).

Т а б л и ц а 4.8. Временные индивидуальные нормы расхода смазочных масел тракторами и самоходными шасси

Марка трактора	Нормы расхода смазочных масел, % к израсходованному топливу (по весу)			
	Моторные масла группы Б ₂ , В ₂ , Г ₂		Трансмиссионные масла тракторные	Индустриальные, веретенные и другие масла специального назначения
	всего	в т. ч. на двигатель		
1	2	3	4	5
T-130	4,5	3,5	0,9	0,1
T-100M	5,0	3,5	1,0	0,1
T-150	3,9	1,9	0,4	0,02
T-4A	4,5	3,5	1,0	0,1
ДТ-75М	4,8	3,6	1,0	—
ДТ-75	4,6	3,2	1,0	—
T-74	5,0	3,4	1,3	—
К-700, К-701	4,5	3,0	0,4	0,2
T-150К	3,8	1,9	0,6	0,4
МТЗ-80, -82	3,8	2,5	1,1	0,1
ЮМЗ-6	4,4	3,1	1,2	0,1
T-40, T-40A				
T-40АН	4,5	2,5	1,1	0,1
T-25A	4,5	3,5	1,0	0,1
Беларус 1221	4,5	3,0	0,6	0,4
Беларус 1523	4,5	3,0	0,6	0,4

Для автомобилей потребное количество масел определяется аналогично, исходя из норм расхода относительно расхода топлива: моторное масло для автомобилей – 3,5%, трансмиссионное – 1,5%. Пластичные смазки 0,3 кг на 100 л расхода жидкого топлива.

4.12. Характеристика существующих методов определения норм расхода топлива и определение основных нормообразующих факторов

4.12.1. Методика определения норм при помощи нормативных таблиц

Наиболее простой и доступный для хозяйств способ установления норм выработки и расхода топлива – по топливным нормам (нормативным таблицам).

Типовые нормы в зависимости от природно-климатических условий разделены на 12 групп по пахотным и 8 групп по непахотным работам. (Типовые нормы выработки и расхода топлива на сельскохозяйственные механизированные работы. – М.: Россельхозиздат. 1981.).

Для определения номера группы, к которой относится конкретное хозяйство, необходимо определить:

а) для пахотных работ:

Т а б л и ц а 4.9. Расчет групповой нормы расхода масел на 200 __ г. для хозяйства (пример расчета для хозяйства)

Марка трактора	Кол-во	Расход топлива, т/год		Моторные масла			
				Группа В ₂		Группа Г ₂	
		на трактор	всего	Норма, % к топливу	Расход по норме, т	Норма, % к топливу	Расход по норме, т
1	2	3	4	5	6	7	8
Т-150К	4	15	60	–	–	3,8	2,28
ДТ-75	3	9	27	5,1	1,377	–	–
МТЗ-80	4	8	32	–	–	3,8	1,216
Итого	–	–	119		1,377		3,496

Окончание табл.4.9

Марка трактора	Трансмиссионные масла		Индустриальные и другие спец. масла		Консистентные смазки	
	Норма, % к топливу	Расход по норме, т	Норма, % к топливу	Расход по норме, т	Норма, % к топливу	Расход по норме, т
1	9	10	11	12	13	14
Т-150К	0,6	0,36	0,4	0,24	0,04	0,024
ДТ-75	1,0	0,27	–	–	0,03	0,008
МТЗ-80	1,1	0,352	0,1	0,032	0,06	0,019
Итого		0,982		0,272		0,051

$$\text{Групповая норма } B_2 = \frac{\text{Гр. 6}}{\text{Гр. 4}} \cdot 100\% = \frac{1,377}{119} \cdot 100\% = 1,15\%;$$

$$\begin{aligned} \Gamma_2 &= \frac{\Gamma_{р. 8}}{\Gamma_{р. 4}} \cdot 100\% = \frac{3,496}{119} \cdot 100\% = 2,93\%; \\ \text{Т. м.} &= \frac{\Gamma_{р. 10}}{\Gamma_{р. 4}} \cdot 100\% = \frac{0,982}{119} \cdot 100\% = 0,82\%; \\ \text{И. м.} &= \frac{\Gamma_{р. 12}}{\Gamma_{р. 4}} \cdot 100\% = \frac{0,272}{119} \cdot 100\% = 0,22\%; \\ \text{К. см.} &= \frac{\Gamma_{р. 14}}{\Gamma_{р. 4}} \cdot 100\% = \frac{0,051}{119} \cdot 100\% = 0,042\%; \end{aligned}$$

Средневзвешенное удельное сопротивление почв при вспашке $K_{о,ср}$, кН/м^2 ; класс длины гона L , м; обобщенный поправочный коэффициент на пахотные работы $K_{общ.}^n$:

$$K_{общ.}^n = K_p^n K_k^n K_{из}^n K_{ск}^n K_T K_{заб}, \quad (4.5)$$

б) для непахотных работ:

класс длины L , м; обобщенный поправочный коэффициент на непахотные работы:

$$K_{общ.}^H = K_p^H K_{из}^H K_{ск}^H K_T K_{заб}, \quad (4.6)$$

где K_p , K_k , $K_{из}$, $K_{ск}$, K_T , $K_{заб}$ – соответственно поправочные средневзвешенные коэффициенты на рельеф, на каменистость, изрезанность, сложность конфигурации, тяговые свойства тракторов и заболоченность полей.

Средневзвешенные коэффициенты определяют непосредственно по выражению 4.7.

Средневзвешенные показатели определяются с учетом площади участков с заданными условиями:

$$P_{ср} = \frac{\sum F_i}{\sum F_i}, \quad (4.7)$$

Например, средневзвешенное удельное сопротивление почв при вспашке, кН/м^2 (табл. 4.10):

$$K_{о,ср} = \frac{\sum K_{oi} F_i}{\sum F_i} = \frac{K_{o1} F_1 + K_{o2} F_2 + \dots + K_{on} F_n}{F_1 + F_2 + \dots + F_n} \quad (4.8)$$

Т а б л и ц а 4.10. Значения удельного сопротивления различных почв при вспашке K_0 , коэффициентов учета типа почв на тяговые свойства тракторов K_t , препятствий и коэффициентов $K_{из}$, учитывающих влияние их на работу МТА

Типы почв	K_0 , кН/м ²	K_t	Степень, изрезанности полей препятствиями, %	$K_{из}$	
				пахотные	непахотные
Песчаные	35	0,90	до 5	1,0	1,0
Супесчаные	42	0,96	5,1 ...10	0,91	0,89
Легкий суглинок	45	0,96	10,1 ...20	0,85	0,84
Средний суглинок	50	1,00	20,1 ...30	0,80	0,79
Тяжелый суглинок	58	1,00	—	—	—
Торфяно-болотные	50	0,90	—	—	—

Т а б л и ц а 4.11. Значения показателей класса длины гона δ_c и поправочных коэффициентов, учитывающих сложность конфигурации полей $K_{ск}$, в зависимости от длины гона участков полей

Класс длины гона, м	δ_c	$K_{ск}$ по видам работ	
		пахотные	непахотные
До 150	1,43	0,87	0,82
151 ...200	1,30	0,90	0,88
201 ... 300	1,21	0,92	0,91
301 ... 400	1,14	0,94	0,94
401 ... 600	1,08	0,96	0,96
601 ... 1000	1,03	1,00	1,00
свыше 1000	1,0	1,0	1,0

Т а б л и ц а 4.12. Значения показателей угла склона δ_a и поправочных коэффициентов на рельеф K_p в зависимости от угла склона

Класс угла склона, град	δ_a	K_p по видам работ	
		пахотные	непахотные
До 1	1,0	1,0	1,0
1,1 ... 3,0	1,02	0,98	0,96
3,1 ... 5,0	1,05	0,96	0,93
5,1 ... 7,0	1,09	0,92	0,87
Более 7,0	1,19	0,86	0,80

Т а б л и ц а 4.13 Значения коэффициентов, учитывающих засоренность полей камнями K_k и заболоченность полей $K_{зab}$.

Степень каменистости	K_k	Степень заболоченности	$K_{зab}$
Нет камней (числые)	1,01	Нет заболоченности	1,0
Слабая (до 20 м ³ /га)	0,98	Слабая (до 10 %)	0,98
Средняя (20 ... 50 м ³ /га)	0,92	Средняя (10 ... 25 %)	0,95
Сильная (более 50 м ³ /га)	0,85	Сильная (свыше 25 %)	0,90

После определения необходимых данных по таблицам, приведенным в Типовых нормах выработки и расхода топлива, определяется номер группы на пахотные, непахотные и уборочные работы и выбираются из справочника необходимые нормы для хозяйства, которые затем утверждаются руководителем хозяйства и согласовываются с местным комитетом профсоюза.

4.12.2. Методика определения норм путем хронометражных наблюдений

Для нормирования механизированных работ, выполняемых машинно-тракторными агрегатами, разработана методика установления норм выработки и расхода топлива на основе хронометражных наблюдений.

Основными способами изучения распределения времени являются: фотография, хронометраж и фотохронометраж рабочего дня.

Фотография – это последовательное изучение затрат рабочего времени по элементам на протяжении рабочего дня с одновременным замером их продолжительности.

Хронометраж – это фотография рабочего времени дня, при которой отдельные операции расчленяются на более мелкие элементы и приемы и изучаются методом хронометража.

Все виды наблюдений подразделяются на индивидуальные и групповые. Затраты времени фиксируются с точностью от 0,1 до 1,0 с (в зависимости от характера выполнения приема).

Для расчета норм выработки необходимо определить:

- 1) рабочую ширину захвата B_p , м;
- 2) среднюю скорость движения v_p , км/ч;
- 3) время чистой работы T_p , ч.

Для расчета норм расхода топлива необходимо определить:

- 1) часовой расход топлива при работе трактора под нагрузкой (Q_p), на холостом ходу (Q_x) и при холостой работе двигателя на остановках (Q_o);
- 2) время работы на указанных режимах (T_p , t_x и t_o).

Эти нормообразующие факторы устанавливают с помощью наблюдений. При выборе объекта и места наблюдений необходимо придерживаться таких требований:

- 1) машинно-тракторный агрегат должен быть технически исправным и правильно отрегулированным в соответствии с технологической наладкой;
- 2) обслуживающий персонал агрегата должен быть подобран из квалифицированных механизаторов;
- 3) поле, на котором выполняется нормируемая операция, должно

соответствовать агротехническим требованиям (быть ровным и иметь правильную форму).

В процессе наблюдений все записи в хронометражном листе необходимо проводить в технологической последовательности с детальной расшифровкой всех видов простоев (указывать причины), поворотов, рабочего хода.

Нормообразующие величины подсчитывают по формулам.

Рабочая ширина захвата агрегата (м)

$$B_p = \frac{B_3}{n_{кр}}, \quad (4.9)$$

Рабочая скорость движения (км/ч)

$$v_p = \frac{0,06 \, l_{cr} \, n_{кр}}{T_p}, \quad (4.10)$$

где B_3 – ширина обрботанного загона, м;

$n_{кр}$ – количество гонов или кругов;

T_p – время чистой работы за смену, мин;

l_{cr} – средняя длина гонов, м.

Если агрегат работает только на одном загоне, имеющем прямоугольную форму, средняя длина равна длине загона. Участок сложной конфигурации разбивают на загоны правильной формы, для каждой определяют длину (м), а затем подсчитывают среднюю величину для участка:

$$l_{cr} = \frac{F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_i}{\frac{F_1}{l_1} + \frac{F_2}{l_2} + \frac{F_3}{l_3} + \dots + \frac{F_i}{l_i}}, \quad (4.11)$$

где $F_1, F_2, F_3, \dots, F_i$ – площадь, m^2 ;

$l_1, l_2, l_3, \dots, l_i$ – длина каждой части загона, м.

Расход топлива двигателем трактора на отмеченных режимах определяют в период наблюдений, используя соответствующие приборы.

Таким образом, данные наблюдений позволяют определить нормообразующие величины, по которым рассчитывают норму выработки (в га/смену):

$$W_{см} = 0,1 \, B_p \, v_p \, T_p, \quad (4.12)$$

и расход топлива (в кг/га)

$$Q = \frac{Q_p T_p + Q_x T_x + Q_o T_o}{0.1 B_p v_p T_p} . \quad (4.13)$$

4.12.3. Определение составляющих элементов баланса времени смены

Общая продолжительность рабочего дня агрегата складывается из различных элементов затрат времени. Распределение сменного рабочего времени по категориям затрат составляет баланс времени смены:

$$T_{\text{см}} = T_p + t_{\text{п-з}} + t_x + t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5, \quad (4.14)$$

где $T_{\text{см}}$ – полное время смены;

T_p – чистое рабочее время смены, расходуемое на полезную работу;

$t_{\text{п-з}}$ – подготовительно-заключительное время, затрачиваемое на комплектование, прием-сдачу агрегата, ежедневное техническое обслуживание, переезд агрегата к объекту работы и обратно;

t_x – время холостого движения агрегата на загоне;

t_1 – время на технологическое обслуживание (заправка сеялок семенами, очистка рабочих органов, проверка качества работы);

t_2 – время на техническое обслуживание агрегата в течение смены;

t_3 – время простоев агрегата из-за неисправности машин;

t_4 – время простоев агрегата по организационным причинам;

t_5 – время простоев по другим причинам (по метеорологическим причинам, физиологическим надобностям и пр.).

Время, затрачиваемое на полезную работу агрегата, оценивается общим коэффициентом использования времени смены:

$$\tau = \frac{T_p}{T_{\text{см}}}, \quad (4.15)$$

а составные структуры времени – частными коэффициентами: коэффициент использования времени движения,

$$\tau_{\text{дв}} = \frac{T_p}{T_p + t_x}, \quad (4.16)$$

коэффициент использования времени смены, учитывающий время простоев на техническое обслуживание,

$$\tau_1 = \frac{T_{\text{см}} - t_1}{T_{\text{см}}}, \quad (4.17)$$

коэффициент использования времени смены, учитывающий время простоев на техническое обслуживание,

$$\tau_2 = \frac{T_{\text{см}} - t_2}{T_{\text{см}}}, \quad (4.18)$$

коэффициент использования времени смены, учитывающий время простоев из-за неисправностей машин,

$$\tau_3 = \frac{T_{\text{см}} - t_3}{T_{\text{см}}}, \quad (4.19)$$

коэффициент использования времени смены, учитывающий время простоев по организационным причинам,

$$\tau_4 = \frac{T_{\text{см}} - t_4}{T_{\text{см}}}. \quad (4.20)$$

Между этими коэффициентами существует взаимосвязь

$$\tau = (\tau_1 + \tau_2 + \tau_3 + \tau_4 - 3) \tau_{\text{дв}}. \quad (4.21)$$

Чем лучше организован технологический процесс, тем больше величина коэффициента τ , что соответствует более эффективному использованию машинно-тракторного парка хозяйств (снижаются затраты труда и средств на производство продукции).

Баланс времени смены работы агрегата изучают методом хронометражных наблюдений.

4.13. Организационно-технические мероприятия по экономии и рациональному использованию нефтепродуктов

4.13.1. Влияние технического состояния машин на расход топлива

Основной фактор, оказывающий влияние на расход топлива при эксплуатации тракторов, комбайнов и автомобилей, – техническое со-

стояние 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.

4.13.2. Влияние условий и организации использования машинно-тракторного и автомобильного парка на расход топлива

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 значе-

ния 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 нагрузках 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 временно 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, поддержание 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.

4.14. 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 нефтепродук-

тов.

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 прямо-раздаточного 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 прямо-раздаточный 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 (потеение) 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 м³ 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 м² 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 раздаточ-

ного 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.

ЛИТЕРАТУРА

1. А б л а е в , А. Биодизель: мыслить за пределами нефтяной трубы / А. Албаев // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2007. – № 1. – С. 61 – 65.
2. Бабич С. В центре внимания – энергия биомассы / С. Бабич // Энергетика и ТЭК. 2007. № 1. С. 37.
3. Бойлс Д. Биоэнергия: технология, термодинамика, издержки /Д. Бойлс // М.: Агропромиздат, 1987.
4. Ваванов В.В. и др. Автомобильные пластичные смазки. М.: «Транспорт», 1986. 144 с.
5. В а л ь е х о , П. Применение раздельной подачи топлива растительного происхождения в малоразмерный дизель с целью улучшения его экологических показателей: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / П. Вальехо. – М., 2000. – 16 с.
6. Васильева Л.С. Автомобильные эксплуатационные материалы. М.: «Транспорт», 1986. 279 с.
7. Венцель С. В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания / С. В. Венцель. М.: Химия, 1979. 240 с.
8. Газобаллонные автомобили: Справочник / Морев А.И., [и др.]; под общ. ред. А.И. Морев. – М.: Транспорт, 1992. – 175 с.
9. Герман М. Рафинированное древесное топливо. Перспективы производства и энергетического использования / М. Герман, Н. Борушко, В. Цедик // Энергетика и ТЭК. 2007. № 1. С. 38 – 41.
10. Глыбин А. И. Автотракторные фильтры: Справочник / А. И. Глыбин. Л.: Машиностроение, 1980. 181 с.
11. Гнатченко И.И. и др. Автомобильные масла, смазки, присадки. Справочное пособие. М.: ООО «Издательство АСТ»; СПбю: ООО «Издательство Полигон», 2000. 360 с.

12. Гусаков, С. Работа дизеля на топливах, полученных из возобновляемых источников, и пути совершенствования его рабочего процесса / С. Гусаков, П. Вальехо // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2006. – № 3. – С. 69 – 71.
13. Гушин, С.Н. Улучшение эффективного и экологического показателей тракторного дизеля 24 10,5/12,0 путем применения метанола-топливной эмульсии: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / С.Н. Гушин. – Киров, 2004. – 197 л.
14. Долинский А. Возможности замещения природного газа в Украине за счет местных видов топлива / А. Долинский, Г. Георгий // Энергетическая политика Украины. 2006. №3-4. С. 60–65.
15. Дубровский В.С. Метилловое сбраживание сельскохозяйственных отходов/ В.С. Дубровский. У.Е. Виестур// Рига: Зинатне, 1988.
16. Дунин, А. Ю. Совершенствование системы совместной подачи двух топлив в камеру сгорания дизеля через одну форсунку: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / А.Ю. Дунин. – М., 2006. – 196 л.
17. Емельянов В.Е. Автомобильный бензин и другие виды топлива: свойства, ассортимент, применение / В.Е. Емельянов, И.Ф. Крылов. М.: Астрель: АСТ: Профиздат, 2005. 207 с.
18. Жозе, А.Х. Прогнозирование параметров рабочего процесса дизеля при использовании спирто-дизельных топлив: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / А.Х. Жозе. – Барнаул, 2005. – 151 л.
19. Использование биологических добавок в дизельное топливо / В.М. Федоренко [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротехник», 2007. – 52 с.
20. Ишханян, А.Э. Улучшение экологических показателей дизелей путем использования в качестве топлива диметилового эфира: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / А.Э. Ишханян. – М., 2004. – 179 л.
21. Казначевский, В.Л. Повышение энергетических, экономических и экологических качеств дизеля 8Ч13/14 регулированием физико-химических свойств топлива: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / В.Л. Казначевский. – М., 2006. – 156 л.
22. Карташевич, А.Н. Анализ некоторых свойств смесевых видов автотракторных дизельных топлив на основе рапсового масла / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка, И.Д. Кузьмич // Вестник Белорус. гос. с.-х. акад. – 2009. – № 1. – С. 133–138.
23. Карташевич, А.Н. Возобновляемые источники энергии: науч.-практ. пособие / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка. – Горки: БГСХА, 2007. – 264 с.
24. Карташевич, А.Н. Применение альтернативных топлив для ДВС: лекция / А.Н. Карташевич, В.С. Товстыка. – Горки: БГСХА, 2007. – 32 с.
25. Кириллов Н. Г. Альтернативные виды моторных топлив из биосырья для сельскохозяйственной автотракторной техники. / Н.Г. Кириллов // Достижения науки и техники. 2002. № 2. С. 11 – 15.
26. Кириллов Н. Г. Сжиженный биометан – перспективное моторное топливо / Н.Г. Кириллов // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2001. № 12. С. 10 – 13.
27. Кириллов, Н.Г. Природный газ как моторное топливо; газ сжатый или газ, сжиженный / Н.Г. Кириллов // Газовая промышленность. – 2003. – №1. – С. 12-14.
28. Киселев М.М. Топливо-смазочные материалы для строительных машин: Справочник. – М.: Стойиздат, 1988.-271 с.
29. Клементьев, А. Альтернативные виды топлива: проблема выбора ближайшей перспективы / А. Клементьев // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. –2006. – № 3. – С. 63 – 65.
30. Коротеев А.С. Перспективы использования водорода в транспортных средствах/ А.С. Коротеев, В.В. Миронов, В.А. Смоляров // Международный научный журнал по альтернативной энергии и экологии. 2004. №1(9). С. 5–13.

31. Кристин Л. Биоэнергетика, ее потенциал в энергетическом секторе России / Л. Кристин, Ж. Жан-Марк, Г. Джулиано // Возобновляемая энергия (ежеквартальный информационный бюллетень). М.: Интерсоларцентр, январь 2005. С. 2–7.
32. Кузнецов А.В. Топливо и смазочные материалы. – М.: Колос, 2007 – 199 с.
33. Лавров Ю. Г. Минеральные добавки в смазочное масло – путь к самоорганизующимся трибопроцессам / Ю. Г. Лавров // Двигателестроение. 2003. № 2. С. 46 – 48, 59, 60.
34. Л и х а н о в, В.А. Применение метанола-топливных эмульсий в тракторных двигателях / В. А. Лиханов, С.А. Плотников. – Киров, НИИСХ Северо-Восток, 2000. – 96 с.
35. Лосюк Ю.А. Нетрадиционные источники энергии. учебное пособие / Ю.А. Лосюк, В.В. Кузьмич// Минск.: УП «Технопринт», 2005. 234 с.
36. Лышко Г. П. Рациональное использование топлива и смазочных материалов для сельскохозяйственной техники / Г.П. Лышко. Кишинев: Карта молдовеняскэ, 1986. 238 с.
37. Лышко Г.П. Топлива и смазочные материалы. М.: Агропромиздат, 1985. 336 с.
38. Л ь о т к о, В. Применение альтернативных топлив в двигателях внутреннего сгорания / В. Лютко, В.Н. Луканин, А.С. Хачиян. – М.: МАДИ (ТУ), 2000. – 311 с.
39. Марочкин В.К. Использование вторичных топливно-энергетических ресурсов в сельском хозяйстве /В. К. Марочкин, Н. Д. Байлук, А.И. Брилевский// Минск: Ураджай, 1989. 200 с.
40. М а т и е в с к и й, Д.Д. Решение вопросов оптимизации рабочего процесса двигателя с объёмно-плёночным смесеобразованием на чистом рапсовом масле / Д.Д. Матиевский, С.П. Кулманов, А.В. Шашев // Материалы Междунар. конф. «Двигатель-2007», посвящ. 100-летию школы двигателестроения МГТУ им. Н.Э. Баумана: сб. науч. тр. / МГТУ им. Н.Э. Баумана; под ред.: Н.А. Иващенко [и др.]. – М., 2007. – С. 371–375.
41. Месяц Г. А. Водородная энергетика и топливные элементы / Г. А. Месяц, М. Д. Прохоров // Вестник РАН. 2004. Т. 74. № 7. С. 579–597.
42. Метод определения температуры вспышки на приборе мартенс-пенского с закрытым тиглем: СТБ ИСО 2719-2002 – Введ. 01.07.2003 – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002. – 15 с.
43. Методы получения водорода. Реферативный сборник. Минск: ИЯЭ АН БССР, 1990. 71 с.
44. М и р о ш н и ч е н к о Д. Диметилвый эфир – альтернативное дизельное топливо / Д. Мирошниченко, И. Киселёв, С. Шурупов // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. 2004. № 4. С. 62 – 64.
45. М и т у с о в а, Т. Н. Дизельное топливо из альтернативных источников энергии / Т.Н. Митусова, М.В. Калинина // Специализир. науч.-практ. конф. "Охрана окружающей среды в городе": сб. докладов / под ред. В.Б. Зотова. – М.: Юго-Восток-сервис, 2006. – С. 129–136.
46. Михалевич А.А. Освоение возобновляемых источников энергии в Беларуси / А.А. Михалевич, В.Г.Федосеев // Возобновляемая энергия (ежеквартальный информационный бюллетень). М.: Интерсоларцентр. 2001. №4. С. 4–7.
47. Нефтепродукты. Метод определения температуры помутнения: СТБ ЕН 23015–2002. – Введ. 01.07.2003. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2002. – 5 с.
48. Нефтепродукты. Методы определения фракционного состава: ГОСТ 2177–99. – Введ. 01.09.2000 – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2000. – 23 с.
49. Нефтепродукты. Расчёт цетанового индекса средних дистиллятов по уравнению с четырьмя переменными: СТБ ИСО 4264–2003. – Введ. 01.11.2003 – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2003. – 7 с.

50. Опыт применения альтернативных видов топлива для автомобильной и сельскохозяйственной техники / Е.П. Шилова [и др.]. – М.: ФГНУ «Росинформагротехник», 2006. – 96 с.
51. Опыт проектирования и использования систем подачи ДМЭ в автомобильных двигателях / Л. Грехов [и др.] // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2004. – № 6. – С. 60 – 62.
52. Опыт проектирования и использования системы подачи ДМЭ в автомобильных двигателях / Л. Грехов [и др.] // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. 2004. № 6. С. 60 – 62.
53. Опыт разработки и эксплуатации автомобилей-рефрижираторов ЗИЛ-5301 «Бычок», работающий на диметиловом эфире / Т. Смирнова [и др.] // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2005. – № 4. – С. 53 – 59.
54. Опыт разработки и эксплуатации автомобилей-рефрижираторов ЗИЛ-5301 «Бычок», работающий на диметиловом эфире / Т. Смирнова [и др.] // Автогазозаправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2005. – № 4. – С. 53 – 59.
55. Особенности рабочего процесса дизелей при применении смесового биотоплива различного состава / Г.М. Кухарёнок [и др.] // Рапс: масло, белок, биодизель: матер. междунар. науч.-практ. конф., Жодино, 25–27 сентября 2006 г. / под общ. ред. д-ра с.-х. наук, профессора М. А. Кадырова. – Минск: ИВЦ Минфина, 2006. – С. 203–207.
56. П а с т е р н а к , Е. В поисках ДМЭ / Е. Пастернак // The Chemical Journal. – Сентябрь. 2006. – С. 26 – 29.
57. П л о т н и к о в , С.А. Улучшение эксплуатационных показателей тракторных дизелей применением спиртосодержащих топлив. / С.А. Плотников, С.Н. Гущин. – Киров, 2003. – 162 с.
58. Поваров О.А. Использование тепла земли для локального теплоснабжения / О.А. Поваров, А.И. Никольский, Г.В. Томаров // Новое в Российской энергетике. 2002. №5. С. 5 – 22.
59. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 30 декабря 2004 г. № 1680, Минск.
60. С а м о л ь , Г.И. Газобаллонные автомобили / Г.И. Самоль, И.И. Гольдблат. – Изд. второе, переработанное. – М.: МАШГИЗ, 1953. – 240 с.
61. Сафонов В. В. Влияние металлсодержащей смазочной композиции на трибологические свойства моторного масла / В. В. Сафонов, Э. К. Добринский // Строительные и дорожные машины. 2001. № 4. С. 20–21.
62. Сафонов В. В. Повышение ресурса тракторных дизелей за счет металлсодержащих добавок к маслу / В. В. Сафонов, Э. К. Добринский // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2001. № 4. С. 17–18.
63. Сафонов В. В. Применение наноматериалов при эксплуатации сельскохозяйственных машин / В. В. Сафонов, С. В. Сафонова, А. В. Кирилин, В. А. Александров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2003. № 4. С. 8–10.
64. Синельников А.Ф., Балабанов В.И. Автомобильные топлива, масла и эксплуатационные жидкости. Краткий справочник. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2003. – 176 с.
65. С л е п ц о в , О.Н. Эффективность применения топлив растительного происхождения в АПК: дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02 / О.Н. Слепцов. – М., 2007. – 178 л.
66. Словарь-справочник по трению, износу и смазке деталей машин / В. Д. Зозуля [и др.]; АН УССР, Ин-т проблем материаловедения; отв. ред. И. М. Федорченко. – 2-е изд., перераб. и доп. Киев: Наук. думка, 1990. 264 с.
67. С м и р н о в а , Т.Н. Биодизель – альтернативное топливо для дизелей / Т.Н. Смирнова, В.М. Подгаецкий // Двигатель. – 2007. – № 1. – С. 32 – 35.
68. Т в а й д е л л Дж. Возобновляемые источники энергии: пер. с англ. / Дж. Твайделл, А.Уэйр // М.: Энергоатомиздат. 1990. 392с.

69. Технические жидкости. Методические указания для выполнения лабораторной работы. Сост. Кузьмич И.Д. Горки, 1989 – 26 с.
70. Тийainen В. Экономические аспекты использования отходов лесопользования / В. Тийainen // Возобновляемая энергия (ежеквартальный информационный бюллетень). М.: Интерсоларцентр, январь 2005. С. 11–14.
71. Тимченко, И.И., Жадан П.В., Ефремов А.А. Использование биогаза как альтернативного моторного топлива в транспортных установках с ДВС // Автомобильный транспорт. – 2006.
72. Товстыка, В.С. Подача этилового спирта в дизель как способ улучшения его экологических показателей / В.С. Товстыка, Г.Н. Гурков // Молодёжь и инновации – 2009: материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых учёных, посвящ. 170-летию УО БГСХА, Горки, 3–5 июня 2009 г.: в 3 ч. / Белорус. гос. с.-х. акад.; редкол.: А.П. Курдеко [и др.]. – Горки, 2009. – Ч. 2. – С. 41–43.
73. Товстыка, В.С. Улучшение эксплуатационных показателей колёсного трактора путём использования смешанного топлива: дис. ... канд. техн. наук: 05.05.03 / В.С. Товстыка. – Горки, 2011. – 156 л.
74. Топлива для двигателей внутреннего сгорания. Топливо дизельное. Технические требования и методы испытаний: СТБ 1658–2006. – Введ. 01.02.2007. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2006. – 10 с.
75. Топлива, смазочные материалы, технические жидкости. Ассортимент и применение: справочник / И. Г. Анисимов [и др.]; под ред. В. М. Школьников. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Техинформ, 1999. 596 с.
76. Топливо дизельное. Технические условия: ГОСТ 305–82. – Введ. 01.01.1983. – М.: Изд-во «Стандарт», 1982. – 5 с.
77. Трофименко И.Л. и др. Автомобильные эксплуатационные материалы. Мн.: Выш. Шк., 2001. 205 с.
78. Филиппов, А.А. Повышение эффективности эксплуатации автотракторных средств путём подбора альтернативных видов топлива: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.10. / А.А. Филиппов. – Оренбург, 2004. – 135 с.
79. Хитрюк В.А., Кузьмич И.Д. Автотракторные топлива, смазочные материалы и технические жидкости. Лекция. Горки, БГСХА, 1994. 40 с.
80. Чирков, К.Ю. Перспективы применения СПГ на транспорте / К.Ю. Чирков, Е.Н. Пронин // Газовая промышленность. – 1999. – № 10. – С. 28-29.
81. Чирков В. Г. Пиролиз растительной биомассы современное состояние и перспективы / В. Г. Чирков // Возобновляемая энергия (ежеквартальный информационный бюллетень). М.: Интерсоларцентр. 2005. №1. С. 16-19.
82. Шкаликова, В. Сравнительный анализ применения легких синтетических парафиновых углеводородов и диметилэфира в дизеле / В. Шкаликова, А. Русинов // Автогазоправочный комплекс + альтернативное топливо. – 2007. – № 1. – С. 66 – 67.
83. Эденко В. Торф: каково его место в энергетике? / В. Эденко // Энергетика и ТЭК. 2007. № 1. С. 42 – 43.

Приложения

Приложение 1. Классификация API моторных масел по эксплуатационным свойствам и областям применения

Классы масел	Рекомендуемая область применения
1	2
Категория S (масла для бензиновых двигателей)	
SA*	Двигатели, работающие в легких условиях
SB*	Двигатели, работающие при умеренных нагрузках
SC*	Двигатели, работающие с повышенными нагрузками (модели выпуска до 1964 г.)
SD*	Двигатели, работающие в тяжелых условиях (модели выпуска до 1968 г.)
SE*	Двигатели, работающие в тяжелых условиях (модели выпуска до 1972 г.)
SF*	Двигатели, работающие в тяжелых условиях на неэтилированном бензине
SG*	Двигатели выпуска с 1989 г
SH	Масла, предназначенные для бензиновых двигателей автомобилей, выпущенных в 1994 г. и ранее, заменяют масла класса SG
SJ	Те же, но с введением дополнительных требований в отношении расхода масла в двигателе, энергосберегающих свойств (экономии топлива) и способности выдерживать нагрев, не образуя отложения
SL	Для двигателей, выпуска 2004 г. и ранее
SM	Введена с 30 ноября 2004. Масла категории SM созданы для обеспечения повышенного сопротивления окислению, повышенной защиты от отложений, лучшей защиты от износа, с лучшими низкотемпературными свойствами при увеличенных сроках службы масла (Пример: Mobil USA_SuperSyn 0W-40)
Категория C (масла для дизелей)	
CA*	Двигатели, работающие при умеренных нагрузках на малосернистом топливе
CB*	Двигатели без наддува, работающие при повышенных нагрузках на сернистом топливе
CC*	Двигатели (в т.ч. с умеренным наддувом), работающие в тяжелых условиях
CD*	Двигатели с высоким наддувом, работающие в тяжелых условиях на высокосернистом топливе
CD-II*	То же, с учетом специфических требований двухтактных дизелей
CE*	Двигатели с высоким наддувом (модели выпуска до 1983 г.), эксплуатируемые в тяжелых условиях (высокие нагрузки, малая частота вращения)
CF	Масла, предназначенные для дизелей внедорожной техники, имеющих разделённую камеру сгорания и работающих на топливе с повышенным содержанием серы (до 0,5%)
CF-4	Масла, предназначенные для 4-тактных дизелей грузовых автомобилей, осуществляющих перевозки по автострадам. Обладают лучшими моющими свойствами, чем масла класса CE и могут заменять их в дизелях, выпущенных до 1990 г.
CF-2	Масла, предназначенные для 2-тактных дизелей транспортных средств; заменяют масла класса CDII, так как обладают лучшими моющими и противозносными свойствами.

1	2
CG-4	Масла, предназначенные для 4-тактных дизелей, внедорожных машин и грузовых автомобилей, выполняющих по токсичным выбросам нормы, установленные в США с 1994 г. В сравнении с маслами класса CF-4 обладают лучшими моющими, противоизносными, антикоррозионными свойствами, меньшей вспениваемостью при высокой температуре и хорошо сочетаются с малосернистыми дизельными топливами (содержание серы менее 0,05%). Заменяют масла CF-4 в ранее выпущенных двигателях.
CH-4	Для высокоскоростных четырехтактных дизелей грузовых автомобилей, а также дизелей внедорожной техники, работающие как на малосернистом (менее 0,05% серы), так и на сернистом (менее 0,5% серы) топливе, отвечающих нормам 1998 г. по токсичности выбросов. Заменяют масла классов CD, CE, CF-4 и CG-4.
CI-4	Для высокоскоростных четырехтактных дизелей, по токсичности выбросов отвечающих нормам, введенным с октября 2002 г. Может использоваться в дизелях, оснащенных системой рециркуляции выхлопных газов EGR (Exhaust Gas Recirculation), работающих на сернистом (менее 0,5% серы) топливе, и в обычных дизелях (без EGR), полностью заменяя масла всех ранних спецификаций - CH-4, CG-4 и CF-4. Масла, обозначаемые CI-4 Plus, по сравнению с обычными маслами класса CI-4, обладают повышенными диспергирующими свойствами и механической стабильностью.

1) * Эти классы масел отменены

Приложение 2. Классификация эксплуатационных свойств моторных масел по ACEA (2004 г.)

Категория и класс по ACEA	Область и условия применения
A/B: масла для бензиновых и дизельных двигателей легковых автомобилей.	По ACEA 2004 г. категории A (бензиновые двигатели) и B (дизельные двигатели легковых автомобилей и фургонов) объединены, как например, A1/B1, что значительно сблизило с реальными условиями применения. Категории A2 и B2 отменены как устаревшие и разрешены к использованию для тех автомобилей (старых моделей), для которых рекомендованы масла подобных категорий
A1/B1	Масла, предназначенные для бензиновых и дизельных двигателей легковых автомобилей и фургонов, допускающих применение масел, имеющих пониженную вязкость (2,6...3,5 МПа·с) при высоких температурах и скоростях сдвига.
A3/B3	Масла с высокой стабильностью свойств, предназначенные для применения в высокопроизводительных бензиновых и дизельных двигателях легковых автомобилей и легких фургонов и при указаниях автопроизводителей допускаются удлиненные интервалы замены, круглогодичное использование масел с низкой вязкостью, применение в тяжелых режимах эксплуатации, если это определено производителем двигателя
A3/B4	Масла с высокой стабильностью свойств, предназначенные для применения в высокопроизводительных бензиновых и дизельных двигателях с непосредственным впрыском топлива легковых автомобилей и легких фургонов, также подходит для применения, описанных в категории B3
A5/B5	Масла с высокой стабильностью свойств, предназначенные для применения в высокопроизводительных бензиновых и дизельных двигателях легковых автомобилей и фургонов при увеличенных интервалах замены, допускающих применение масел, имеющих пониженную вязкость (2,6...3,5 МПа·с) при высоких температурах и скоростях сдвига
C: масла, совместимые с каталитическими нейтрализаторами отработавших газов.	В классификации ACEA 2004 г. введен новый класс C для low SAPS oils масел с пониженным содержанием зольных элементов в своем составе и с ограничением по содержанию фосфора и серы в связи с установкой на современные автомобили специальных устройств (для обеспечения норм по экологии) катализаторов нейтрализации отработавших газов, очень чувствительных к составу топлива и моторных масел, а именно, к продуктам их сгорания, попадающих в систему выхлопа
C1	Масла с высокой стабильностью свойств, предназначенные для применения в высокопроизводительных бензиновых и дизельных двигателях с DPF* и TWC** легковых автомобилей и фургонов, допускающих применение масла с низкой вязкостью при высоких температурах и скоростях сдвига, выше 2,9 МПа·с. Увеличивают ресурс катализатора нейтрализации отработавших газов типа TWC и фильтра DPF и обеспечивают экономию топлива.
C2	Масла с высокой стабильностью свойств, предназначенные для применения в высокопроизводительных бензиновых и дизельных двигателях с DPF* HTWC** легковых автомобилей и фургонов, допускающих применение масла с низкой вязкостью при высоких температурах и скоростях сдвига, выше 2,9 МПа·с. Увеличивают ресурс катализатора нейтрализации отработавших газов типа TWC и фильтра DPF, и обеспечивают экономию топлива.
C3	Масла с высокой стабильностью свойств, предназначенные для применения в высокопроизводительных бензиновых и дизельных двигателях с DPF* и TWC** легковых автомобилей и фургонов. Увеличивают срок службы фильтра DPF. катализатора TWC и обеспечивают экономию топлива
*TWC Three Way Catalyst трехкомпонентный каталитический нейтрализатор.	
**DPF Diesel Particular Filter фильтр твердых частиц выхлопа дизельных двигателей.	

1	2
Е: масла для мощных дизельных двигателей грузовых автомобилей, автобусов Введены новые категории Е6 и Е7, приравненные к категории API CI-4. Категории Е3 (перешла в категорию Е4) и Е5 (перешла в категорию Е7) отменены.	
Е2	Предназначены для широкого применения в дизельных двигателях с и без турбонаддува грузовых автомобилей, работающих в средних и тяжелых условиях и с нормальным интервалом замены. Масло категории качества SHPD (Super High Performance Diesel) соответствует требованиям MB 228.1, MAN 271
Е4	Масла с высокой стабильностью свойств, обеспечивающие отличную чистоту поршней, эффективно снижают износ и препятствуют росту вязкости масла при накоплении сажи, устойчивы к старению. Рекомендуются для дизельных двигателей, удовлетворяющих требованиям Euro 1, Euro 2, Euro 3, работающих в особо тяжелых условиях. Обеспечивают удлинённый интервал замены согласно рекомендациям производителя двигателя. Подходят для применения в двигателях без фильтра твердых частиц выхлопа (DPF), для некоторых двигателей с рециркуляцией выхлопных газов (EGR) и оборудованных селективным катализатором нейтрализации отработавших газов NOx (SCR NOx reduction system). Соответствуют требованиям MB 228.5, MAN M3277
Е6	Масла с высокой стабильностью свойств, обеспечивающие отличную чистоту поршней, эффективно снижают износ и препятствуют росту вязкости масла при накоплении сажи, устойчивы к старению. Рекомендуются для дизельных двигателей, удовлетворяющих требованиям Euro 1, Euro 2, Euro 3 и Euro 4, работающих в особо тяжелых условиях. Обеспечивают удлинённый интервал замены согласно рекомендациям производителя двигателя. Подходят для применения в двигателях с и без фильтра твердых частиц выхлопа (DPF), в двигателях с селективным катализатором нейтрализации отработавших газов NOx (SCR Nox reduction system). Особенно удовлетворяет требованиям двигателя, оборудованного фильтром твердых частиц выхлопа и работающем на малосернистом топливе (максимум 50 ppm)
Е7	Масла с высокой стабильностью свойств, обеспечивающие особо высокую чистоту поршней, предотвращают полирование стенок цилиндров, износ и образование отложений в турбокомпрессоре; уменьшают рост вязкости при накоплении сажи; устойчивы к старению. Рекомендуются для дизельных двигателей, удовлетворяющих требованиям Euro 1, Euro 2, Euro 3, работающих в особо тяжелых условиях. Обеспечивают удлинённый интервал замены согласно рекомендациям производителя двигателя. Подходят для применения в двигателях без фильтров твердых частиц выхлопа (DPF), для двигателей, оборудованных системой рециркуляции выхлопных газов (EGR) и селективным катализатором нейтрализации отработавших газов NOx (SCR NOx reduction system)

Приложение 3. Характеристики моторных масел для бензиновых двигателей

Показатели	М-6з/12Г ₁	М-5з/10Г ₁	М-4з/6В ₁	М-8В	М-6з/10В
Вязкость кинематическая, мм²/с при температуре					
100 °С	≥12	10...11	5,5...6,5	7,5...8,5	9,5...10,5
0 °С	-	-	-	≤1200	-
-18 °С	≤10400	Не нормируется	1100-2600	Не нормируется	≤9000
-30 °С	-	-	≤11000	-	-
Индекс вязкости, не менее	115	120	125	93	120
Массовая доля, %, не более					
Механические примеси	0,015	0,015	0,02	0,015	0,02
Вода	Следы				
Температура, °С: вспышки в открытом тигле					
Не ниже	210	200	165	207	190
Застывание, не выше	-30	-38	-42	-25	-30
Коррозионность на пластинках из свинца, г/м ² , не более	Отсутствие	Не нормируется	5	10	4
Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более	0,5	-	1	-	0,5
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	7,5	5	5,5	4,2	5,5
Зольность сульфатная, %, не более	1,3	0,9	1,3	0,95	
Стабильность по индукционному периоду осадкообразования (ИПО), ч					
15	-	-	Выдерживает	-	
20	-	Не нормируется	-	-	
30	Выдерживает	-	-	Выдерживает	
Цвет, ед. ЦНТ, не более					
Без разбавления	7,5	5	-	-	
С разбавлением 15:85	-	-	3	3,5	
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	900	900	880	905	
Массовая доля активных элементов, %, не менее					
Кальций	0,23	0,2	-	0,16	
Цинк	0,1	0,12	-	0,09	
Фосфор	-	-	-	0,09	
Вязкость динамическая, МПа·с, не более, при температуре					
-18 °С	-	2300	-	-	
-15 °С	4500	-	Не нормируется	-	

Приложение 4. Характеристики масел групп А и Б₂

Показатели	МС-20П	М-14Б	МТЗ-10П	М-16ПЦ	МТ-16П
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при температуре					
100 °С	20	14+0,5	9,5...10,5	15,5...16,5	15,5...16,5
40 °С	-	-	50	-	-
-30 °С	-	-	1500 0	-	-
Индекс вязкости, не менее	80	85	125	85	85
Коксуемость масла без присадки, %, не более	0,3	0,4	-	-	-
Кислотное число масла без присадки, мг КОН/г, не более	0,05	0,05	-	-	-
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	0,9	-	3,5	0,9	4
Зольность масла, % (мас. доля)					
Без присадки, не более	0,00 8	0,00 5	-	-	-
С присадкой	0,24	1	m1,1 5*	0,25...0,55	0,6 ...1,0
Массовая доля механических примесей, %, не более					
Без присадки	Отсутствие	-	-	-	-
С присадкой	0,01	0,015	0,025	0,015	0,015
Температура, °С					
Вспышки в открытом тигле, не ниже	225 (закры- тый тигель)	200	165	230	210
Застывания, не выше	-18	-15	-43	-25	-25
Коррозионность на пластинках из свинца, г/м ² , не более	10	8	5	6	5,0**
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	900	910	900	905	905
Цвет с разбавлением 15:85, ед. ЦНТ, не более	-	7	4	7	7
Массовая доля активных элементов, %, не менее					
Кальция	0,08***	-	0,2	-	-
Бария	0,14	-	-	-	-
Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более	-	-	-	1	1
Степень чистоты, мг/100 г масла, не более	-	-	-	400	600
Трибологические характеристики при температуре (20+5) °С: показатель износа при постоянной нагрузке 196 Н, мм, не более	-	-	-	0,45	0,45
Массовая доля серы в масле без присадки, %, не более	-	1,1	-	-	-
* Зольность сульфатная по ГОСТ 12417-94. ** Коррозионность по ГОСТ 20502-75, метод А, вар. II. *** Кальций нормируется, барий не определяется при производстве масла МС-20П с присадкой ВНИИ НП-714 или ее импортными аналогами.					

Примечания:

1. Для всех масел массовая доля воды, %, не более - следы.
2. Для масла МС-20П нормируется содержание селективных растворителей в масле без присадки – отсутствие; для масла М-14Б содержание водорастворимых кислот и щелочей - реакция щелочная, содержание фенола в масле без присадки - отсутствие.

Приложение 5. Характеристики масел группы В₂

Показатели	М-8В ₂	М-10В ₂	М-10В ₂ С	М-14В ₂	М-20В ₂ Ф	М-16В ₂	М-14В ₂ З	М-20В ₂	М-16 ИХП-3
Вязкость кинематическая, мм²/с, при температуре									
100 °С	8+0,5	11+0,5	11-12	13,5±1	19-22	16+1	13...15	18...22	15,5...16,5
40 °С, не менее	-	-	-	-	-	-	-	-	160
0 °С, не более	1200	-	-	-	-	-	3000	-	-
Индекс вязкости, не менее	85	85	83	85	90	85	100	90	90
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	3,5	3,5	4	4,8	2,8	3,5	6	3,5	4,0**
Зольность сульфатная, % (мас. доля), не более	1,3	1,3	1	1,2	0,65	0,6*	1,3	1,3	1,25**
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,015	0,015	0,01	0,02	0,01	0,025	0,015	0,015	0,013
Температура, °С									
Вспышки в открытом тигле, не ниже	200	205	210	210	230	200	220	235	225
Застывания, не выше	-25	-15	-15	-12	-15	-15	-30	-15	-25
Коррозионность на пластинках из свинца, г/м ² , не более	10	10	Отсутствие		10	5	Отсутствие		9
Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более	1	1	-	-	-	-	-	-	0,5
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	905	905	900	910	905	-	905	910	905
Термоокислительная стабильность при 250 °С, мин, не менее	50	80	-	-	-	60	55	80	100
Стабильность по индукционному периоду осадкообразования (ИПО), выдерживает, ч	30	30	40	50	50	-	-	-	45
Цвет, ед. ЦНТ, не более									
С разбавлением 15:85	4,5	4,5	3,5	4	3,5	-	-	-	6
Без разбавления	-	-	-	-	-	6	7,5	7,5	-
Массовая доля активных элементов, %, не менее									
Кальций	0,08	0,08	0,19	0,15**	0,08	-	0,16	0,08	-
Барий	0,18	0,18	-	0,13**	0,07	-	-	0,25	0,6
Цинк	0,05	0,05	0,05	0,045	-	-	0,09	0,05	-
Фосфор	0,05	0,05	0,05	0,04	0,03	-	-	-	-
Степень чистоты мг/100 г масла, не более	500	500	-	600	400	-	-	200	320
Моющий потенциал, %, не менее	-	-	-	-	-	-	35Ф	-	80Ф
* Зольность окислительная по ГОСТ 1461-7									
** С новой композицией присадок щелочное число не менее 3,8 мг КОН/г и зольность не более 1,4 % (мас. доля)									
*** При производстве масла М-14В₂ с присадкой ВНИИ НП-714 или ее импортными аналогами массовая доля кальция не менее 0,23%, а массовая доля бария не нормируется и не определяется.									

Примечание. Для всех масел массовая доля воды, %, не более – следы.

**Приложение 6. Характеристики масел группы Г₂ для автотракторных
и транспортных дизелей**

Показатели	М-8Г ₂	М-10Г ₂	М-8Г ₂ К	М-10Г ₂ К	М-14Г ₂ К	М-8Г ₂ У	М-10Г ₂ У
100 °С	8,0+0,5	11,0+0,5	8,0+0,5	11,0+0,5	14,0... 15,0	8,0...9,0	11,0... 12,0
0 °С, не более	1200	-	1200	-	-	-	-
-12 °С, не более	-	-	-	-	-	4000	-
Индекс вязкости, не менее	85	85	95	95	90	95	90
Температура, °С:							
Вспышки в открытом тигле, не ниже	200	205	210	220	215	210	225
Застывания, не выше	-25	-15	-30	-18	-25	-30	-15
Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более	1	1	0,5	0,5	0,5	-	-
Термоокислительная стабильность при 250 °С, мин, не менее	60	90	65	65	-	-	-
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	6	6	6	6	6	7,5	7,5
Зольность сульфатная, % (мас. Доля), не более	1,65	1,65	1,15	1,15	1,15	1,35	1,35
Стабильность по индукционному периоду осадкообразования (ИПО), выдерживает, ч	35	40	35	50	50	45	55
Цвет с разбавлением 15:85, ед. ЦНТ, не более	4,5	5	3	3	4	4	4
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	905	905	905	900	910	905	905
Кальция	0,15	0,15	0,19	0,19	0,19	0,3	0,3
Бария	0,45	0,45	-	-	-	-	-
Фосфора	0,06	0,06	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Степень чистоты, мг/100 г, не более	500	500	450	500	-	-	-

Примечание. Для всех масел массовая доля, %, не более: механических примесей – 0,015; воды – следы.

Приложение 7. Характеристики масел группы Г₂ для судовых, тепловозных и стационарных дизелей

Показатели	М-10Г ₂ ЦС	М-14Г ₂ ЦС	М-16Г ₂ ЦС	М-14Г ₂	М-20Г ₂
Вязкость кинематическая при 100°С, мм ² /с	10,0-11,0	13,5...15,0	15,5...17,0	13,5...14,5	20
Индекс вязкости, не менее	92	92	92	90	85
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	9	9	9	7	9
Зольность сульфатная, % (мас. доля), не более	1,5	1,5	1,5	1,3	1,9
Массовая доля механических примесей, %, не более	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Температура, °С					
Вспышки в открытом тигле, не ниже	210	215	210	220	235
Застывания, не выше	-10	-10	-10	-12	-15
Степень чистоты, мг/100 г, не более	600	600	600	600	400
Трибологические характеристики при температуре (20+5) °С:					
Индекс задира, кгс	34	34	34	34	37
Критическая нагрузка, Н, не менее	823	823	823	823	823
Показатель износа при постоянной нагрузке 196 Н, мм, не более	0,4	0,4	0,4	0,45	0,35
Цвет с разбавлением 15:85, ед. ЦНТ, не более	4	4	4	4	6,5
Плотность при 20°С, кг/м ³ , не более	910	910	910	905	907
Массовая доля активных элементов, %, не менее					
Кальций	0,28	0,28	0,28	0,23	0,36
Цинк	0,045	0,045	0,045	0,045	0,05
Фосфор	0,04	0,04	0,04	0,04	0,05
Вымываемость присадок водой					
Снижение щелочного числа, %, не более	10	10	10	-	-
Снижение зольности, %, не более	10	10	10	-	-
Эмульгируемость с водой, см ³ , не более	0,3	0,5	0,5	-	-

Примечание. Для всех масел: массовая доля воды – следы; коррозионность на пластинках из свинца - отсутствие; стабильность по индукционному периоду осадкообразования в течение 50 ч – выдерживает.

**Приложение 8. Характеристики масел группы Д₂
для автотракторных дизелей**

Показатели	М- 8ДМ	М- 10ДМ	М- 14ДМ	М- 63/14ДМ	МТ- 43/8ДС	МТ- 53/10Д
Вязкость кинематическая, мм ² /с, при температуре						
100 °С	8,0...8,5	11...1,4	14,0...15,0	14,0...15,5	7,5...8,5	9,5...11,5
-12 °С, не более	4000	-	-	-	-	-
-18 °С, не более	-	-	-	10400	2600	6000
Вязкость динамическая, Па·с, не более, при температуре						
-25 °С	-	-	-	40	-	-
-40 °С	-	-	-	-	22	-
Индекс вязкости, не менее	102	90	90	120	-	115
Массовая доля, %, не более						
Механических примесей	0,02	0,025	0,02	0,02	0,02	0,015
Воды	Следы					
Температура, °С						
Вспышки в открытом тигле, не ниже	195	220	230	210	200	200
Застывания, не выше	-30	-18	-15	-30	-55	-40
Коррозионность на пластинках из свинца, г/м ² , не более	Отсутствие	10	10			
Моющие свойства по ПЗВ, баллы, не более	0,5	-	-	-	-	-
Щелочное число, мг КОН/г, не менее	8,5	8,2	8	9	7	9
Зольность сульфатная, %, не более	1,5	1,5	1,5	1,6	1,65	1,65
Стабильность по индукционному периоду осадкообразования (ИПО), выдерживает, ч	35	60	60	35	25	25
Цвет с разбавлением 15:85, ед. ЦНТ, не более	3,5	3,5	-	-	2,5	-
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	897	905	-	-	-	-
Массовая доля активных элементов, %, не менее						
Кальций	-	0,15	0,35	0,35	0,3	-
Цинк	-	0,04	0,07	0,09	0,1	-
Фосфор	-	-	-	0,08	0,06	-
Трибологические характеристики при температуре (20+5) °С						
Индекс задира, не менее	-	-	-	-	30	35
Критическая нагрузка, Н, не менее	-	-	-	-	784	872
Нагрузка сваривания, Н, не менее	-	-	-	-	1646	2195

Научное издание

Каргашевич Анатолий Николаевич
Товстыка Виктор Станиславович
Гордеенко Андрей Васильевич

**ТОПЛИВО, СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ
И ТЕХНИЧЕСКИЕ ЖИДКОСТИ**

Учебное пособие

Редактор *Е. Г. Бутова*
Техн. редактор
Корректор

Подписано в печать
Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага для множительных аппаратов.
Печать ризографическая. Гарнитура «Таймс».
Усл. печ. л. . Уч.-изд. л.
Тираж экз. Заказ .

Редакционно-издательский отдел БГСХА.
ЛИ № 02330/0548504 от 16.09.2009.
213407, г. Горки Могилевской обл., ул. Студенческая, 2.
Отпечатано в отделе издания учебно-методической литературы,
ризографии и художественно-оформительской деятельности БГСХА.
г. Горки, ул. Мичурина, 5.