

**Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия (СибАДИ)»**

Кафедра «Эксплуатация и сервис транспортно-технологических машин и комплексов в строительстве»

С.В. Савельев, И.К. Потеряев

**ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ
СТРОИТЕЛЬНОЙ И НЕФТЕГАЗОВОЙ ТЕХНИКИ**

Учебное пособие

Омск ◀▶ 2016

УДК 625.76.08
ББК 39.311-06
С12

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. В.А. Мещеряков (СибАДИ);
канд. техн. наук, доц. Я.М. Стрек (ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «СГУВТ»)

Работа утверждена редакционно-издательским советом СибАДИ в качестве учебного пособия.

Савельев, С. В.

С12 Техническая эксплуатация строительной и нефтегазовой техники [Электронный ресурс] : учебное пособие / С.В. Савельев, И.К. Потеряев. – Электрон. дан. – Омск : СибАДИ, 2016. – Режим доступа: <http://bek.sibadi.org/fulltext/esd160.pdf> , свободный после авторизации. – Загл. с экрана.
ISBN 978-5-93204-861-0

Рассмотрены теоретические и практические вопросы технической эксплуатации, в том числе технического диагностирования агрегатов и систем транспортно-технологических машин, а также основного технологического оборудования объектов нефтепродуктообеспечения и газо-снабжения.

Имеет интерактивное оглавление в виде закладок.

Предназначено для обучающихся всех уровней и всех форм обучения направления «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов».

Текстовое (символьное) издание (10,0 МБ)

Системные требования : Intel, 3,4 GHz ; 150 МБ ; Windows XP/Vista/7 ; DVD-ROM ;
1 ГБ свободного места на жестком диске ; программа для чтения pdf-файлов Adobe Acrobat Reader

Редактор Н.И. Косенкова

Техническая подготовка – Т.И. Кукина

Издание первое. Дата подписания к использованию 08.02.2016

Издательско-полиграфический центр СибАДИ. 644080, г. Омск, пр. Мира, 5
РИО ИПЦ СибАДИ. 644080, г. Омск, ул. 2-я Поселковая, 1

© ФГБОУ ВПО «СибАДИ», 2016

ВВЕДЕНИЕ

Удовлетворение потребностей строительного и нефтегазового комплекса в средствах механизации должно осуществляться не только за счет увеличения числа выпускаемых машин, а главным образом за счет повышения качества и эффективности их использования [1].

Современное строительство автомобильных дорог, нефтегазопроводов, жилых и промышленных зданий и других инженерных сооружений требует применения широкого комплекса средств механизации, при этом необходимо непрерывное увеличение парка строительного-дорожных машин, повышение их производительности и надёжности, улучшение использования и обеспечения работоспособного состояния.

Развитие современных методов строительства неразрывно связано с широким применением комплектов, комплексов и парков машин, обеспечивающих высокую производительность работ, в том числе и за счёт обеспечения их эффективной эксплуатации. Для этого необходимо решить ряд проблем, основной из которых является оптимальное использование машин по производительности и надёжности, что и составляет предмет технической эксплуатации машин. Для решения этой проблемы необходимо рассматривать способы улучшения многочисленных показателей эксплуатационных свойств, применения рациональных и оптимальных режимов эксплуатации машин, применения организационно-технологических мероприятий для сокращения простоев и др.

Эксплуатация машин базируется на таких научных направлениях, как теория управления, теория надёжности, техническая диагностика, теоретические основы эксплуатации машин. Обеспечение работоспособного состояния парков машин и оборудования связано со значительными трудовыми и материальными затратами, соизмеримыми, а подчас и превышающими затраты на изготовление самих машин и оборудования [2].

1. ОСНОВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ ТЕХНИКИ

1.1. Подготовка машин к эксплуатации

Машина, поставляемая потребителю заводом-изготовителем или дилером, должна быть комплектной и соответствовать всем требованиям технической документации. Все обнаруженные во время внешнего осмотра и приемочных испытаний неисправности должны быть немедленно устранены, так как в эксплуатацию можно вводить только исправную машину. Приёмочные испытания машины проводит комиссия, в которую обычно включают главного инженера или главного механика, ответственных инженерно-технических работников. По результатам приёмки составляются акты приёма-передачи техники (если техника исправна и комплектна). В случае если комиссия обнаружила некомплектность или неисправность машины, то в актах указываются эти факты и завод-изготовитель или его представитель обязаны доукомплектовать машину, устранить неисправности или заменить машину целиком [1].

Дорожным машинам, помимо заводских, присваивают инвентарные номера предприятия.

Строительная техника на автомобильной базе регистрируется в Государственной инспекции безопасности дорожного движения (ГИБДД), ей присваивают государственные номерные знаки и оформляют свидетельство о регистрации. Если скорость передвижения техники по автодорогам более 20 км/ч, то на неё оформляются полисы обязательного страхования гражданской ответственности владельцев транспортных средств (ОСАГО).

Строительные, грузоподъемные машины, паровые котлы, компрессоры и сосуды, работающие под давлением, регистрируют органы Ростехнадзора. Результаты осмотров оформляют в виде актов с регистрацией результатов испытаний в специальных журналах и формулярах машин.

Самоходным машинам выдаётся «Паспорт самоходной машины и других видов техники» – ПСМ.

В первый период эксплуатации машина подвергается обкатке. Обкатка совершается для обеспечения благоприятных условий приработки трущихся поверхностей сопряженных деталей. Режим и порядок обкатки, если она необходима, устанавливаются заводом-изготовителем и регламентируются инструкцией по эксплуатации,

имеющейся в составе технической документации, поступающей с машиной. Период обкатки зависит от качества изготовления машин. Обычно он продолжается 10—100 ч наработки. Для транспортных машин наработка периода обкатки составляет 1000 км пробега.

1.2. Транспортирование машин

В зависимости от дальности и возможности условий доставки машины транспортируют собственным ходом или различными видами транспорта (железнодорожным, водным, тралами или на жёсткой сцепке, воздушным). Способ транспортирования определяется габаритными размерами и весовыми характеристиками машин, а также ограничениями, связанными с техническими возможностями транспортных средств. Основным фактором, влияющим на способ перебазировки техники, является экономическая целесообразность, которая чаще всего зависит от расстояния транспортировки [1].

Транспортировка по автомобильным дорогам или пересечённой местности.

Дорожные машины по автомобильным дорогам или по пересечённой местности транспортируют собственным ходом, в кузове грузовых автомобилей, на тралах (рис. 1.1), жёсткой сцепкой (рис. 1.2) и волокушах.



Рис. 1.1. Транспортировка техники автомобильным тралом

Поскольку габариты и масса строительных машин могут быть существенных размеров, то основным документ, регламентирующий транспортировку строительной техники по автомобильным дорогам общего пользования – это «Инструкция по перевозке крупногабаритных и тяжеловесных грузов автомобильным транспортом по дорогам Российской Федерации» (утв. Минтрансом РФ, МВД РФ и Федеральной автомобильно-дорожной службой РФ 27 мая 1996 г. с изменениями от 22 января 2004 г., 21 июля 2011 г., 24 июля 2012 г.). В соответствии с данным документом, в зависимости от габаритов и массы, транспортные средства совместно с перевозимой техникой делятся на две категории. Для первой категории разрешение на перевозку «негабарита» по определённому маршруту может выдаваться разовое или на срок до трёх месяцев (рис. 1.3) [3].



Рис. 1.2. Транспортирование самосвала на жесткой сцепке

Во втором случае разрешается только разовая перевозка. Для получения разрешения и согласования маршрута перевозки необходимо обращаться в орган, управляющий автомобильными дорогами соответствующего субъекта РФ. Обычно это соответствующий филиал федерального дорожного агентства «Росавтодора». В Омской области автодорогами управляет федеральное управление автомобиль-

ных дорог «Сибирь» (ФКУ «Сибуправтдор»), которое является представителем Федерального дорожного агентства Министерства транспорта России в Западной Сибири. В оперативном управлении ФКУ «Сибуправтдор» – федеральные автомобильные дороги Р-254 «Иртыш» (М-51 «Байкал»), Р-255 «Сибирь» (М-53 «Байкал»), Р-256 «Чуйский тракт» (М-52 «Чуйский тракт»), А-320 (М-38), Р-402 (1Р 402) в границах Новосибирской, Кемеровской, Омской и Томской областей [4].

СПЕЦИАЛЬНОЕ РАЗРЕШЕНИЕ № 0540875
на движение по автомобильным дорогам транспортного средства, осуществляющего перевозки тяжеловесных (и/или) крупногабаритных грузов

Вид перевозчика (международная, местная) **Международная**

Вид перевозимого груза **Международная**

Период выполнения по маршруту: с **15.05.2015** по **14.08.2015**

Омск - Тверь

Маршрут: Новосибирская – М.Леонова – Чернышевский тракт – г.г. Омска – путепровод через ж/д – пути – Конкретовка – Новосибирская – 2-я Солнечная – г.г. Омска – а/д Р-402 Тюмень – Ялуторовск – Ишим – Омск км 611+142 (г.г. Омска) – км 375+850 (г.г. Омской обл.) – км 297 (до пов.на г.Ишима) – обход Ишима – а/д «Ишим-Бердэж» – а/д «Частотерьер-Бердэж» – а/д М-51 «Байкал» (396км) от пов. на Макушино – (26км) Вахрушево (до а/д «Челябинска») – а/д «Челябинска» – а/д М-36 (20км) от а/д «Обход г.Челябинска» – (26км) до «Обход г.Челябинска» – а/д «Обход г.Челябинска» – а/д М-5 «Урал» (1832км) от пов. на Колетново (а/д «Обход г.Челябинска») – (1349км) Челябинской области / г.г. РБ – а/д М-5 «Урал» км 1450+980 – а/д «Знакный обход г. Уфы» км 0+000 – км 27+900 – а/д М-7 «Волга» км 1319+400 – а/д М-7 «Волга» км 735+200 – км 442+935 – а/д обход г.Кстово – а/д М-7 «Волга» км 432+950 – км 431+150 – а/д «Восточный подъезд г.Н.Новгород» – с/в.Ельня – а/д «В.Ельня – Олягино» д.Олягино – а/д «Обход г.Н.Новгород» км 161+200 – км 00+000 – а/д Р-158 «Н.Новгород-Арзамас-Саранск-Ижев-Петля-Саратов» км 13+500 – км 28+830 – а/д М-7 «Волга» км 0+0 – км 83+000 – а/д А-108 «МБК» Ярославль-Тверьской период – а/д А-108 «МБК» Дмитровск-Ярославский период от км 46 до км 4 – а/д «МБК» на участке 2-46 северной обхода / Дмитровск – а/д А-104 «Москва-Дмитров-Дубна» от км 81 – км 75 (а/д А-108 «МБК») / а/д А-108 «МБК» Ленинградско-Дмитровский период от км 55 до км 0 / а/д М-10 «Россия» км 20 (Киритовка) – км 153 а/д Подъезд к г. Тверь со стороны г. Мозыря – г.г. Тверь – Московское шоссе – ул. Конная – ул. Бочина – пр. Миллиардеров и обратно

Транспортное средство (автомобиль) (марка и модель транспортного средства (тигача, прицепа (полуприцепа)), государственный регистрационный знак транспортного средства (тигача, прицепа (полуприцепа)):
MAN LINGER (P1240X55) - 994213 (AP1313158)

Наименование, адрес и телефон владельца транспортного средства:
Ильина И.И., РФ, г. Омск, ул. Заводная 1229-106

Характеристика груза (наименование, габариты, масса):
Котельная паровая часть, тигачи, 5,08 x 2,44 x 2,30 (м), масса: 19,700 (т)

Параметры транспортного средства (автомобиль):
масса транспортного средства (автомобиль) без груза (кг) **16,900 / 38,600** / мкс (кг/шт) **7,500** / масса прицепа (полуприцепа) **11,000**

расстояния между осями **8,20 - 1,20 - 9,30 - 1,36 - 1,36**

нагрузка на ось **5,900 - 6,450 - 6,450 - 6,600 - 6,600 - 6,600**

габариты транспортного средства (автомобиль): длина **28,00** м ширина **3,00** м высота **4,40** м

Разрешение выдано (наименование государственного органа) **Федеральное казначейское учреждение Федеральное управление автомобильных дорог**

И.д. директора (должность) **Е.В. Ставрина** (подпись)

« 20 » мая 2015 г.

Вид сопроводителя: **Без сопровождения**

Сторона условия движения (определяется исполняющим органом, владельцами автомобильных дорог, Госавтоинспекцией): **Проезд по искусственным сооружениям на км 781+900; км 1118+855 а/д М-7 «Волга», осуществлять в двояком порядке (с закрытием основного движения) строго по оси сооружения, с ограничением скорости 20 км/ч, без остановок и ускорений. Транспортное средство оборудовать знаками в соответствии с ПДД. Делать контрольные проверки на коммунальщиках, путепроводах и других искусственных сооружениях. Движение по мостам и путепроводам со скоростью не более 15 км/час. На участках проведения ремонтных работ движение осуществлять с обматыванием треногой арматурой тяжелых средств организации дорожного движения. ЗАПРЕЩАЕТСЯ отклоняться от установленного маршрута; превышать скорость движения; осуществлять движение во время гололеда, снегопада, а также при метеорологической видимости менее 100 метров; осуществлять движение по обочине, если такой порядок не определено условиями перевозки, осуществляемой вне специально обозначенных стоек, расположенных на проезжей части; продолжать перевозку при возникновении технической неисправности (с угрожающей безопасностью движения), а также при снижении груза либо ослаблении его крепления. В период временного ограничения движения (безопасной езды) при превышении установленных скоростей наРУШЕНИЕ ПДД/КТИТЕЛИТ/Л/А.**

Владельцы автомобильных дорог, сооружений, инженерных коммуникаций, органы управления Госавтоинспекции и другие организации, согласовавшие перевозку (указывается наименование согласующих организаций, исходящий номер и дата согласования):
ФКУ «Управтдор» ФКУ «Тюмень» №1010002827 от 23.04.2015
Управление автомобильных дорог Томской области №794700 от 27.04.2015
Управление автомобильных дорог Курганской области №4971 от 07.05.2015
ФКУ Упрдор «Южный Урал» №48.10039666 от 28.04.2015
Министерство дорожного хозяйства и транспорта Челябинской области №2654 от 30.04.2015
ФКУ Упрдор Самара-Уфа-Челябинск №УФ04039600 от 29.04.2015
ФКУ Упрдор «Волга» №ЧЭ20023236 от 28.04.2015
ФКУ «Волга-Восток» №ВМ30015508 от 23.04.2015
ФКУ Упрдор «Москва-Дмитров-Дубна» №МД01023434 от 24.04.2015
ФКУ «Центральноазиатские магистрали» №ЦАМ00563990 от 29.04.2015
ФКУ Упрдор «Россия» №Т000000017 от 28.04.2015

А. С основными положениями и требованиями законодательства Российской Федерации в области перевозки тяжеловесных (и/или) крупногабаритных грузов по дорогам Российской Федерации и настоящего специального разрешения ознакомлен: (подпись(и) транспортного средства) (Ф.И.О.) М.П.

Б. Транспортное средство с грузом/без груза соответствует требованиям законодательства Российской Федерации в области перевозки тяжеловесных (и/или) крупногабаритных грузов и параметрам, указанным в настоящем специальном разрешении.

Отметка владельца транспортного средства о поездке(поездках) транспортного средства (указывается дата начала каждой поездки, заверяется подписью ответственного лица и печатью организации):

Отметка грузоотправителя об отгрузке груза при международных и местных перевозках (указывается дата отгрузки, реквизиты грузоотправителя, заверяется подписью ответственного лица и печатью организации):

ООО «ШНАК», г. Москва, 2013 г., Ф. ак. № 15186

Рис. 1.3. Специальное разрешение на движение по автомобильным дорогам транспортного средства

В случае, если с колонной техники следует бензовоз или осуществляется перевозка других опасных грузов, основными регламентирующими документами являются Правила перевозки опасных грузов автомобильным транспортом, ГОСТ 19433-88 «Грузы опасные. Классификация и маркировка» и Европейское соглашение о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ– ADR) [5].

В случае, если при транспортировке техники будут пересекаться границы государств, необходимо пользоваться положениями Тамо-

женной конвенции 1975 г. о международной перевозке грузов на территории России (МДП-TIR) [6].

Технику на грузовых автомобилях, автомобильных прицепах и тралах (трейлерах) целесообразно перевозить при дальности транспортирования по автодорогам на расстояние до 1000 км, но как показывает практический опыт, это расстояние может быть гораздо больше.

При погрузке в кузов автомобиля и на трал машину устанавливают так, чтобы ее продольная ось совпадала с осью транспортного средства, и закрепляют так, чтобы предотвратить возможные продольные и поперечные перемещения. В зависимости от состояния дороги скорость транспортирования не должна превышать 60 км/ч. Тяжелые гусеничные машины (экскаваторы, бульдозеры, асфальтоукладчики и пр.) обычно транспортируют на большегрузных прицепах – тралах. Волокуши и сани применяют для транспортирования особо тяжелых машин в условиях бездорожья, болотистой местности, по льду и дорогам, занесенным снежным покровом.

При транспортировке по пересеченной местности маршрут следования выбирают на основании предварительного обследования труднопроходимых участков пути, в труднопроходимые участки трассы направляют бригаду обеспечения движения со всем необходимым оборудованием и средствами для производства работ по устранению имеющихся препятствий.

Путь следования машин не должен иметь ям, канав, выбоин и т. п., продольные уклоны не должны превышать 15%, а поперечные 17–20°. Прохождение косогоров с углом наклона более 10° разрешается только после проверки поперечной устойчивости машины и прицепа с грузом [1].

Прочность искусственных сооружений на пути следования проверяют расчетом и при необходимости принимают меры по их усилению укладкой дополнительной колеи и установкой прогонов и подведения опор.

При перевозке тяжелых машин на прицепе через мостовые сооружения буксирование допускается на длинном стальном канате, что облегчает нагрузку на мост.

При перевозке машин через ледяные переправы предварительно проверяют толщину льда. Безопасную толщину льда (в сантиметрах) при –10 °С оценивают по соотношению

$$h = k\sqrt{Q}, \quad (1.1)$$

где Q – вес машины, т; k – эмпирический коэффициент, для гусеничных машин $k = 9$ и для колесных машин $k = 11$ [1].

Усиление переправы намораживанием льда допускается на толщину, не превышающую половину ее первоначальной толщины. При недостаточной толщине льда усиливают несущую способность ледяной поверхности укладкой настилов и бревен.

Необходимую глубину промерзания болот рассчитывают по соотношению (1.1) с уменьшением коэффициента k в 1,6 раза для лесистых и моховых и в 2 раза для травяных болот [1].

При преодолении водных преград вброд на пути следования подготавливают специальные спуски и въезды, а при необходимости укрепляют и дно. Допускаемая глубина брода определяется конструктивными особенностями транспортируемой машины. Крутые подъемы более 20° преодолеваются машинами при помощи полиспастов и лебедок или буксированием машин тягачами на длинной гибкой сцепке.

Машины по заболоченной местности передвигаются при помощи устройства настилов из фашин, матов и щитов, длина которых должна в 2 раза превышать длину транспортируемых машин, а ширину выбирают такой, чтобы давление на грунт не превышало 0,03 МПа. При транспортировании экскаваторов на заболоченный грунт укладывают сплошные или гибкие колеиные покрытия.

Транспортировка по железным дорогам.

При расстоянии свыше 1000 км, особенно если осуществляется перебазировка большого количества техники и объектов строительной инфраструктуры (бытовые вагоны, генераторные станции и т.д.), целесообразно использование железнодорожного транспорта (рис. 1.4). Данная перевозка ограничивается правилами технической эксплуатации железных дорог, которые определяют допустимые весовые показатели и габаритные размеры перевозимых грузов [1, 7].

Основной документ – правила перевозок железнодорожным транспортом грузов в специализированных контейнерах, разработанные в соответствии со статьей 3 Федерального закона от 10 января 2003 г. № 18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации». Правила определяют порядок и условия перевозок железнодорожным транспортом грузов в специализированных контейнерах в прямом железнодорожном сообщении и непрямом между-

народном сообщении. негабаритным груз считается в том случае, если как минимум один его параметр превосходит установленные нормы: 14 м длина, 3,25 м ширина, 5,3 м высота (от уровня головки рельса) (рис. 1.5) [8]. Перевозка негабаритных грузов по железной дороге осуществляется грузовыми платформами.



Рис. 1.4. Транспортирование бульдозеров железнодорожным транспортом

Абсолютные ограничения на перевозки накладываются размерами тоннелей, шириной мостов и высотой линий электропередач, расположенных по маршруту следования. Кроме того, несущая способность мостов накладывает ограничения на предельную массу груза. Из этого следует, что при перевозке тяжеловесных или крупногабаритных грузов выбор маршрута имеет принципиальное значение – не всегда оптимальным будет самый короткий из возможных путей.

Перевозка крупногабаритных грузов по тому или иному участковому отрезку требует получения разрешений от организаций, ответственных за безопасность на данном участке. Согласованию подлежит не только маршрут, но и особые условия движения, в том числе скоростной режим, ведь динамика разгона и торможения вагона с нестандартным тяжеловесным грузом будет существенно отличаться от тех же параметров при обычных грузоперевозках.

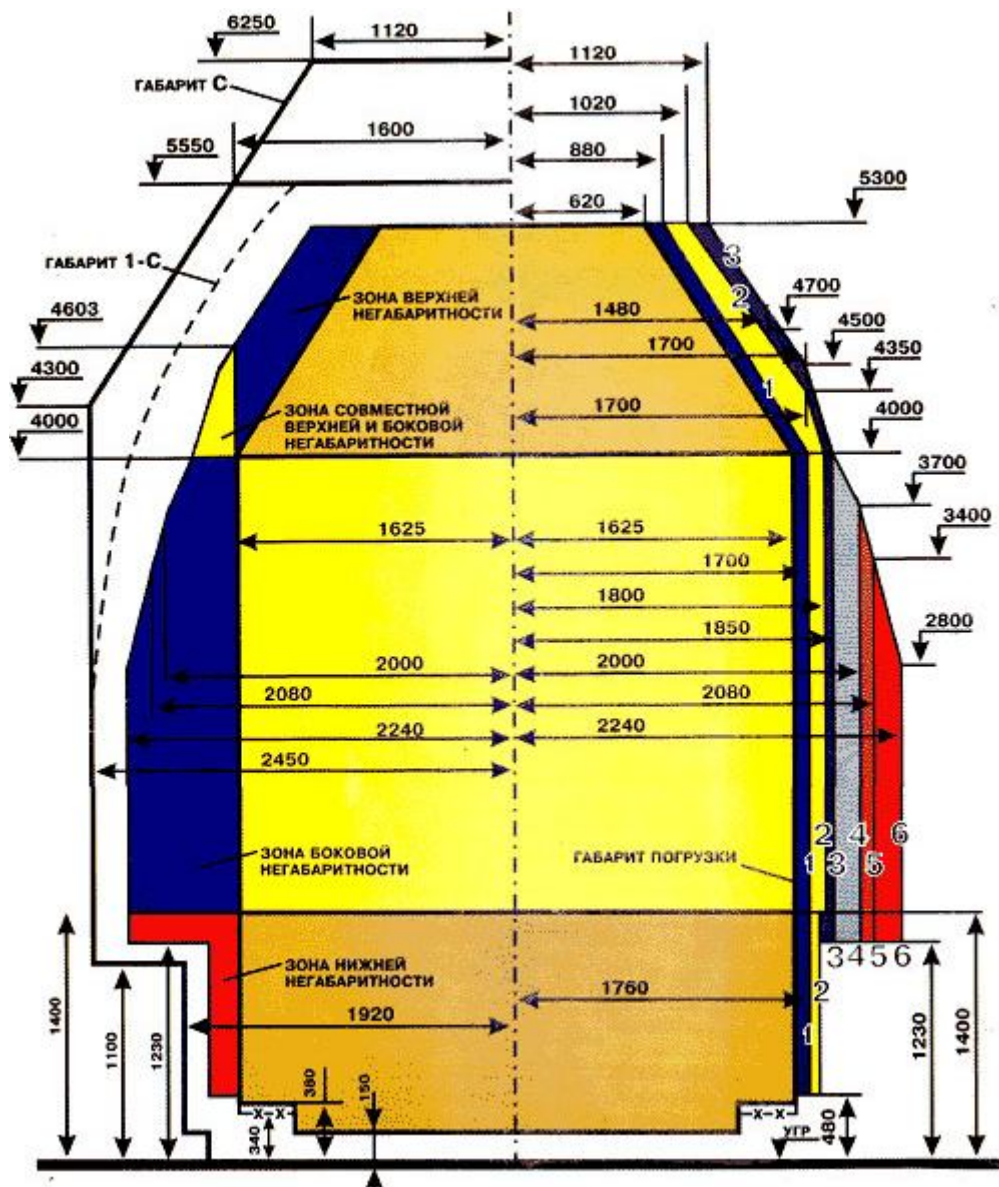


Рис. 1.5. Зона степени негабаритности грузов при транспортировании железнодорожным транспортом

Машины, предназначенные к транспортированию по железной дороге, подвергаются временной консервации и при необходимости частичной разборке для вписывания в заданные габариты погрузки (рис. 1.6). При отсутствии погрузочных площадок самоходные машины вкатывают на платформу по прочным наклонным въездам, сооружаемым с торцевой стороны платформы с уклоном не более 15° . При погрузке на платформу несамоходных машин с помощью лебедок и канатно-полиспастных систем угол наклона въезда не должен превышать 30° . Для предохранения от самоскатывания при

погрузке на платформу под ходовые устройства машин подкладывают клинья.



Рис. 1.6. Транспортирование техники железнодорожным транспортом с частичной разборкой

Машины на платформы устанавливают по специальным правилам, которые предусматривают надежное их закрепление при помощи упоров и колодок, препятствующих продольному и поперечному их перемещению. В некоторых случаях разрешают устанавливать колесные машины на сцепе из двух платформ. При этом задние колеса закрепляют неподвижно, а передним обеспечивается ограниченная подвижность в продольном направлении.

Машины с высоко расположенным центром масс (самоходные катки, автогрейдеры и др.) дополнительно закрепляют на платформе растяжками из мягкой отожженной стальной проволоки диаметром 3,5–6 мм. Для закрепления растяжек в железнодорожных платформах предусмотрены специальные кольца и гнезда в стойках бортовых устройств. При закреплении машин на платформе растяжки натягивают закручиванием. Необходимое число растяжек и число нитей в них устанавливают расчетом на прочность под действием возникающих сил инерции при торможении и движении платформы по криволинейным участкам пути. При ориентировочных расчетах про-

дольную силу инерции принимают 2,3–3,8 кН, а центробежную силу, действующую в поперечном направлении, 1,70 кН на 1 т массы машины [1, 8].

Дорожные машины водным и воздушным транспортом перевозят в том случае, когда это экономически оправдано или когда эти виды сообщений являются единственным средством доставки адресату.

1.3. Хранение машин

Сохранность дорожных машин в периоды между их производственной эксплуатацией обеспечивается проведением комплекса работ, состав и объем которых зависят от времени и условий хранения. В межсезонный период сохранность машин обеспечивается в специально отведенном и охраняемом месте. Кратковременное хранение на срок до 2–3 месяцев требует, в зависимости от сезонных и климатических условий, проведения работ, предохраняющих машины, аналогично принимаемым при долгосрочном хранении. Долгосрочное хранение (консервация) предусматривает комплекс мероприятий для защиты деталей машины от влияния атмосферы, света, микроорганизмов, нагрузки от собственной массы.

Хранение техники может осуществляться:

- в отапливаемых или неотапливаемых помещениях;
- под навесами;
- на открытых площадках.

Консервируемые колесные машины подвешивают на козлах, а гусеничные машины устанавливают на уложенные на землю бруски или доски. Все поддерживаемые тросами части машин опускают на козлы, а пружинные натяжные устройства разгружают. Ценные приборы, инструмент, часть электрооборудования (аккумуляторы, фары и т. п.) снимают и хранят отдельно. После окончания всех подготовительных работ пломбируют кабины и крышки топливных резервуаров.

Операции при постановке на хранение до 6 месяцев:

- полностью заправляют топливный бак;
- тщательно моют и протирают машину;
- выполняют очередное по план-графику ТО-1 или ТО-2;
- сливают жидкость из системы охлаждения двигателя;

- ослабляют натяжение ремней привода компрессора, генератора, вентилятора;
- ослабляют натяжение приводных ремней рабочего оборудования, разгружают канаты и полиспасты грузоподъемных машин;
- заряжают аккумуляторную батарею (далее подзаряжают ее раз в месяц весь период хранения);
- вывертывают свечи зажигания или форсунки, заливают в цилиндры по 50 г моторного масла, проворачивают несколько раз вручную коленчатый вал и устанавливают свечи на место;
- плотно закрывают и оборачивают полиэтиленовой пленкой или промасленной бумагой горловину топливного бака с крышкой, маслоналивной патрубком, входной патрубком воздушного фильтра впускного тракта, отверстие выходной трубы глушителя;
- у колёсной техники вывешивают колеса, разгружая подвеску специальными подставками;
- плотно закрывают двери, окна кабины и кузова, вентиляционные люки;
- наносят на хромированные и другие декоративные поверхности (молдинги, ручки дверей и т. п.) слой консервирующей смазки;
- покрывают защитной пастой наружную поверхность кузова машины.

Постановка на хранение более 6 месяцев.

В операции, выполняемые при постановке машины на хранение до 6 месяцев, вносят некоторые изменения и дополнения:

- сливают топливо из бака и всех агрегатов системы питания;
- сливают рабочую жидкость из гидросистемы;
- снимают с машины топливный бак, промывают и просушивают его, затем заливают в него 1–2 л моторного масла и устанавливают на место (горловину топливного бака с крышкой опечатывают, как и при консервации, на срок до 6 мес.);
- снимают аккумуляторную батарею и сдают для хранения на склад;
- у колёсной техники оборачивают шины светонепроницаемым материалом или снимают колеса с шинами и сдают для хранения на склад.

Операции по вводу техники в эксплуатацию после консервации:

- у колёсной техники накачивают шины до номинального давления и удаляют подставки;

- удаляют все средства защиты от коррозии кузова и декоративных поверхностей;
- моют машину, убирают кабину;
- заполняют рабочей жидкостью систему охлаждения двигателя, регулируют натяжение ремня вентилятора, компрессора, генератора и других приводных ремней;
- заполняют рабочей жидкостью гидросистему, регулируют натяжение канатов полиспастов рабочего оборудования и т.д.;
- промывают топливный бак и заправляют его;
- проверяют работу агрегатов, узлов и механизмов опробованием.

Консервационные покрытия машин, хранящихся в помещениях, проверяют каждые 5–6 месяцев, а каждые 10–12 месяцев проверяют работоспособность всей машины [1]. Сроки проверки машин, хранящихся на открытом воздухе, сокращаются в 2 раза. Сроки проведения проверок и их объем фиксируют в паспортах машин.

1.4. Системы эксплуатации техники

В настоящее время можно выделить три основные системы эксплуатации: система планово-предупредительных ремонтов и технических обслуживаний (ППР); система эксплуатации по фактической наработке; система по наработке на отказ [2]. Достаточно часто на предприятиях, эксплуатирующих специальную технику, используют комбинации из нескольких систем.

Планово-предупредительная система является руководящим техническим материалом при эксплуатации специальной техники. В основном её применение оправдано при плановой экономике и известных на долгое время объёмах работ. Она предусматривает ежемесячное техническое обслуживание (ЕО), плановое техническое обслуживание (ТО), выполняемое в плановом порядке через определенные наработки. Виды ТО различаются между собой периодичностью выполнения и составом работ, а следовательно, трудоемкостью и простоями. Каждому виду в зависимости от последовательности его проведения присваивают порядковый номер, начиная с первого: ТО-1, ТО-2 и т. д. В состав работ ТО, имеющего более высокий порядковый номер, входят работы каждого из предшествующих видов воздействий. Кроме того, проводят сезонное техническое обслуживание (СО),

выполняемое 2 раза в год при подготовке машины к использованию в периоды последующего летнего или зимнего сезона.

Техническое обслуживание является профилактическим мероприятием, проводимым принудительно в плановом порядке через определенную наработку техники.

Назначением ежедневного обслуживания является общий контроль технического состояния машины, направленный на обеспечение безопасности движения и поддержание работоспособности. Во время проведения ЕО производится заправка топливом, маслом и охлаждающей жидкостью.

Назначением ТО-1 и ТО-2 является снижение интенсивности изнашивания деталей, выявление неисправностей и предупреждение отказов агрегатов машины путем своевременного выполнения контрольно-диагностических, крепежных, смазочных и регулировочных работ, как правило, без разборки агрегатов и снятия с машины отдельных узлов.

Назначением СО является подготовка машин к эксплуатации в холодное и теплое время года, обычно оно приурочивается к очередному номерному ТО.

Планово-предупредительная система предусматривает также текущий (ТР) и капитальный (КР) ремонты. Текущий ремонт планируют (дорожные машины) или проводят по потребности (автомобили). В последнем случае устанавливают нормативы только по трудоемкости и простоям в удельном исчислении на единицу наработки [2].

Действующие нормативы по отрасли используют для расчета на плановый период коэффициентов, оценивающих простои (обычно коэффициента технического использования), плана работ по ТО и прогнозирования потребности в ремонтах для парка предприятия. Рассчитывают по списочному числу машин по каждой модели. Предварительно рассматривают нормативы по моделям парка. Если они одни и те же по нескольким моделям, то для расчета машины этих моделей объединяют в одну группу.

Техническое обслуживание представляет собой комплекс работ для поддержания исправности или только работоспособности машины при подготовке и использовании её по назначению, при хранении и транспортировании.

Комплекс работ должен быть минимальным и достаточным (оптимальным) для решения задач технического обслуживания (ТО), которыми являются:

- снижение скорости изнашивания элементов и машин в целом;
- обеспечение требуемого уровня вероятности безотказной работы в периоды между обслуживаниями;
- эффективное использование топлива, шин и других эксплуатационных материалов.

Виды технического обслуживания можно планировать, исходя из фактической наработки или по календарному времени с учётом времени нахождения машин в наряде.

1.5. Виды ремонта машин и агрегатов

Своевременный и качественный ремонт является необходимым условием содержания машин в постоянной технической исправности. Существует система ремонта машин, при которой средний и капитальный ремонт планируется согласно установленным нормам межремонтных пробегов (сроков), а фактическая потребность в ремонте устанавливается по результатам технического осмотра машин.

Межремонтным пробегом называется пробег, в течение которого новая или отремонтированная машина работает до очередного планового ремонта.

За срок службы машины, как правило, должны проходить один капитальный ремонт. Для машин, работающих в тяжелых условиях (с прицепом, на лесовывозках, в качестве тягачей), эксплуатация нормы межремонтного пробега сокращается.

Ремонт техники подразделяется на виды:

- а) для машин – текущий, средний, капитальный;
- б) агрегатов – текущий и капитальный.

Текущий ремонт машины (агрегата) заключается в устранении неисправностей путем регулировочных, крепежных работ, заменой неисправных деталей, узлов и механизмов. При текущем ремонте машины допускается замена отдельных агрегатов, в том числе одного основного.

Объем трудовых затрат, как правило, не должен превышать установленных нормативов для текущего ремонта.

Средний ремонт машины заключается в замене или капитальном ремонте не менее двух основных агрегатов, при этом проверяется техническое состояние остальных агрегатов, устраняются неисправности, производятся регулировочные, крепежные и другие работы.

Капитальный ремонт машины заключается в полной разборке, замене или капитальном ремонте всех основных агрегатов, приборов и отдельных деталей, сборке и испытании отремонтированной машины.

Капитальный ремонт агрегатов заключается в их полной разборке, замене или ремонте всех изношенных деталей, сборке и испытании отремонтированного агрегата.

На ремонтных предприятиях ремонт выполняют двумя методами – агрегатным или индивидуальным.

Агрегатный метод является основным методом ремонта. Он заключается в том, что на ремонтируемых машинах агрегаты, механизмы и приборы, требующие ремонта, заменяются новыми или отремонтированными, а снятые агрегаты, механизмы и приборы направляются в ремонт.

Индивидуальный метод заключается в том, что после ремонта агрегаты, приборы, механизмы и детали устанавливаются на ту же машину, с которой они были сняты, детали ремонтируемых агрегатов в этом случае тоже не обезличиваются.

Порядок сдачи машин в ремонт и получение их из ремонта.

Поступление машин в текущий ремонт не планируется. Текущий ремонт выполняется водителями машин и личным составом мастерских (пунктов технического обслуживания) по потребности в процессе технического обслуживания, на месте выхода машин из строя или в мастерских.

Необходимость отправки машин в средний или капитальный ремонт устанавливается специальной комиссией, назначенной приказом, после выработки машиной установленной нормы межремонтного пробега или в случае преждевременного выхода машины из строя в результате повреждений, аварий, неудовлетворительного технического обслуживания, недоброкачественного изготовления или ремонта. При техническом осмотре производится проверка паспорта, технического состояния машины и составляется акт технического состояния машины (агрегата) по установленной форме. Актом определяется вид необходимого ремонта, если машина не требует ремонта, то устанавливается дополнительная норма пробега до постановки ее в ремонт.

Машина отправляется в ремонт вместе с паспортом, в который должны быть внесены все данные по состоянию на последний день работы машины. Она должна быть полностью укомплектованной, вымытой и смазанной, запрещается перед отправкой машины в ремонт заменять агрегаты, шины и детали на списанные или пришед-

шие в негодное состояние; в акте технического состояния следует указывать номера покрышек и т.д.

1.6. Эксплуатация строительной и нефтегазовой техники в различных климатических и производственных условиях

При эксплуатации машины подвергаются внешним воздействиям, которые не являются постоянными при их работе в различных климатических зонах и с разной производственной интенсивностью нагрузок. В отдельных случаях внешние условия как климатические, так и производственные, могут значительно превышать уровень, установленный техническими условиями, что неизбежно приводит к внезапным отказам. Для исключения внезапных отказов необходимо учитывать влияние внешних неблагоприятных воздействий на машину при ее проектировании и эксплуатации.

Общее число мест для стоянки техники должно определяться на основании действующих строительных норм и правил (СНиП) с учетом климатических зон и перспектив развития предприятия. Технику нужно расставлять в зоне хранения так, чтобы к ней был свободный доступ, а в случае необходимости был обеспечен быстрый выезд из зоны.

Машины устанавливают на закрепленные за ними стоянки, обозначенные надписями на таблицах. Если крытые помещения для хранения техники отапливаются, то не требуется специального оборудования для разогрева двигателей в холодное время года. Если есть необходимость, то на открытых стоянках в зимнее время предпусковой подогрев двигателей выполняют с помощью индивидуальных или групповых средств облегчения пуска двигателей.

Индивидуальные предпусковые подогреватели монтируются на двигатели машин. Жидкостные подогреватели для карбюраторных и дизельных двигателей имеют различную теплопроизводительность в зависимости от рабочих объемов двигателей.

Групповые средства облегчения пуска двигателей позволяют выполнять следующие виды подогрева:

– *горячей водой*. Однако при данном виде подогрева высокий расход воды. Например, для подогрева двигателя при температуре от -0 до -20 °С расход воды достигает трех объемов системы охлаждения. Необходимо постоянно убирать со стоянки замерзшую слитую воду;

– *горячим воздухом* – для чего применяют стационарные и передвижные установки. Воздух в них нагревается с помощью водяных или факельных калориферов, работающих на жидком топливе. Установки с теплообменником (МП–44, –85, –300) дают чистый горячий воздух, а подающие горячую газоздушную смесь (ВП–300, ВПТ–400, ТПЖ–60, ОВЖГ–150) вызывают загазованность кабин, загрязнение двигателя и ухудшают условия работы рабочих;

– *газовыми горелками инфракрасного излучения* (стационарными или передвижными). Газовые горелки размещаются под машинами в районах расположения поддона двигателя, картера коробки передач и картера главной передачи. Стационарные установки этого типа используют для разогрева двигателя без слива воды. Недостаток данного вида – высокий расход газа;

– *электронагревательными элементами* – трубчатые электродные нагреватели устанавливают в объеме водяной рубашки двигателя для разогрева охлаждающей жидкости. Наружными электронагревателями обеспечивается разогрев масла в картере двигателя. Электроподогрев обеспечивает только местный разогрев (например, блок двигателя и масло в картере).

Наибольшие неблагоприятные воздействия на работоспособность машин оказывают следующие производственные, климатические и дорожно-грунтовые условия:

- низкие и высокие температуры окружающего воздуха;
- увеличенная влажность внешней среды, в которой эксплуатируется машина;
- запыленность и загрязненность воздуха;
- сильный ветер;
- осадки в виде дождя и снега;
- обледенение как дорожного покрытия, так и налипание мокрого снега (обледенение) рабочего оборудования, стекол кабины, других составных частей машины;
- туман;
- низкая несущая способность грунта (заболоченные участки местности);
- увлажненный грунт (размытые водой грунтовые дороги, увлажненный грунт пересеченной местности, увлажненный грунт в месте производства земляных работ);
- солнечная радиация;
- птицы, грызуны, насекомые, грибки и плесень;

- взрывоопасная и пожароопасная среда;
- плотный, каменистый грунт.

В целом работоспособность машины при ее эксплуатации зависит от большого числа случайных факторов. Соответственно условия эксплуатации машины должны учитываться на этапах ее проектирования, изготовления и использования. Проводимые технические мероприятия в целях обеспечения работоспособного состояния машины можно рассматривать в нескольких направлениях, например:

- повышение стойкости агрегатов и сборочных единиц машин к внешним воздействиям (создание надежных агрегатов и сборочных единиц за счет оптимальной конструкции и применения прочных и износостойких материалов);

- защита и изоляция машины от вредных воздействий (защита от вибрации, стойкая к влиянию агрессивной среды покраска, защита рабочих поверхностей от пыли и загрязнения, создание условий с постоянной температурой и влажностью, а также ограниченной запыленностью, защита от агрессивных сред);

- применение автоматизированных устройств и систем с целью повышения надежности машины (самонастраивающихся и саморегулирующихся систем, способных восстанавливать работоспособное состояние машины и выполнять профилактические воздействия).

В обозначении дорожной (землеройной) машины может указываться, в каком климатическом исполнении изготовлена машина, как это показано на рис. 1.7. В структуре индекса одноковшовых универсальных экскаваторов приводятся сокращения климатического исполнения ХЛ, Т, ТВ [1].

Как видно, при проектировании машины трудно одновременно учесть влияние всех факторов, поэтому их проектируют и производят на предприятиях, как правило, в отдельном исполнении для эксплуатации в конкретных условиях.

Для условий России наибольшее неблагоприятное влияние на работоспособность машин оказывают низкие температуры в зимнее время. Это объясняется рядом факторов при отрицательных температурах:

- снижение ударной вязкости металлов;
- потеря пластичности полимерных материалов;
- хрупкость резинотехнических изделий;
- снижение вязкости топливосмазочных материалов и рабочих масел гидравлических систем;

– ухудшение пусковых свойств двигателей внутреннего сгорания (ДВС), особенно дизельных двигателей;

– ухудшение условий труда машинистов и специалистов-ремонтников;

– ухудшение условий землеройных работ (разработки мерзлых грунтов), а также землеройно-транспортных и погрузочно-разгрузочных работ. Исполнение ХЛ предусматривает выполнение стыковых соединений при сварке с плавными переходами, не вызывающими концентрацию напряжений, применение сплавов и неметаллических материалов, сохраняющих эксплуатационные свойства при отрицательных температурах. Интенсивному коррозионному воздействию подвержены машины и их составные части, в том числе рабочее оборудование при работе на химических предприятиях или вблизи их, а также в условиях морского климата.

Обеспечение работоспособности и безопасного использования машины в условиях взрывоопасной и пожароопасной среды происходит путем исключения повышенного тепловыделения, возгорания и искрения. Так, например, температура нагрева наружных поверхностей машины в «пожарозащищенном» исполнении должна быть на 20 % ниже указанных температур самовоспламенения горючих смесей.

Наиболее распространенное изнашивание сопряжений и деталей машины – абразивное, которое обусловлено или повышенной запыленностью при производстве работ, или непосредственным взаимодействием деталей со свободными абразивными частицами. Основное направление обеспечения работоспособности машины в условиях повышенной запыленности воздуха (исключая рабочее оборудование, взаимодействующее с абразивной средой) – конструктивное исполнение сопряжений закрытого типа, применение эффективных фильтров и своевременное диагностирование с целью проверки герметичности впускной системы ДВС, а также своевременное ТО с заменой смазки и очисткой или заменой фильтрующих элементов.

Ветер ухудшает условия работы машины, особенно в зимнее время, а также при выполнении подъемно-транспортных работ. Он создает дополнительную динамическую нагрузку, которая может привести к аварийной ситуации, способствует повышению запыленности воздуха.

Проектирование и производство машины, которая существенно снизит затраты в процессе эксплуатации, оснащенной информационной системой о ее состоянии, способной локализовать отказы и вы-

1.7. Влияние различных условий эксплуатации на техническое состояние машины, ее агрегатов и узлов

В процессе эксплуатации машина теряет работоспособность:

– ухудшаются технические характеристики машины, ее агрегатов и систем:

– часть деталей сборочных единиц изнашивается до предельного состояния, в других деталях происходят необратимые процессы усталостного и коррозионного разрушения. Условия эксплуатации машины, ее составных частей характеризуются переменными режимами работы, климатическими и дорожно-грунтовыми условиями.

Режимы работы такого агрегата машины, как ДВС, характеризуются мощностью, часовым расходом топлива, экологическими параметрами. В зависимости от конструкции ДВС существуют оптимальные значения показателей мощности ДВС, частоты вращения его коленчатого вала, температуры масла и охлаждающей жидкости, давления масла в системе смазки, расхода топлива и других параметров в зависимости от режимов работы. Эти оптимальные значения характеризуют эффективное использование машины по назначению.

Существенно отличаются от оптимальных значений показатели ДВС при его пуске, прогреве и остановке, что приводит к увеличению скорости изнашивания его механизмов. В начале пуска величина износа значительно превышает значения на установившихся режимах работы. Это объясняется плохими условиями смазки поверхностей и образованием на стенках цилиндров конденсата сернистой и серной кислот.

Для уменьшения износа при пуске ДВС необходимо:

– перед пуском обеспечить подачу масла на трущиеся поверхности;

– при температурах воздуха ниже 5 °С (0 °С) пускать двигатель с предварительным разогревом либо применять масло с депрессорными или загущающими присадками;

– прогревать ДВС (ступенчатый прогрев) до оптимальной температуры охлаждающей жидкости и масла.

С увеличением нагрузочных режимов износ деталей механизмов увеличивается, одновременно повышается и эффективность использования машины.

Условия эксплуатации ДСМ предъявляют к их двигателям дополнительные требования, в том числе:

- приспособленность к длительной по времени работе при значительной величине внешней нагрузки;
- приспособленность к реализации показателей мощности в широком диапазоне изменения внешней нагрузки.

Контрольные вопросы

1. При какой максимальной конструктивной скорости транспортного средства не требуется оформление полиса обязательного страхования гражданской ответственности владельцев транспортных средств?
2. Какие способы транспортирования машин вы знаете?
3. На какой срок выписывается разрешение на перевозку крупногабаритного и (или) тяжеловесного груза по дорогам общего пользования Российской Федерации?
4. Какие операции необходимо осуществлять при постановке машины на хранение более 6 месяцев?
5. Какие системы эксплуатации техники вы знаете?

2. ДИАГНОСТИРОВАНИЕ МАШИН

2.1. Общие определения диагностирования машин

Диагностика – это отрасль науки, которая изучает различное состояние технического объекта, имеет методики определения состояния технического объекта в настоящий момент времени, оценку состояния в прошлом и будущем [1, 9].

С точки зрения диагностирования состояния технического объекта он может находиться в трёх состояниях:

– *исправное состояние* объекта, состояние когда он удовлетворяет всем требованиям технической документации;

– *работоспособное состояние* – это состояние объекта, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации;

– *неработоспособное состояние* (отказ) – такое состояние технического объекта, при котором он не может выполнять хотя бы одно функциональное назначение в пределах норм, допустимых технической документацией.

Основные задачи технической диагностики:

Первая задача: определение технического состояния, в результате чего состояние машин относят к одному из возможных технических состояний.

Вторая задача: поиск дефектов, нарушивших исправность и работоспособность машины или вызвавших неправильное её функционирование.

Третья задача диагностирования: сбор исходных данных для прогнозирования остаточного ресурса или оценки вероятности безотказной работы машины в межконтрольный период.

Если есть возможность следить за необратимыми изменениями физико-механических свойств элементов машин, то прогнозирование отказов ведут инструментальными методами, если такой возможности нет, – то статистическими методами.

На этапе разработки новых машин должна решаться важная для диагностирования задача обеспечения *контролепригодности* – взаимного согласования характеристик машин, методов диагностирования и характеристик средств диагностирования. Для этого при создании машин к ним должны предъявляться требования:

- приспособленности к рациональным методам и средствам диагностирования в зависимости от вида и назначения систем диагностирования (например, по ГОСТ 20417-75);
- к безопасному соединению устройств сопряжения со средствами диагностирования;
- к числу доступности устройств сопряжения, устанавливаемых исходя из необходимости обеспечить заданную трудоемкость подготовки машин к диагностированию с учетом минимального демонтажа машины;
- к легкоъемности и легкосоединяемости устройств в сопряжении.

2.2. Диагностические параметры

Техническое состояние машин и их сборочных единиц проявляется в различных формах через множество признаков. Признаки, характеризующие техническое состояние машин и имеющие количественное выражение, относятся к параметрам технического состояния. В их число входят:

- *структурные параметры*, характеризующие структуру машины, сборочной единицы или деталей и сопряжений (зазоры, натяги, несоосность, положения регулируемых элементов и т. д.);
- *функциональные параметры*, характеризующие функционирование машин в целом и их сборочных единиц (мощность, удельный расход энергии или топлива; давление жидкости в гидросистеме, продолжительность циклов или операций и т. д.);
- *сопутствующие параметры* процессов, сопровождающих работу машин или их сборочных единиц (параметры шума и вибраций, изменения температуры и т. п.).

Любой из параметров технического состояния, входящих в перечисленные виды, если его используют непосредственно для диагностирования, является диагностическим параметром.

По степени информации о состоянии объекта параметры могут быть прямыми и косвенными (косвенные дают менее точную картину состояния объекта), по степени локализации параметры – обобщёнными и частными. Первые характеризуют общее состояние сборочных единиц и машин в целом, вторые – состояние отдельных элементов.

Также можно выделить следующие типы диагностических параметров [9, 10]:

– *геометрические параметры* характеризуют геометрические размеры элементов диагностируемого объекта и связи между ними. Примерами геометрических диагностических параметров являются зазоры, несоосность, люфт и др.;

– *параметры рабочих процессов* характеризуют функционирование основных элементов объекта диагностирования. Эти параметры являются широкоинформационными и характеризуют общее состояние объекта. Примерами диагностических параметров рабочих процессов являются тормозной путь, мощность двигателя, состав отработавших газов и др.;

– *параметры сопутствующих процессов* являются косвенными показателями технического состояния объекта и отличаются невысокой точностью. Эти параметры также являются широкоинформационными. Примерами диагностических параметров сопутствующих процессов являются виброакустические параметры, нагрев механизма и др.

В зависимости от характера проявления изменения технического состояния, возможных последствий отказа и применяемой аппаратуры различают диагностические параметры, измеряемые дискретно и непрерывно. Параметры, измеряемые дискретно, оценивают с помощью переносных и стационарных средств (микрометров, газоанализаторов и др.), устанавливаемых на передвижных диагностических станциях или на стационарных постах. Параметры, измеряемые непрерывно, оценивают с помощью встроенных диагностических средств (датчиков, манометров и др.).

2.3. Диагностические критерии

Критерии – это мера, по которой оценивается состояние объекта.

Наиболее часто используются три основных типа критериев: технический, экономический и эколого-эргономический.

По техническому критерию оценка состояния объекта производится следующим образом: рассматривается объект, имеющий идеальную структуру. При этом все параметры объекта считаются номинальными, второе состояние объекта считают предельным, т.е. когда структура объекта приближается к такому пределу, после которого объект перестаёт функционировать, данное состояние называется пре-

дельным по техническому критерию, а параметры, ему соответствующие, предельными. Между номинальным и предельным, по техническому критерию, находится допустимое состояние.

Экономический критерий. По такому критерию номинальным состоянием объекта считается такое состояние, при котором экономические показатели объекта наиболее высоки. Предельным состоянием считается состояние, после наступления которого объект экономически не целесообразно использовать, несмотря на то, что он способен выполнять своё функциональное назначение. Диагностические параметры в этом случае называются предельными по экономическому критерию.

Эколого-эргономический критерий. Номинальными параметрами объекта считается критерий при таком состоянии, когда он наносит минимальный вред окружающей среде и оператору. Предельным состоянием считается состояние объекта, когда его воздействие на природу и оператора достигает предельно допустимых норм.

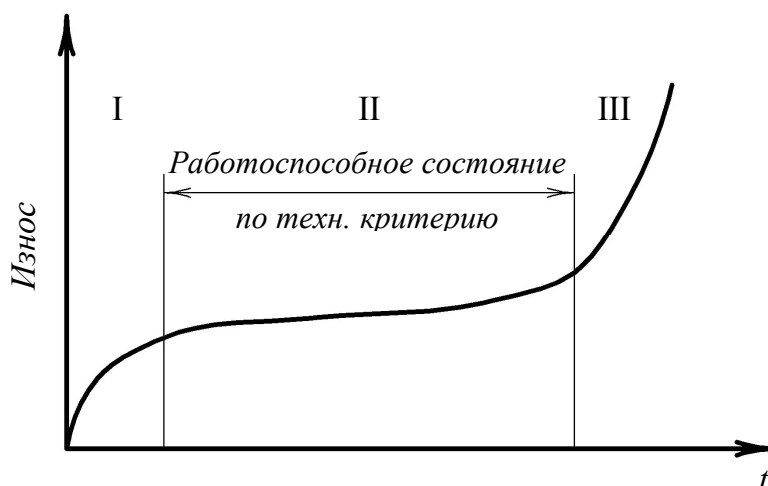


Рис. 2.1. График износа объекта

При выборе диагностического параметра необходимо также учитывать трудовые, материальные, энергетические затраты на измерение его в эксплуатации.

Для такой технико-экономической оценки диагностического параметра может быть использован показатель Э:

$$\mathcal{E} = \frac{I_i}{C_i},$$

где C_i – стоимость измерения диагностического параметра, включающая затраты на приобретение приборов и оборудования, стоимость их монтажа и эксплуатации.

2.4. Закономерности изменения параметров и общие методы их измерения

В процессе эксплуатации параметры технического состояния машин (а следовательно, и диагностические параметры) изменяются в соответствии с определенными закономерностями. Характер этих закономерностей зависит от эксплуатационных факторов: режимов работы механизмов, видов работ на объектах, климатических условий, грунтовых условий, индивидуальных особенностей оператора, принятой системы технического обслуживания и ремонтов, характера процессов изнашивания элементов и т. д. Закономерности изменения параметров технического состояния основных элементов машин, как правило, можно отнести к одному из трех типов (рис. 2.2).

Линейная зависимость (кривая 1) – например, изменение размеров фрикционных элементов; зависимость с убывающей скоростью изменения параметра (кривая 2) – например, изнашивание упругого сопряжения, усталостное и кавитационное изнашивание; зависимость с возрастающей скоростью изменения параметра (кривая 3) – например, коррозионное изнашивание.

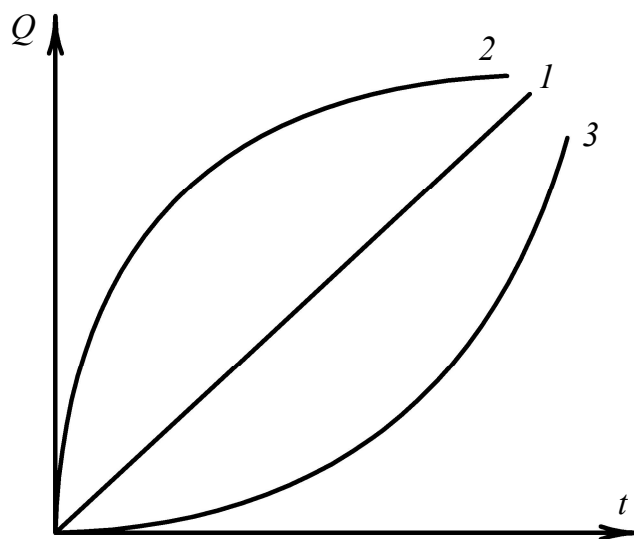


Рис. 2.2. Основные типы закономерностей изменения параметров технического состояния в процессе работы машины

В общем виде, с достаточной для решения практических задач точностью, кривые изменения параметров во времени можно описать выражением

$$Q = Vt^\alpha + Q_0,$$

где Q_0 – начальное значение параметра; V – коэффициент, характеризующий скорость изменения параметра, зависящий от условий эксплуатации и режимов работы элемента; α – показатель степени, зависящий от материала, конструкции и геометрических параметров элементов; при $\alpha=1$ изменение параметра подчиняется линейной зависимости, при $\alpha>1$ скорость изменения параметра прогрессивно возрастает, при $\alpha<1$ – убывает. По данным ГОСНИТИ, показатель степени α для различных элементов машины принимает следующие значения:

- угар картерного масла – 2,0;
- эффективная мощность двигателя – 0,8;
- износ накладок тормозов и дисков муфт сцепления – 1,0;
- износ зубьев шестерен механических передач – 1,5;
- зазор между клапаном и коромыслом механизма газораспределения – 1.

2.5. Способы измерения диагностических параметров

Существуют два основных метода измерения диагностических параметров: органолептический и приборный [1, 9, 11].

Органолептический. Базируется на том, что оценка состояния объекта осуществляется только с помощью органов чувств и приборов, усиливающих восприятие человека через эти органы, сравнение диагностируемых параметров оператором производится на субъективных данных и зависит от воли, состояния и квалификации оператора, т.е. не являются достаточно точными.

Приборный метод предусматривает для оценки состояния объекта использование приборов, с помощью которых оператор замеряет параметры объекта диагностирования, анализирует их значения, сравнивая с номинальными, предельными и допустимыми и синтезирует идею о состоянии объекта.

Все приборы для замера диагностических параметров можно условно разделить на приборы трёх поколений:

1. Приборы первого поколения производят фиксированное значение одного диагностического параметра (приборы для замера геометрических

размеров, температур, манометры, электрические приборы для замера отдельно взятых величин).

2. Приборы второго поколения, состоящие из нескольких датчиков (первичных преобразователей сигналов различной природы, обычно в электрический сигнал).

3. Приборы третьего поколения имеют в своём составе несколько датчиков, которые передают сигнал на усилитель, затем на аналого-цифровой преобразователь.

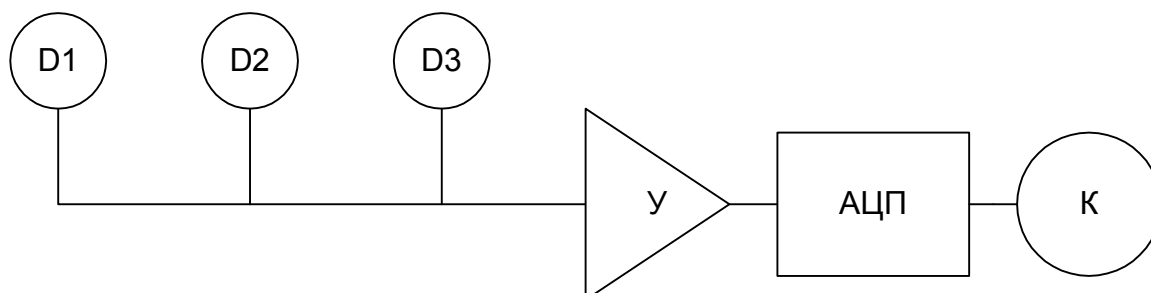


Рис. 2.3. Принципиальная схема прибора 3-го поколения: D1, D2, D3 – датчики; У – усилитель; АЦП – аналого-цифровой преобразователь; К – компьютер

2.6. Датчики

Большинство параметров, подлежащих измерению при диагностировании, являются неэлектрическими величинами и только часть их, связанная с электрическим приводом и электрооборудованием строительных машин, может быть непосредственно представлена электрическими сигналами.

К числу измеряемых при диагностировании неэлектрических величин относят: линейные и угловые перемещения, скорости и ускорения, силы и крутящие моменты, давления, расходы жидкостей и газов, температуры, а также временные интервалы.

При измерении неэлектрических величин одной из наиболее важных задач является преобразование всех измеряемых параметров в унифицированные электрические сигналы, обеспечивающие наибольшее удобство при последующих измерениях, обработке и представлении информации. Эту функцию осуществляют датчики. Датчики механических величин, как правило, содержат в себе ряд преобразователей – это упругие чувствительные элементы, рычаги, редукторы, турбинки, шатунно-кривошипные механизмы и другие устройства, сигналы которых воздействуют на электрические первичные преобразователи, также входящие в состав датчиков. Электрические

преобразователи механических величин и температуры делят на две группы: генераторные, для которых выходной величиной является ЭДС или ток, и параметрические с выходной величиной в виде изменения сопротивления, емкости или индуктивности.

Промежуточные преобразователи. К числу промежуточных преобразователей в первую очередь относят электрические схемы, в которые включают датчики. Все датчики с параметрическими первичными преобразователями включают в специальные измерительные схемы (потенциометрические, мостовые, автогенераторные), которые осуществляют преобразование изменений параметров первичного преобразователя в изменения параметров сигнала на выходе схемы. Первичные генераторные преобразователи некоторых типов (например, тахогенераторы) и преобразователи электрических величин (шунты, трансформаторы тока и напряжения) соединяют непосредственно, без промежуточного преобразования, с приборами.

подавляющее большинство первичных преобразователей отличаются низким уровнем выходных сигналов. С целью повышения уровня сигнала до величины, достаточной для нормального функционирования прибора, применяют масштабные промежуточные преобразователи-усилители.

Приборы. К приборам относят все средства измерений, предназначенные для получения информации об измеряемой величине, в форме, удобной для восприятия наблюдателем. Приборы по способам снятия отсчета делят на приборы с визуальным отсчетом и регистрирующие. Первые по типу индикации можно разделить на приборы с отсчетом по шкале (шкальные), с цифровым отсчетом (цифровые) и со знаковым представлением информации (дисплеи). Регистрирующие приборы в свою очередь делят на приборы с открытой формой записи информации (самописцы), осциллографы, цифropечатающие устройства и приборы со скрытой формой записи информации (магнитографы, перфораторы, дисковые накопители).

Преобразователи сопротивления изменяют активное сопротивление измерительной цепи под действием входной измеряемой механической величины. К числу преобразователей сопротивления, применяемых при диагностировании строительных машин, относятся контактные и потенциометрические преобразователи и тензорезисторы.

Главное преимущество контактных и потенциометрических преобразователей – возможность получения сравнительно с другими

типами преобразователей большой мощности на выходе, что позволяет использовать их с низкочувствительными приборами без промежуточного усиления, а контактные преобразователи и без промежуточного преобразования сигнала. Дискретность функции преобразования контактных преобразователей в ряде случаев является важным преимуществом (например, при использовании в допусковых приборах и сигнальных устройствах для получения информации о выходе объекта диагностирования на определенный режим).

Преимущества тензорезисторов как первичных преобразователей состоят в возможности измерения с высокой точностью относительных деформаций в широком диапазоне (10^{-7} – 10^{-2} относительных единиц) и в очень широком диапазоне частот (0–200 кГц). Тензорезисторы отличаются высокой стабильностью во времени и позволяют вести измерения в широком диапазоне температур.

Контактным и потенциометрическим преобразователям свойственны все недостатки устройств, содержащих замыкающиеся и скользящие контакты. Контактные преобразователи отличаются обычно наличием заметного гистерезиса.

К числу недостатков потенциометрических преобразователей относится сравнительно узкий диапазон измерений за счет большого значения нижнего предела измерений. Нижний предел измерения у этих преобразователей определяется конечностью размеров подвижного контакта, а также дискретностью многовитковых потенциометров. Необходимость применения для повышения чувствительности специальных рычажных передач, вносящих инерционность, а также «дребезг» контактов ограничивают частотный диапазон контактных и потенциометрических преобразователей десятками герц.

Проволочным и фольговым тензорезисторам свойственна довольно низкая чувствительность, обычно выходные сигналы измерительных схем тензорезисторов не превышают нескольких милливольт (при выходном сопротивлении 50–1000 Ом). Однако этот недостаток не является существенной помехой для их широкого применения, поскольку разработаны достаточно стабильные усилители и другие виды преобразователей малых сигналов.

Емкостные преобразователи представляют собой конденсаторы, у которых под действием измеряемой механической величины меняется один из параметров (площадь пластин, расстояние между ними или диэлектрическая проницаемость), определяющих их емкость. В соответствии с меняющимися параметрами емкостные пре-

образователи могут быть с изменением действующей площади пластин, с меняющейся толщиной диэлектрика и имеющие диэлектрики с меняющейся диэлектрической проницаемостью.

Преимущества емкостных преобразователей в том, что многие из них могут работать без механического соединения с объектом диагностирования. Емкостные преобразователи отличаются очень малым обратным воздействием на объект диагностирования (за счет электростатических сил притяжения). Емкостные преобразователи могут работать в широком диапазоне температур и помехоустойчивы в отношении сильных магнитных полей. Емкостные преобразователи механических величин обычно просты по конструкции.

К числу недостатков емкостных преобразователей относится чрезвычайно большое значение выходного сопротивления при сравнительно небольших абсолютных значениях емкости, что предъявляет жесткие требования к изоляции электродов преобразователя, их экранировке, к изоляции и экранировке соединительных проводов. На погрешность емкостных преобразователей оказывают влияние изменения влажности и температуры окружающей среды, а также попадание между пластинами воды или масла.

Электромагнитные преобразователи основаны на изменении характеристики магнитной цепи преобразователя (магнитного сопротивления, магнитной проницаемости, магнитного потока) под действием измеряемой механической величины. К числу электромагнитных преобразователей относят: индуктивные, трансформаторные, индукционные и магнитоупругие.

Преимущества. Практически все электромагнитные преобразователи отличаются высокой чувствительностью и возможностью рассеяния на преобразователе мощности, превышающей во много раз мощность, потребляемую магнитоэлектрическим прибором средней чувствительности, включенным на выходе преобразователя. Эта особенность позволяет непосредственно соединять датчики на основе электромагнитных преобразователей с относительно низкочувствительными измерительными приборами.

Индукционные преобразователи относятся к генераторным и работают без источников питания, а выходной сигнал их обычно достаточен для работы без согласующих усилителей с серийными аналоговыми и цифровыми частотомерами.

Магнитоупругие преобразователи отличаются простотой конструкции, большой механической прочностью и жесткостью, возможностью ра-

боты в тяжелых эксплуатационных условиях. Некоторые типы магнитоупругих и индуктивных преобразователей могут работать при питании напряжением сетевой частоты 50 Гц, что не требует применения в измерительных схемах специальных генераторов.

Недостатки. К числу недостатков электромагнитных преобразователей относится малая помехоустойчивость в отношении магнитных помех, что часто исключает их применение при установке в непосредственной близости к электрическим машинам.

Индуктивные и индукционные преобразователи отличаются существенной для некоторых объектов диагностирования величиной обратной реакции на объект измерения.

Пьезоэлектрические преобразователи относятся к подгруппе генераторных и основаны на пьезоэлектрическом эффекте – способности некоторых материалов образовывать при механическом нагружении электрические заряды.

Преимущества. Пьезоэлектрические преобразователи характеризуются широким частотным диапазоном, большой вибрационной прочностью, малой чувствительностью к магнитным полям, простотой конструкции, пьезоэлектрические датчики отличаются малыми размерами и массой.

Недостатки. К числу недостатков пьезопреобразователей (так же, как и емкостных) относится большое внутреннее сопротивление, что предъявляет весьма жесткие требования к измерительным схемам и к измерительным кабелям (при отсутствии встроенных согласующих усилителей).

Фотоэлектрические преобразователи выполняют преобразование фотонов света в электрический сигнал и подразделяются на преобразователи с внешним и внутренним фотоэффектом. К преобразователям с внешним фотоэффектом относятся электровакуумные фотоэлементы и фотоумножители. К преобразователям с внутренним фотоэффектом, который свойствен полупроводникам, относятся фоторезисторы, преобразователи с обедненным слоем и фотоэлектромагнитные преобразователи.

Преимущества. На основе фотоэлектрических преобразователей выполняют датчики для измерения параметров движения с практически полным отсутствием тормозного действия. Фотоэлектрические преобразователи могут быть использованы в бесконтактных датчиках угловых и линейных перемещений, основанных на методе отражения, при установке которых достаточно только нанесение меток краской

или липкой лентой на перемещающихся объектах диагностирования. На фотоэлектрические преобразователи очень малое влияние оказывают электрические и магнитные поля, что делает их незаменимыми для установки вблизи электрических машин.

К числу недостатков фотоэлектрических преобразователей, применяемых для измерения параметров движения, относят необходимость в дополнительном источнике питания осветителя, необходимость защиты оптической системы от загрязнения, а иногда и от постороннего света. Фотоэлектрические преобразователи не могут быть использованы в тех случаях, когда по конструктивным соображениям сложно обеспечить прозрачность корпуса первичного преобразователя, например в турбинно-тахометрических расходомерах жидкости, рассчитанных на высокие давления.

Преобразователи температуры. Для измерения температур при диагностировании используют термопары, терморезисторы или полупроводниковые термисторы.

Преимущества. Термопары отличает простота конструкции, высокая надёжность, в ряде случаев низкая стоимость, локальность измерения и возможность размещения непосредственно в потоках жидкостей, находящихся под давлением. Проводниковые терморезисторы также сравнительно просты по конструкции и дешевы, для усиления сигналов от проводниковых терморезисторов могут быть использованы унифицированные с тензорезисторами промежуточные преобразователи, что важно при создании интегральных средств диагностирования.

Полупроводниковые термисторы позволяют создавать датчики температуры малых размеров со значительно более высокой чувствительностью, чем датчики на основе проводниковых терморезисторов. Средний диапазон рабочих температур термисторов в большинстве случаев удовлетворяет требованиям к средствам диагностирования всех сборочных единиц строительных машин.

Недостатки. Основной недостаток термопар состоит в необходимости (за исключением дифференциальных схем включения) термостатирования холодного спая или введения специальных схем термокомпенсации (при измерении абсолютных значений температур). Эта необходимость проявляется особенно в диапазоне температур, при которых работают большинство объектов диагностирования в строительных машинах. Термостатирование или компенсация в свою очередь заметно усложняет схемы приборов. Электродвижущая сила

(ЭДС), развиваемая термопарами, мала, поскольку большинство объектов диагностирования работает при температурах, не превышающих 100 °С. При измерениях малых перепадов температур ЭДС еще ниже, поэтому необходимо применять специальные чувствительные усилители постоянного тока или чувствительные электронные приборы.

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите основные задачи диагностики.
2. Какие эксплуатационные факторы влияют на закономерность изменения параметров технического состояния машин?
3. В чем суть органолептического метода измерения диагностических параметров?
4. Назовите преимущества контактных и потенциометрических преобразователей.
5. Какие недостатки емкостных преобразователей вы знаете?

3. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ

3.1. Средства измерения длины и перемещений

Прежде всего, следует выделить два метода замера физических величин (длины, расстояния, перемещения): бесконтактный и контактный [10, 11].

Бесконтактный метод замера длины (расстояния) предусматривает замер времени прохождения сигналов – электромагнитных, звуковых и т. д.

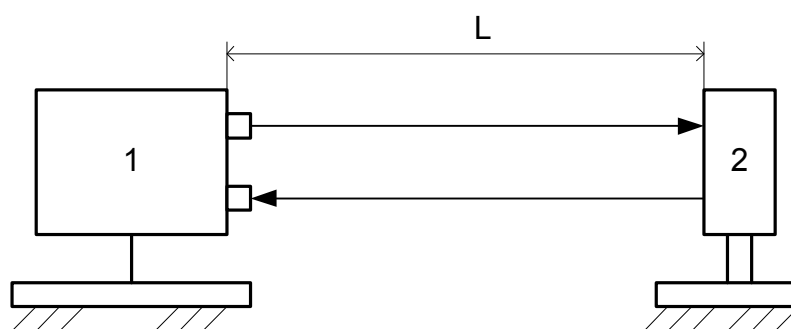


Рис. 3.1. Схема бесконтактного измерения расстояния:

1 – излучатель; 2 – отражатель

Расстояние измеряется по времени прохождения сигналов от излучателя до отражателя и от отражателя до излучателя. При этом скорость прохождения сигнала известна, т. е. $R = vt$. Такие приборы используют, когда необходимо измерить достаточно большое расстояние.

Ультразвуковой дальномер. Ультразвуковой импульс, испускаемый прибором, идет узким пучком и, как любой звук, отражается от препятствия, после чего улавливается специальным приемником.

К преимуществу можно отнести массу дальномера – аппарат компактен и легок в использовании.

К недостаткам можно отнести:

– измерение расстояний менее 300 м, иначе ультразвук просто рассеется;

– необходимость наличия массивной преграды на пути звука.

Ультразвуковые приборы все больше вытесняются *лазерными дальномерами*, принцип действия которых похож на предыдущий тип. Только для измерений используется не ультразвук, а лазерный луч,

который распространяется с гораздо большей скоростью и практически не рассеивается. Поэтому расстояние, которое можно измерить с помощью лазерного прибора, практически не ограничено в земных условиях, было бы лучу откуда отразиться.

Преимущества прибора:

- компактность;
- высочайшая точность, независимо от температуры и влажности окружающего воздуха;
- узкая направленность лазерного луча позволяет использовать прибор как линейку для проведения строительных и монтажных работ, что позволяет быстро выявлять и устранять любые дефекты.

Контактный метод, когда происходит соприкосновение средства измерения расстояния и объектов, между которыми оно измеряется.

Наиболее распространённый пример: измерение расстояния с помощью линеек и других средств.

При необходимости замера малых расстояний можно использовать следующие средства:

Потенциометрические датчики.

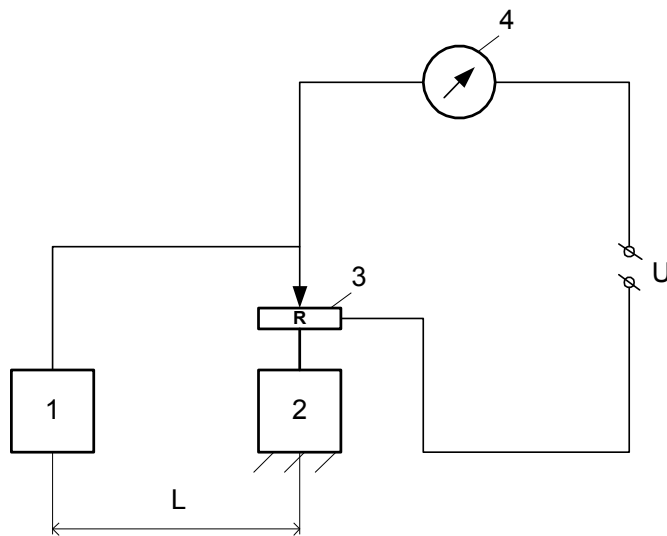


Рис. 3.2. Схема потенциометрического датчика для замера расстояний:

- 1, 2 – объекты, между которыми измеряется расстояние;
- 3 – реостат;
- 4 – показывающий прибор

Ёмкостный прибор для замера малых перемещений.

В основе работы датчиков данного типа лежит взаимосвязь ёмкости конденсатора с его геометрической конфигурацией. В простейшем случае речь идёт об изменении расстояния между пластинами

вследствие внешнего физического воздействия (рис. 3.3). Поскольку ёмкость конденсатора изменяется обратно пропорционально величине зазора между пластинами, определение ёмкости при прочих известных параметрах позволяет судить о расстоянии между пластинами. Изменение ёмкости можно зафиксировать различными способами (например, измеряя его импеданс), однако в любом случае конденсатор необходимо включить в электрическую цепь.

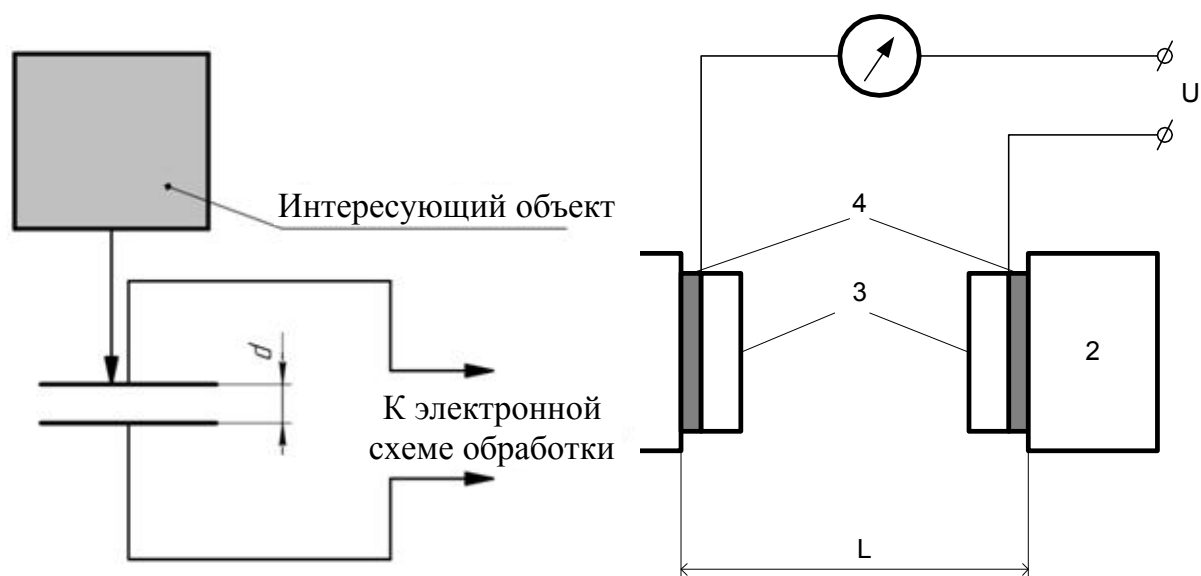


Рис. 3.3. Емкостный датчик линейного перемещения с изменяющейся величиной зазора: 1, 2 – объекты, между которыми измеряется расстояние; 3 – обкладки конденсатора; 4 – изолирующие прокладки

В данном случае, если изменяется расстояние между объектами, изменяется ёмкость конденсатора, а значит, меняется параметр цепи, отслеживая который с помощью тарированного показывающего прибора можно оценить изменение расстояния между объектами.

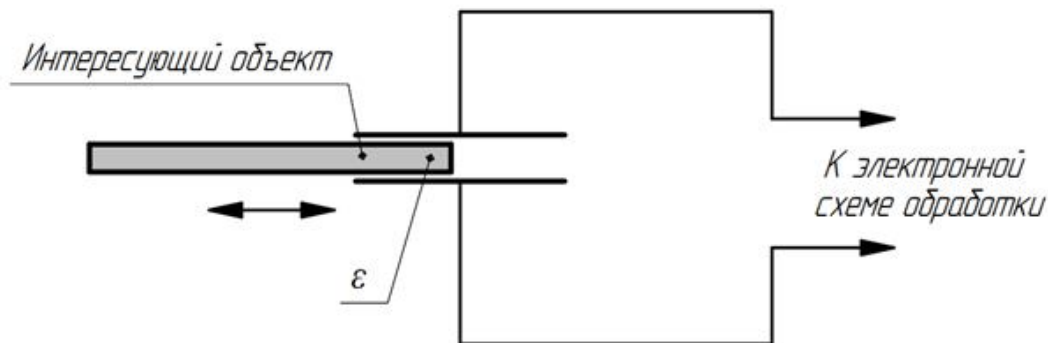


Рис. 3.4. Емкостный датчик линейного перемещения с подвижным диэлектриком

Индуктивные датчики перемещения.

С помощью ёмкостных и индукционных датчиков также можно измерять угловые перемещения.

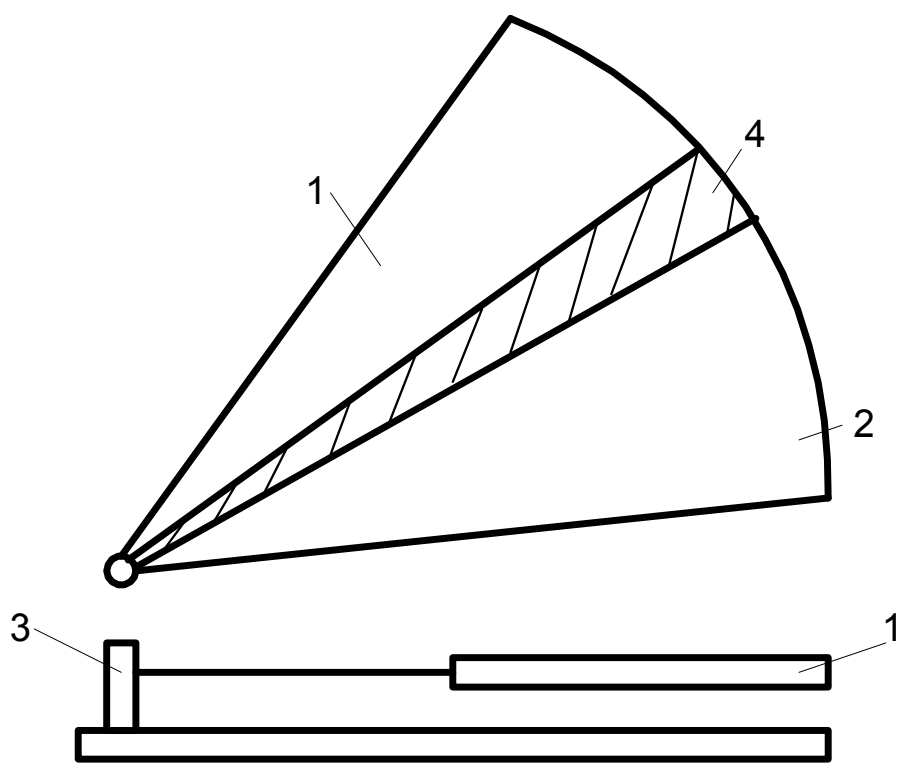


Рис. 3.5. Схема ёмкостного датчика для замера угловых перемещений:
1, 2 – неподвижная и подвижная обкладки конденсатора; 3 – ось подвижной обкладки; 4 – зона перекрытия обкладок

Измерение угла поворота между подвижной обкладкой 2 на оси 3 и неподвижной обкладкой 1 производится следующим образом: при повороте обкладки 2 меняется зона перекрытия 4, т.е. изменяется ёмкость конденсатора. Путём тарирования изменения величины электрической цепи мы можем определить угловое перемещение.

Индуктивный датчик перемещения. В одной из конфигураций датчика данного типа чувствительным элементом является трансформатор с подвижным сердечником. Перемещение внешнего объекта приводит к перемещению сердечника, что вызывает изменение потокосцепления между первичной и вторичной обмотками трансформатора (рис. 3.6). Поскольку амплитуда сигнала во вторичной обмотке зависит от потокосцепления, по величине амплитуды вторичной обмотки можно судить о положении сердечника, а значит, и о положении внешнего объекта.

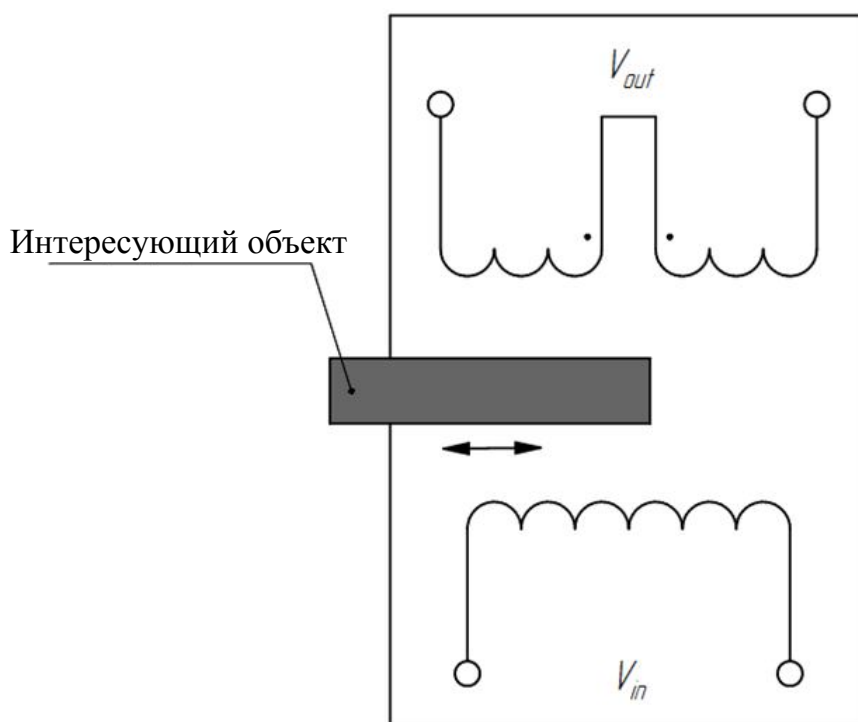


Рис. 3.6. Индуктивный датчик перемещения на трансформаторе

Тензодатчики (тензорезисторы). Применяются для измерения различных параметров.

Измерение силы. Тензорезистор, наклеенный на рабочее тело датчика, являющегося опорой для груза или прилагаемого усилия, может измерять силу, направленную на эту опору, или вес лежащего на ней груза.

Измерение перемещения. Тензорезистор, наклеенный на упругий элемент, позволяет определить изгибающее усилие на этот упругий элемент, таким образом, давая возможность измерить перемещение, вызвавшее это изгибающее усилие.

Измерение крутящего момента. Тензорезистор, наклеенный на карданный вал автомобильного двигателя или торсионный вал буровой машины, позволяет измерить силу трансмиссии, иными словами, крутящий момент данного вала.

Измерение давления. Тензорезистор, наклеенный на диафрагму (мембрану), позволяет определить давление воздуха или жидкости на эту диафрагму. Как правило, тензорезистор приклеивают на заднюю поверхность диафрагмы, чтобы избежать его повреждения за счет непосредственного давления воздуха или жидкости.

В большинстве схем тензодатчиков применяются активные тензорезисторы с компенсационными, которые в определенной темпера-

турной области обеспечивают функцию преобразования, не зависящую от изменения температуры внешней среды.

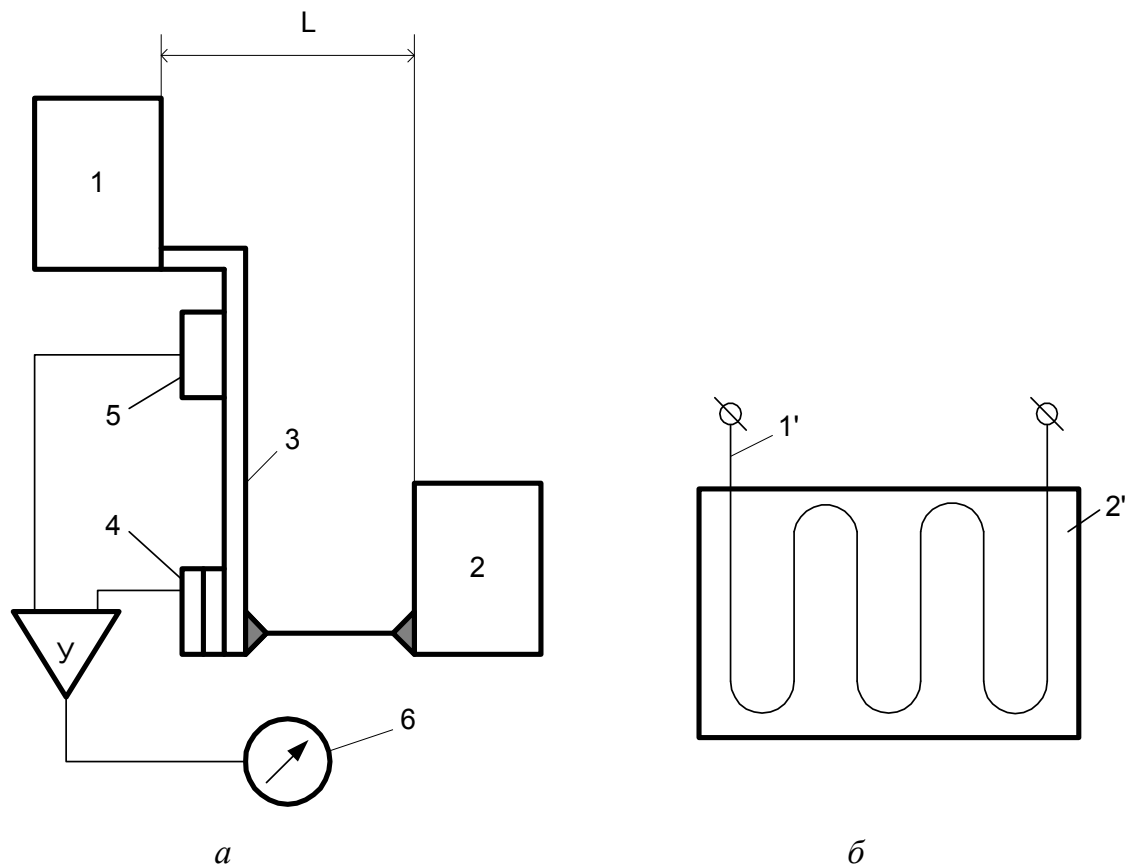


Рис. 3.7. Схема тензометрического датчика:

а – 1, 2 – объекты, между которыми измеряется расстояние; 3 – тензометрическая балка; 4 – тензодатчик; 5 – компенсационный датчик; 6 – показывающий прибор; *б* – 1 – проводник с повышенным сопротивлением; 2 – изолятор

На рис.3.7, *б* показано устройство самого тензометрического датчика, компенсационный датчик устроен аналогично тензодатчику.

Данный датчик измеряет деформацию балки 3, для этого на неё вдоль её оси наклеивают тензодатчик 4, поперёк оси – компенсационный датчик 5. Датчики последовательно включаются в полумост, вторая часть моста находится в усилителе. В нейтральном положении, когда балка 3 не напряжена, обе части моста балансируются. При изменении расстояния между объектами 1 и 2 происходит деформация балки и тензодатчика, что ведёт к изменению сопротивления в самом датчике и цепи – происходит разбалансировка моста, которая фиксируется показывающим прибором, по изменению параметра в цепи можно определить расстояние между объектами 1 и 2.

3.2. Средства измерения скорости и ускорения

Ускорение – динамическая характеристика объекта. Согласно второму закону Ньютона оно возникает только после приложения к объекту какой-либо силы. Перемещение объекта, его скорость и ускорение являются взаимосвязанными физическими величинами: скорость – это первая производная от перемещения, ускорение – его вторая производная. Однако взять производную сильно зашумленного сигнала практически невозможно, поскольку это приводит к возникновению очень больших погрешностей даже при использовании очень сложных схем обработки. Поэтому скорость и ускорение объектов не всегда можно определять по данным, полученным при помощи детекторов перемещений, и для этого необходимо применять специальные схемы. Как правило, в низкочастотной области (в полосе частот порядка 1 Гц) довольно хорошую точность измерений обеспечивают датчики положения и перемещения объектов. В зоне средних частот (менее 1 кГц) уже предпочтительнее использовать датчики скорости. Тогда как на высоких частотах, когда перемещения соизмеримы с уровнем шума, применяются датчики ускорения [11].

Акселерометры считаются устройствами с одной степенью свободы. В состав всех акселерометров входят: специальный элемент, называемый *инерционной массой*, движение которого отстает от движения корпуса, упругая поддерживающая система (пружина) и демпфирующее устройство (рис. 3.8). Независимо от конструкции датчика ускорений его основная цель заключается в детектировании перемещения этой массы относительно корпуса устройства и преобразовании его в пропорциональный электрический сигнал. Поэтому другой составной частью всех акселерометров является детектор перемещений, способный измерять микроскопические амплитуды вибрационных колебаний или линейных ускорений.

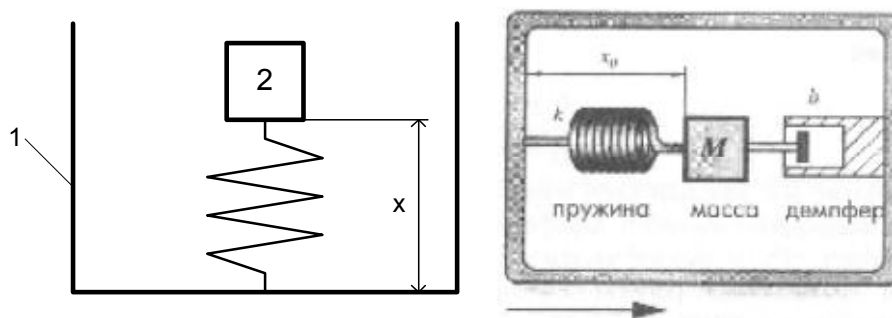


Рис. 3.8. Схема датчика ускорений:
1 – корпус; 2 – подпружиненная масса

Датчики ускорения обычно выполняются на принципе замера инерционных нагрузок, воздействующих на ускоряемый объект, т.е. применяется принцип Д'Аламбера.

$$m_2 \ddot{x} = F_u,$$

где m_2 – масса тела, \ddot{x} – ускорение тела, F_u – сила, приложенная к телу.

Датчик представляет собой корпус 1 , внутри которого находится подпружиненная масса 2 , при действии сил инерции на эту массу расстояние x между корпусом 1 и массой 2 изменяется. Зная жёсткость пружины и фиксируя это расстояние с помощью потенциометрических, тензометрических или других датчиков, можно определить ускорение, прилагаемое к объекту.

Наиболее компактные и быстродействующие датчики ускорения можно получить на базе пьезоэлемента (рис. 3.9).

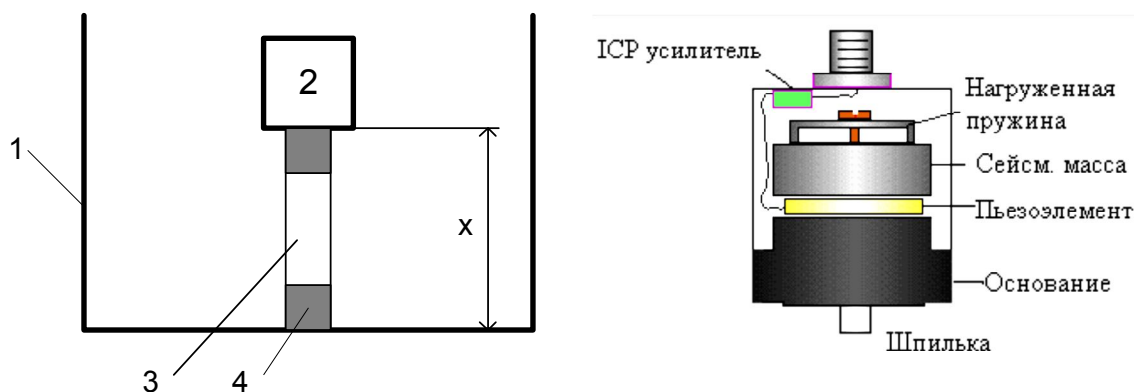


Рис. 3.9. Схема датчика ускорений на базе пьезоэлемента:

1 – корпус; 2 – подпружиненная масса; 3 – пьезоэлемент, выполняющий роль пружины и первичного преобразователя; 4 – обкладки для снятия электрического сигнала

Принцип действия: под действием силы инерции на массу 2 эта масса сжимает или растягивает пьезоэлемент 3 , на противоположных гранях пьезоэлемента 3 возникает разность потенциалов, пропорциональная его деформации, которая, в свою очередь, пропорциональна силе инерции, пропорциональной ускорению.

Датчики ускорения необходимы для ограничения динамических нагрузок, действующих на технический объект, и для разработки систем защиты человека от технического объекта, избыточных динамических нагрузок.

Датчики скорости могут выполняться на базе вышеперечисленных датчиков с помощью дополнительных систем, осуществляющих дифференцированные сигналы положения объекта в течение времени (рис. 3.10).

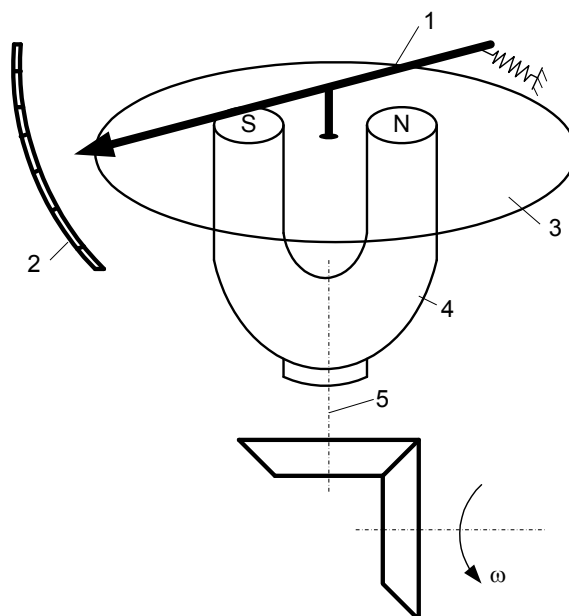


Рис. 3.10. Схема датчика угловой частоты вращения вала (принцип спидометра):
1 – стрелка; 2 – шкала; 3 – катушка из цветного металла; 4 – магнит; 5 – привод

Для того чтобы измерить угловую частоту вращения ω вала привода 5, вращают магнит 4. При вращении магнита 4 в катушку 3 наводится ЭДС, благодаря взаимодействию магнитных полей катушки и магнита происходит поворот катушки, которая сдерживается пружиной, чем больше угловая частота ω , тем больше интенсивность магнитных полей, а значит, и отклонение подпружиненной стрелки 1.

Для измерения угловой частоты также может применяться датчик Уатта (рис. 3.11).

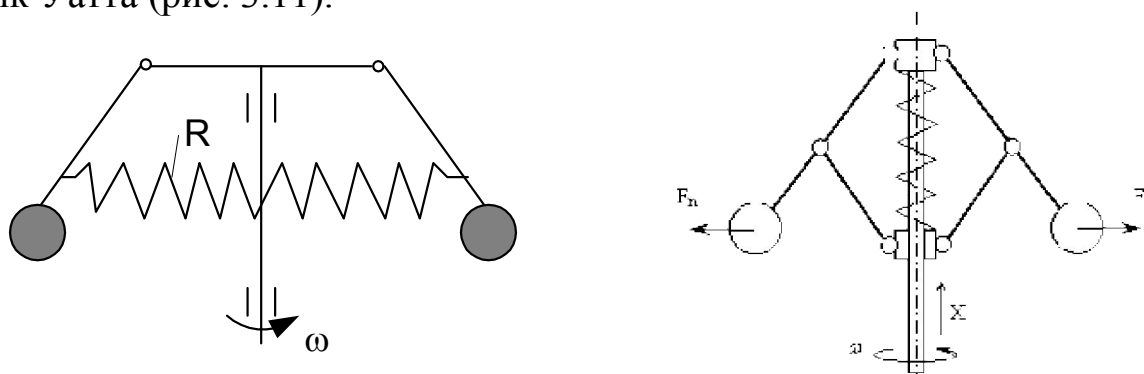


Рис. 3.11. Схема датчика угловой частоты вращения вала (принцип Уатта)

Индукционные датчики являются наиболее распространенным классом активных датчиков как по заложенным в них принципам действия, так и по назначению и конструктивному воплощению (рис. 3.12). Они могут быть постоянного и переменного тока (однофазные и многофазные) и обычно используются для контроля частоты вращения, углового ускорения, угла поворота, скорости и ускорения линейного перемещения. Эти датчики могут выдавать значительные выходные сигналы как по напряжению, так и по мощности, в широком диапазоне изменения контролируемой величины имеют практически линейную характеристику, хорошо противостоят кратковременным механическим и электрическим перегрузкам, просты в обращении.

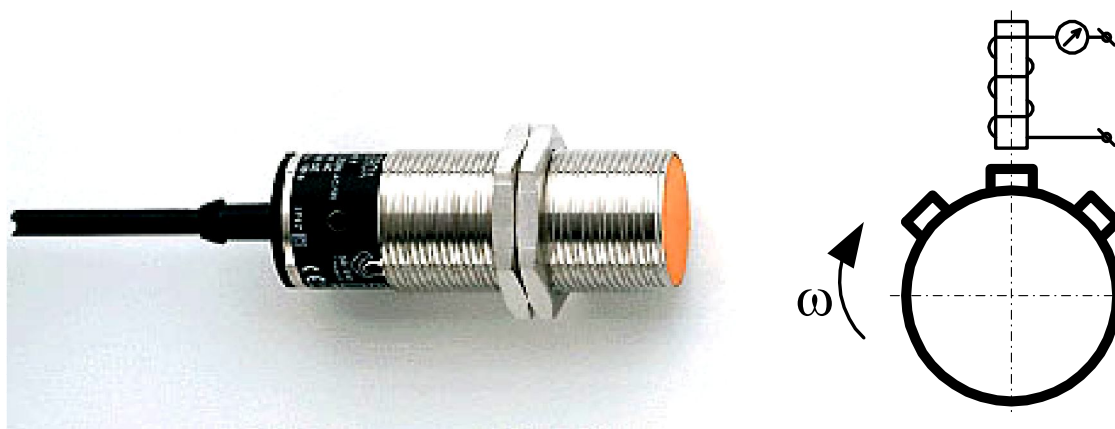


Рис. 3.12. Схема индукционного датчика положения (скорости)

Принцип действия. Магнитно-индукционный датчик состоит из катушки индуктивности, внутри которой находится сердечник из мягкой стали, соединенный с постоянным магнитом. Стальной сердечник расположен через небольшой воздушный зазор прямо над кромкой ферромагнитного зубчатого кольца (зубчатки), находящегося в магнитном поле постоянного магнита. Если прямо напротив датчика попадает зуб кольца, то он концентрирует магнитное поле и усиливает поток магнитной индукции в катушке, а если напротив датчика становится выемка зубчатки, то магнитный поток ослабевает. Такие два состояния датчика постоянно чередуются при вращении импульсной зубчатки вместе с валом, частота вращения которого, собственно говоря, и является измеряемой характеристикой. В катушке наводятся импульсы напряжения переменного тока, частота которых свидетельствует о частоте вращения вала.

3.3. Средства измерения давления жидкостей и газов

Датчики контроля давления применяются для измерения величины давления внутри жидкости или газа. В настоящее время наиболее широкое распространение получили манометры, изготовленные на базе трубки Бурдона (рис. 3.13) [1].

Принцип действия: при подаче давления в штуцер 5 оно попадает внутрь трубки 2, при этом на внешнюю поверхность трубки действует суммарная сила F_1 , а на внутреннюю – F_2 , т.к. внутренняя поверхность по площади меньше, чем внешняя, то $F_1 > F_2$. Под действием разности F_1 и F_2 трубка будет деформироваться и через рычажную систему будет перемещать стрелку 4 по шкале 1.

При включении стрелки в цепь можно преобразовать сигнал перемещения стрелки в сигнал изменения тока или напряжения в зависимости от положения стрелки. Подобного вида приборы называются реохордными (преобразующие механический в эл. сигнал).

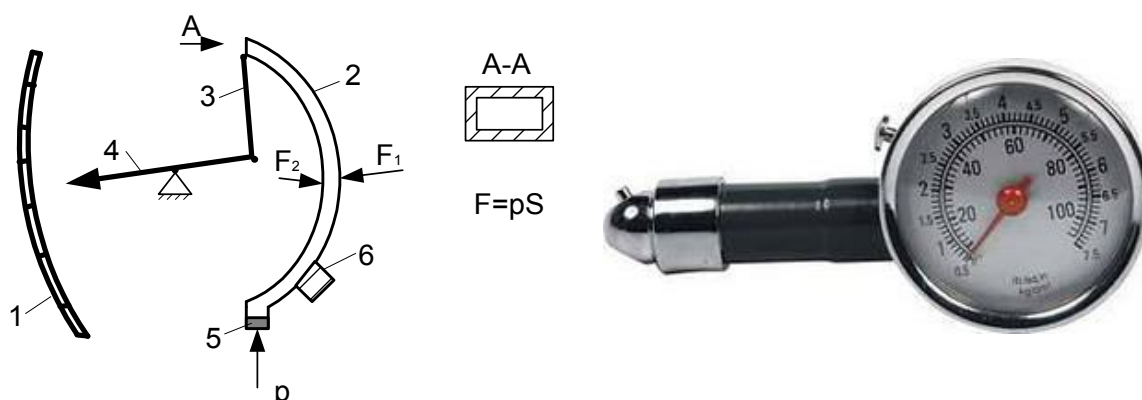


Рис. 3.13. Манометр на базе трубки Бурдона:

1 – шкала; 2 – трубка Бурдона (полая трубка из упругого материала, прямоугольного сечения, заглушенная с одной стороны); 3 – рычажная или другая система, соединяющая трубку Бурдона со стрелкой; 4 – стрелка; 5 – штуцер для подачи давления; 6 – жёсткое крепление трубки к корпусу

Преимуществами датчиков, созданных на базе трубки Бурдона, являются достаточная точность и относительная простота конструкции.

В качестве недостатков можно отметить невозможность отслеживания быстропротекающих процессов изменения давления (впрыск топлива форсункой, разгерметизация системы), в этом случае лучше применять электронные датчики (рис. 3.14), датчики на

пьезоэлементах (рис. 3.15), мембранного типа, преобразователи индукции, ёмкости, сопротивления.

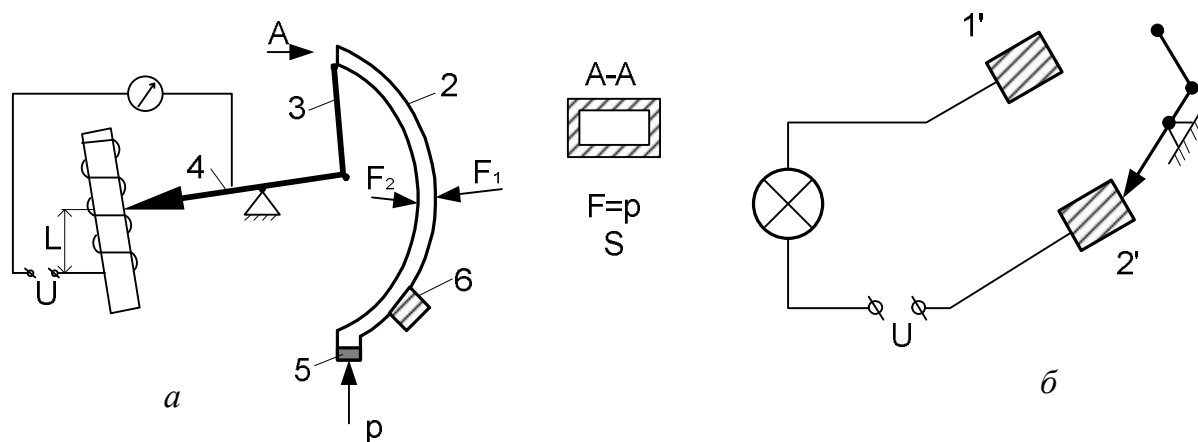


Рис. 3.14. Схема электронных датчиков:
a – электронный датчик давления; *б* – индикатор давления;
 1 – неподвижный контакт; 2 – подвижный контакт

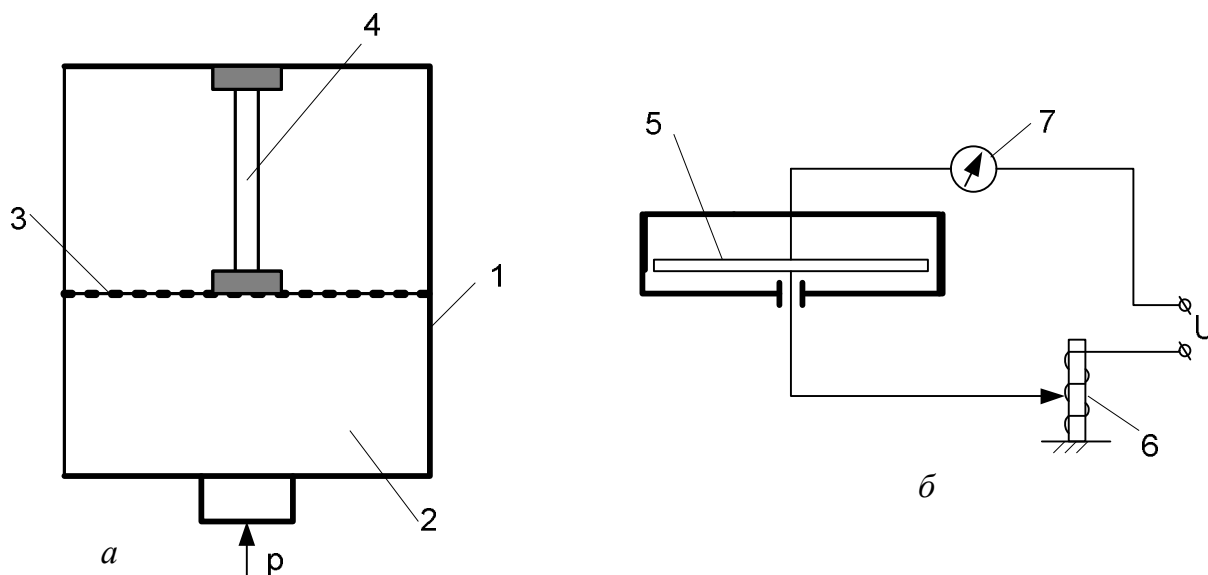


Рис. 3.15. Схема датчиков на пьезоэлементах:
a – датчик давления на базе пьезоэлемента; *б* – потенциметрический датчик
 давления; 1 – корпус; 2 – полость для подачи давления; 3 – мембрана; 4 – пьезо-
 элемент; 5 – диафрагма; 6 – реостат; 7 – показывающий прибор

Процедуру измерения давления возможно осуществлять индикаторами контроля давления типа Easy Control (рис. 3.16) [12]. Индикаторы устанавливаются вместо стандартных колпачков на колесе. При нормальном давлении индикатор показывает зеленую метку; ес-

ли давление упало на 0,3 бара, появляется желтая полоска, а при понижении больше чем на 0,7 бара – красная. Для каждой конкретной машины необходимо подбирать свой комплект колпачков – они бывают разной чувствительности и могут измерять давление от 1,8 до 3,0 бара.



Рис. 3.16. Колпачки-индикаторы давления

Преимущества электронных датчиков давления: высокое быстродействие, сравнительно высокая точность.

Недостатки: низкая надёжность из-за подвижных контактов.

3.4. Средства измерения расхода жидкостей и газов

Датчики или приборы, предназначенные для замера расхода жидкости или газа, называют расходомерами [1, 9, 11]. С помощью расходомеров косвенным образом можно оценить состояние цилиндропоршневой группы ДВС (по расходу картерных газов). С помощью расходомера и датчика температуры можно оценить эффективность работы нагревательных приборов.

Наибольшее распространение получили *турбинные расходомеры* (рис. 3.17, 3.18).

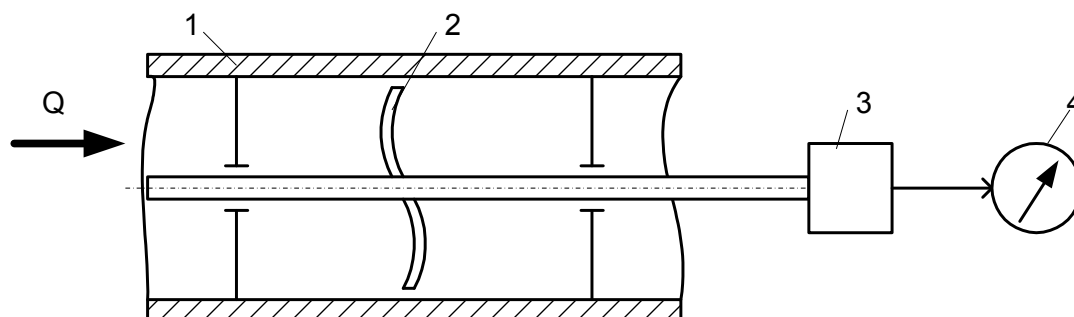


Рис. 3.17. Схема турбинного расходомера:

1 – корпус; 2 – турбина; 3 – первичный преобразователь; 4 –показывающий прибор

Принцип действия: поток жидкости или газа проходит через корпус датчика и вращает крыльчатку турбины. Производится измерение частоты вращения вала турбины с помощью первичного преобразователя \mathcal{Z} (генератор).

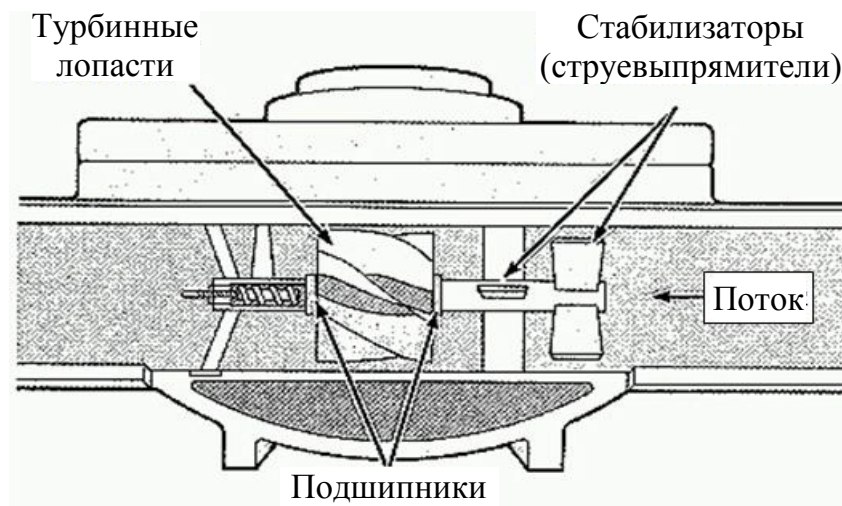


Рис. 3.18. Турбинный расходомер

Расходомеры-счетчики жидкости ультразвуковые многолучевые.

Принцип действия расходомеров основан на высокоточном измерении времени распространения импульса ультразвуковых колебаний, проходящих через жидкость в трубопроводе (рис. 3.19). При движении жидкости в трубопроводе происходит снос ультразвуковой волны, который приводит к изменению времени распространения ультразвукового сигнала: по потоку жидкости время прохождения уменьшается, а против потока возрастает. Измеренная разность времени прохождения ультразвукового сигнала по направлению потока и против пропорциональна скорости жидкости и, следовательно, объемному расходу. Если установить источник (А) и приёмник (В) ультразвука со смещением (рис. 3.19), то о скорости потока можно судить по изменению скорости распространения звуковой волны вдоль отрезка АВ.

Тепловые расходомеры. В основе метода лежит довольно простая идея: если локально изменять свойства вещества в потоке (например, температуру) и регистрировать эти изменения на некотором удалении от места воздействия, можно определить среднюю скорость перемещения вещества в потоке (рис. 3.20). В потоке установлена пара датчиков температуры (А и В) и один нагревательный элемент С,

причём расстояния $AC > BC$. Если вещество неподвижно, повышение температуры происходит локально за счёт теплопроводности, и датчик В нагревается быстрее, поскольку расположен ближе к нагревательному элементу. Если же поток придёт в движение, температура в области А упадёт до исходной температуры вещества в потоке, а температура в области В будет чуть выше исходной. Анализ данных с датчиков позволяет однозначно судить о скорости перемещения вещества в потоке.

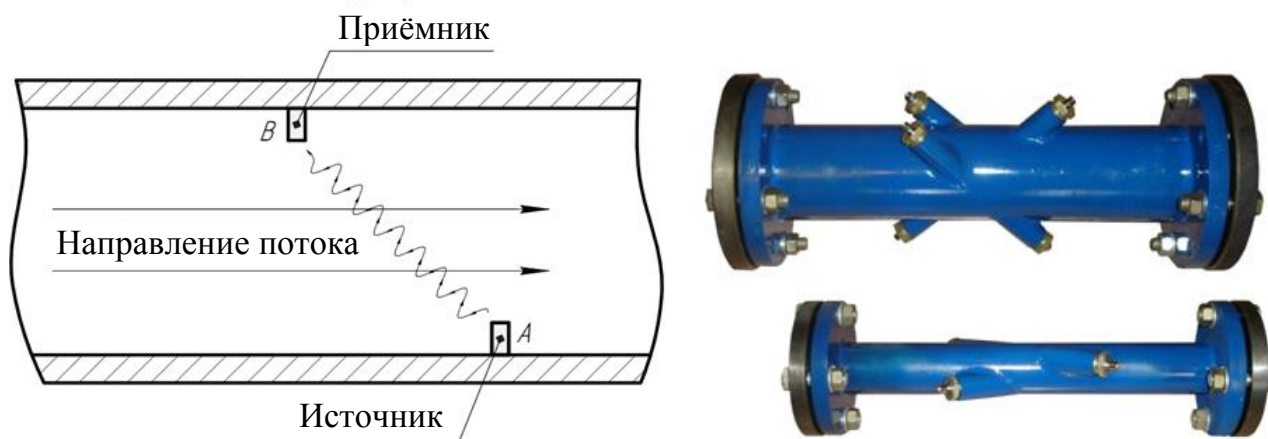


Рис. 3.19. Ультразвуковой расходомер

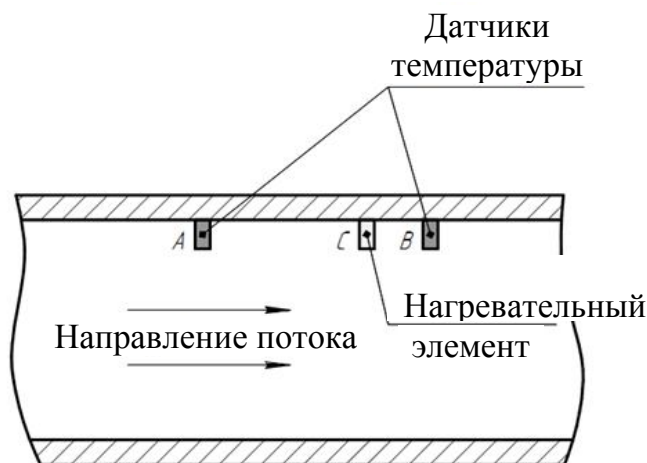


Рис. 3.20. Общая схема теплового расходомера

Подобным образом изменению могут быть подвергнуты и другие параметры вещества (например, его химический состав), однако в большинстве случаев это недопустимо, например, когда речь идёт о медицинском применении расходомеров.

Принцип действия *терморезисторного анемометра*: на входе устанавливается датчик температуры, измеряющий величину температуры входного потока (рис. 3.21). На выходе имеем активное сопротивление и по изменению величины температуры на выходе, измеряемой косвенно через величину силы тока в электрической цепи, можно с достаточной точностью определить расход жидкости или газа.

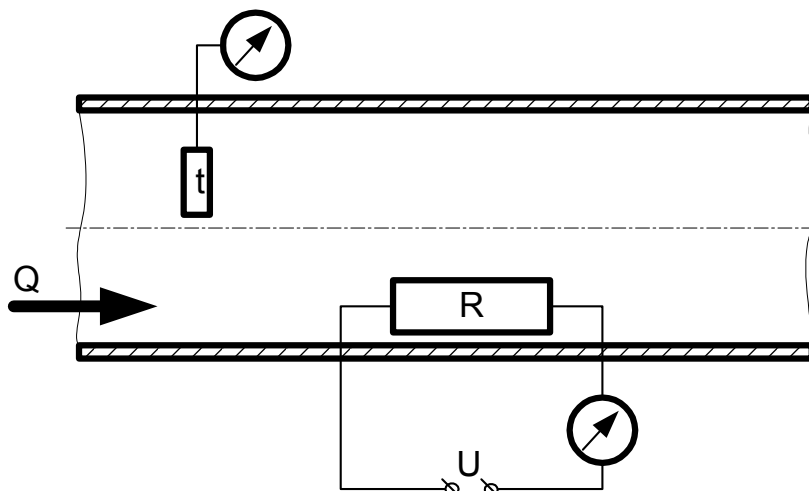


Рис. 3.21. Терморезисторный анемометр

Такие приборы интенсивно совершенствуются ввиду полного отсутствия механических частей, а значит, повышенной надёжности при достаточной точности измерений.

Электромагнитные расходомеры. Если жидкость проводит ток, её перемещение поперёк линий магнитного поля приведёт к возникновению ЭДС, пропорциональной скорости потока. На практике эта схема реализуется путём установки электромагнитов таким образом, чтобы линии магнитного потока были перпендикулярны потенциальному перемещению потока жидкости, а также установкой пары электродов, фиксирующих наведённую движением потока ЭДС (рис. 3.22).

Возможно несколько различных реализаций данного метода, однако изменения в целом касаются схемы обработки данных и не затрагивают принципиальные основы метода.

Вихревые расходомеры (расходомеры с мишенями). В расходомерах данного типа основным элементом является дискообразная или шарообразная мишень, укреплённая на эластичном тросе, один противоположный конец которого неподвижно закреплён (рис. 3.23). Поток жидкости или газа приводит к смещению мишени, что вызывает

деформацию троса, а установленные на нём тензодатчики регистрируют тип и степень деформации. Полученные данные позволяют судить о скорости потока вещества, а также о его направлении.

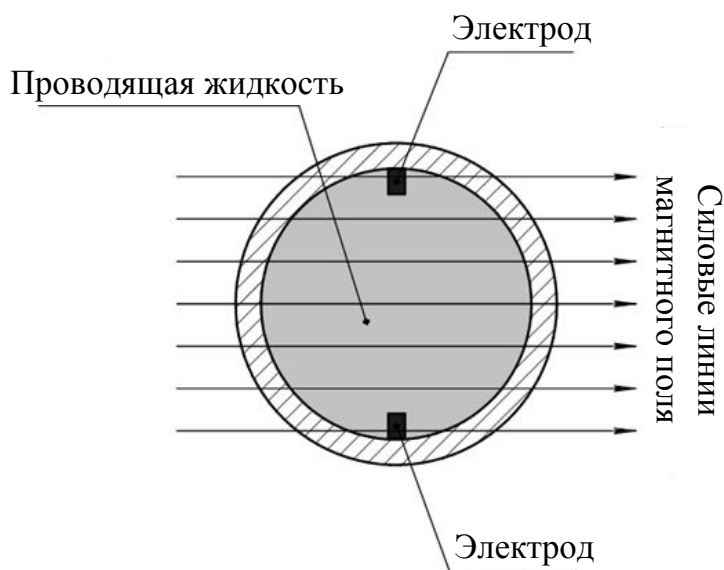


Рис. 3.22. Общая схема электромагнитного расходомера

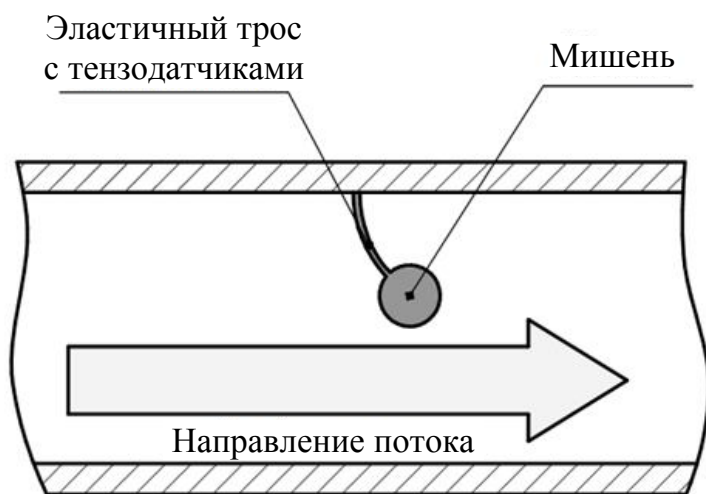


Рис. 3.23. Схема расположения ключевых элементов вихревого расходомера

Достоинством таких датчиков является возможность проведения измерений расхода и скорости потока в двух или даже в трёх различных направлениях. Для обеспечения подобной многозадачности необходимо обеспечить симметричность мишени для всех нужных направлений.

Кориолисовские расходомеры. Обычно кориолисовский расходомер состоит из трубки, которая подвергается вибрационному воздействию от внешнего генератора колебаний (рис. 3.24). Если трубка

пуста, колебания приведут к синхронному ускорению всех участков трубки. Если же по трубке перемещается жидкость, на неё из-за воздействия ускорения, вызванного колебательным воздействием, будет также действовать кориолисова сила, направленная в различные стороны для входного и выходного потоков жидкости, что приведёт к сдвигу фазы колебаний трубки. Величина фазового рассогласования зависит от массы жидкости, протекающей по трубке в единицу времени.

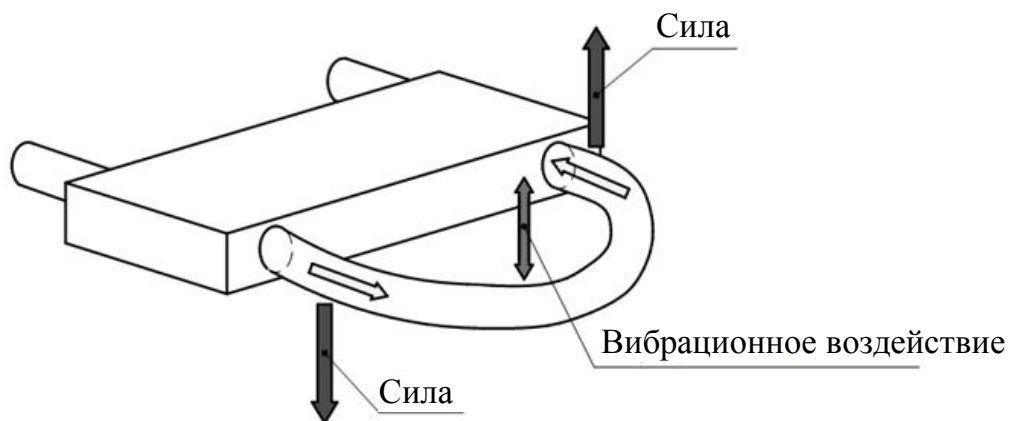


Рис. 3.24. Схема функционирования кориолисовского расходомера

Главным достоинством устройств данного типа является их универсальность – они могут применяться для определения скорости потока большого спектра веществ – как жидкостей, так и газов. Основным же недостатком кориолисовских расходомеров является их относительно высокая стоимость.

Детектор изменения скорости потока (датчики наличия расхода). Часто требуется определение не количественных, а качественных характеристик потока жидкости или газа. К примеру, от устройства необходимо получать сигнал только в случае, если скорость потока отклоняется от номинальной. В данном случае чаще всего используются пороговые расходомеры на основе пьезоэффекта. В потоке устанавливается пара пьезокристаллов, включенных в электрическую цепь навстречу друг другу. Один из кристаллов изолирован от внешнего воздействия, второй находится непосредственно в потоке вещества (рис. 3.25).

В случае, если кристаллы находятся в одинаковых условиях, заряды на них имеют равную величину и разные знаки, напряжение на резисторе R равно нулю. Если же скорость потока изменяется, возникает изменение заряда на неизолированном кристалле, баланс зарядов

нарушается, напряжение на резисторе изменяется – регистрация этого явления позволяет сделать вывод об отклонении скорости потока от номинального значения.

Приборы, в основу которых положен данный метод, как правило, могут быть использованы для анализа как жидких, так и газообразных сред.

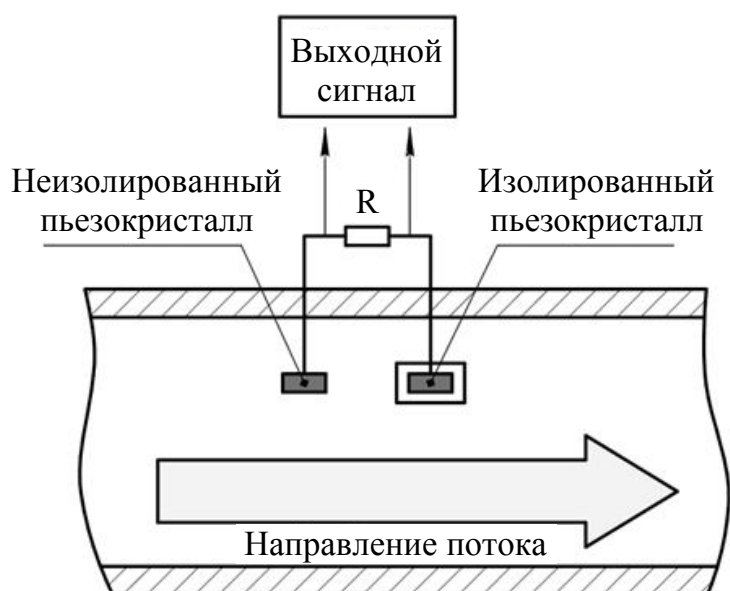


Рис. 3.25. Схема порогового расходомера на пьезокристаллах

Расходомеры по перепаду давления. Для понимания принципа функционирования данного типа расходомеров проще всего прибегнуть к аналогии с законом Ома. В рамках данной аналогии давление эквивалентно напряжению, а скорость потока эквивалентна силе тока. Если на пути прохождения потока установить препятствие (сопротивление), возникнет перепад давления до и после препятствия (падение напряжения на сопротивлении). Определение перепада давления можно осуществлять как непосредственно, измеряя давление жидкости до и после прохождения препятствия, так и с помощью дифференциального датчика давления, установленного на ответвлении от основного канала. Аналогично можно определить силу тока на участке цепи, зная падение напряжения на сопротивлении известного номинала.

Принцип действия дроссельного анемометра базируется на том, что для замера расхода жидкости или газа производится замер площади поперечного сечения трубопровода при фиксированных значениях разности давлений (рис. 3.26). Необходимость во втором манометре

метре МН2 очень часто отпадает, т. к. поток жидкости или газа выбрасывается в атмосферу. Данный прибор обычно стационарно устанавливается в гидросистему и поэтому редко используется.

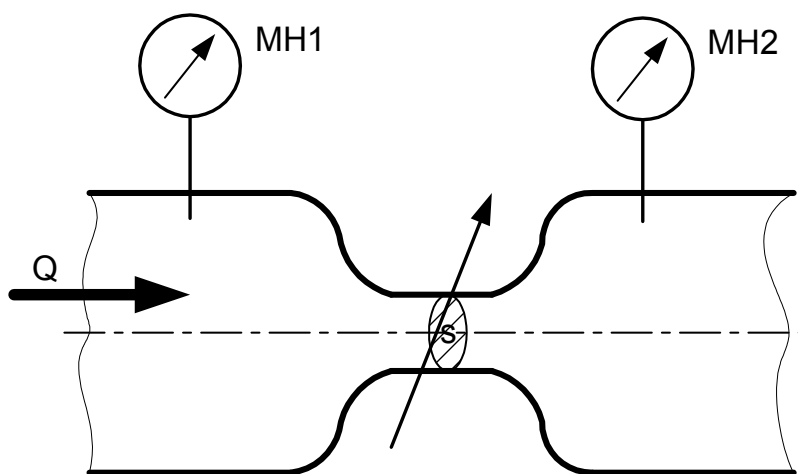


Рис. 3.26. Дроссельный анемометр

3.5. Средства измерения температур

Существует два основных метода замера температур: контактный и бесконтактный.

Для бесконтактного метода в основном применяются так называемые *пирометры*. Это устройства так же, как и тепловизор, определяют на расстоянии тепло, выделяемое объектом. Но, в отличие от тепловизора, замеряют температуру в определенной точке, а не на всей исследуемой поверхности. Существует несколько видов пирометров:

- инфракрасный;
- лазерный;
- оптический.

Замер температуры может производиться по оценке силы цвета пламени нагретой нихромовой нити. В основном используется для оценки температуры горения различных топлив.

Наиболее широкое распространение получил контактный метод. Здесь применяются различные средства измерения, в частности термометры расширения (жидкостные, биметаллические, монOMETрические). *Ртутные термометры* благодаря свойству ртути проводить электрический ток можно использовать как индикаторы для включения и выключения электрических цепей (рис. 3.27).

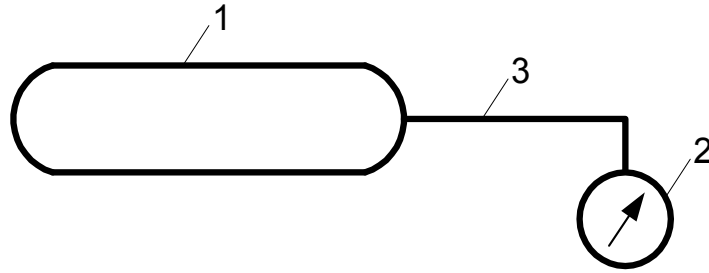


Рис. 3.27. Термометр расширения:

1 – баллон с жидкостью; 2 – манометр (другой показывающий прибор);
3 – трубопровод повышенной жёсткости

Биметаллические термометры применяются для измерения температуры среды любого вида (рис. 3.28).

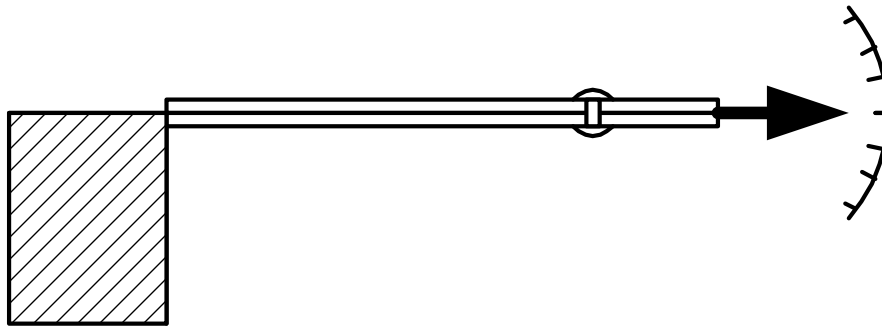


Рис. 3.28. Биметаллический термометр

Формула применяется для расчета длины материала в зависимости от его температуры:

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta T),$$

где l – длина материала после нагрева; l_0 – первоначальная длина материала; α – коэффициент линейного расширения; ΔT – изменение температуры.

Значения коэффициента линейного расширения α для металлов:

- алюминий... $25 \cdot 10^{-6}$ на $^{\circ}\text{C}$;
- медь..... $16,6 \cdot 10^{-6}$ на $^{\circ}\text{C}$;
- железо..... $12 \cdot 10^{-6}$ на $^{\circ}\text{C}$;
- олово..... $20 \cdot 10^{-6}$ на $^{\circ}\text{C}$;
- титан..... $8,5 \cdot 10^{-6}$ на $^{\circ}\text{C}$.

Например, если одинаково нагреть медную и железную пластины, то медная пластина станет длиннее, чем железная (рис.3.29).



Рис. 3.29. Изменение длины медной и железной пластинок

Если соединенные в одну пластину (бипластина) металлы нагреть или охладить, то бипластина изогнется (рис. 3.30), при этом замкнет (разомкнет) электрические контакты или переведет стрелку индикатора.

Диапазон работы биметаллических датчиков от -40 до $+550$ °С.

Принцип действия: основан на том, что две металлические пластины, имеющие разный коэффициент линейного расширения, соединены механическим способом и при изменении температуры упруго деформируются. Имея тарированную шкалу по степени их деформации, можно определить температуру.



Рис. 3.30. Изменение длины медной и железной пластинок

Для измерения температур также применяются термоэлектрические приборы, которые преобразуют электрический ток в зависимости от температуры, воздействующей на припой. Наибольшее распространение получили термопары и терморезисторы.

Термопара представляет собой устройство для измерения температуры, которое состоит из двух разнородных проводников, контактирующих друг с другом в нескольких или одной точке, которые иногда соединяют компенсационные провода (рис. 3.31). В тот момент, когда на одном из таких участков изменяется температура, создается определенное напряжение.

Термопары часто используются для контроля температур разнообразных сред, а также для конвертации температуры в энергию, в частности, в электрический ток.

Принцип действия: основан на том, что в месте сварки двух металлов с различной структурой кристаллической решётки возникает термоЭДС. Величина этой ЭДС фиксируется гальванометром в °С. В некоторых случаях при отсутствии высокочувствительных гальванометров термоЭДС должна усиливаться.

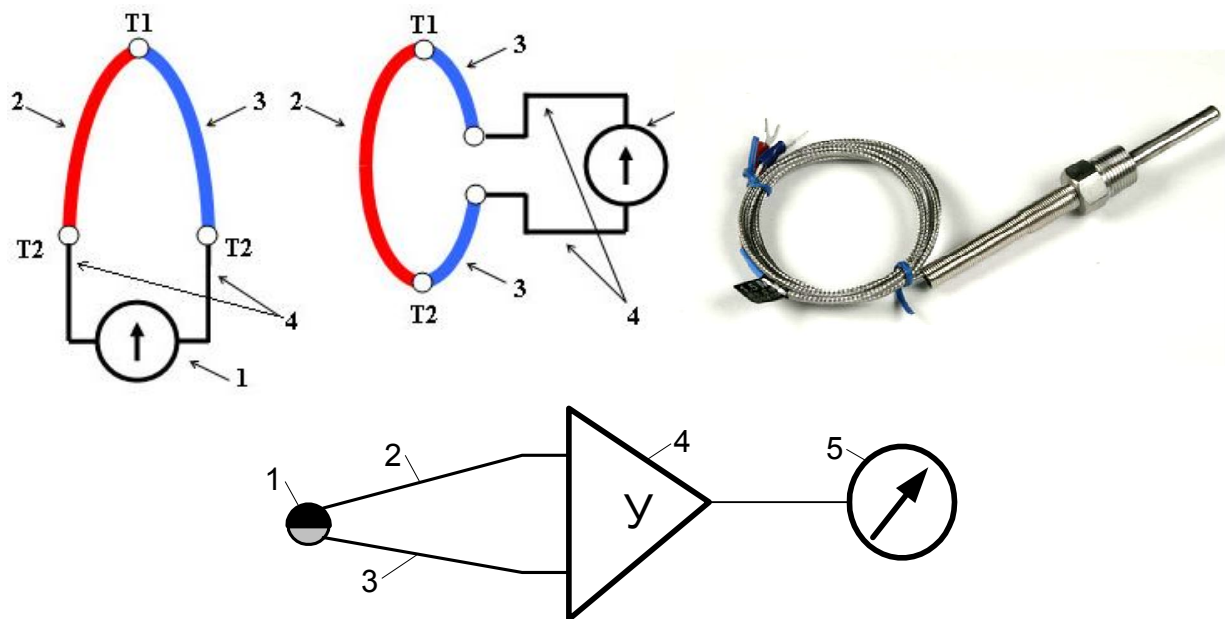


Рис. 3.31. Термометр термопара:

1 – место сварки; 2, 3 – провода с различной кристаллической решёткой; 4 – усилитель; 5 – показывающий прибор

Преимущества: высокая надёжность, простота в изготовлении, малые размеры.

Недостатки: малая величина ЭДС, невозможность использования типов других проводников, кроме имеющихся в термопаре, для передачи сигнала от места сварки до усилителя.

Терморезисторы – это резистор, сопротивление которого сильно зависит от температуры, т.е. это параметрические термометры, где измерение температуры ведётся по параметрам тока, протекающего через сопротивление (рис. 3.32).

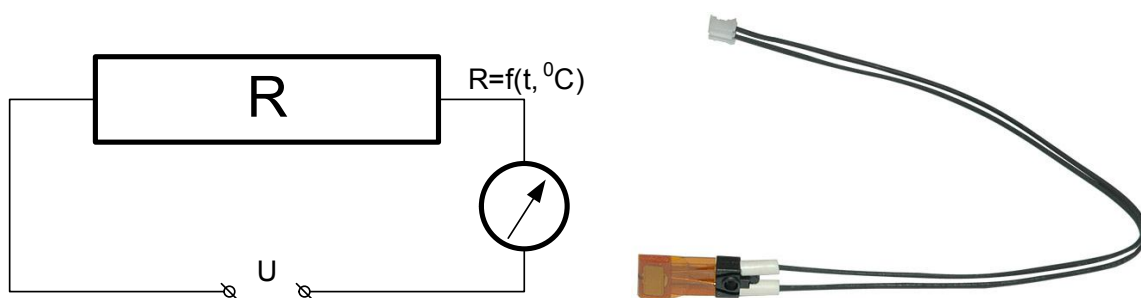


Рис. 3.32. Терморезистор

Для измерения температур могут применяться различные полупроводниковые приборы, принцип действия которых основан на том, что многие полупроводниковые материалы увеличивают свою проводимость при повышении температуры.

3.6. Средства измерения вязкости эксплуатационных материалов

Вискозиметры – это приборы для измерения внутреннего трения жидкостей и газов: так называется свойство текучих тел сопротивляться порционному делению. Иначе говоря, перемещению их частей относительно друг друга. Вязкость имеют и твердые тела, но она достаточно специфична и малозаметна. Существует два типа вязкости: динамическая (абсолютная) и кинематическая. Динамическая вязкость оценивается в паскаль–секундах или в пуазах (1 П – это когда жидкость сопротивляется с силой в 1 дину перемешиванию двух ее слоев площадью 1 см² со скоростью 1 см/с). Проще говоря, этот тип вязкости характеризует текучесть жидкости в реальных условиях. Кинематическая вязкость – это отношение динамической вязкости к плотности среды: она оценивается в стоксах, см²/с, или градусах энглера (градус ВУ) – это внесистемная единица условной вязкости, применяемая в нефтехимии. Кинематическая вязкость позволяет судить о текучести жидкости в различных условиях, то есть при различных температурах и давлении.

В приборах для определения вязкости жидких материалов используется их свойство изменять скорость движения объекта в среде в зависимости от её вязкости. Оценка вязкости может также производиться для пластичных и эластичных материалов, при этом могут применяться реологические модели (рис. 3.33).

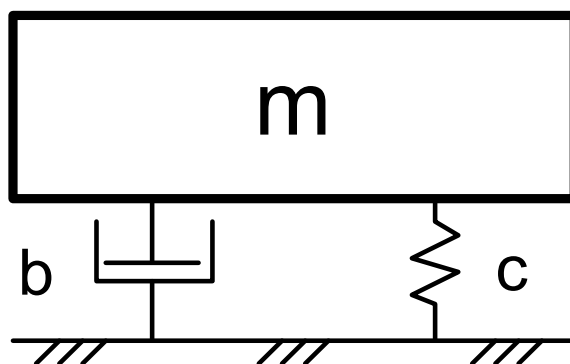


Рис. 3.33. Реологическая модель упруговязкой среды:
 m – перемещающаяся масса; b – коэффициент вязкого трения среды; c – жёсткость среды

Классический способ оценки вязкости – определение времени, за которое жидкость определенного объема под действием разницы

давлений (ну или только силы тяжести) вытечет через калиброванное отверстие (рис. 3.34). По такому принципу работают *капиллярные вискозиметры*. В основном этот вид вискозиметров связывает вязкость жидкости с ее расходом: то есть за сколько времени при постоянном давлении объем жидкости перетечет из резервуара через капилляр в приемник. Но иногда, скажем для исследования механических свойств упруговязких веществ, используется другой тип – постоянного расхода с переменным давлением: например, при исследовании текучести консистентных смазок.

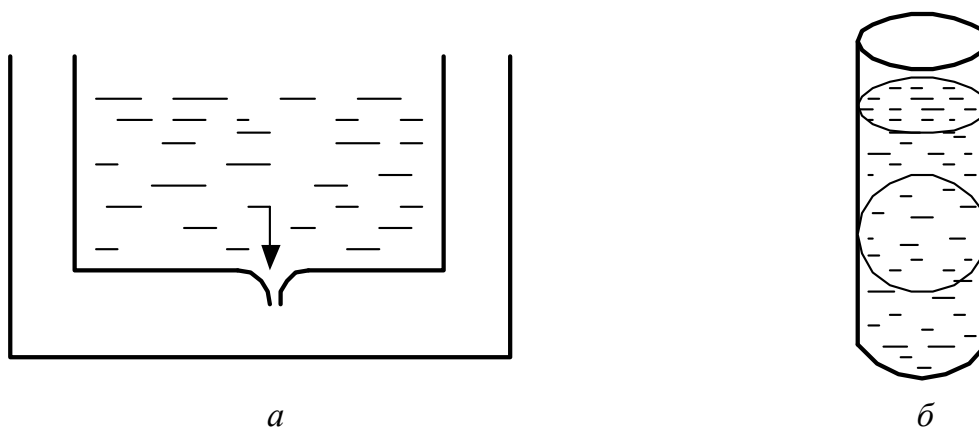


Рис. 3.34. Вискозиметры:
а – капиллярный вискозиметр; *б* – шариковый вискозиметр

Ротационные вискозиметры: аналоговые и цифровые, в том числе программируемые. В одних из них вязкость среды оценивается за счет определения скорости вращения двух соосных цилиндров (вращается либо внутренний, либо внешний), в других – по крутящему моменту на шпинделе прибора, опущенного в исследуемую среду: есть масса модификаций и аксессуаров к этим вискозиметрам.

Известны также другие виды вискозиметров. Например, с падающим шариком – этими устройствами часто измеряют вязкость и в емкостях или в вертикальных трубопроводах. Основное направление совершенствования данных приборов – применение наиболее современных способов фиксации времени падения шарика. В вискозиметрах пузырькового типа внутреннее трение оценивается по параметрам движения пузырька газа, свободно плавающего в исследуемой среде. В приборах с вибрирующим зондом (ультразвуковых вискозиметрах) – по изменению резонансной частоты колебаний в зависимости от вязкости среды. Как вариант – по камертонной вибрации и затуха-

нию периодических колебаний магнитострикционной пластины (изменяющей свою геометрию при намагничивании).

Вязкость материалов в таких приборах определяется либо по времени истечения определённого объёма жидкости через калиброванное отверстие, либо по времени падения калиброванного шарика в стандартной пробирке. Основным фактором при таких измерениях считается температура окружающей среды.

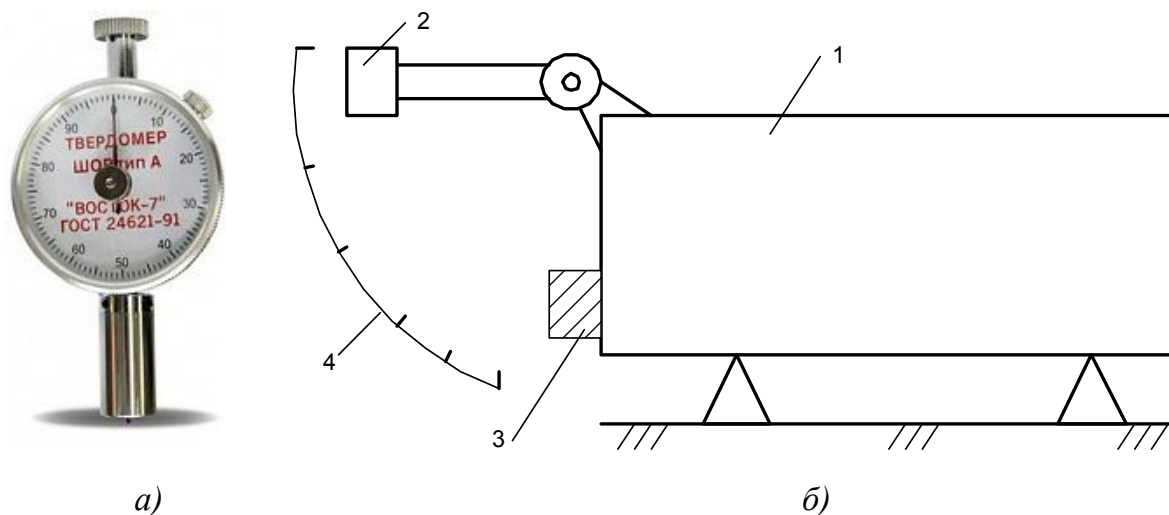


Рис. 3.35. Приборы Шора:
1 – массивная станина; 2 – молоток; 3 – испытуемый материал; 4 – шкала

Для оценки вязких свойств твёрдых и упругих материалов используются приборы Шора, основанные на измерении твёрдости материала (рис. 3.35, а) или измерении величины отскока груза (рис. 3.35, б).

Контрольные вопросы и задания

1. Какие методы замера физических величин вы знаете?
2. Каков принцип действия магнитно-индукционного датчика?
3. Опишите принцип действия термопары.
4. Назовите приборы, предназначенные для замера расхода жидкости или газа.
5. Какие типы вискозиметров вы знаете?

4. ОЦЕНКА ОБЩЕГО СОСТОЯНИЯ ДВС

4.1. Определение эффективной мощности ДВС

Анализ общего состояния по эффективности работы силовых агрегатов, как правило, сводится к определению мощностных характеристик и эколого-эргономической безопасности.

Мощность ДВС зависит от угловой скорости коленчатого вала, количества и качества рабочей смеси и ряда других факторов. При анализе тяговой динамики принято брать за основу внешнюю скоростную характеристику двигателя $N_e = f(\omega_e)$, которая получается при полной подаче топлива (полностью открытая дроссельная заслонка или максимальное положение рейки) и оптимальных значениях других параметров [1, 2, 13].

Эффективная мощность двигателя – это мощность, создаваемая на выходном валу:

$$N_e = M_T \cdot \omega,$$

где M_T – тормозной момент, Н; ω – угловая частота вращения вала, с^{-1} .

Для замера эффективной мощности существует два способа – бесстендовый и стендовый.

Бесстендовый метод.

При использовании бесстендового метода оценки общего состояния ДВС нет необходимости снимать двигатель с машины (рис. 4.1). Параметры технического состояния снимаются с помощью штатных датчиков и бортового микропроцессора или при помощи «навесных» датчиков, используются различные диагностические мотор-тестеры или персональный компьютер со специальным программным обеспечением. Данный метод позволяет быстро и эффективно оценить состояние двигателей при минимальных простоях машины.



Рис. 4.1. Анализ состояния ДВС

Стендовый метод.

На рис. 4.2 представлена схема стенда для оценки эффективной мощности двигателя.

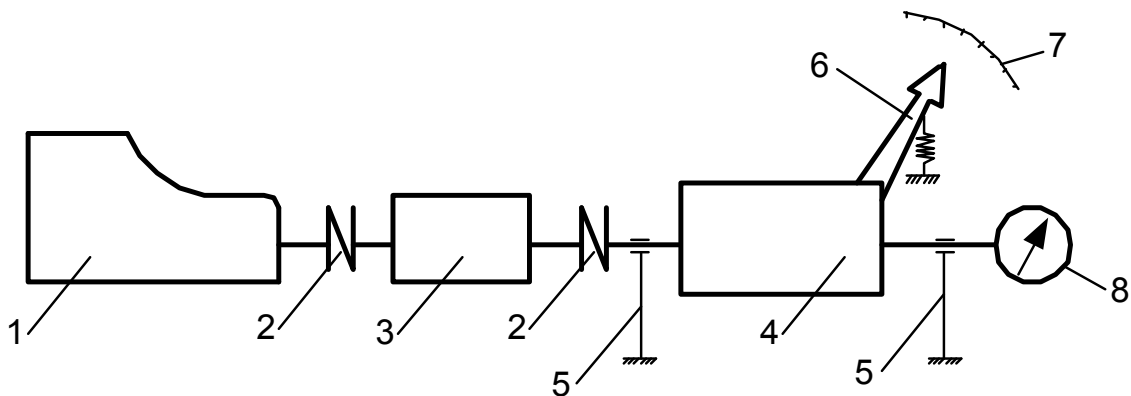


Рис. 4.2. Схема стенда для оценки эффективной мощности двигателя:
 1 – двигатель; 2 – муфта; 3 – редуктор для согласования частот вращения, вала двигателя и вала тормоза; 4 – тормозное устройство (машина постоянного тока, работающая в генераторном режиме, гидрообъемные насосы с дросселирующим потоком жидкости на выходе); 5 – балансирующая опора; 6 – рычаг; 7 – стрелка со шкалой для замера деформации пружины; 8 – тахометр

Принцип действия. Испытуемый двигатель устанавливается на стенд, присоединяется к системе питания топлива и воздуха стенда (рис. 4.3, 4.4). Через муфту соединяется с валом тормоза и соответствующим редуктором. При испытании в качестве тормоза обычно используется машина постоянного тока, этой же машиной осуществляется пуск двигателя. После пуска и прогрева ДВС на холостом ходу включается тормоз. В нашем случае происходит создание электрической нагрузки в цепи ротора, при нагрузке ДВС через тормоз создаётся реактивный момент, который пытается повернуть корпус тормоза на балансирной опоре. Этому повороту препятствует рычаг 6, опирающийся на пружину. Пружина деформируется, причём эта деформация пропорциональна величине тормозного момента. С помощью стрелки определяем тормозной момент. Угловая частота вращения вала измеряется при помощи тахометра. Регистрируя тормозной момент и угловую частоту вращения выходного вала, имеем возможность оценить эффективную мощность двигателя.

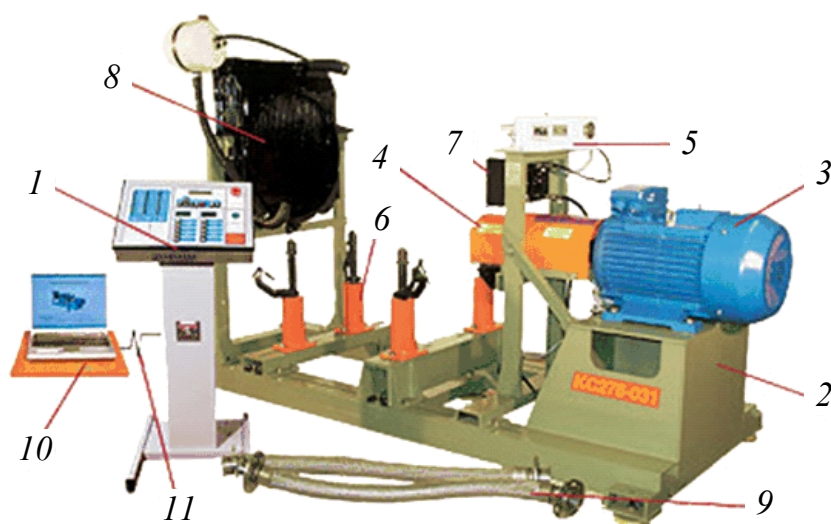


Рис. 4.3. Стенд для оценки эффективной мощности двигателя:

1 – пульт управления (ПУ); 2 – рама станции нагрузочно-приводной; 3 – электродвигатель приводной; 4 – кожух защитный привода; 5 – механизм управления подачей топлива; 6 – опора винтовая; 7 – блок электропневматический; 8 – автономная система охлаждения; 9 – универсальные жаропрочные рукава для удаления выхлопных газов; 10 – персональный компьютер (ПК) пользователя стенда; 11 – интерфейс для связи ПУ с ПК

На современных тормозных стендах применяются электросистемы для считывания и обработки информации по величине M_T и ω . Эти системы позволяют оперативно считывать эффективную вели-

чину мощности, также предусматриваются системы контроля расхода топлива, которые обычно реализуются с помощью мерных ёмкостей и датчиков расхода топлива.

Диагностирование данным стендом осуществляется перед и после капитального ремонта ДВС для оценки его качества. Так же можно определять экологические характеристики, производя замеры CO и CH.



Рис. 4.4. Схема работы стенда для оценки эффективной мощности двигателя

Преимущества стендового метода: возможность точно оценить эффективную мощность ДВС, ликвидировать неисправности.

Недостатки стендового метода: финансовые потери от простоя техники, большие капитальные вложения.

4.2. Скоростные характеристики двигателя

Скоростной характеристикой называются зависимости эффективной мощности N_e и эффективного крутящего момента M_e двигателя от угловой скорости коленчатого вала ω_e . У двигателя различают два типа скоростных характеристик: внешнюю (предельную) и частичные [1, 2, 13].

Внешнюю скоростную характеристику получают при полной нагрузке двигателя, т.е. при полной подаче топлива. Частичные – при неполных нагрузках двигателя или при неполной подаче топлива. Двигатель имеет только одну внешнюю скоростную характеристику и большое число частичных, среди которых и характеристика холостого хода.

В эксплуатации чаще всего двигатель работает при неполной нагрузке, характеристики работы в этом случае называются частичными (рис. 4.5). Кривые в верхней части графика характеризуют активные режимы (двигатель вырабатывает энергию), в нижней – пассивные или тормозные режимы (двигатель поглощает энергию).

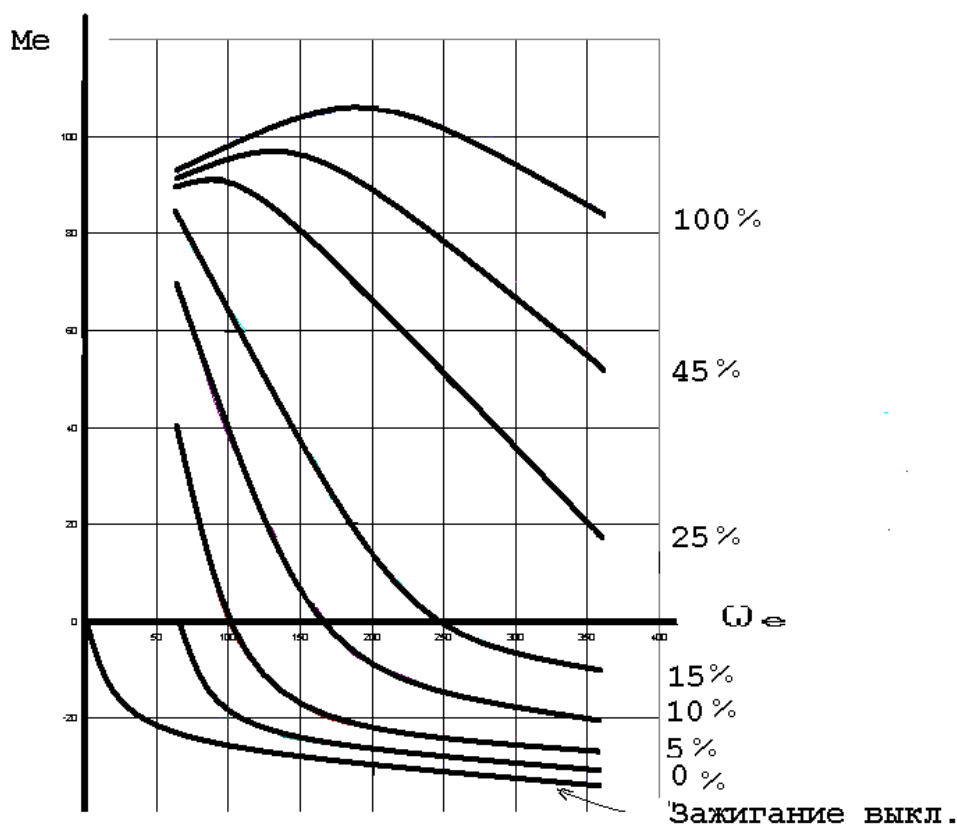


Рис. 4.5. Внешняя и частичные характеристики двигателя при различных степенях подачи топлива

Скоростные характеристики, снятые при постоянной нагрузке и постоянной угловой скорости, называются статическими. В работе ДВС нагрузки и угловые скорости постоянно меняются (неустановившиеся режимы). Исследованиями выявлено, что при динамическом (неустановившемся) режиме мощность двигателя снижается из-за нарушения смесеобразования и инерционных потерь.

Построение характеристики ТНВД дизельного двигателя.

Характеристикой топливного насоса высокого давления (ТНВД) называется зависимость цикловой подачи топлива $\Delta g_{m.ц}$ от частоты вращения кулачкового вала насоса или коленчатого вала двигателя при постоянном положении органа, регулирующего подачу топлива.

Для построения характеристики ТНВД рассчитывается массовая подача топлива $\Delta g_{m.ц}$ (мг/цикл) в диапазоне частот вращения $n_{\min} \leq n_x \leq n_p$:

$$\Delta g_{m.ц} = G_T \cdot 10^6 / (30 \cdot n_x \cdot i).$$

На максимальной частоте вращения холостого хода

$$\Delta g_{m.ц} = \Delta g_{m.ц}' \cdot V_h',$$

где V_h' – рабочий объем цилиндра.

Построение и анализ внешней скоростной характеристики.

Внешняя скоростная характеристика (ВСХ) строится по результатам теплового расчета двигателя. Типичная расчетная ВСХ ДВС ИЗ показана на рис 4.6. ВСХ дизеля имеет особенность, вызванную использованием регулятора (ограничителя) номинальной частоты вращения коленчатого вала. ВСХ дизелей имеет регуляторную ветвь, формирующуюся под воздействием уменьшения цикловой подачи топлива $\Delta g_{m.ц}$ при увеличении частоты вращения сверх номинальной ($n > n_p$).

Приближенное построение регуляторной ветви ВСХ (см. рис. 4.6) дизеля производится в следующем порядке:

а) Определяется максимальная частота вращения (мин^{-1}) коленчатого вала на режиме холостого хода $n_{p.x.x}$, ограниченная регулятором:

$$n_{p.x.x} = (1,05 - 1,08) \cdot n_p.$$

б) Определяется часовой расход топлива при $n_{p.x.x}$ (кг/ч):

$$G_{m.x.x} = \Delta g_{m.ц}' \cdot n_{p.x.x} \cdot (iV_h') \cdot 3 \cdot 10^{-5},$$

где $\Delta g_{m.ц}'$ – цикл. подача топлива на режиме холостого хода в расчете на литр рабочего объема цилиндра. Обычно $\Delta g_{m.ц}' = 17-20$ мг/(цикл · литр).

в) Строим на ВСХ точку А, соответствующую часовому расходу топлива $G_{m.x.x}$ при $n_{p.x.x}$ и соединяем ее прямой с точкой, соответствующей G_m на номинальном режиме. На графиках $N_e(n)$ и $M_e(n)$ проводим прямые линии от их номинальных значений при n_p до нулевых при $n_{p.x.x}$. Удельный эффективный расход топлива по регуляторной ветви ВСХ определяем на нескольких промежуточных частотах в диапазоне $n_p < n_x < n_{p.x.x}$ по формуле

$$g_e = G_m / N_e.$$

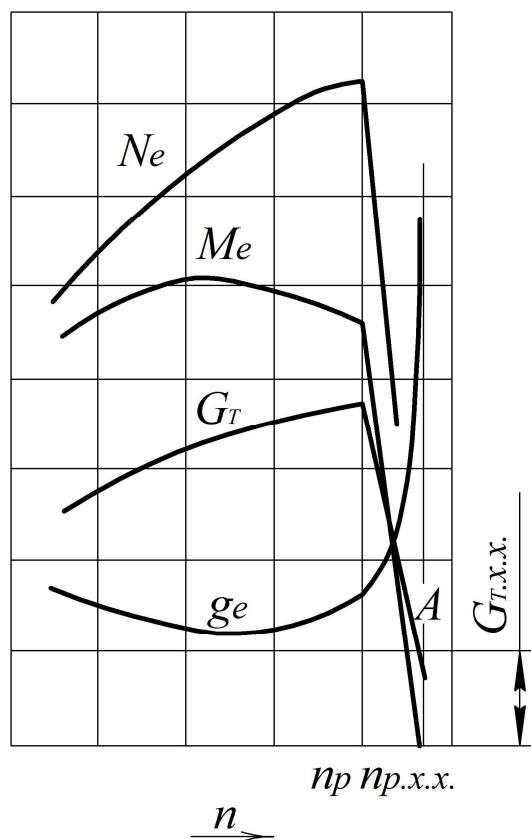


Рис. 4.6. Внешняя скоростная характеристика дизельного двигателя

Полученные точки соединяем плавной кривой. При частоте вращения, приближающейся к $n_{p.x.x}$, удельный эффективный расход топлива стремится к бесконечности, поскольку эффективная мощность N_e равна нулю.

Характер протекания ВСХ оценивается:

1. Коэффициентом приспособляемости

$$K_T = M_{e,\max}/M_{e,N},$$

где $M_{e,\max}$ – максимальный крутящий момент, $M_{e,N}$ – крутящий момент при номинальной мощности.

2. Скоростным коэффициентом

$$K_c = n_M/n_N,$$

где n_M и n_N – частоты вращения коленчатого вала, соответствующие максимальному крутящему моменту и номинальной мощности.

Чем выше значения K_T и ниже K_c , тем лучше двигатель приспособляется к изменению внешней нагрузки, а автомобиль обладает высокими динамическими характеристиками. Достигнутые значения K_T и K_c для двигателей различных типов и назначения приведены в табл. 4.1.

Кроме ВСХ, после выполнения теплового расчета целесообразно построить графики зависимости от частоты вращения задаваемых ($P_k, \Delta T_{ОНВ}, \alpha, T_r, \theta_{доз}, \xi_z$ и др.) и рассчитанных ($T_a, P_a, \gamma_e, \eta_v, T_c, P_c, T_z, P_z, n_1, n_2, P_i, N_i, \eta_i$ и др.) параметров двигателя.

Индикаторные параметры ДВС.

Теоретическое среднее индикаторное давление цикла (МПа):

– для бензиновых двигателей

$$P_{i,m} = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[\frac{\lambda}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right];$$

– для дизельных двигателей

$$P_{i,m} = \frac{P_c}{\varepsilon - 1} \left[\lambda(\rho - 1) + \frac{\lambda \cdot \rho}{n_2 - 1} \left(1 - \frac{1}{\delta^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1 - 1}} \right) \right]. \quad (4.10)$$

Действительное среднее индикаторное давление (МПа), с учетом скругления диаграммы рабочего цикла:

$$P_i = (0,95 - 0,96) \cdot P_{i,m}.$$

Индикаторный КПД:

$$\eta_i = (10^3 \cdot P_i \cdot l_o \cdot \alpha) / (H_u \cdot \rho_o \cdot \eta_v).$$

Удельный индикаторный расход топлива (г/кВт·ч):

$$g_i = 3,6 \cdot 10^6 / (H_u \cdot \eta_i).$$

Индикаторная мощность (кВт):

$$N_i = iV_h' \cdot P_i \cdot n_x / 120,$$

где iV_h' – полный рабочий объем двигателя (л), имеющего i цилиндров.

Индикаторный крутящий момент (Н·м)

$$M_i = 9550 \cdot N_i / n_x.$$

Механические потери.

Механические потери в ДВС оцениваются средним давлением механических потерь P_m (МПа), которое в зависимости от средней скорости поршня C_n рассчитывается по формуле

$$P_m = a_M + b_M \cdot C_n.$$

Значения коэффициентов a_M и b_M для ДВС различных типов приведены в табл. 4.1 и 4.2.

Таблица 4.1

Значения коэффициентов a_M и b_M для ДВС

i	S/D	a_M	b_M
≤ 6	> 1	0,040	0,0132
≤ 6	≤ 1	0,030	0,0110
8	< 1	0,029	0,0112

У дизельных двигателей с газотурбинным наддувом среднее давление механических потерь подсчитывается по формуле

$$P_m = \left(\frac{P_k}{P_o}\right)^{0,125} \cdot (a_M + b_M \cdot C_p) + 0,035 \cdot (P_k - P_o),$$

где значения коэффициентов a_M , b_M берутся из табл. 4.2.

Таблица 4.2

Значения коэффициентов a_m и b_m для дизельных двигателей

Тип дизельного двигателя	a_M	b_M
С неразделенными камерами сгорания	0,089	0,0118
Вихрекамерные	0,089	0,0135
Предкамерные	0,103	0,0153

Механический коэффициент полезного действия

$$\eta_m = (P_i - P_m)/P_i.$$

Эффективные показатели.

Среднее эффективное давление цикла (МПа)

$$P_e = P_i \cdot \eta_m.$$

Эффективный коэффициент полезного действия

$$\eta_e = \eta_i \cdot \eta_m.$$

Удельный эффективный расход топлива (г/кВт·ч)

$$g_e = g_i/\eta_m.$$

Эффективная мощность (кВт)

$$N_e = N_i \cdot \eta_m.$$

Эффективный крутящий момент (Н·м)

$$M_e = M_i \cdot \eta_m.$$

Часовой расход топлива (кг/ч)

$$G_T = g_e \cdot N_e.$$

Под понятием «двигатель» подразумевается агрегат, преобразующий определенный вид энергии в механическую. Электрический двигатель преобразует электрическую, паровой двигатель – энергию сжатого пара, а ДВС – давление горячей рабочей смеси внутри цилиндров. Для запуска в работу двигателя внутреннего сгорания, в отличие от электрического или парового, требуется подача энергии со стороны, поэтому ДВС агрегируется стартером (электростартер или «пускатч» – ДВС малой мощности).

ДВС конструктивно сложнее других двигателей и работа его состоит из взаимно-связанных процессов (подача и приготовление рабочей смеси, сжатие рабочей смеси в цилиндрах и др.), нормальное взаимодействие этих процессов возможно только в определенном диапазоне угловых скоростей коленчатого вала. Поэтому ДВС имеет *минимальную* угловую скорость, ниже которой двигатель работать не может. Для начала движения или работы машины, колеса или рабочий орган которой неподвижны, необходимо их соединить с вращающимся коленчатым валом, при этом не снизить скорость последнего ниже ω_{\min} . Эта проблема решается применением механизма сцепления, которое за счет проскальзывания ведущего и ведомого дисков позволяет ДВС не выходить за пределы устойчивой работы в момент приложения дополнительной нагрузки.

Скорость движения машины пропорциональна угловой скорости двигателя. Двигатель внутреннего сгорания имеет ограничения по минимальной и максимальной угловым скоростям. Максимальная угловая скорость ограничена наличием масс с возвратно-поступательным движением, создающими большие инерционные нагрузки, что наиболее характерно для специальной строительной техники. Диапазон угловых скоростей ДВС составляет $\omega_{\max}/\omega_{\min}$ от 5 до 7 (например, диапазон требуемых скоростей автомобиля составляет $v_{\max}/v_{\min} \approx 40$ ($v_{\min} \approx 5$ км/ч, $v_{\max} \approx 200$ км/ч)). Решение этого «конфликта» найдено в применении коробки перемены передач и раздаточной коробке распределения крутящего момента.

Основные недостатки ДВС:

1. Скоростная характеристика ДВС не соответствует требуемой.
2. Запуск в работу требует энергии «извне».

3. Невозможность работы с «нуля» ($\omega_{\min} \neq 0$).
4. Диапазон разбега ω_e меньше требуемого диапазона ν_a .

С целью устранения этих недостатков создается *агрегат*: ДВС, сцепление, стартер, КПП и (или) раздаточная коробка. Созданный агрегат имеет неоспоримые *преимущества* по сравнению с другими двигателями в части:

1. Высокая готовность к работе.
2. Высокая удельная мощность (отношение мощности двигателя N_e к его весу $G_{дв}$).
3. Автономность условий работы.
4. Экономичность из-за высокой удельной калорийности применяемого топлива.

Контрольные вопросы

1. Что такое «эффективная мощность двигателя»?
2. Какие способы замера эффективной мощности вы знаете?
3. Каким образом получают внешнюю скоростную характеристику двигателя?

5. ТОПЛИВА

5.1. Бензины

Бензин – это смесь лёгких углеводородов с температурой кипения от 35 до 200 °С. Плотность бензина составляет около 0,7 г/см³. Теплотворная способность горючего вещества примерно соответствует 10500 ккал/кг. Основным показателем качества бензинов – октановое число (ОЧ), которое характеризует их детонационную стойкость:

$$\text{ОЧ} = 120 - 2 \left(\frac{t_{cp} - 58}{5\rho_{20}} \right),$$

где t_{cp} – средняя температура разгонки топлива, °С; ρ_{20} – плотность при температуре +20 °С.

$$t_{cp} = \frac{t_{np} + t_{kp}}{2},$$

t_{np} – температура начала разгонки топлива; t_{kp} – температура конца разгонки топлива.

Детонация – это процесс очень быстрого завершения процесса сгорания в результате самовоспламенения части рабочей смеси и образования ударных волн, распространяющихся со сверхзвуковой скоростью (1500–2000 м/с), в то время как при нормальном сгорании смеси средняя скорость распространения пламени составляет 10–40 м/с.

К признакам детонационного сгорания бензина относятся: характерный резкий металлический стук в цилиндрах, вибрация и неустойчивая работа двигателя, периодически появляющийся черный дым отработавших газов. При длительной эксплуатации двигателя с детонацией могут возникнуть механические повреждения его деталей: прогар поршней и клапанов и т.д.

$$\text{ОЧ} = 125,4 - \frac{413}{\varepsilon} + 0,183 \cdot d_u,$$

где ε – степень сжатия (паспортная величина); d_u – внутренний диаметр цилиндра, мм.

Для определения октанового числа существуют некоторые методы [1]:

Моторный метод (MON) придуман фирмой UNOCAL-76, которая является пионером производства бензина Аи-76. Суть метода – определение детонации на однопоршневом двигателе при имитации довольно напряженной езды. Именно поэтому октановое число при таком определении может получиться слегка заниженным.

Исследовательский метод (RON). Также проводится на однопоршневом двигателе, но без имитации напряженной езды. Октановое число при этом иногда получается чуть завышенным.

Хроматографический метод. Обычно используется в дополнение к другим методам для выявления содержания регламентированных примесей (например, бензола).

Методы MON и RON являются двумя общепринятыми способами определения ОЧ бензинов, но метод RON моделирует мягкие условия эксплуатации двигателя. Метод MON аналогичен жестким условиям, более приближенным к реальным условиям эксплуатации. Поэтому значения RON всегда на несколько пунктов выше MON.

Таблица 5.1

Сравнение исследовательского и моторного методов

Исследовательский	Моторный	Октановый индекс (США)	Торговое название
А-80	А-76	78	Стандарт
АИ-91	А-82,4	86,7	Регуляр
АИ-92	А-83	87,5	Регуляр
АИ-95	А-85	89	Регуляр
АИ-93	А-87	91	Премиум
АИ-98	А-89	93,5	Супер

В США октановое число заменяется на так называемый октановый индекс, представляющий собой среднеарифметическое составляющее октановых чисел, полученных по моторному и исследовательскому методам для данного топлива. А вот в Японии для обозначения марок бензина используют только исследовательский метод. На АЗС России также декларируется именно октановое число, полученное по исследовательскому методу.

Всё чаще для измерения октанового числа применяются портативные приборы размером с книжку, чтобы оправдать контроль качества продукции на местах их потребления. При отступлении от нор-

мального технологического процесса (например, при значительном повышении октанового числа только за счет присадок) бензин довольно часто становится нестабильным, т.е. изменяет со временем свое октановое число. Это особенно важно для машин, использующих бензин с октановым числом 95 или 98, т.к. снижение октанового числа со скоростью 0,5 за день может сильно навредить двигателю. Поэтому заправляться желательно там, где контроль и гарантии качества продукции находятся на соответствующем уровне (рис. 5.1).

Антидетонационные присадки.

В топливах, антидетонационные свойства которых не соответствуют эксплуатационным требованиям, добавляют высокооктановые компоненты (бензол, этиловый спирт) или антидетонаторы. Самые дешевые из них – тетраэтилсвинец (ТЭС) или тетраметилсвинец (ТМС) в составе этиловой жидкости.



Рис. 5.1. Рекомендация завода-изготовителя в использовании неэтилированного бензина

Тетраэтилсвинец $Pb(C_2H_5)_4$ представляет собой тяжелую маслянистую бесцветную и очень ядовитую жидкость, легко растворяющуюся во всех нефтепродуктах и не растворяющуюся в воде (плотность 1652 кг/м^3 , температура кипения $200 \text{ }^\circ\text{C}$).

Тетраметилсвинец $Pb(CH_3)_4$ имеет более низкую температуру кипения ($110 \text{ }^\circ\text{C}$) и более высокое давление насыщенных паров. В чис-

том виде тетраэтилсвинец не применяют, так как это приводит к отложению окислов свинца в камере сгорания, на клапанах и поршневых кольцах и даже выходу двигателя из строя. Поэтому в бензин вводят этиловую жидкость, представляющую собой смесь ТЭС с выносителями и красителями. 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.

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 настоящее время данные присадки запрещены.

Метилтретичнобутиловый эфир $\text{CH}_3\text{OC}_4\text{H}_9$ (МТБЭ) также применяют в основном как добавку к бензину. МТБЭ получают синтезом 65 % изобутилена и метанола в присутствии катализаторов. Отличия МТБЭ как моторного топлива от бензина по своим физико-химическим свойствам показаны.

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 %.

Топливная смесь бензина с метилтретичнобутиловым эфиром имеет следующие преимущества:

- смесь получается высокооктановой, но не этилированной (по антидетонационным свойствам МТБЭ в 3–4 раза превосходит антидетонационную добавку алкилбензин, а также метанол). При добавке 10 % МТБЭ октановое число бензина повышается на 2,1–5,9 ед. (по исследовательскому методу, а при добавке 20 % – на 4,6–12,6 ед.;

- оптимальный состав смеси бензина с МТБЭ не вызывает необходимости дополнительной регулировки топливной аппаратуры;
- облегчается фракционный состав бензинов, в частности, снижается температура перегонки 50 % объема топлива ($t_{50\%}$). Однако при этом возрастает опасность образования паровых пробок;
- уменьшаются мощностные и экономические показатели двигателя во всём диапазоне режимов его работы;
- на 10 % снижается токсичность отработавших газов (в основном за счет уменьшения содержания окиси углерода);
- расход бензина снижается на 3 %;
- добавка 8–11 % МТБЭ в бензин уменьшает интенсивность изнашивания деталей двигателя, образования на них нагара и лаковых отложений, стабилизирует физико-химические свойства моторного масла.

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 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. Поэтому их применение ограничено Межведомственной комиссией (МВК) при Госстандарте РФ по времени и не должно носить массового характера. 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 них всех марок не более 37 мг/дм³.

Октановое число бензина, его основная характеристика, нормируемая по ГОСТ, определяется моторным или исследовательским методом. 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.

Антидетонационные присадки к бензину указаны в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Антидетонационные присадки к бензину

Присадка	Количество присадки на 1 т. топлива для повышения ОЧ бензина на 1 единицу, кг	Максимальное увеличение ОЧ бензина при допустимой концентрации присадки в топливе
Этиловая жидкость	0,07 (запрещено)	8 (запрещено)
МТБЭ или «Фетерол»	30	4,5
Присадка МЦТМ	0,1	5
Добавка АДА	2,5	6
Добавка АвтоВЭМ	1,25	8
Добавка Феррада	1,33	7,5

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.

Детонация влечет за собой аварийные поломки деталей двигателя: прогар клапанов, разрушение поршней, пробой прокладки головки блока цилиндров. Эффективно повысить ОЧ бензина можно введением в топливо специальных добавок (октан-корректоров, октан-бустеров), имеющих в продаже.

Экология бензинов. При сгорании бензинов наиболее агрессивными в составе отработавших газов являются соединения свинца, бенз(а)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.

Повысить качество 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 % в перспективе до 35 %;
- нормирования концентрации фактических смол в бензинах на месте применения на уровне не более 5 мг на 100 см³;
- деления бензинов по фракционному составу и давлению насыщенных паров на 8 классов с учетом сезона эксплуатации машин и температуры окружающей среды, характерной для конкретной климатической. Наличие классов позволяет выпускать бензин со свойствами, оптимальными для реальных температур окружающего воздуха, что обеспечивает работу двигателей без образования паровых пробок при температурах до +60 °С, а также гарантирует высокую испаряемость бензинов и пуск двигателя при температурах ниже –35 °С;
- введения моющих присадок, не допускающих загрязнения и осмоления топливной аппаратуры.

5.2. Дизельные топлива

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

Рабочий процесс в дизельном двигателе принципиально отличается от процесса сгорания топливовоздушной смеси в бензиновом двигателе. В цилиндре 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 форсунку) впрыскивается дизельное топливо. Оно практически мгновенно испаряется, перемешивается с горячим воздухом, нагревается до температур воспламенения и сгорает. Принудительное зажигание рабочей смеси отсутствует.

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.

Цетановое число (ЦЧ) – это показатель воспламеняемости дизельного топлива, численно равный объемному проценту цетана в эталонной смеси, которая в условиях испытания равноценна по воспламеняемости эталонному топливу. В состав эталонной смеси входит цетан и α -метилнафталин. Склонность цетана к самовоспламенению оценивают в 100 единиц, а α -метилнафталина – в 0 единиц. Так, если смесь состоит из 30 % цетана и 70 % α -метилнафталина, то считается, что ее цетановое число равно 30.

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

$$\text{ЦЧ} = 1,5879(v_{20} + 17,8)/\rho_{20},$$

где v_{20} – вязкость топлива при 20 °С; ρ_{20} – плотность топлива при 20 °С.

По ГОСТ 305-82 цетановое число дизельного топлива должно быть не менее 45. Чем выше ЦЧ, тем лучше воспламеняемость топлива. В то же время при использовании топлива с повышенным цетановым числом (более 50) 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.). Дизельное топливо с показателем цетанового числа менее 40 ед. губительно для дизельных двигателей из-за резкого возрастания задержки воспламеняемости топлива и вследствие этого повышения давления в камере сгорания и повышенного износа поршневой группы. Превышение же показателя свыше 60 единиц также оказывает негативные последствия вследствие неполного сгорания топлива, образования нагара, увеличения расхода топлива и повышения дымности выхлопных газов.

Цетановое число топлива может быть повышено регулированием углеродного состава или введением в состав топлива специальных присадок. Специальные кислородосодержащие присадки (органические перерекиси, сложные эфиры азотной кислоты – этилнитрат, изопропилнитрат резко снижают период задержки самовоспламенения, который внешне проявляется как работа дизеля на высокоцетановом топливе.

Требования к характеристикам дизельного топлива представлены в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Требования к характеристикам дизельного топлива

Характеристика дизельного топлива	Единица измерения	Нормы в отношении			
		класса 2	класса 3	класса 4	класса 5
Массовая доля серы, не более	мг/кг	500	350	50	10
Температура вспышки в закрытом тигле дизельного топлива, за исключением дизельного топлива для арктического климата, не ниже	°С	40	40	40	40
Температура вспышки в закрытом тигле дизельного топлива для арктического климата, не ниже	°С	30	30	30	30
Фракционный состав – 95 % объемных перегоняется при температуре не выше	°С	360	360	360	360
Массовая доля полициклических ароматических углеводородов, не более	%	–	11	11	11
Цетановое число, не менее	–	45	51	51	51
Цетановое число для дизельного топлива для холодного и арктического климата, не менее	–	–	47	47	47
Предельная температура фильтруемости дизельного топлива для холодного климата, не выше	°С	минус 20	минус 20	минус 20	минус 20
Предельная температура фильтруемости дизельного топлива для арктического климата, не выше	°С	минус 38	минус 38	минус 38	минус 38
Смазывающая способность, не более	мкм	460	460	460	460

Дизельное топливо делится на летнее, зимнее и арктическое.

Летнее дизельное топливо – применяется при температуре воздуха окружающей среды до 0 °С и выше. Его цетановое число – не ниже 45, плотность при 20 °С – не более 860 кг/м³, вязкость при 20 °С – от 3 до 6 мм²/с, температура застывания составляет – 10 °С. Одной из проблем летнего дизельного топлива является конденсат воды в топливном баке. Вода отслаивается при хранении дизтоплива и собирается внизу топливного бака, т.к. плотность дизтоплива меньше 1 кг/л. Водяная пробка в магистрали полностью блокирует работу двигателя. Поэтому, если машину заправляли в летнее время, а затем длительное время не эксплуатировали, то с наступлением холодов летнее дизельное топливо необходимо сливать и заправлять машину зимним дизельным топливом.

Зимнее дизельное топливо – маркировка данного типа применяется при температуре воздуха окружающей среды до – 30 °С. Цетановое число зимнего топлива – 45, плотность при 20 °С – не более 840 кг/м³, вязкость при 20 °С – от 1,8 до 5 мм²/с, температура застывания составляет – 35 °С.

Арктическое дизельное топливо – один из трех видов марок, получаемых после перегонки нефти. Применяется при температуре воздуха окружающей среды до – 50 °С. Его цетановое число – 40, плотность при 20 °С – не более 830 кг/м³, вязкость при 20 °С – от 1,4 до 4 мм²/с, температура застывания составляет – 55 °С.

5.3. Топливные стандарты

Евро-4 – экологический стандарт, регулирующий уровень токсичности выхлопных газов автотранспорта. Введен в Евросоюзе в 2005 г., заменив стандарт Евро-3. С 01.01.2013 все изготовленные и ввезенные в РФ автомобили обязаны соответствовать классу Евро-4, но допускается использование шасси и базовых транспортных средств, соответствующих нормам Евро-3 и выпущенных до 31.12.2012. В Российской Федерации переход на стандарт Евро-4 был перенесен. Ожидается, что запрет на оборот автомобильных топлив стандарта ниже, чем Евро-4 (содержание серы не более 50 ppm), будет введен в России с января 2015 г.

Евро-5, «Экто дизель» – новый экологический стандарт, регулирующий содержание вредных веществ в выхлопных газах. Обязателен для всех новых грузовых автомобилей и техники, продаваемых в Евросоюзе с октября 2008 г. Для легковых автомобилей – с 1 сентября 2009. В России стандарт Евро-5 действует на все ввозимые автомобили с 1 января 2014 г.

Дизельное топливо само по себе представляет вязкую и трудноиспаряемую жидкость, которая состоит в большей степени из углерода. Также в этом составе присутствуют такие элементы, как водород, кислород, сера и азот.

Вязкость топлива – это мера «жирности» дизтоплива. Чрезмерно жидкое топливо не обладает достаточной вязкостью, чтобы смазывать детали топливного насоса, и это может стать причиной проблем: топливный насос может выйти из строя либо продукты амортизации деталей топливного насоса – твердые частицы – попадут в топливо и повредят детали системы питания, располагающиеся после насоса. И то, и другое нежелательно.

Основные эксплуатационные показатели дизельного топлива:

- цетановое число, определяющее высокие мощностные и экономические показатели работы двигателя;
- фракционный состав, определяющий полноту сгорания, дымность и токсичность отработавших газов двигателя;
- вязкость и плотность, обеспечивающие нормальную подачу топлива, распыливание в камере сгорания и работоспособность системы фильтрации;
- низкотемпературные свойства, определяющие функционирование системы питания при отрицательных температурах окружающей среды и условиях хранения топлива;
- степень чистоты, характеризующая надежность работы фильтров грубой и тонкой очистки и цилиндропоршневой группы двигателя;
- температура вспышки, определяющая условия безопасности применения топлива в дизельных двигателях;
- наличие сернистых соединений, непредельных углеводородов и металлов, характеризующее нагарообразование, коррозию и износ.

Для обеспечения полного и качественного сгорания к дизельному топливу предъявляются следующие требования:

- хорошая прокачиваемость как условие бесперебойной и надежной работы топливного насоса высокого давления (ТНВД);

- обеспечение тонкого распыла и хорошего смесеобразования; мягкий пуск двигателя; полное сгорание топлива и мягкая работа двигателя;
- предотвращение нагарообразования на клапанах, поршнях и поршневых кольцах, зависания игл и закоксовывания распылителей форсунок;
- отсутствие коррозионного воздействия на детали двигателя, топливоподающую систему, топливопроводы и топливные баки; высокая химическая стабильность.

Экологические требования к ДТ. Основными показателями качества, ответственными за экологические последствия выбросов отработавших газов дизельных двигателей, являются:

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

В европейский стандарт, регулирующий качество дизтоплива EN 590:2004, внесены поправки. В стандарте снизилась доля серы в составе топлива до 0,035 %; увеличилось цетановое число до 51; введены ограничения по вязкости и плотности на уровне от 2,0 до 4,5 мм²/с при температуре 400 °С или от 2,7 до 6,5 мм²/с при температуре 200 °С. Данный стандарт также ввел ряд новых характеристик дизтоплива: окислительная стабильность, содержание полициклических ароматических углеводородов. Были предусмотрены определенные нормы значений этих показателей.

5.4. Газообразные топлива

Расширить сырьевую базу топлив и одновременно уменьшить вредное воздействие на окружающую среду позволяет использование топлив на основе газообразных углеводородов. Стоимость производства газообразного топлива в 2–3 раза ниже стоимости производства бензина и дизельного топлива, а запасы его сырья превосходят нефтяные.

Газообразные углеводородные топлива относятся к наиболее чистым в логическом отношении моторным топливам. Выбросы токсичных веществ отработавшими газами у газобаллонных машин значительно

ниже, чем у машин с двигателями, работающими на бензине или дизельном топливе.

В зависимости от физического состояния горючие газы делятся на сжатые и сжиженные. Если критическая температура газа ниже обычных температур эксплуатации техники, его применяют, как правило, в сжатом виде (сжатый газ, а если выше – в сжиженном виде под давлением 1,5–2,0 МПа (сжиженный газ). Сжатый газ при глубоком охлаждении можно перевести в жидкое состояние.

Наиболее широко применяются и имеют перспективы использования следующие газообразные углеводородные топлива:

- компримированный (сжатый) природный газ (КПГ) метан;
- газ сжиженный нефтяной (ГСН) или сжиженный углеводородный газ (СУГ) – пропан-бутановая смесь.

К *качеству топлив* для газобаллонных машин предъявляют следующие основные эксплуатационные требования:

- хорошая смешиваемость с воздухом для образования однородной горючей смеси;
- высокая калорийность горючей смеси;
- отсутствие детонации при сгорании в цилиндрах двигателя;
- минимальное содержание смолистых веществ и механических примесей, способствующих образованию нагара на деталях двигателя;
- минимальное содержание веществ, вызывающих коррозию поверхностей деталей, окисление и разжижение масла в картере двигателя;
- минимальное образование токсичных и канцерогенных веществ в продукте сгорания;
- сохранение стабильного состава и свойств по времени и объему;
- сохранение избыточного давления насыщенных паров 0,1–1,6 МПа в интервале температур от –30 до +45 °С (для ГСН);
- хорошая испаряемость без образования жидкого осадка при понижении давления в газовой системе питания двигателя (для ГСН).

Схема ГБО 3 поколения представлена на рис. 5.3.

Сжиженный нефтяной газ (пропан-бутан) под давлением поступает из баллона 1 в газовую магистраль высокого давления 3. Расход газа из баллона происходит посредством мультиклапана 2, через который также осуществляется заправка с помощью выносного заправочного устройства 4. По магистрали газ в жидкой фазе попадает в газовый клапан-фильтр 5, который очищает газ от взвесей и смолистых отложений и перекрывает подачу газа при выключении зажигания

или при переходе на бензин. Далее очищенный газ по трубопроводу поступает в редуктор-испаритель 6, где давление газа понижается с шестнадцати атмосфер до одной. Интенсивно испаряясь, газ охлаждает редуктор, поэтому последний присоединяется к системе водяного охлаждения двигателя. Циркуляция тосола позволяет избежать обмерзания редуктора и его мембран. Под действием разряжения, создаваемого во впускном коллекторе работающего двигателя, газ из редуктора по шлангу низкого давления через дозатор 7 поступает в смеситель 8, установленный между воздушным фильтром и дроссельными заслонками карбюратора. Иногда вместо установки смесителя производится непосредственная врезка газовых штуцеров в карбюратор.

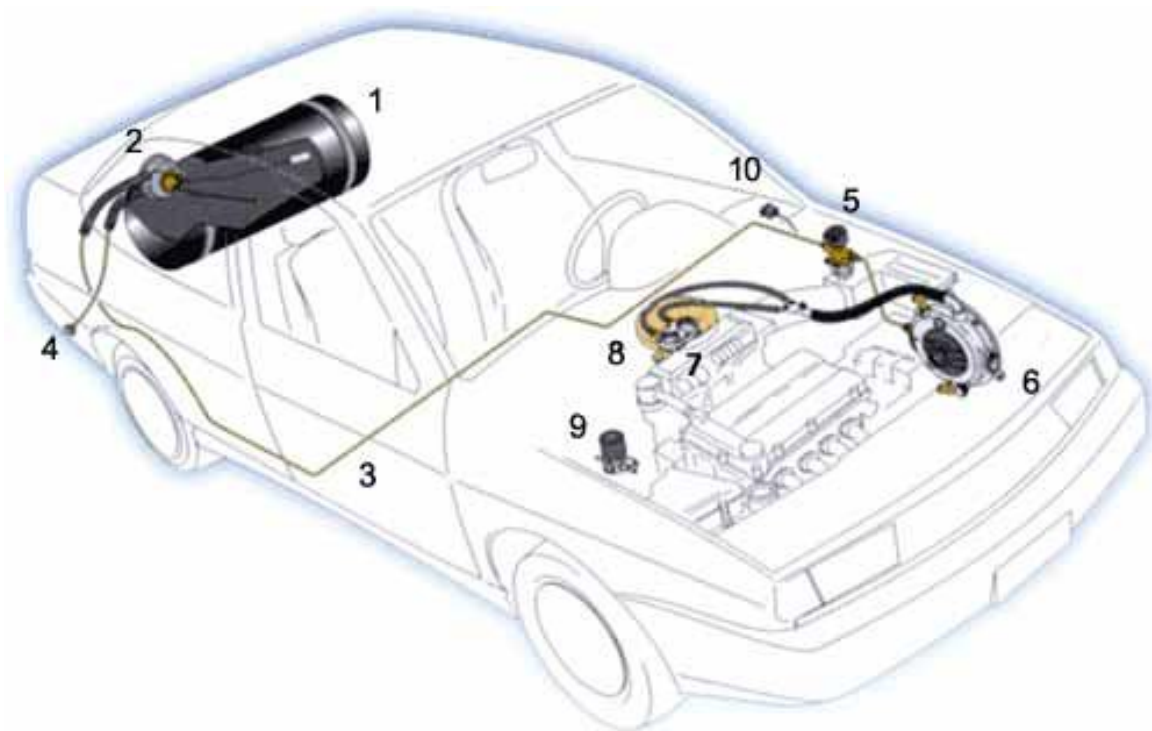


Рис. 5.3. Схема ГБО 3-го поколения:

1 – баллон; 2 – мультиклапан; 3 – газовая магистраль высокого давления; 4 – выносное заправочное устройство; 5 – газовый клапан; 6 – редуктор-испаритель; 7 – дозатор; 8 – смеситель воздуха и газа; 9 – бензиновый клапан; 10 – переключатель видов топлива

Управление режимами работы (на газе или на бензине) осуществляется с помощью переключателя видов топлива 10, установленного на панели приборов. При выборе позиции «ГАЗ» переключатель открывает электромагнитный газовый клапан 5 и отключает электро-

магнитный бензиновый клапан 9. И наоборот. С помощью светодиодов переключатель позволяет контролировать, какое топливо используется в данный момент. Переключатель может быть оснащен указателем уровня топлива в баллоне (для этого мультиклапан должен быть оснащен сенсором уровня топлива).

Установка ГБО третьего поколения на инжекторные двигатели отличается тем, что вместо бензочлапана для отсечения подачи бензина используется эмулятор форсунок. Когда подается газ, этот эмулятор имитирует работу бензиновых форсунок, чтобы штатный компьютер не перешел в аварийный режим. По этой же причине нужно устанавливать эмулятор лямбда-зонда. Системы газобаллонного оборудования четвертого поколения отличаются тем, что газ подается непосредственно во впускной коллектор через специальные газовые форсунки. Они управляются собственным электронным блоком управления, который синхронизирует свою работу со штатным контроллером и одновременно выполняет функции эмулятора.

Описание основных узлов комплекта газобаллонного оборудования представлено в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Описание основных узлов комплекта газобаллонного оборудования

Узел	Описание
1	2
	Редуктор-испаритель служит для подогрева смеси пропан-бутана, ее испарения и снижения давления до величины, близкой к атмосферному давлению
	Электромагнитный газовый клапан служит для перекрытия газовой магистрали при стоянке или работе двигателя на бензине. Снабжен фильтром для очистки топливной смеси
	Переключатель видов топлива – устанавливается в салоне автомобиля. Встречаются переключатели, на которых с помощью светодиодов показывается уровень газа в баллоне

1	2
	<p>Венткоробка крепится на горловину баллона. Внутри нее помещается мультиклапан. В случае утечки газа из баллона венткоробка отводит его пары из багажного отделения наружу</p>
	<p>Газовый редуктор разработан для двигателей с объемом до 1,6л. Благодаря своей компактности легко помещается в подкапотном пространстве. Может иметь вакуумное либо электронное управление</p>
	<p>Электромагнитный бензиновый клапан в карбюраторных ДВС отсекает подачу бензина при работе двигателя на газу. В инжекторных ДВС его функции выполняет эмульгатор форсунок</p>
	<p>Мультиклапан монтируется на горловину баллона. Включает в себя заправочный и расходный клапана, указатель уровня газа и заборную трубку. Специальный скоростной клапан перекрывает утечку газа при аварийном повреждении газовой магистрали</p>
	<p>Выносное заправочное устройство служит для безопасного подсоединения заправочного шланга при заправке баллона газом. Обычно врезается в задний бампер</p>
	<p>Емкость для сжиженного нефтяного газа. Встречаются баллоны цилиндрические и торроидальные (для ниши под «запаску»). По правилам техники безопасности заполняются не более чем на 80 % от полного объема</p>

5.5. Классификация газовых систем питания

По принципу работы применяемые в настоящее время газовые системы можно разделить на четыре поколения:

ГБО 1-го поколения. Механические системы с вакуумным управлением, которые устанавливаются на бензиновые карбюраторные ДВС.

ГБО 2-го поколения. Механические системы, дополненные электронным дозирующим устройством, работающим по принципу обратной связи с датчиком содержания кислорода (лямбда-зонд). Они устанавливаются на машины, оснащенные инжекторным двигателем и каталитическим нейтрализатором отработавших газов.

ГБО 3-го поколения. Системы, обеспечивающие распределенный синхронный впрыск газа с дозатором-распределителем, который управляется электронным блоком. Газ подается во впускной коллектор с помощью механических форсунок, которые открываются за счет избыточного давления в магистрали подачи газа.

ГБО 4-го поколения. Системы распределенного последовательного впрыска газа с электромагнитными форсунками, которые управляются более совершенным электронным блоком. Как и в системе предыдущего поколения, газовые форсунки устанавливаются на коллекторе непосредственно у впускного клапана каждого цилиндра.

Системы первого и второго поколений имеют ряд недостатков и не отвечают действующим в настоящее время стандартам ЕЭК ООН. Токсичность отработавших газов (ОГ) ДВС, оснащенных такими системами, как правило, находится на уровне норм Евро-1, которые действовали в Европе до 1996 г., и лишь в отдельных случаях приближаются к нормам Евро-2. В связи с этим производители газового оборудования разработали системы третьего и четвертого поколений, которые находят все большее распространение.

Если использовать газовое топливо, то экономия примерно составляет на 10-15 % больше, чем у бензина. Газовое оборудование, установленное на машину, окупается уже после 15–20 тыс. км пробега. Газовые заправки расположены на всех трассах как в крупных городах, так и на основных крупных магистралях.

Главным и основным плюсом газа является его экологичность. Выхлопные газы не содержат в себе опасных соединений свинца, а содержание СО намного меньше, чем у автомобиля, который заправлен бензином. Также использование газа продлевает жизнь вашему

двигателю, он будет гораздо равномернее работать, масло будет тратиться меньше и, как следствие, не будет темных образований от нагара на стенках клапанов и поршней.

Еще одним преимуществом использования газа как топлива является бесшумная работа двигателя. Такое явление происходит, потому что отсутствует детонация, ведь октановое число газа 100 единиц, что намного выше, чем у бензина.

У заправки газом есть и свои недостатки:

– уменьшение полезного грузового объёма машины при установке газового оборудования;

– газ опасен, в отличие от бензина, поэтому всегда проводите осмотр газового оборудования. Здесь проще предупредить причину проблемы, чем в дальнейшем устранить последствия;

– газ ухудшает характеристики машины. Конкретно падает динамика езды и разгон примерно на 5 %. Это компенсируется его длительным расходом. Газ сгорает дольше в отличие от бензина, поэтому температура в камере довольно высокая. В результате из-за этого на двигателях, которые перегреваются примерно на 5–10 %, уменьшается ресурс работы клапанов.

5.6. Газовые конденсаты

К газовым конденсатам относят жидкие углеводороды, конденсирующиеся при нормальных условиях из природных газов, находящихся в подземных пластах под давлением 4,9–9,8 МПа и температуре до 150 °С.

Уровень физико-химических и эксплуатационных свойств газоконденсатов близок к дизельным топливам, что позволяет применять их как топливные компоненты. Наиболее целесообразно использовать газовые конденсаты в качестве топлива для дизелей на местах их добычи без сложной переработки.

Дистилляционная кривая для газовых конденсатов представлена на рис. 5.4.

В качестве топлив для дизелей применяются два вида газовых конденсатов – ГШЗ и ГШЛ.

ГШЗ – газоконденсатное широкофракционное топливо, которое получают прямой перегонкой газовых конденсатов месторождений Севера или смешением дизельных фракций газовых конденсатов с то-

варными дизельными топливами. ГШЗ используют при температуре окружающего воздуха $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ и выше.

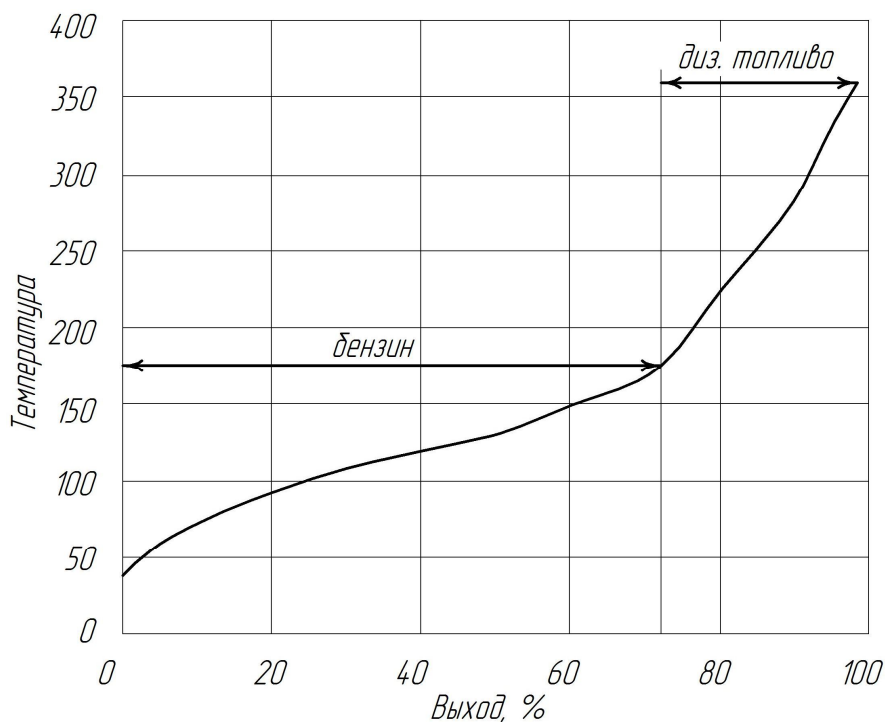


Рис. 5.4. Дистилляционная кривая для газовых конденсатов

ГШЛ получают прямой перегонкой газовых конденсатов месторождений Средней Азии или смешением дизельных фракций газовых конденсатов с товарными дизельными топливами. Этот вид газового конденсата применяют в районах месторождений газового конденсата и прилегающей местности при температуре окружающего воздуха выше $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Вследствие меньшей плотности газоконденсатного топлива уменьшается подача его в двигатель и при неизменной регулировке топливной аппаратуры мощность дизеля снижается примерно на 7 % по сравнению с дизельным топливом.

Газоконденсатное топливо токсично и взрывоопасно, оно оказывает вредное воздействие на центральную нервную систему человека, раздражает кожные покровы, слизистые оболочки глаз и верхних дыхательных путей. Предельная концентрация паров углеводородов в пересчете на углерод составляет 300 мг/м^3 . Взрывоопасные смеси образуются при объемном содержании газовых конденсатов в воздухе 1,4 % (нижний предел) и 8 % (верхний предел). Температура вспышки паров топлива $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а самовоспламенения $+250\text{--}370\text{ }^{\circ}\text{C}$. Определенную

опасность представляет образование искры в процессе работы с топливом.

Переход с жидкого топлива на газовое увеличивает срок службы двигателя и продолжительность работы (до замены) моторного масла и свечей зажигания. Кроме того, в 2–5 раз снижается суммарная токсичность отработавших газов. Однако применение газового топлива имеет и недостатки. Один из них – затрудненный пуск двигателя на газовом топливе при низких температурах из-за образования ледяных пробок в топливной системе.

5.7. Перспективные виды топлива для ДВС машин

Одним из перспективных путей экономии топлива для двигателей машин и снижения выбросов отработавших газов в атмосферу является частичная или полная замена традиционных топлив другими, не нефтяного происхождения. Наиболее интенсивно ведутся исследования в направлении использования в качестве топлива синтетических спиртов, смесей эфира, водорода, водотопливных эмульсий и др.

Перспективные топлива для современных мобильных двигателей должны обладать такими физико-химическими и эксплуатационными свойствами, которые не приводили бы к коренному изменению конструкции двигателя, топливной аппаратуры и условиям его хранения.

Синтетические спирты.

Наиболее близки по качествам к топливам нефтяного происхождения метиловый спирт (метанол), получаемый из угля, природного газа, бытовых отходов, отходов лесного хозяйства, и этиловый спирт (этанол), вырабатываемый из сахарного тростника, свеклы, зерновых и других сельскохозяйственных культур.

При работе двигателя на чистом метаноле увеличивается его мощность, снижается тепловая напряженность деталей цилиндропоршневой группы, нагарообразование и закоксовывание. Также улучшаются экологические характеристики отработавших газов: содержание окислов азота снижается в 1,5–2,0 раза, углеводородов – в 1,3–1,7 раза, а концентрация окиси углерода остается в среднем той же, что и при работе на бензине.

Однако применение метанола в качестве топлива требует изменения конструкции топливной аппаратуры, двигателя и в какой-то мере самой машины. Так, например, возникает необходимость оборудовать двигатель устройствами, облегчающими пуск, особенно при отрица-

тельных температурах; увеличивать вместимость топливных баков, так как использование метанола снижает запас хода автомобиля в 2 раза; заменять некоторые материалы системы питания более стойкими из-за высокой коррозионной агрессивности метанола.

Серьезную проблему применения метанола в качестве топлива представляет его высокая токсичность. Необходимо обеспечивать тщательную герметизацию топливоподающей системы питания двигателя и соблюдать правила техники безопасности. Предельно допустимая концентрация паров метанола в воздухе составляет 5 мг/м^3 (метанол менее вреден, чем тетраэтилсвинец).

В то же время использование метанола в качестве добавки к бензину (бензин с добавлением 15 % метанола называют бензометанольной смесью М15) дает следующие положительные результаты:

- нет необходимости вносить изменения в конструкцию двигателя и настройки его топливной аппаратуры;
- при сохранении мощности двигателя и динамических показателей машины, а также токсичности отработавших газов;
- создается возможность применять бензин с несколько меньшим октановым числом, заменять этилированный бензин неэтилированным;
- нет необходимости вводить в бензин добавки стабилизационного характера (например, дорогостоящий изобутиловый спирт), так как смесь бензина метанолом дольше сохраняет стабильность (устойчивый пуск холодного двигателя обеспечивается при температуре воздуха – $26 \text{ }^\circ\text{C}$).

Этанол в качестве топлива может применяться как в смеси бензином, так и самостоятельно. По некоторым показателям, этанол как топливо превосходит метанол. Смесь 50 % этанол с 50% бензина А80 дает октановое число, равное 92,5. Такая смесь применима для инжекторной машины, так как показаний с лямбда-зонда и возможностей самонастройки ЭБУ достаточно для необходимого обогащения смеси. Ни перепошивки, ни адаптера в таком случае не требуется.

Использование спиртов в качестве добавки в дизельное топливо снижает его вязкость, уменьшает плотность (спирт имеет более низкую плотность). Однако низкая температура самовоспламенения (низкое цетановое число) позволяют использовать метанол и этанол для дизелей только при условии конструктивных изменений двигателя и в количествах, не превышающих соответственно 15 и 20 %. Такие смеси сохраняют чистоту и не вызывают коррозии деталей двигателя, но их применение ограничено из-за высокой стоимости присадок.

Биодизель, биотопливо – это топливо на основе растительных или животных жиров (масел) из биологического сырья, получаемое, как правило, в результате переработки стеблей сахарного тростника или семян рапса, кукурузы, сои (рис. 5.5). Цетановое число для биодизеля не менее 51. Применяется в технике в чистом виде и в виде различных смесей с дизельным топливом. В США смесь дизельного топлива с биодизелем обозначается буквой В; число после буквы означает процентное содержание биодизеля:

В2 – 2 % биодизеля, 98 % дизельного топлива.

В100 – 100 % биодизеля.



Рис. 5.5. Биодизель

В настоящее время В20 – самая распространенная биодизельная смесь в США. Считается, что она позволяет удачно сбалансировать требования, связанные с особенностями ДТ, рабочими характеристиками, эмиссией отработавших газов и стоимостью. Эта смесь может использоваться в системах, предназначенных для работы на дизельном топливе, в том числе в дизельных двигателях, нефтяных нагревательных котлах и турбинах, не требуя никаких перерегулировок и переделок. Применение смесей с более высоким содержанием биодизеля (типа В50 или В100) требует специальной подготовки системы управления и может потребовать модификации оборудования, например, применения специальных подогревателей или замены уплотнений и прокладок, которые контактируют с топливом. В целом считается, что В100 обеспечивает наиболее высокие экологические характеристики. В20 обеспечивает получение впятеро меньших экологических преимуществ по сравнению с В100, но может широко использоваться на существующих двигателях при незначительной их модификации или вообще без нее; 2-процентная смесь биодизеля с ДТ обес-

печивает незначительное улучшение экологических характеристик, но может использоваться как полезная добавка.

Одной из наиболее важных характеристик ДТ является его способность к самовоспламенению. Эта характеристика определяется величиной цетанового числа топлива (цетановым индексом). Американское ДТ имеет сравнительно невысокие цетановые числа, в среднем около 40, а европейское ДТ имеет цетановый индекс 50 ед. Исследования показали, что цетановые числа биодизеля лежат в интервале величин от 45,8 до 56,9 ед.

Другой важной характеристикой дизельного топлива являются его смазочные свойства. Смазка топливных форсунок и некоторых типов топливных насосов обеспечивается самим топливом. Биодизель имеет лучшие смазочные свойства, чем современные ДТ с низким содержанием серы (500 весовых частей серы на 1 млн весовых ед. топлива – 500 ppm). Проблема улучшения смазочных свойств ДТ обострится, когда будет введено требование об уменьшении содержания серы в ДТ (до 15 ppm). Как показывают исследования, добавление 1–2 % (по объему) биодизеля в смесь с ДТ с низким содержанием серы улучшает смазочные свойства этого топлива. В продуктах сгорания биодизеля отсутствуют сера или частицы ароматиков. Биодизель содержит до 10 % кислорода, что способствует активизации процесса сгорания при работе двигателя на богатых смесях.

Биодизель обладает определенными недостатками. Как упоминалось ранее, в холодных условиях двигатель работает на биодизеле заметно хуже, чем на ДТ. Температура начала процесса, при которой топливо становится мутным, называют точкой кристаллизации (помутнения). При еще более низкой температуре топливо теряет текучесть, становится гелем, который не может быть прокачан по трубопроводу. Оба названных температурных порога у биодизеля выше, чем у ДТ.

С другой стороны, повышенная растворяющая способность биодизеля и его агрессивность могут создать проблемы для топливной системы. Биодизель может оказаться несовместимым с материалами уплотнений, используемыми в топливных системах транспортных средств машин, выпущенных до 1994 г. Поэтому переход на использование смесей В20 или В100 в любом транспортном средстве или машине требует большой осторожности.

Биодизель не оказывает существенного положительного влияния на увеличение эффективной энергии в двигателе. Содержание

энергии в единице объема биодизеля на 11 % ниже, чем у ДТ, поэтому транспортное средство, работающее на В20, при прочих равных условиях будет иметь пробег на 2,2 % меньший (на единицу объема топлива), чем при работе на ДТ. Приблизительно 11 % массы В100 составляет кислород. Присутствие кислорода в биодизеле улучшает процесс сгорания и способствует уменьшению выбросов углеводородов, угарного газа и сокращению эмиссии макрочастиц; но при этом кислородосодержащие топлива имеют тенденцию к увеличению эмиссии окислов азота.

Физико-химические и эксплуатационные свойства перспективных и современных топлив для ДВС представлены в табл. 5.5.

Таблица 5.5

Физико-химические и эксплуатационные свойства перспективных и современных топлив для ДВС

Параметры свойств	Синтетические спирты		Смесь эфиров (МТБЭ)	Водород	Сжатый газ метан	Компоненты сжиженного газа		Бензин
	метанол	этанол				пропан	бутан	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Молекулярная масса	32,04	46,07	–	2,016	16,0	4,06	58,04	107,0
Теплота сгорания (низшая) удельная, МДж/кг	19,3	29,75	–	120	49,85	45,97	45,44	44,0
Теплота сгорания горючей смеси при коэффициенте избытка воздуха $\alpha=1$ МДж/м ³	–	3,535	–	–	3,23	3,46	3,5	3,45-3,56
Теоретически необходимое количество воздуха для сгорания топлива в газообразном состоянии	6,463	8,85	–	34,5	–	15,7	15,35	14,9
Температура воспламенения топлива в воздухе при атмосферном давлении, °С	743	426	421	547-637	685-747	507-577	475-547	470-530

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Температура кипения при давлении 100 кПа, °С	64,7	78,3	51-62	-252,7	-161,5	-42,1	-0,5	33-188
Октановое число (по моторному методу)	90-94,6	94	101	–	110	–	93	85

Водородное топливо.

При работе двигателя на водороде отработавшие газы не содержат окиси углерода, углеводородов, окислов свинца, а окислы азота присутствуют в меньших количествах, чем при работе на бензине. Однако при этом конструкции системы питания и двигателя в целом значительно усложняются. Уже сейчас имеются разработки, реализующие водород в двигателях на топливных элементах для мобильных машин (рис. 5.6).



Рис. 5.6. Водородное топливо

Об экологической чистоте водорода можно сказать только одно: при его сгорании и реакциях в топливных элементах образуется вода и ничего кроме воды.

Hydrogen в ДВС может быть использован двумя способами: или сжигаться в двигателе внутреннего сгорания, или использоваться в топливных элементах. Основное количество новых концепткарв ис-

пользуют технологии топливных элементов. Но такие компании, как Mazda и BMW, пошли по второму пути и на это есть веские причины:

1. Основным препятствием водородных технологий является инфраструктура. В странах бывшего Советского Союза о водородном автомобиле вообще можно пока и не мечтать. До появления водородных заправок пройдет еще не один год, а может и десяток лет. Остается ждать, когда же и мы вместе со всем миром начнем спасать планету от экологической катастрофы.

2. Еще одной проблемой внедрения водорода является его способ хранения. Вся сложность заключается в том, что атом водорода самый маленький по размерам в химической таблице, а это значит, что он может проникать практически сквозь любое вещество. Это значит, что даже самые толстые стальные стенки будут медленно, но верно его пропускать. Эта проблема сейчас решается химиками.

3. Одним из недостатков является бак. 10 кг водорода могут заменить 40 кг бензина, при этом 10 кг вещества занимают объем 8000 л. Для уменьшения объема газа его нужно сжижать, а сжиженный водород надо безопасно и удобно хранить. Баки современных водородных автомобилей весят около 120 кг, что почти в два раза больше стандартных баков. Эта проблема скоро будет решена.

Машина на топливных элементах – простая и чрезвычайно надежная система, но ее широкому распространению мешает инфраструктура. Например, если купить автомобиль на топливных элементах и использовать его в России, то на заправку придется ездить в Германию. А инженеры BMW пошли другим путем. Они построили автомобиль BMW Hydrogen 7, использующий водород как горючее топливо, причем этот автомобиль может использовать как бензин, так и водород, как многие современные автомобили, оснащенные системой питания «газ – бензин».

Преимущества у водородного топлива намного больше, чем недостатков. Водород сгорает намного эффективнее, не имеет вредных веществ в выхлопе, не производит сажи, а это значительно увеличивает ресурс двигателей. Водород – легко возобновляемое топливо, поэтому природа не получит практически никакого вреда.

Топливный элемент – пожалуй, самый эффективный способ получения энергии из водорода. Он работает по принципу батарейки: в топливном элементе имеется два электрода, между ними движется водород, происходит химическая реакция, на электродах появляется электрический ток, а вещество превращается в воду.

Водородная энергетика – экономичное и экологичное направление выработки и потребления энергии человечеством, основанное на использовании водорода в качестве средства для аккумуляирования, транспортировки и потребления энергии людьми, транспортной инфраструктурой и различными производственными направлениями. Водород выбран как наиболее распространенный элемент на поверхности земли и в космосе, теплота сгорания водорода наиболее высока, а продуктом сгорания в кислороде является вода (которая вновь вводится в кругооборот водородной энергетике).

В настоящее время существует множество методов промышленного производства водорода [14]. Все цены приведены для США, 2004 г.

Производство водорода из природного газа.

В настоящее время данным способом производится примерно половина всего водорода. Водяной пар при температуре 700–1000 °С смешивается с метаном под давлением в присутствии катализатора. Себестоимость процесса \$2–5 за килограмм водорода. В будущем возможно снижение цены до \$2–\$2,50, включая доставку и хранение [14].

Газификация угля.

Старейший способ получения водорода. Уголь нагревают при температуре 800–1300 °Цельсия без доступа воздуха. Электричество могут вырабатывать топливные элементы, используя в качестве горючего водород, получающийся в процессе газификации угля.

Себестоимость процесса \$2–\$2,5 за килограмм водорода. В будущем возможно снижение цены до \$1,50, включая доставку и хранение [14].

Производство водорода из атомной энергии.

Использование атомной энергии для производства водорода возможно в различных процессах: химических, электролизе воды, высокотемпературном электролизе. Себестоимость процесса \$2,33 за килограмм водорода. Ведутся работы по созданию атомных электростанций следующего поколения [14].

Электролиз воды.

$\text{H}_2\text{O} + \text{энергия} = 2\text{H}_2 + \text{O}_2$. Обратная реакция происходит в топливном элементе. Себестоимость процесса \$6–\$7 за килограмм водорода при использовании электричества из промышленной сети. В будущем возможно снижение до \$4 за килограмм [14].

\$7–\$11 за килограмм водорода при использовании электричества, получаемого от ветрогенераторов. В будущем возможно снижение до \$3 за кг.

\$10–\$30 за килограмм водорода при использовании солнечной энергии. В будущем возможно снижение до \$3–\$4 за килограмм [14].

Водород из биомассы.

Водород из биомассы получается термохимическим или биохимическим способом. При термохимическом методе биомассу нагревают без доступа кислорода до температуры 500–800 °С (для отходов древесины), что намного ниже температуры процесса газификации угля. В результате процесса выделяется H_2 , CO и CH_4 . Современные установки производят электричество из биомассы с КПД более 30 %.

Себестоимость процесса \$5–\$7 за килограмм водорода. В будущем возможно снижение до \$1,0–\$3,0 [14].

В биохимическом процессе водород вырабатывают различные бактерии, например *Rhodobacter sphaeroides*.

Снижение цены водорода возможно при строительстве инфраструктуры по доставке и хранению водорода. После небольших изменений водород может передаваться по существующим газопроводам природного газа.

Контрольные вопросы

1. Какой основной показатель качества бензинов?
2. В чем суть моторного метода определения октанового числа?
3. Какие марки дизельных топлив вы знаете?
4. Какие требования предъявляют к качеству топлив для газобаллонных машин?
5. Какие перспективные виды топлива для ДВС машин вы знаете?

6. СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

6.1. Масла моторные для ДВС

Современные отечественные моторные масла вполне выдерживают сравнение с зарубежными аналогами той же потребительской категории. Нефтяная компания «Лукойл», как и другие российские компании, классифицирует и обозначает продукцию как по ГОСТ 17479.1, так и по международным стандартам SAE и API, что облегчает оценку уровня их качества в сравнении с зарубежными маслами. В международной практике действуют общие правила по подбору моторных масел. С учетом требований двигателя автомобиля и температуры окружающего воздуха моторное масло подбирается по двум основным критериям: вязкости по классификации SAE, уровню эксплуатационных свойств по классификации API или ACEA.

Для двигателей различной конструкции температурные диапазоны работоспособности класса по SAE существенно отличаются. Они зависят от мощности стартера и многих других конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

При выработке до 25 % от планового ресурса двигателя (новый двигатель) необходимо применять масла класса SAE 10W-30 или 5W-30 (всесезонно) для регионов средней полосы России. При выработке 25–75 % от планового ресурса двигателя (технически исправный двигатель) целесообразно летом применять масла класса SAE 10W-40, 15W-40, зимой SAE 5W-30 и 10W-30 или SAE 5W-40 (всесезонно) [1, 7, 15, 17].

При выработке более 75 % от планового ресурса двигателя (старый двигатель) следует летом применять масла класса SAE 15W-40 и 20W-50, зимой SAE 5W-40 и 10W-40 или SAE 5W-50 (всесезонно).

Применение масел последнего поколения обеспечивает высокую чистоту деталей двигателя и длительный ресурс его работы, позволяет максимально увеличить интервалы замены масел (до 15–30 тыс. км пробега).

6.2. Масла судовые

Дизели морских и речных судов, вспомогательные силовые агрегаты эксплуатируются на дизельных топливах с содержанием серы до 0,5 %, а судовые среднеоборотные дизели с большим диаметром

цилиндра и крещкопфные дизели – до 1,5 %. Это требует повышения температурных пределов работоспособности, высоких моюще-диспергирующих, антиокислительных, нейтрализующих и противозносных свойств. Специальное требование – судовые масла должны обладать деэмульгирующими качествами.

В соответствии с ГОСТ 12337 «Масла моторные для дизельных двигателей. Технические условия» вырабатывается 12 марок судовых масел различного уровня и качества назначения. Обозначение судовых масел регламентируется ГОСТ 17479.1.

6.3. Масла тепловозные

Среднеоборотные дизели тепловозов эксплуатируются на дистиллятных топливах с содержанием серы до 0,5 %. К тепловозным маслам предъявляются умеренные требования по температурным пределам работоспособности, уровню моюще-диспергирующих, антиокислительных, нейтрализующих и противозносных свойств. В соответствии с ГОСТ 12337, а также техническими условиями предприятий вырабатывается около 10 марок тепловозных масел различного качества и назначения.

6.4. Масла авиационные

В зависимости от типа двигателей летательных аппаратов масла условно делятся на масла для газотурбинных, поршневых двигателей и различных агрегатов вертолетов.

В авиации эксплуатируется два типа газотурбинных двигателей – турбореактивные и турбовинтовые. В турбореактивных двигателях используют маловязкие масла, а в турбовинтовых – более вязкие (поскольку требуется смазка редуктора воздушного винта).

В соответствии с ГОСТ 6457 ТУ 38.101163 и ТУ 3.101181 вырабатывается 12 марок масел для турбовинтовых и газотурбинных двигателей. В поршневых двигателях масла работают в условиях высоких температур в зоне поршневых колец, внутренней части поршней, клапанов и других деталей.

Работе в таких условиях отвечают масла с высокой смазывающей способностью, обладающие стабильностью к окислению при высоких температурах. В соответствии с ГОСТ 21743-76 вырабатывается масло МС-20 для поршневых двигателей.

6.5. Масла трансмиссионные

В разнообразных редукторах, коробках передач, раздаточных коробках, ведущих мостах и конечных передачах применяются прямозубые и косозубые цилиндрические, конические, спирально-конические, гипоидные и червячные передачи. Вид передачи, особенности конструкции узла и условий его эксплуатации определяют требования к смазочным маслам. Трансмиссионные масла должны обладать [18]:

- высокими противоизносными и противозадирными свойствами;
- хорошими вязкостно-температурными характеристиками, обеспечивающими требуемое качество смазывания деталей при холодном пуске изделия и необходимый уровень вязкости в диапазоне максимально высоких рабочих температур;
- малой коррозионной агрессивностью, в том числе по отношению к деталям из цветных металлов;
- высокой термоокислительной стабильностью, обеспечивающей постоянство вязкости в течение всего межсменного интервала;
- высокими защитными свойствами против ржавления;
- незначительным воздействием на материал уплотнителей;
- малой токсичностью.

Вопросы правильного назначения сорта масла для каждой конкретной конструкции узла значительно упрощаются благодаря имеющимся классификациям трансмиссионных масел по вязкости и эксплуатационным свойствам.

6.6. Масла промышленные

Разнообразие требований машиностроителей и широкий температурный диапазон применения промышленных масел обусловили необходимость выделения их в самостоятельную группу.

В единой системе обозначений промышленных масел учтено их применение в различном промышленном оборудовании, например в ткацких и токарных станках, прессах, прокатных станах, в редукторах и узлах трения, гидравлических системах и т.п., при различных условиях эксплуатации. Промышленные масла работают в узлах трения на открытом воздухе и в помещениях. Классификация промышленных масел отражена в ГОСТ 17479.4 «Масла индустри-

альные. Классификация и обозначения», который разработан с учетом требований международных стандартов ISO 3448 «Смазочные материалы индустриальные. Классификация вязкости» и ISO 6743-0 «Классификация смазок и индустриальных масел».

6.7. Масла турбинные

Турбинные масла включены в группу энергетических масел, предназначены для смазывания и охлаждения подшипников различных паровых и газовых турбин, гидротурбин и турбокомпрессорных машин. Используются в качестве рабочих жидкостей в системах регулирования турбоагрегатов, в циркуляционных системах промышленного оборудования.

Турбинные масла должны обладать хорошей стабильностью против окисления, не выделять при длительной работе осадков, не образовывать стойкой эмульсии с водой, которая может проникать в смазочную систему при эксплуатации, защищать поверхность от коррозии. Единой классификации для турбинных масел нет. Основные требования к эксплуатационным и физико-химическим свойствам изложены в правилах технической эксплуатации станций и сетей РФ (РД 34.20.501-95 РАО «ЕЭС России») и Инструкции по эксплуатации нефтяных турбинных масел (РД 34.43.102-96 РАО «ЕЭС России»).

6.8. Масла трансформаторные

Электроизоляционные свойства масел определяются тангенсом угла диэлектрических потерь. Диэлектрическая прочность трансформаторных масел ухудшается из-за наличия волокон и воды, поэтому механические примеси и вода в маслах должны быть полностью удалены. Низкая температура застывания (не выше $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$) необходима для сохранения их текучести при низких температурах. Для обеспечения отвода тепла трансформаторные масла должны обладать небольшой вязкостью, иметь температуру вспышки не ниже 95, 125, 135 и $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ для разных марок. Наиболее важное свойство трансформаторных масел – стабильность против окисления, т.е. способность сохранять исходные параметры при длительной работе. Согласно действующему РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования» регламентировано содержание воздуха и воды

в масле, указаны значения показателей масла, по которым его эксплуатационное состояние оценивается как нормальное. В том же РД даны значения показателей, при которых масло подлежит замене.

6.9. Классификация масел

Классификация моторных масел согласно ГОСТ 17479.1-85 подразделяет их на классы по вязкости и группы по значению и уровням эксплуатационных свойств. В табл. 6.1 и 6.2 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 [19].

Таблица 6.1

Классы вязкости моторных масел по ГОСТ 17479.1-85

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

1	2	3
6 ₃ /12	От 11,5 до 12,5	10400
6 ₃ /14	От 12,5 до 14,5	10400
6 ₃ /16	От 14,5 до 16,3	10400

ГОСТ 17479.1-85 предусмотрено обозначение моторных масел, сообщающее потребителю основную информацию об их свойствах и области применения. Стандартная марка включает следующие знаки:

– букву М (моторное), цифру или дробь, указывающую класс или классы вязкости (последнее для всесезонных масел), одну или две из первых шести букв алфавита, обозначающих уровень эксплуатационных свойств и область применения данного масла.

Универсальные масла обозначают буквой без индекса или двумя разными буквами с разными индексами:

- индекс 1 – присваивают маслам для бензиновых двигателей;
- индекс 2 – дизельным маслам.

Таблица 6.2

Группы моторных масел по назначению

Группа масла по эксплуатационным свойствам		Рекомендуемая область применения
1	2	3
А	–	Нефорсированные бензиновые двигатели и дизели
Б	Б ₁	Малофорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, способствующих образованию высокотемпературных отложений и коррозии подшипников
	Б ₂	Малофорсированные дизели
В	В ₁	Среднефорсированные бензиновые двигатели, работающие в условиях, способствующих окислению масла и образованию всех видов отложений
	В ₂	Среднефорсированные дизели, предъявляющие повышенные требования к антикоррозионным и противоизносным свойствам масел, а также склонности к образованию высокотемпературных отложений
Г	Г ₁	Высокофорсированные бензиновые двигатели, работающие в тяжелых условиях, способствующих окислению масла и образованию всех видов отложений, коррозии и ржавлению

1	2	3
Г	Г ₂	Высокофорсированные дизели без наддува или с умеренным наддувом, работающие в 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 и дизельные двигатели, работающие в эксплуатационных условиях, более тяжелых, чем для масел группы Д ₁ и Д ₂
	Е ₂	Отличаются повышенной диспергирующей способностью, лучшими противоизносными свойствами

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

– М-4з/8-В2Г1 – моторное масло всесезонное, универсальное для среднефорсированных дизелей (группа В₂) и высокофорсированных бензиновых двигателей (группа Г₁);

– 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.

6.10. Классификация моторных масел по SAE J300

Одними из основных свойств моторного масла являются его вязкость и ее зависимость от температуры в широком диапазоне (от температуры окружающего воздуха в момент холодного пуска зимой

до максимальной температуры масла в двигателе при максимальной нагрузке летом). Наиболее полное описание соответствия вязкостно-температурных свойств масел требованиям двигателей содержится в общепринятой на международном уровне классификации SAE J300. Эта классификация подразделяет моторные масла 12 классов от 0W до 60: 6 зимних (0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W) и 6 летних (10, 20, 30, 40, 50, 60) классов вязкости. Буква W перед цифрой означает, что масло приспособлено к работе при низкой температуре (Winter – зима). Для этих масел кроме минимальной вязкости при 100 °С дополнительно дается температурный предел прокачиваемости масла в холодных условиях. Предельная температура прокачиваемости означает минимальную температуру, при которой насос двигателя в состоянии подавать масло в систему смазки. Это значение температуры можно рассматривать как минимальную температуру, при которой возможен безопасный пуск двигателя. Всесезонные масла обозначаются двойным номером, первый из которых указывает максимальные значения динамической вязкости масла при отрицательных температурах и гарантирует пусковые свойства, а второй – определяет характерный для соответствующего класса вязкости летнего масла диапазон кинематической вязкости при 100 °С и динамической вязкости при 150 °С.

Классификация моторных масел по SAE представлена в табл. 6.3.

Таблица 6.3

Классификация моторных масел по SAE

Класс вязкости по SAE	Низкотемпературная вязкость		Высокотемпературная вязкость		
	Проворачиваемость ¹⁾ , МПа·с, max, при темп., °С	Проворачиваемость ²⁾ , МПа·с, max, при темп., °С	Кинематическая вязкость ³⁾ , мм ² /при 100·С _{min} ^{max}		При высокой скорости сдвига ⁴⁾ , МПа·с, при 150°С и 10 ⁶ с ⁻¹ , min
1	2	3	4	5	6
0W	3250 при -30	30000 при -35	3,8	–	–
5W	3500 при -25	30000 при -30	3,8	–	–
10W	3500 при -20	30000 при -25	4,1	–	–
15W	3500 при -15	30000 при -20	5,6	–	–
20W	4500 при -10	30000 при -15	5,6	–	–
25W	6000 при -5	30000 при -10	9,3	–	–
20	–	–	5,6	9,3	2,6
30	–	–	9,3	12,5	2,9
40	–	–	12,5	16,3	2,9 (классы 10W/10, 5W/40, 10W40)

1	2	3	4	5	6
40	–	–	12,5	6,3	3,7 (классы 15W/40, 20W/40, 25W/40, 40)
50	–	–	16,3	21,9	3,7
60	–	–	21,9	26,1	3,7

¹⁾ ASTM D 2602 – имитатор холодного пуска CCS;

²⁾ ASTM D 4684 и D 3829 – мини-ротационный вискозиметр MRV; присутствие любого напряжения сдвига, обнаруживаемое данным методом, означает непрохождение теста независимо от значения вязкости;

³⁾ ASTM D 445 – стеклянный капиллярный вискозиметр;

⁴⁾ ASTM D 4683 – конический имитатор подшипника; CEL-L-36-A-90 (ASTM D4741 и ASTM D5481).

Примечание. 1 cP=1 мПа·с; 1 cSt=1 мм²/с.

Методы испытаний, заложенные в оценку свойств масел по SAE J300, дают потребителю информацию о предельной температуре масла, при которой возможно проворачивание двигателя стартером и масляный насос прокачивает масло под давлением в процессе холодного пуска в режиме, недопускающем сухого трения в узлах трения.

Аббревиатура HTHS расшифровывается как High Temperature High Shear Rate, т.е. «высокая температура – высокая прочность на сдвиг». С помощью данного испытания измеряется стабильность вязкостной характеристики масла в экстремальных условиях при очень высокой температуре. Большинство присутствующих сегодня на рынке моторных масел являются всесезонными, т. е. удовлетворяют требованиям по вязкости как при низких, так и при высоких температурах.

Необходимо обратить внимание на то, что для двигателей различной конструкции температурные диапазоны работоспособности масла данного класса по SAE существенно отличаются. Они зависят от мощности стартера, минимальной пусковой частоты вращения коленчатого вала, требуемой для пуска двигателя, от производительности масляного насоса, от гидравлического сопротивления маслоприемного тракта и многих других конструкционных, технологических и эксплуатационных факторов (техническое состояние автомобиля, качество бензина или дизтоплива, квалификации водителя и др.). Предварительные рекомендации по подбору масел по вязкости: при пробеге автомобиля менее 25 % от планового ресурса двигателя (или новый двигатель) необходимо применять масла классов SAE 5W-30 или 10W-30 всесезонно; при пробеге автомобиля 25–75 % от планового

ресурса двигателя (технически исправный двигатель) целесообразно применять летом масла классов SAE 10W-40, 15W-40, а зимой – SAE 5W-30 и 10W-30, всесезонно – SAE 5W-40. Редакция SAE J-300APR97 от 1 августа 2001 г. включает в себя 6 зимних и 5 летних классов моторных масел. Зимние содержат в обозначении букву «W» (от англ. «Winter» – зима): 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W. Летние обозначаются – 20, 30, 40, 50, 60 (чем больше число, тем выше вязкость масла). Всесезонные масла имеют двойное обозначение, например SAE 15W-40.

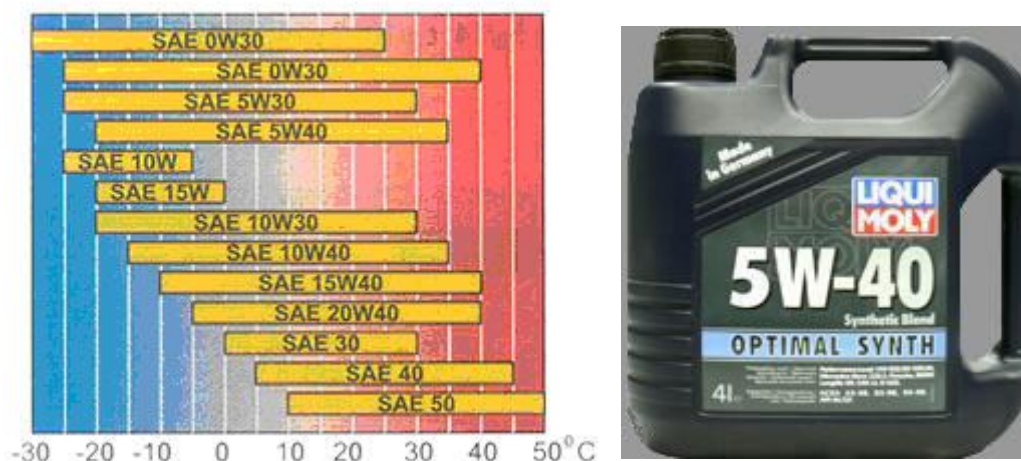


Рис. 6.1. SAE-классификация масел по вязкости

Ориентировочные диапазоны температур окружающего воздуха, при которых обеспечивается холодный пуск и надежное смазывание двигателя моторными маслами некоторых классов вязкости по SAE, представлены на рис. 6.1. Для разных моделей двигателей температурные диапазоны могут несколько отличаться.

6.11. Классификация моторных масел по API

Система классификации масел API разработана в 1947 г. Американским институтом нефти (American Petroleum Institute). Стандарты рабочих характеристик API указываются при помощи сокращений API SJ и API SE:

- первая буква означает тип двигателя (S – бензиновый, а C – дизельный);
- вторая буква означает уровень рабочих характеристик, и чем ниже уровень характеристик, тем выше буква в алфавите.

SN – это новейший стандарт для бензиновых двигателей. CF – это последний стандарт для легких дизельных автомобилей. CD-II И

CF-2 классификация для двухтактных дизельных двигателей. От CF-4 до CH-4 – это стандарты для тяжелых дизельных двигателей.

Для достижения уровней рабочих характеристик API смазочные материалы должны успешно пройти четыре испытания, во время которых учитывается следующее:

- повышение температуры масла в работающем двигателе;
- удлинение периода между заменой масла, рекомендованного изготовителем;
- усилия для достижения рабочих характеристик двигателя;
- стандарты по охране окружающей среды, требования которых всё время ужесточаются, а также для некоторых масел;
- более низкий расход топлива благодаря низкой вязкости (энергосберегающая категория).

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

На рис. 6.2 представлена API-классификация масел по качеству.

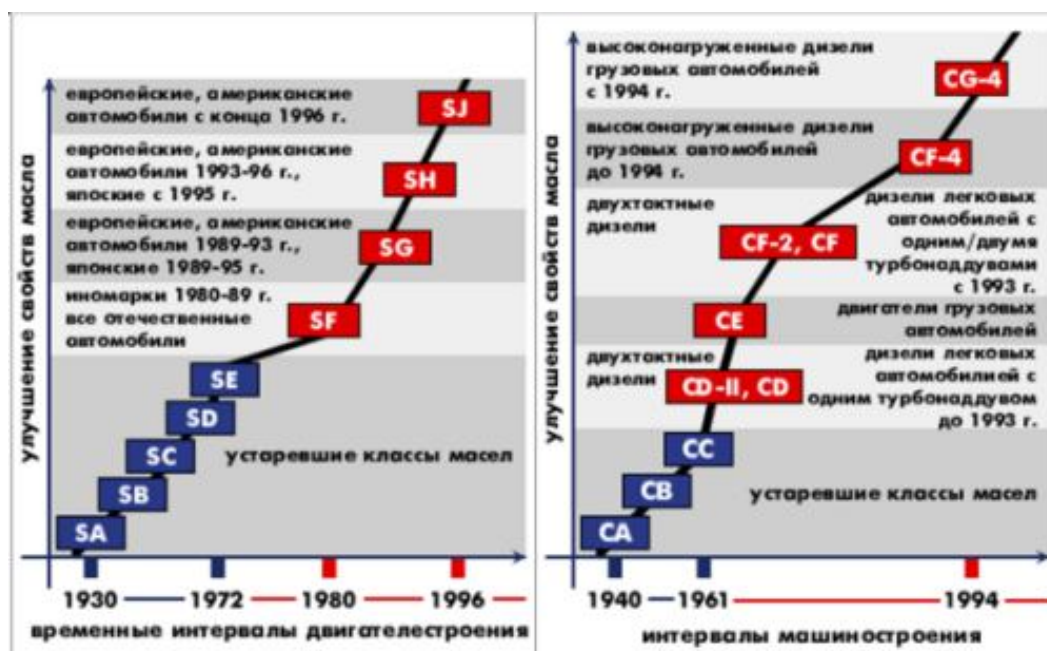


Рис. 6.2. API-классификация масел по качеству

Вязкость синтетических масел при температурах $250\text{--}300\text{ }^{\circ}\text{C}$, выше (до 2–3 раз), чем у равновязких им при $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ минеральных.

Они имеют лучшую термическую стабильность, низкую испаряемость и малую склонность к образованию высокотемпературных отложений. Поэтому синтетические масла могут с успехом применяться в высокофорсированных теплонапряженных двигателях. Синтетические масла, как правило, превосходят минеральные по антиокислительным свойствам, диспергирующей и механической стабильности, обладают равными или лучшими противоизносными и противозадирными свойствами. В связи с этим синтетические масла имеют срок службы более 20 тыс. км пробега, а отдельные образцы служат 80–100 тысяч км без смены.

Расход синтетических масел на угар на 30–40 % ниже, чем минеральных. Стоимость синтетических масел в 2–3 раза выше, чем минеральных. Однако высокие эксплуатационные свойства, большой срок службы в двигателях до замены, низкий расход на угар и вследствие этого меньший общий расход масла делают применение их целесообразным.

6.12. Соответствие классификаций ГОСТ 17479.1-85 и SAE

Нередко возникает необходимость решения вопросов взаимозаменяемости российских и зарубежных моторных масел, например, когда необходимо выбрать российское масло для импортной техники или зарубежное масло для экспортируемой российской техники.

Общепринятой в международном масштабе стала классификация моторных масел по вязкости Американского общества автомобильных инженеров – SAE J300. ГОСТ 17479.1-85 в справочных приложениях дает примерное соответствие классов вязкости и групп по назначению и эксплуатационным свойствам, изложенным в ГОСТе, классам вязкости по SAE по условиям и областям применения моторных масел. Следует подчеркнуть, что речь идет не об идентичности, а только об ориентировочном соответствии (табл. 6.4).

Классы вязкости SAE в большинстве случаев имеют более широкие диапазоны кинематической вязкости при 100 °С, чем классы вязкости по ГОСТ 17479.1-85. По этой причине одному классу SAE могут соответствовать два смежных класса по ГОСТ 17479.1-85. В таком случае предпочтительно указать аналог, имеющий самое близкое фактическое значение вязкости по проспектным данным или нормативной документации на данный продукт.

Соответствие классов вязкости

ГОСТ 17479.1-85	SAE	ГОСТ 17479.1-85	SAE
33	5W	24	60
43	10W	33/8	5W-20
53	15W	43/6	10W-20
63	20W	43/8	10W-20
6	20	43/10	10W-20
8	20	53/10	15W-30
10	30	53/12	15W-30
12	30	53/14	15W-40
14	40	63/10	20W-30
16	40	63/14	20W-40
20	50	63/16	20W-40

6.13. Соответствие классификаций ГОСТ 17479.1-85 и API

Уровень эксплуатационных свойств и область применения зарубежных производители моторных масел в большинстве случаев указывают по классификации API.

ГОСТ 17479.1-85 в справочных приложениях дает примерное соответствие классов вязкости и групп по назначению и эксплуатационным свойствам, изложенным в ГОСТе, классам вязкости по SAE и классам API по условиям и областям применения моторных масел. Следует подчеркнуть, что речь идет не об идентичности, а только об ориентировочном соответствии. Данные табл. 6.5 дают возможность, зная стандартную марку отечественного масла, выбрать его зарубежный аналог или, зная характеристики импортного масла по классификации API, найти его ближайший отечественный аналог.

Моторные масла, относящиеся к одному и тому же классу API, но производимые разными фирмами, могут существенно отличаться по составу базовых масел, типам используемых присадок и, следовательно, иметь специфические свойства, удовлетворять предъявляемые требования близко к предельным значениям или иметь запас качества. При выборе аналога по области применения и уровню эксплуатационных свойств обязательно должны быть приняты во внимание все специальные требования к моторному маслу со стороны изготовителя техники (например, ограничения по сульфатной зольности, отсут-

вие или, напротив, наличие определенного количества цинка, отсутствие в составе масла растворимых модификаторов трения, содержащих молибден, и т.п.).

Таблица 6.5

Соответствие групп моторных масел

ГОСТ 17479.1-85	API	ГОСТ 17479.1-85	API
А	SB	Г2	OC
Б	SC/CA	Д1	SF
Б1	SC	Д2	CD
Б2	CA	Е1	SG
В	SD/CB	Е2	CF-4
В1	SD	–	SH
В2	CB	–	SJ
Г	SE/CC	–	CG-4
Г1	SE	–	–

Согласно классификациям ГОСТ 17479.1-85 и API группу (класс) по уровню эксплуатационных свойств устанавливают только по результатам испытаний моторных масел в специальных одноцилиндровых установках и полноразмерных двигателях. Испытания проводят в стендовых условиях по стандартным методам. Чем выше присваиваемый маслу уровень эксплуатационных свойств, тем «строже» проходные оценки результатов испытаний или жестче условия их проведения.

6.14. Классификация ACEA

Классификация ACEA – Association des Constructeurs Europeens de L'Automobile (Ассоциация европейских производителей автомобилей). ACEA принята в Европе взамен существовавшей ранее ССМС в 1995 г. Эта классификация устанавливает новую, более жесткую по сравнению с ССМС, европейскую классификацию моторных масел по эксплуатационным свойствам (табл. 6.6).

В объединение ACEA входят следующие компании: BMW, Volkswagen, Daimler-Crysler, MAN, Porsche, Volvo, Renault, SAAB-Scania, Rolls-Royce, Fiat, Ford-Europe, Rover, Iveco, DAF, GM-Europe.

Описание классов и категорий

Обозначение класса	Описание
1	2
A1	Масла с особо низкой вязкостью. При высоких температурах и большим градиентом сдвига экономят расход топлива и не теряют стабильные смазывающие свойства. Применяются только в тех случаях, если это специально рекомендовано производителем двигателя
A2	Масла с нормальными эксплуатационными свойствами. Пригодны для использования во многих бензиновых двигателях при обычной периодичности смены масла
A3	Масла с высокими эксплуатационными характеристиками. Пригодны при более длительных интервалах смены масла и для применения в качестве всесезонных масел с низкой вязкостью. Имеют стабильную вязкость (stay-in-grade)
B1	Масла с особо низкой вязкостью. При высоких температурах и большим градиентом сдвига экономят расход топлива и не теряют стабильные смазывающие свойства. Применяются только в тех случаях, если это специально рекомендовано производителем двигателя
B2	Используются главным образом в дизельных двигателях с промежуточным (не прямым) впрыском при обычной периодичности смены масла
B3	Используются главным образом в дизельных двигателях с промежуточным (не прямым) впрыском, пригодны также при более длительных интервалах смены масла и для применения в качестве всесезонных масел с низкой вязкостью. Имеют стабильную вязкость (stay-in-grade)
B4	Преимущественно используются в дизельных двигателях с непосредственным впрыском топлива, если для них рекомендованы масла данного качества
E1	Используются в безнаддувных дизельных двигателях (атмосферных) и в турбодвигателях с небольшим наддувом при легких и средних условиях эксплуатации и обычном интервале смены масла
E2	Используются в безнаддувных дизельных двигателях и в турбодвигателях при условиях эксплуатации от средних до тяжелых и в основном при обычных интервалах смены масла

1	2
E3	Масла, специально предназначенные для обеспечения особой чистоты поршня и образования зеркальной поверхности (bore polishing), уменьшают износ и образование нагара. Стойкие к старению. Рекомендуются для дизельных двигателей Евро-1 и Евро-2 при тяжелых условиях эксплуатации. Могут использоваться при более длительных интервалах смены масла в соответствии с предписаниями производителя
E4	Масла, эксплуатационные свойства которых превосходят свойства масел класса E3. Рекомендуются для быстроходных дизельных двигателей Евро-1 и Евро-2 при очень тяжелых условиях эксплуатации. Могут использоваться при более длительных интервалах смены масла в соответствии с предписаниями производителя. Имеют стабильную вязкость (stay-in-grade)

Соответствие ACEA – API представлено в табл. 6.7.

Классификация «ACEA European Oil Sequences for Service Fill Oils 1998» состоит из трех классов последовательности испытаний – А, В, Е. Каждый класс в свою очередь подразделяется на категории, обозначенные арабскими цифрами. Далее указывается год введения в действие, а также может быть указание на второе, более позднее издание данной нормы.

Цифра после буквы обозначает уровень требований. Чем больше номер, тем выше требования. Исключениями являются уровни А1 и В1, которые относятся к маслам с малой вязкостью, т. н. «топливосберегающим». Класс В4 в основном совпадает с классом В2, но дополнен испытаниями на двигателях с непосредственным впрыском топлива.

Европейская комиссия управления качества для моторных масел EELQMS (European Engine Lubricant Quality Management System) служит для гарантированного обеспечения качества продукции моторных масел в Европе на основе надежных методов испытаний при контролируемых условиях.

Каждый производитель (поставщик масел), который хочет рекламировать и сбывать свои продукты в соответствии со стандартами качества ACEA, обязан проводить испытания в соответствии с требованиями EELQMS.

Все испытательные лаборатории должны быть сертифицированы в соответствии со стандартом ISO 9001, испытательные стенды должны быть сертифицированы с требованиями EN 45001. Процесс

испытаний регистрируется в European Registration Centre (ERC), но именных сертификатов при этом не выдается.

Таблица 6.7

Соответствие ACEA – API

ACEA-98	Масла для бензиновых двигателей			Масла для лёгких дизельных двигателей				Масла для тяжёлых дизельных двигателей			
	A1-98	A2-98	A3-98	B1-98	B2-98	B3-98	B4-98	E1-98	E2-98	E3-98	E4-98
	С низким уровнем трения	Общего назначения	Долгорботающие, без агрессивных компонентов	С низким уровнем трения	Общего назначения, предкамерные двигатели	Долгорботающие предкамерные двигатели	Долгорботающие двигатели с впрыском	Общего назначения без наддува	Общего назначения с наддувом	Увеличенные сроки смены с наддувом	Долгорботающие двигатели с наддувом, без агрессивных компонентов
API	Масла для бензиновых двигателей			Масла универсальные				Масла для дизельных двигателей			
	SH+ GF-2	SH, SJ+ GF-2	SJ+ GF-2	CF-4 /SH	CF-4 /SH	CF-4 /SJ	CF-4 /SJ	CD	CF-4	CG-4	CG-4
	Энергосберегающие 0W-30, 5W-30	Всесезонные	Всесезонные, без агрессивных компонентов	Энергосберегающие 0W-30, 5W-30	Всесезонные 10W-30, 10W-40, 15W-40	Всесезонные, долгорботающие					

А – бензиновые двигатели (A1, A2, A3 и A5);

В – дизельные двигатели малой мощности, устанавливаемые на легковые и грузовые автомобили малой мощности (B1, B2, B3, B4 и B5);

Е – дизельные двигатели для тяжелого транспорта (E1, E2, E3, E4, E5 и E7).

Классификация ACEA 2004.

Европейская ассоциация производителей автомобилей (ACEA) с конца 2004 г. ввела новую классификацию моторных масел, существенно отличающуюся от предшествующей (табл. 6.8).

Описание классов и категорий

Обозначение класса	Описание
1	2
A1/B1-04	<ul style="list-style-type: none"> • Масла, предназначенные для применения в бензиновых двигателях и дизелях легких транспортных средств, в которых возможно использование масел, снижающих трение, масловязких при высокой температуре и высокой скорости сдвига (от 2,9 до 3,5 мПа·с). • Эти масла могут быть не пригодны для смазывания некоторых двигателей. Необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации и справочниками
A3/B3-04	<ul style="list-style-type: none"> • Стойкие к механической деструкции масла с высокими эксплуатационными свойствами, предназначенные для применения в высокофорсированных бензиновых двигателях и дизелях легких транспортных средств и/или для применения с увеличенными интервалами между сменами масла в соответствии с рекомендациями изготовителей двигателей, и/или для применения в особо тяжелых условиях эксплуатации, и/или всесезонного применения маловязких масел
A3/B4-04	<ul style="list-style-type: none"> • Стойкие к механической деструкции масла с высокими эксплуатационными свойствами, предназначенные для применения в высокофорсированных бензиновых двигателях и дизелях с непосредственным впрыском топлива
A5/B5-04	<ul style="list-style-type: none"> • Стойкие к механической деструкции масла, предназначенные для применения с увеличенными интервалами между сменами масла в высокофорсированных бензиновых двигателях и дизелях легких транспортных средств, в которых возможно использование масел, снижающих трение, масловязких при высокой температуре и высокой скорости сдвига (от 2,9 до 3,5 мПа·с). • Эти масла могут быть не пригодны для смазывания некоторых двигателей. Необходимо руководствоваться справочниками
C1-04	<ul style="list-style-type: none"> • Стойкие к механической деструкции масла, совместимые с агрегатами нейтрализации отработанных газов, предназначенные для применения в высокофорсированных бензиновых двигателях и дизелях легких транспортных средств, оборудованных сажевыми фильтрами и трехкомпонентными катализаторами. Они пригодны для двигателей, в которых возможно использование масел, снижающих трение, масловязких при высокой температуре и высокой скорости сдвига (2,9 мПа·с). • Эти масла имеют наименьшую сульфатную зольность и самое низкое содержание фосфора и серы и могут быть не пригодны для смазывания некоторых двигателей. Необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации и справочниками

1	2
С2-04	<ul style="list-style-type: none"> • Стойкие к механической деструкции масла, совместимые с агрегатами нейтрализации отработанных газов, предназначенные для применения в высокофорсированных бензиновых двигателях и дизелях легких транспортных средств, оборудованных сажевыми фильтрами и трехкомпонентными катализаторами. Они пригодны для двигателей, в которых возможно использование масел, снижающих трение, масловязких при высокой температуре и высокой скорости сдвига (2,9 мПа·с). • Эти масла увеличивают срок службы сажевых фильтров и катализаторов и дают экономию топлива. Необходимо руководствоваться инструкцией по эксплуатации и справочниками
С3-04	<ul style="list-style-type: none"> • Стойкие к механической деструкции масла, совместимые с агрегатами нейтрализации отработанных газов, предназначенные для применения в высокофорсированных бензиновых двигателях и дизелях легких транспортных средств, оборудованных сажевыми фильтрами и трехкомпонентными катализаторами, увеличивают срок службы последних
Е6	<ul style="list-style-type: none"> • Стойкие к механической деструкции и старению масла, обеспечивающие высокую чистоту поршней, малый износ и предотвращающие негативное влияние сажи на свойства масла. • Рекомендованы для применения в высокооборотных дизелях, работающих в особо тяжелых условиях эксплуатации, выполняющих требования Евро-1, Евро-2, Евро-3 и Евро-4 по эмиссии токсичных веществ, и работоспособных при значительно увеличенных интервалах между сменами масла в соответствии с рекомендациями автопроизводителей. • Они применимы при наличии или отсутствии сажевых фильтров и для двигателей с рециркуляцией отработанных газов, с системой катализаторов снижения уровня оксидов азота. • Масла данной категории следует применять в сочетании с малосернистым дизельным топливом (содержание серы не более 0,005 %)
Е7	<ul style="list-style-type: none"> • Стойкие к механической деструкции и старению масла, обеспечивающие высокую чистоту поршней, малый износ и предотвращающие негативное влияние сажи на свойства масла. • Рекомендованы для применения в высокооборотных дизелях, работающих в особо тяжелых условиях эксплуатации, выполняющих требования Евро-1, Евро-2, Евро-3 и Евро-4 по эмиссии токсичных веществ и работоспособных при значительно увеличенных интервалах между сменами масла в соответствии с рекомендациями автопроизводителей.

1	2
E7	<ul style="list-style-type: none"> • Обладают высокими противоизносными свойствами, стойкостью к старению, предотвращают образование отложений в турбокомпрессоре и негативное влияние сажи на свойства масла. • Они применимы в автомобилях без сажевых фильтров и в большинстве двигателей, имеющих рециркуляцию отработанных газов и систему катализаторов снижения уровня оксидов азота

Главные изменения в классификации ACEA 2004:

- прежние классы А (масла для бензиновых двигателей) и В (масла для дизелей легковых автомобилей, фургонов, микроавтобусов) объединены в один новый класс А/В, который распространяется на универсальные масла, предназначенные для применения во всех названных двигателях (А1/В1-04, А3/В3-04, А3/В4-04, А5/В5-04);

- введен новый класс С на масла, совместимые с катализаторами обезвреживания отработавших газов и сажевыми фильтрами (С1-04, С2-04, С3-04);

- из класса Е (масла для тяжелых грузовиков) исключены две категории и введены две новые (Е2-96, выпуск 5, Е4-99, выпуск 3, Е6, Е7).

Классификация ACEA 2004 года подразделяет масла на одиннадцать категорий. Описание основных характеристик и назначение масла каждой категории дано в табл. 6.9.

Таблица 6.9

Данные, которые указываются на этикетке моторного масла

1. Фирма-изготовитель масла.	1. BP (British Petroleum)
2. Название масла.	2. Visco2000
3. Группа качества по классификации API. Например, SG — масло высшего качества для бензиновых двигателей; SE — масло высшего качества для дизелей.	3. SG/CC
4. Маркировка по SAE (вязкостные свойства). Например: SAE 5W — чисто зимнее масло; SAE 40 — чисто летнее масло; SAE 15W-40 — всесезонное масло.	4. SAE 15W-40
5. Основа масла: синтетическое, полусинтетическое, на минеральной основе.	5. Min. (минеральное)
6. Номер или индекс партии масла.	6. № 234567/96
7. Дата изготовления.	7. 31.01.1998

В значительной мере обновление классификации ACEA обусловлено введением в 2005 году новых ужесточенных требований Евро-4 по токсичности отработавших газов и необходимостью обеспечения длительной работы агрегатов их обезвреживания.

6.15. Классификация по ISLAC

Компании США совместно с японскими производителями ввели свой стандарт и классификацию. Он имеет обозначение ISLAC. Данный стандарт почти полностью пересекается с международным стандартом API. Для бензиновых моторов данный стандарт маркируется так:

- ISLAC GL-2 и соответствует API SJ;
- ISLAC GL-3 в свою очередь соответствует API SL и так далее.

В рамках стандарта ISLAC для японских автомобилей с турбированными дизельными моторами отдельно используется класс JASO DX-1. Данная маркировка автомобильных масел предусматривает двигатели современных автомобилей с высокими параметрами экологичности и встроенными турбинами.

6.16. Трансмиссионные масла

В агрегатах трансмиссии машин применяется широкий ассортимент масел. Согласно ГОСТ 17479.2-85 масла классифицированы по классам и группам в зависимости от их вязкости и эксплуатационных свойств (табл. 6.10) [18].

Таблица 6.10

Классификация трансмиссионных масел по классам

Класс вязкости	Кинематическая вязкость при температуре 100 °С, мм ² /с	Максимальная температура, при которой динамическая вязкость не превышает 150 Па·с, °С
9	6,00–10,99	–45
12	11,00–13,99	–35
18	14–24,99	–18
34	25,00–41,00	–

В зависимости от смазывающих свойств масла делят на пять групп. Например, обозначение ТМ4-10 расшифровывается следующим образом: ТМ – трансмиссионное масло, цифра 4 – группа по эксплуатационным свойствам, цифра 10 – класс вязкости.

Представителями группы ТМ-1 являются нигролы зимний и летний (ТУ 38.101529-75), применяющиеся на старых моделях автомобилей. Нигролы – это неочищенные остатки от прямой перегонки нефти. Они характеризуются неудовлетворительными противоизносными, антиокислительными и низкотемпературными свойствами. К этой группе можно отнести базовые масла (ТБ-20, ТС-14,5), служащие основой для изготовления трансмиссионных масел.

К группе ТМ-2 относится масло для коробок передач и рулевого управления – ТС (ОСТ 38.01260-82, прежнее обозначение ГОСТ 4002-53), класс 18. Это масло имеет низкие эксплуатационные свойства, применяется в ограниченных масштабах только на старых моделях автомобилей.

В группу ТМ-3 входят масла ТСП-10, Тап-15В, ТСП-15К, выпускаемые по ГОСТ 23652-79. ТСП-10 применяют для смазывания тяжело нагруженных цилиндрических, конических и спирально-конических передач грузовых автомобилей. Можно применять в качестве зимнего для умеренной климатической зоны и всесезонного для северных районов. Тап-15В служит для смазывания тяжело нагруженных цилиндрических, конических и спирально-конических передач машин. ТСП-15К имеет улучшенные по сравнению с маслом Тап-15В противоизносные, антиокислительные и низкотемпературные свойства. Служит в качестве всесезонного для умеренной климатической зоны. Предназначено для тяжело нагруженных цилиндрических и спирально-конических передач, в том числе для КраЗ, КамАЗ, УралАЗ и т.д.

К группе 4 относятся масла ТСП-14гип (ГОСТ 23652-79), ТСЗ-9гип (ОСТ 38.101158-78), ТСгип (ОСТ 38.01260-82, прежнее обозначение ГОСТ 4003-53).

ТСП-14гип (класс 18) применяется для гипоидных передач машин всесезонно в умеренной и жаркой климатической зоне. Обладает высокими противозадирными, но недостаточными антиокислительными и антикоррозионными свойствами. Показатели масла резко ухудшаются при попадании в него воды. В этом случае масло необходимо немедленно заменить.

ТСЗ-9гип (класс 9) применяется в агрегатах трансмиссии грузовых автомобилей в районах Крайнего Севера при температуре возду-

ха до -55 °С. Ввиду малой вязкости и ухудшения противоизносных свойств при большой температуре это масло используется только в зимний период. ТСгип предназначено для гипоидных передач старых моделей легковых автомобилей.

В группу 5 входят масла ТАД-17и (ГОСТ 23652-79) и ТМ5-12рк (ТУ 38.101844-80). ТАД-17и (класс 18) получают смешением остаточного и дистилляторного масел с введением многофункциональной и депрессорной присадок. Масло обладает высокими эксплуатационными свойствами, является универсальным и может применяться в тяжело нагруженных цилиндрических, спирально-конических и гипоидных передачах в умеренной и жаркой климатической зонах.

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

Основным сортом, применяемым для гидромеханических коробок передач, является масло марки А (ТУ 38.101179-79). Это масло имеет температуру застывания -40 °С, его применяют всесезонно в умеренной климатической зоне. Для машин, эксплуатируемых в северных районах страны, разработано масло МГТ (ТУ 38.401494-84), которое по эксплуатационным свойствам соответствует маслу марки А, но имеет лучшие низкотемпературные показатели – работоспособно до -50 °С. В гидрообъемных передачах, в частности в гидроусилителях рулей, используют масло марки Р, выпускаемое по тем же ТУ, что и масло марки А. Применяется оно в качестве всесезонного в умеренной климатической зоне.

За рубежом для маркировки трансмиссионных масел используют классификации SAE и API. По классификации SAE масла подразделяются на летние (например, SAE140), зимние (75W) и всесезонные (75W90). Соответствие классов вязкости по ГОСТУ и SAE приведено в табл. 6.11.

Таблица 6.11

Примерное соответствие классов вязкости трансмиссионных масел по ГОСТу и SAE

Класс вязкости масел по SAE	Вязкость при 99 °С, мм·с	Соответствие классу вязкости по ГОСТу	
		не менее	не более
75W	4,2	1	–
80W	7	–	9
85W	11	–	–
90	14	25	18
140	25	43	34

Международная классификация по вязкости SAE делит масла на 7 классов: 4 – с индексом W (Winter) – зимних и 3-летних (табл. 6.12). Если масло всесезонное, у него двойная маркировка, например, SAE 80W-90, SAE 75W-90 и т. д.

- летний ряд: SAE 80, 85, 90, 140, 250;
- зимний ряд: SAE 70W, 75W, 80W, 85W.

Таблица 6.12

Классификация SAE трансмиссионных масел по вязкости

Класс вязкости	Минимальная температура достижения динамической вязкости 150 мПа·с, °С	Кинематическая вязкость при 100°С, мм ² /с	
		не менее	не более
Зимние			
70W	–55	4,1	–
75W	–40	4,1	–
80W	–26	7	–
85W	–12	11	–
Летние			
90	–	13,5	24
140	–	24	41
250	–	41	–

Классификация по эксплуатационным свойствам API предусматривает деление масел на 6 групп в зависимости от области применения, которая определяется типом зубчатой передачи, удельными контактными нагрузками в зонах зацепления и рабочей температурой.

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

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

GL-2 – содержат противоизносные присадки;

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

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

По системе API GL масла подразделяются на классы качеств. Основными признаками классификации являются конструкция и условия работы передачи, дополнительными признаками – содержание противоизносных и противозадирных присадок.

Классификация API трансмиссионных масел по уровню эксплуатационных свойств представлена в табл. 6.13.

Группа GL-6 в настоящее время практически не используется. При необходимости область применения группы GL-5 дополняется соответствующей информацией в технической документации на эти масла.

В 1995 г. API ввел новую категорию MT-1, ужесточив требования по термической стабильности и высокотемпературным отложениям.

Таблица 6.13

Классификация API трансмиссионных масел по уровню эксплуатационных свойств

Группа по API	Группа ГОСТ	Свойства и область применения
1	2	3
GL-1	ТМ-1	Минеральные масла без присадок или с антиокислительными и противопенными присадками без противозадирных компонентов для применения, среди прочего, в коробках передач с ручным управлением с низкими удельными давлениями и скоростями скольжения. Цилиндрические, червячные и спирально-конические зубчатые передачи, работающие при низких скоростях и нагрузках
GL-2	ТМ-2	Червячные передачи, работающие в условиях GL-1 при низких скоростях и нагрузках, но с более высокими требованиями к антифрикционным свойствам. Могут содержать антифрикционный компонент

1	2	3
GL-3	TM-3	Трансмиссионные масла с высоким содержанием присадок с уровнем эксплуатационных свойств MIL-L-2105. Эти масла применяются предпочтительно в ступенчатых коробках передач и рулевых механизмах, в главных передачах и гипоидных передачах с малым смещением в автомобилях и безрельсовых транспортных средствах для перевозки грузов, пассажиров и для нетранспортных работ. Спирально-конические передачи, работающие в умеренно жестких условиях. Обычные трансмиссии со спирально-коническими шестернями, работающие в умеренно жестких условиях по скоростям и нагрузкам. Обладают лучшими противоизносными свойствами, чем GL-2
GL-4	TM-4	Трансмиссионные масла с высоким содержанием присадок с уровнем эксплуатационных свойств MIL-L-2105. Эти масла применяются предпочтительно в ступенчатых коробках передач и рулевых механизмах, в главных передачах и гипоидных передачах с малым смещением в автомобилях и безрельсовых транспортных средствах для перевозки грузов и пассажиров и для нетранспортных работ. Гипоидные передачи, работающие в условиях высоких скоростей при малых крутящих моментах и малых скоростей при больших крутящих моментах. Обязательно наличие высокоэффективных противозадирных присадок
GL-5	TM-5	Масла для гипоидных передач с уровнем эксплуатационных свойств MIL-L-2105 C/D. Эти масла применяются предпочтительно в передачах с гипоидными коническими зубатыми колесами и коническими колесами с круговыми зубьями для главной передачи в автомобилях и в карданных приводах мотоциклов и ступенчатых коробках передач мотоциклов. Специально для гипоидных передач с высоким смещением оси. Для самых тяжелых условий эксплуатации с ударной и знакопеременной нагрузкой. Гипоидные передачи, работающие в условиях высоких скоростей при малых крутящих моментах и ударных нагрузках на зубья шестерен. Должны иметь большое количество серофосфорсодержащей противозадирной присадки
GL-6	TM-6	Гипоидные передачи с увеличенным смещением, работающие в условиях высоких скоростей, больших крутящих моментов и ударных нагрузок. Имеют большее количество серофосфорсодержащей противозадирной присадки, чем масла GL-5

В 1998 г. API, работая в контакте с SAE и ASTM, предложил две новые категории оценки качества трансмиссионных масел: PG-1 и PG-2 (PG-1 — для ручных коробок передач тяжелой техники; PG-2 — для ведущих осей тяжелой техники). В обеих категориях масел особое внимание было уделено высокотемпературным свойствам. Категорию PG-2 в технической литературе иногда обозначают группой GL-7.

Кроме классификации по API часто используется спецификация армии США MIL-L-2105 A, B, C и D и спецификации отдельных фирм – производителей автомобилей, машин и агрегатов: Chrysler; Ford; General Motors; Mack; MAN; MercedesBenz; Volvo; ZF; Rockwell и др.

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.

Масла для автоматических коробок передач не подчиняются требованиям API.

Крупнейшие производители этих коробок разработали отдельные спецификации для автоматических трансмиссионных жидкостей – ATF (Automatic Transmission Fluids).

- для коробок передач производства «Дженерал моторс», Dexron, Dexron II и III и Allison;

- для коробок передач производства «Форд», Mercon – V2C 138-SJ или M2C 166H.

6.17. Пластичные смазки

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

Ассортимент. ПС разделены на четыре группы: антифрикционные, консервационные, уплотнительные и канатные.

Дисперсионная среда. Жидкая основа в значительной мере определяет вязкостно-температурные характеристики, стабильность и другие свойства пластичных смазок. В качестве дисперсионной среды, содержание которой в смазках составляет 70–90 % по массе, используют товарные нефтяные масла малой и средней вязкости (не более 50 мм²/с при 50 °С). При подборе жидкой основы учитывают также химический состав (содержание смол, полициклических ароматических углеводородов, кислородных соединений), заметно влияющий на формирование структуры смазок. Для приготовления пластичных смазок, работоспособных при высоких температурах (150–2000 °С и более), служат обычно синтетические масла (полисилоксаны, полигликоли, сложные эфиры, перфтор– и перхлоруглероды и другие). Регулирование эксплуатационных свойств смазок и более эффективное их использование достигаются применением композиций синтетических и нефтяных масел.

Дисперсная фаза. Содержание загустителей в смазках составляет, как правило, 10–15 %, при низкой загущающей способности – до 20–50 % по массе. Загустители оказывают наибольшее влияние на структуру и свойства пластичных смазок и подразделяются на органические и неорганические.

Смазки на органических загустителях: мыльные (загустители – соли высших жирных кислот (мыла); углеводородные (твердые предельные углеводороды C18-C35, C36-C55 и др.); пигментные (орг. красители); полимерные (например, фторопласты); уреатные (алкил-, ацил- и арилпроизводные мочевины); на основе целлюлозы, солей терефталевой кислоты и т.д.

Мыльные смазки различают по катионам – кальциевые, натриевые, литиевые и др. Среди Ca-смазок, выпуск которых составляет 75 % выработки всех пластичных смазок, особенно важны составы на

гидратированных Са-мылах – солидолы, работоспособные при температурах от -30 до 70 °С. Широко используют безводные пластичные смазки на основе комплексных Са-мыл (Са-смазки), в которых загустителями служат комплексные соединения солей высокомолекулярных (обычно стеариновой) и низкомолекулярных (как правило, уксусной) жирных кислот; эти смазки более термостойки по сравнению с обычными кальциевыми и работоспособны до 160 °С. Распространены (10 % выпуска всех пластичных смазок) также Na-смазки, особенно констатины, работоспособные до $110-120$ °С; однако они растворимы в воде и легко смываются с металлических поверхностей. Все большее применение получают многоцелевые Li-смазки, совмещающие достоинства кальциевых (водостойкость) и натриевых (каплепадение $170-200$ °С) смазок и работоспособные при температурах от -50 до 130 °С. Кроме перечисленных пластичных смазок в ряде случаев используют смазки на основе солей Al, Ba, Pb, Zn и др.

Углеводородные смазки (например, ЦИАТИМ-205) получают загущением главным образом вязких остаточных или высокоочищенных нефтяных масел твердыми углеводородами – парафином, церезином, их смесью, а также петролатумом, к которым иногда добавляют пчелиный и другие природные воски. Эти смазки отличаются низкой температурой каплепадения ($45-70$ °С), высокими водо- и морозостойкостью, а также химической стабильностью, способностью после расплавления и последующего охлаждения восстанавливать структуру и свойства.

Пигментные смазки (например, ВНИИ НП-235) готовят введением преимущественно в синтетические масла (полисилоксаны, полифениловые эфиры) в количествах $20-50$ % по массе красителей – индантрена, изовиалонтрона, фталоцианина меди и других. Отличаются высокими механической, коллоидной и химической стабильностью, работоспособны при температурах от -80 до $250-300$ °С и выше.

Полимерные смазки (например, ВНИИ НП-233) получают загущением перфторполиэфиров, перфтор- и перфторхлор-углеродов сходными с ними по химической природе высокомолекулярными твердыми полимерами (например, полиуретанами). Чрезвычайно химически стабильны и работоспособны до 300 °С.

Смазки на неорганических загустителях. Получают загущением нефтяных и синтетических масел неорганическими соединениями: силикагелем (напр., смазки ВНИИ НП-279 или 282), стекловолокном, асбестом, бентонитовыми глинами (например, смазка ВНИИ НП-273)

и т. д. Эти смазки стабильны при высоких температурах (200–300 °С, в перспективе – при 400–600 °С), радиоактивном облучении и других сильных внешних воздействиях.

В случае смешанных загустителей каждый компонент выполняет свою функцию: так, мыла улучшают смазочную способность, твердые углеводороды повышают водостойкость, неорганические загустители расширяют температурный диапазон применения смазок.

Улучшение качества смазок достигается присутствием в них модификаторов структуры и введением наполнителей и присадок.

Наполнители (1–15 %, реже до 20 % по массе и более) – твердые высокодисперсные (размер частиц до 10 мкм) вещества – графит, технический углерод (сажа), MoS₂, BN, алюмосиликаты, порошки Sn, Cu и других металлов. Обладают слабым загущающим действием, практически нерастворимы в дисперсионной среде, образуют самостоятельную фазу в смазках и способствуют упрочнению их граничных слоев.

Присадки (0,001–5 % по массе) – обычно органические соединения, растворимые в дисперсионной среде, оказывают существенное влияние на формирование структуры и реологические свойства смазок. Основные присадки: антиокислительные (например, ионол), антикоррозионные (нитрованный окисленный петролатум и др.), противоизносные (например, трикрезилфосфат), вязкостные (полиизобутилены и другие) и т.д. Эффективно также использование в пластичных смазках композиций присадок и наполнителей.

Соответствие отечественных и зарубежных марок пластичных смазок представлено в табл. 6.14.

Таблица 6.14

Соответствие отечественных и зарубежных марок пластичных смазок

Отечественная смазка	Смазка фирмы			
	Shell	Mobil	BP	Esso
1	2	3	4	5
Солидол С	Uneda 2, 3 Lirona 3	Mobilgrease AAN ₂ , Greasrex D60	Energrease C2, C3; Energrease GP2, GP3	Chassis XX, Cazar K2
Пресс-солидол	Uneda 1, Retinax C	Mobilgrease AAN ₁	Energrease C1, CA	Chassis L, H, CazarK 1
Графитная УСа	Barbatia 2, 3, 4	Graphited №3	Energrease C2G, C36	Van Estan 2

1	2	3	4	5
ЦИАТИМ-201	Aeroshell, Grease 6	Mobilgrease BRB Zero	–	Beacon 325
1-13, ЯНЗ-2	Nerita 2, 3 Retinax H	Mobilgrease BRB №3	Energrease №2, №3	AndokM275, Andok B
Литол-24	Retinax A, Alvania 3, R3	Mobilgrease 22 Mobilgrease BRB	Energrease L2, Multipurpose	Beacon 3, Unirex 3
Фиол-1	Alvania 1	Mobilux 1	Energrease L2	Multipurpose

Контрольные вопросы и задания

1. Назовите классификации моторных масел.
2. Какие виды масел вы знаете?
3. Приведите пример всесезонного моторного масла по классификации SAE.
4. В чем суть классификации моторных масел ACEA?
5. Приведите пример трансмиссионного масла.

7. ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ЖИДКОСТИ

7.1. Гидравлические жидкости

В качестве рабочих жидкостей в гидравлическом приводе применяют минеральные масла, водомасляные эмульсии, смеси и синтетические жидкости. Выбор типа и марки рабочей жидкости определяется назначением, степенью надежности и условиями эксплуатации гидроприводов машин.

Минеральные масла получают в результате переработки высококачественных сортов нефти с введением в них присадок, улучшающих их физические свойства. Присадки добавляют в количестве 0,05–10 %. Присадки могут быть многофункциональными, т.е. влиять на несколько физических свойств сразу. Различают присадки антиокислительные, вязкостные, противоизносные, снижающие температуру застывания жидкости, антипенные и т.д. [20].

Водомасляные эмульсии представляют собой смеси воды и минерального масла в соотношениях 100:1, 50:1 и т.д. Минеральные масла в эмульсиях служат для уменьшения коррозионного воздействия рабочей жидкости и увеличения смазывающей способности. Эмульсии применяют в гидросистемах машин, работающих в пожароопасных условиях и в машинах, где требуется большое количество рабочей жидкости (например, в гидравлических прессах). Применение ограничено отрицательными и высокими (до 60 °С) температурами.

Смеси различных сортов минеральных масел между собой, с керосином, глицерином и т.д. применяют в гидросистемах высокой точности, а также в гидросистемах, работающих в условиях низких температур.

Синтетические жидкости на основе силиконов, хлор- и фторуглеродистых соединений, полифеноловых эфиров и т.д. негорючи, стойки к воздействию химических элементов, обладают стабильностью вязкостных характеристик в широком диапазоне температур. В последнее время, несмотря на высокую стоимость синтетических жидкостей, они находят все большее применение в гидроприводах машин общего назначения.

Выбор рабочих жидкостей для гидросистемы машины определяется:

- диапазоном рабочих температур;

- давлением в гидросистеме;
- скоростями движения исполнительных механизмов;
- конструкционными материалами и материалами уплотнений;
- особенностями эксплуатации машины (на открытом воздухе или в помещении, условиями хранения машины, возможностями засорения и т.д.).

Таблица 7.1

Значения вязкости при крайних температурных пределах

Тип насоса	Значение вязкости (сСт) при температурном пределе		
	нижнем		верхнем
	по условию прокачиваемости	по условиям полного заполнения рабочих камер	по условиям обеспечения смазывающей пленки и значению КПД=0,8–0,85
Шестеренный	4500–5000	1380–1250	16–18
Пластинчатый	4000–4500	680–620	10–12
Аксиально-поршневой	1800–1600	570–530	6–8

Диапазон рекомендуемых рабочих температур находят по вязкостным характеристикам рабочих жидкостей. Верхний температурный предел для выбранной рабочей жидкости определяется допустимым увеличением утечек и снижением объемного КПД, а также прочностью пленки рабочей жидкости.

Нижний температурный предел определяется работоспособностью насоса, характеризующейся полным заполнением его рабочих камер или пределом прокачиваемости жидкости насосом. При безгажном хранении машин в зимнее время вязкость жидкостей становится настолько высокой, что в периоды пуска и разогрева гидросистемы насос некоторое время не прокачивает рабочую жидкость. В результате возникает «сухое» трение подвижных частей насоса, кавитация, интенсивный износ и выход насоса из строя. Таким образом, при применении рабочих жидкостей в условиях отрицательных температур пуску гидропривода в работу должен непременно предшествовать подогрев рабочей жидкости.

Маркировка.

В соответствии с ГОСТ 17479.3-85 («Масла гидравлические. Классификация и обозначение») обозначение отечественных гидравлических масел состоит из групп знаков, первая из которых обознача-

ется буквами «МГ» (минеральное гидравлическое), вторая – цифрами и характеризует класс кинематической вязкости, третья – буквами и указывает на принадлежность масла к группе по эксплуатационным свойствам [20].

Таблица 7.2

Классы вязкости гидравлических масел

Класс вязкости	Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с	Класс вязкости	Кинематическая вязкость при 40 °С, мм ² /с
5	4,14–5,06	32	28,80-35,20
7	6,12–7,48	46	41,40-50,60
10	9,00–11,00	68	61,20-74,80
15	13,50–16,50	100	90,00-110,00
22	19,80–24,20	150	135,00- 165,00

По ГОСТ 17479.3-85 (аналогично международному стандарту ISO 3448) гидравлические масла по значению вязкости при 40 °С делятся на 10 классов.

В зависимости от эксплуатационных свойств и состава (наличия соответствующих функциональных присадок) гидравлические масла делят на группы А, Б и В.

Группа А (группа НН по ISO) – нефтяные масла без присадок, применяемые в малонагруженных гидросистемах с шестеренными или поршневыми насосами, работающими при давлении до 15 МПа и максимальной температуре масла в объеме до 80 °С.

Группа Б (группа НL по ISO) – масла с антиокислительными и антикоррозионными присадками. Предназначены для средненапряженных гидросистем с различными насосами, работающими при давлениях до 2,5 МПа и температуре масла в объеме свыше 80 °С.

Группа В (группа НМ по ISO) – хорошо очищенные масла с антиокислительными, антикоррозионными и противоизносными присадками. Предназначены для гидросистем, работающих при давлении свыше 25 МПа и температуре масла в объеме свыше 90 °С.

В масла всех указанных групп могут быть введены загущающие (вязкостные) и антипенные присадки.

Загущенные вязкостными полимерными присадками гидравлические масла соответствуют группе НV по ISO 6743/4.

В табл. 7.3 приведено обозначение гидравлических масел существующего ассортимента в соответствии с классификацией по ГОСТ 17479.3-85.

Обозначение гидравлических масел

Обозначение масла по ГОСТ 17479.3-85	Товарная марка	Обозначение масла по ГОСТ 17479.3-85	Товарная марка
МГ-5-Б	МГЕ-4А, ЛЗ-МГ-2	МГ-22-В	Р
МГ-7-Б	МГ-7-Б, РМ	МГ-32-А	ЭШ
МГ-10-Б	МГ-10-Б, РМЦ	МГ-32-В	А, МГТ
МГ-15-Б	АМГ-10	МГ-46-В	МГЕ-46В
МГ-15-В	МГЕ-10А, ВМГЗ	МГ-68-В	МГ-8А-(М8-А)
МГ-22-А	АУ	МГ-100-Б	ГЖД-14С
МГ-22-Б	АУП		

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.

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 °С 17-18 мм²/с, находится в ряду классификации между 15 и 22 классами вязкости.

По вязкостным свойствам гидравлические масла условно делятся на следующие:

- маловязкие – классы вязкости с 5 по 15;
- средневязкие – классы вязкости 22 и 32;
- вязкие – классы вязкости с 46 по 150.

Категории гидравлических масел по ISO и DIN.

В данном стандарте приведены свойства следующих масел, описываемых в стандарте ИСО 6743 (табл. 7.4):

НН = масла без присадок; НЛ = масла НН с антикоррозионными и антиокислительными свойствами; НМ = масла НЛ с улучшенными противоизносными свойствами; НР = масла НЛ с улучшенными вязкостно-температурными свойствами; НV = масла НМ с улучшенными вязкостно-температурными свойствами (обычно для строительной и

морской техники); HG = масла НМ с повышенной скользкостью и антизаедающими свойствами.

Таблица 7.4

Категории гидравлических масел

Категория (символ)		Типичные характеристики	Область применения/ рабочие температуры
DIN	ISO-L		
—	HH	Неингибированные очищенные минеральные масла	Гидравлические системы без специальных требований (редко применяются в наше время)/ от –10 до 90 °С
HL	HL	Очищенные минеральные масла с улучшенными антикоррозионными и антиокислительными свойствами	Гидростатические приводные системы с высокой термической нагрузкой, нуждающиеся в хорошем водоотделении/ от –10 до 90 °С
HLP	HM	Масла HL типа с улучшенными противоизносными свойствами	Общие гидравлические системы, включающие высоконагруженные компоненты, нуждающиеся в хорошем водоотделении/ от –20 до 90 °С
—	HR	Масла HL типа с присадками для улучшения вязкостно-температурных характеристик	Широкий диапазон рабочих температур с HL маслами/ от –35 до 120 °С
HVLP	HV	Масла типа HM с присадками для улучшения вязкостно-температурных характеристик	Например, гидростатические силовые установки в строительной и морской технике/ от –35 до 120 °С
—	HS	Синтетические жидкости с неспецифическими огнестойкими свойствами	Специальное применение в гидростатических системах, специальные свойства/ от –35 до 120 °С
—	HG	Масла типа HM с присадками для предотвращения прерывистого трения	Машины с комбинированными гидравлическими системами смазки направляющих подшипников скольжения. где вибрация и прерывистое скольжение при малой скорости должны быть сведены к минимуму/ –30 до 120 °С
HLP	D	Масла типа HM с DD присадками, которые снижают трение	Гидростатические приводные механизмы с высокой термической нагрузкой, нуждающиеся в противозадирных, противоизносных присадках. DD присадки удерживают загрязняющие примеси в суспензии, например станочное оборудование и мобильное гидравлическое оборудование

Синтетические и полусинтетические гидравлические масла.

Наряду с широко распространенными рабочими жидкостями на нефтяной основе все большее применение находят синтетические и полусинтетические продукты, выгодно отличающиеся от нефтяных по комплексу эксплуатационных свойств, а также огнестойкостью и большей пожаробезопасностью. Такие рабочие жидкости используют в авиационной технике, в гидравлических приводах шахтного оборудования, в гидравлических системах «горячих» цехов металлургических заводов и ряде других областей [20].

Масла 132-10 и 132-10Д (ГОСТ 18613-88) – полусинтетические гидравлические жидкости – представляют собой смесь полиэтилсилоксановой жидкости и нефтяного маловязкого низкозастывающего масла МВП. Указанные жидкости выпускают под индексом ВПС. Масло 132-10 предназначено для работы в гидравлических системах в интервале температур от -70 до $+100$ °С, масло 132-10Д – для работы в электрически изолированных системах также в том же интервале температур.

Рабочая жидкость 7-50С-3 (ГОСТ 20734-75) – синтетическая жидкость, применяют в гидравлических агрегатах и гидравлических системах летательных аппаратов в диапазоне температур от -60 до $+175$ °С длительно, с перегревами до 200 °С; рабочие давления до 21 МПа. Жидкость изготавливают из смеси полисилоксановой жидкости и органического эфира с добавлением противоизносной присадки и ингибиторов окисления.

Рабочая жидкость НГЖ-4у (ТУ38.101740-80, изменения № 4-6) – синтетическая взрывопожаробезопасная жидкость на основе эфиров фосфорной кислоты. НГЖ-4у является эрозионностойкой, содержит присадки, улучшающие ее вязкостные, антиэрозионные, антиокислительные свойства. Работоспособна в интервале температур от -55 до 125 °С при рабочих давлениях до 21 МПа. Имеет температуру самовоспламенения $650-670$ °С. Является хорошим пластификатором и растворителем для многих неметаллических материалов, поэтому при использовании последних в контакте с жидкостью НГЖ-4у следует тщательно проверять их совместимость или пользоваться только теми материалами, которые специально подобраны и рекомендованы для жидкостей типа НГЖ.

Рабочая жидкость НГЖ-5у (ТУ38.401-58-57-93) – синтетическая взрывопожаробезопасная, эрозионностойкая жидкость на основе смеси эфиров фосфорной кислоты, содержащая пакет присадок, улуч-

шающих вязкостные, антигидролизные, антиокислительные, антикоррозионные и антиэрозионные свойства.

Используют в гидросистемах самолетов ИЛ-86, ИЛ-96, ТУ-204 и др. Температурный интервал использования жидкости НГЖ-5у составляет от –60 до +150 °С при номинальных давлениях до 21 МПа.

Жидкость имеет температуру самовоспламенения 595–630 °С, медленно горит в пламени, не поддерживает горения и не распространяет пламя. Жидкость НГЖ-5у полностью совмещается с жидкостями НГЖ-4 и НГЖ-4у.

Расшифровка буквенного кода и геометрических символов в соответствии со стандартом DIN 51502 представлена в табл. 7.5.

Таблица 7.5

Расшифровка буквенного кода и геометрических символов в соответствии со стандартом DIN 51502

Наименование группы продукции	Тип смазочного материала (по области его применения)	Буквенный код	Стандарт	Тип(ы) по стандарту
1	2	3	4	5
Минеральные масла (смазочные, специальные)	AN – смазочные масла для обычных условий использования	AN	DIN 51 501	L-AN 1)
	ATF – жидкости для автоматических коробок передач (ATF)	ATF	–	
	B – редукторные смазочные масла	B	DIN 51 513	BA, BB, BC
	C – смазочные масла для циркуляционных систем	C	DIN 51 517, части 1+3	C, CL, CLP.
	CG – смазывающие масла для направляющих скольжения	CG 2)	–	–
	D – смазочные масла для пневмоинструмента	D	–	–
	F – пропиточные масла для воздушных фильтров	F	–	–
	F8 – разделительные масла для отделения заготовок от форм	F8		

Продолжение табл. 7.5

1	2	3	4	5
Минеральные масла (смазочные, специальные)	Н – гидравлические масла	Н	DIN 51524, часть 1 и 2	HL, HLP
	HV – гидравлические масла с повышенным индексом вязкости	HV	DIN 51524, часть 3	HVLP
	НУР – смазочные масла для автомобильной трансмиссии	НУР	–	–
	Ж – электроизоляционные масла	Ж	–	JA, JB
	К – рефрижераторные масла	К	DIN 51 503, часть 1	KA, KC
	L – масла для термообработки	L	–	–
	Q – масла для теплопередачи	Q	DIN 51 522	–
	R – масла для защиты от коррозии	R	–	–
	S – жидкости для системы охлаждения	S	–	–
	TD – смазочные и регулировочные масла	TD	DIN 51515, часть 1	L-TD 1)
	V – смазочные масла для воздушных компрессоров	V	DIN 51506	VB, VBL, VC, VCL, VDL.
	W – масла для прокатных станов	W	–	–
	Z – цилиндрические компаундированные масла	Z	DIN 51510	ZA, ZB, ZD
СОЖи, пожаробезопасные гидравлические и технологические жидкости	Эмульсия «масло в воде»	HFA 3)	DIN 24320	
	Эмульсия «вода в масле»	HFB 3)	–	–
	Водный раствор полимера	HFC 3)	–	–

1	2	3	4	5
СОЖи, пожаробезопасные гидравлические и технологические жидкости	Безводные жидкости	HFD 3)	–	HFDR, HFDS, HFDT, HFDU
Синтетические или полусинтетические жидкости	Органические сложные эфиры	E	–	–
	Фторсодержащие жидкости	FK	–	–
	Синтетические углеводороды	HC	–	–
	Эфиры фосфорной кислоты	PH	–	–
	Масла на основе полигликолей	PG	–	–
	Силиконовые масла	SI	–	–
	Другие	X	–	–

Примечания:

1. L – для обозначения смазочного масла может быть опущено.
2. ISO/TR 3498: с 1986 г. существуют и другие символы, например CB вместо CL, CC вместо CLP, G вместо CGG, HL, HMV вместо HLP, HV вместо HVLP.
3. Данная спецификация имеет соответствие с ISO 6743-4 и включена в отчет ЕЕС No 2786/9/80.
4. В настоящее время не существует стандартных требований для HFAS.

Буквенный код для обозначения присадки (пакета присадок), содержащихся в смазочных материалах (за исключением моторных, трансмиссионных масел, а также пожаробезопасных гидравлических жидкостей) представлен в табл. 7.6 [20].

Таблица 7.6

Буквенный код для обозначения присадки

Код	Тип смазочного материала
1	2
D	Масла, содержащие моющие присадки (например, гидравлическое масло HLPD)
E	Смазочные материалы, смешивающиеся с водой (например, охлаждающие жидкости, такие как SE)
F	Смазочные материалы, содержащие твердые присадки – графит, дисульфид молибдена (например, масло CLPF)
L	Масла с антикоррозионными присадками, повышающими устойчивость к старению (например, масло DIN 51517-CL 100)

1	2
M	Смешивающиеся с водой СОЖ, содержащие минеральные масла (например, СОЖ SEM)
S	Смешивающиеся с водой СОЖ, на основе синтетического масла (например, СОЖ SES)
P	Смазочные материалы с антифрикционными и противоизносными присадками, рассчитанными на эксплуатацию в условиях смешанного трения или для увеличения несущей способности (например, DIN 51517-CLP 100)
V 1)	Разбавленные растворителем смазочные материалы (например, масло DIN 51513-BB-V)

Код V может быть маркирован в соответствии с *Verordnung über gefährliche Arbeitsstoffe* (Немецкое законодательство по опасным продуктам).

Расчет гидролиний.

Целью расчета гидролиний является определение внутреннего диаметра трубопроводов, потерь давления на преодоление гидравлических сопротивлений и толщины стенок труб.

Внутренний диаметр (условный проход) трубопровода d определяют по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}, \quad (7.1)$$

или

$$d = 4,6 \sqrt{\frac{Q}{v}}, \quad (7.2)$$

где Q – расход жидкости, м³/с для (7.1) и л/мин для (7.2); v – скорость движения жидкости, м/с; d – внутренний диаметр трубопровода, м для (7.1) и мм для (7.2).

Таблица 7.7

Рекомендуемые значения скорости рабочей жидкости

Параметр	Трубопроводы							
	Всасывающие	Сливные	Нагнетательные					
P_H , МПа	–	–	2,5	6,3	16	32	63	100
$v_{дж}$, м/с	1,2	2	3	3,5	4	5	6,3	10

Скорость течения жидкости в трубопроводах зависит в основном от давления в гидросистеме.

Рекомендуемые значения скорости рабочей жидкости представлены в табл. 7.7.

Потеря давления на преодоление гидравлических сопротивлений по длине каждого участка трубопровода определяется по формуле

$$\Delta P_{\text{дл}} = \rho \lambda \frac{l}{d} \cdot \frac{v_{\text{рж}}^2}{2},$$

где ρ – плотность рабочей жидкости, кг/м³; λ – коэффициент гидравлического трения; l – длина трубопровода, м.

Если на пути движения рабочей жидкости встречаются местные сопротивления, то потеря давления в местных сопротивлениях определяется по формуле Вейсбаха

$$\Delta P_{\text{м}} = \rho \xi \frac{v_{\text{рж}}^2}{2},$$

где ξ – коэффициент местных сопротивлений.

Значения коэффициентов ξ для наиболее распространенных видов местных сопротивлений принимают следующими: для штуцеров и переходников для труб $\xi=0,1-0,15$; для угольников с поворотом под углом 90° $\xi=1,5-2,0$; для прямоугольных тройников для разделения и объединения потоков $\xi=0,9-2,5$; для плавных изгибов труб на угол 90° с радиусом изгиба, равным $(3-5)d$ $\xi=0,12-0,15$; для входа в трубу $\xi=0,5$; для выхода из трубы в бак или в цилиндр $\xi=1$.

При ламинарном режиме Т. М. Башта для определения коэффициента гидравлического трения λ рекомендует при $Re < 2300$ применять формулу

$$\lambda = \frac{75}{Re},$$

а при турбулентном режиме течения жидкости в диапазоне $Re=2300-100000$ коэффициент λ определяется по полуэмпирической формуле Блазиуса

$$\lambda_T = \frac{0,3164}{Re^{0,25}},$$

если

$$Re > 10 \frac{d}{\Delta_э},$$

где $\Delta_э$ – эквивалентная шероховатость труб (для новых бесшовных стальных труб $\Delta_э=0,05$ мм, для латунных – $\Delta_э = 0,02$ мм, для медных – $0,01$, для труб из сплавов из алюминия – $0,06$, для резиновых шлангов – $0,03$), то коэффициент гидравлического трения определяется по формуле А. Д. Альтшуля

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{68}{Re} + \frac{\Delta_э}{d} \right)^{0,25}.$$

Потери давления в гидроаппаратуре $\Delta P_{за}$ принимают по ее технической характеристике после выбора гидроаппаратуры. После этого суммируют потери давления

$$\Delta P = \Delta P_{дл} + \Delta P_{м} + \Delta P_{за}.$$

При выполнении гидравлического расчета производят проверку бескавитационной работы насоса. Вакуум у входа в насос определяют по формуле

$$P_в = \rho g \left(h_s + h_{мп} \frac{\alpha v^2}{2g} \right),$$

где h_s – расстояние от оси насоса до уровня рабочей жидкости в баке; $h_{мп}$ – потери напора на преодоление всех гидравлических сопротивлений во всасывающей гидролинии; v – скорость движения жидкости во всасывающей гидролинии; α – коэффициент Кориолиса.

Рекомендуемый (с запасом на бескавитационную работу насоса) вакуум $P_в$ у входа в насос должен быть не более $0,04$ МПа. Если $P_в > 0,04$ МПа, то нужно увеличить диаметр всасывающего трубопровода или расположить бак выше оси насоса. При этом считает-

ся, что рабочая жидкость находится в баке с атмосферным давлением $P_{атм}=0,1$ МПа. Таким образом, разность давлений в баке $P_б$ (с атмосферным или избыточным давлением) и на входе в насос $P_в$ не должна быть меньше 0,06 МПа.

Определение толщины стенок является проверочным расчетом на прочность жестких труб, подобранных по ГОСТу. Толщину стенки трубы определяют по формуле

$$\delta = \frac{Pd}{2\sigma_в}n,$$

где P – максимальное статическое давление; $\sigma_в$ – допускаемое напряжение на разрыв материала труб, принимаемое равным 30–35 % от временного сопротивления; n – коэффициент запаса, $n=3–6$, для гнутых труб принимается равным на 25 % ниже.

С учетом возможных механических повреждений толщина стенок стальных труб должна быть не менее 0,5 мм, а для медных – не менее 0,8–1,0 мм.

7.2. Амортизаторные жидкости

Амортизаторы (виброизоляторы) служат для защиты рамы машины и оператора от избыточных динамических нагрузок. Рабочим телом в гидравлических амортизаторах служат маловязкие жидкости, обычно на нефтяной основе (табл. 7.8).

Требования к амортизаторным жидкостям многообразны. Основным показателем является вязкость. Большинство рабочих жидкостей, применяемых в телескопических амортизаторах, характеризуются следующими значениями вязкости: при 20 °С – 30–60; при 50 °С – 10–16; при 100 °С – 3,5–6,0 мм²/с.

Например: амортизаторная жидкость МГП-10 не обеспечивает достаточной износостойкости телескопических стоек, что потребовало разработки новой амортизаторной жидкости МГП-12.

Зарубежными аналогами отечественных амортизаторных жидкостей могут быть следующие жидкости: фирмы Shell – Aeroshell Fluid 1, фирмы BP – BP Aero Hydraulic 2, Esso – Aviation Utility Oil, DEF2901A.

Амортизаторная жидкость АЖ-12Т (ГОСТ 23008–78) – смесь нефтяного масла глубокой селективной очистки из сернистого сырья

и полиэтилсилоксановой жидкости с противоизносной и антиокислительной присадками. Применяют в качестве рабочей жидкости в амортизаторах грузовых автомобилей и специальной техники.

Таблица 7.8

Характеристики амортизаторных жидкостей

Показатели	АЖ-12Т	МГП-12 («Славол-АЖ»)	ГРЖ-12
Кинематическая вязкость, мм ² /с, при температуре: 40 °С, не менее	–	–	16–20
50 °С, не менее	12,0	12,0	–
100 °С, не менее	3,6	3,8	3,8
–20 °С, не более	–	800	800
–40 °С, не более	6500	–	–
Температура вспышки, °С, не ниже	165	140	140
Температура застывания, °С, не выше	–52	–50	–50
Плотность при 20 °С, кг/м ³ , не более	–	917	917
Стабильность против окисления: осадок после окисления, %	Отсутствует	–	–
Кислотное число до (после) окисления, мг КОН/г, не более	0,04 (0,1)	–	–
Содержание механических примесей воды, %	–	Отсутствие	–
Испытание на коррозию	Выдерживает	–	–

Амортизаторная жидкость МГП-12 («Славол-АЖ») (ТУ 38.301–29–40–97) разработана взамен жидкости МГП-10 (ОСТ 38.1.54–74). Это маловязкая низкозастывающая нефтяная основа, в которую введены депрессорная, диспергирующая, противоизносная, антиокислительная и антипенная присадки.

Амортизаторная жидкость ГРЖ-12 (ТУ 0253–048–05767–924–96) – смесь очищенных трансформаторного и веретенного дистиллятов с добавлением депрессорной, антиокислительной, противоизносной и антипенной присадок.

7.3. Тормозные жидкости

Тормозные жидкости служат для передачи энергии к исполнительным механизмам в гидроприводе тормозной системы машины. Рабочее давление в гидроприводе тормозов достигает 10 МПа и более.

Наибольшую опасность для работы тормозов представляет возможность появления в жидкости пузырьков пара и газа, образующихся при высоких температурных режимах эксплуатации из-за низкой температуры кипения самой жидкости, а также при наличии в ней воды.

При нажатии на педаль тормоза пузырьки газа сжимаются, и так как объем главного тормозного цилиндра невелик (5–15 мл), даже сильное нажатие на педаль может не привести к росту необходимого тормозного давления, т.е. тормоз не работает из-за наличия в системе паровых пробок.

Температура кипения. Это важнейший показатель, определяющий предельно допустимую рабочую температуру гидропривода тормозов. Для большей части современных тормозных жидкостей температура кипения в процессе эксплуатации снижается из-за их высокой гидроскопичности. К этому приводит попадание воды, главным образом за счет конденсации из воздуха. Поэтому наряду с температурой кипения «сухой» тормозной жидкости определяют температуру кипения «увлажненной» жидкости, содержащей 3,5 % воды.

Ассортимент и эксплуатационные свойства. В настоящее время выпускается несколько марок тормозных жидкостей. В большинстве современных гидравлических тормозов сейчас применяется тормозная жидкость маркировки DOT различных марок. Исключение составляют разве что гидравлические тормоза фирм Shimano и Tektro, где в качестве жидкости используется минеральное масло собственной марки. DOT – сокращение от United States Department of Transportation (USDOT или просто DOT).

Состав. В качестве основы, во всех тормозных жидкостях кроме DOT 5, используется полиэтиленгликоль в сочетании с полиэфирами борной кислоты, а для DOT 5 в качестве основы применяется силикон. Тормозные жидкости DOT 3, DOT 4 и DOT 5.1 имеют одну основу и могут взаимозаменять друг друга без каких-либо проблем, по крайней мере в пределах одного производителя. Некоторые производители используют в качестве основы для производства DOT 3 (а возможно и других марок) полиалкиленгликоль. Информации по несовместимости жидкостей на основе полиэтиленгликоля и полиалкиленгликоля нигде не удалось найти, а знание химии в первом приближении позволяет заявить, что такая смесь будет работать не хуже, чем исходные компоненты. Также отдельно существует класс жидкостей DOT 5.1/ABS, предназначенный специально для машин с систе-

мой антиблокировки колёс, в состав которого входят как гликолевые, так и силиконовые соединения, делающие эту жидкость несовместимой ни с одной другой [21].

Отечественные жидкости:

«Нева» (ТУ 6-01-1163-78) – основными компонентами являются гликолевый эфир и полиэфир, содержат антикоррозионные присадки. Работоспособна при температуре до $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$. Применяется в гидроприводе тормозов и сцеплений.

ГТЖ-22м (ТУ 6-01-787-75) – на гликолевой основе. По показателям близка к «Неве», она обладает худшими антикоррозионными и вязкостно-температурными свойствами.

«Томь» (ТУ 6-01-1276-82) разработана взамен жидкости «Нева». Основные компоненты – концентрированный гликолевый эфир, полиэфир, бораты; содержит антикоррозионные присадки. Имеет лучшие эксплуатационные свойства, чем «Нева», более высокую температуру кипения. Совместима с «Невой» при смешивании в любых соотношениях.

«Роса» (ТУ 6-05-221-564-84) разработана для новых моделей машин. Основной компонент – боросодержащий полиэфир; содержит антикоррозионные присадки. Она имеет высокие значения температуры кипения ($260\text{ }^{\circ}\text{C}$) и температуры кипения «увлажненной» жидкости ($165\text{ }^{\circ}\text{C}$). Это обеспечивает надежную работу тормозной системы при тяжелых эксплуатационных режимах и позволяет увеличить срок службы жидкости.

Низкотемпературные показатели неудовлетворительны у БСК. Уже при температуре $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ образуются кристаллы касторового масла. С дальнейшим понижением температуры происходит потеря подвижности; при температуре ниже $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ жидкость БСК неработоспособна.

Жидкости «Нева», «Томь», «Роса» работоспособны до $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При смешивании жидкостей на гликолевой основе (DOT 3, DOT 4 или DOT 5.1) с жидкостью DOT 5 на силиконовой основе происходит химическая реакция, в результате которой получается состав, не отвечающий никаким требованиям тормозной жидкости и являющийся агрессивным по отношению к материалу уплотнителей. Замена гликолевой тормозной жидкости на силиконовую возможна, но для этого требуется предварительно прочистить и тщательно просушить всю тормозную систему от старой тормозной жидкости. Преимущества такой замены крайне неочевидны [21].

Температура кипения и вязкость тормозных жидкостей представлена на рис. 7.1.



Рис. 7.1. Температура кипения и вязкость тормозных жидкостей

Таблица 7.9

Характеристики тормозных жидкостей

Стандарт	Точка кипения (свежая/сухая), °C	Точка кипения (старая/мокрая), °C	Вязкость при 40 °C	Цвет	Основа
SAE J 1703	205	140	1800	Бесцветная или янтарная	—
ISO 4925	205	140	1500	То же	—
DOT 3	205	140	1500	>>	Полиалкиленгликоль
DOT 4	230	155	1800	>>	Борная кислота/гликоль
DOT 4+	260	180	1200 – 1500	>>	Борная кислота/гликоль
DOT 5.1	260	180	900	>>	Борная кислота/гликоль
DOT 5	260	180	900	Пурпурный	Силикон
Racing Formula DOT 6	310	220	—	—	—

Жидкости «Нева», «Томь», «Роса» совместимы, их смешивание между собой возможно в любых соотношениях. Зарубежными аналогами жидкостей «Нева» и «Томь» являются жидкости, соответствующие международной классификации DOT–3, которые имеют температуру кипения более 205 °C, а для жидкости «Роса» – жидкости DOT–4 с температурой кипения более 230 °C.

Срок службы. Срок эксплуатации, в течение которого жидкость набирает влагу и становится старой для DOT 3 и DOT 4, составляет 2–3 года. DOT 5.1 более гигроскопична, но и содержит гораздо большее количество присадок, поэтому срок службы её может достигать 4–5 лет. Силиконовая жидкость DOT 5 вообще слабогигроскопична и срок службы её может достигать до 10–15 лет, но она имеет ряд других проблем, в частности, высокая степень аэрации вследствие высокого показателя растворимости воздуха и как результат DOT 5 запрещена к применению в машинах с антиблокировочной системой (ABS). Чтобы исключить возможность образования паровых пробок, жидкость «Нева» в зависимости от условий эксплуатации рекомендуется заменять через 1–2 года; срок службы жидкостей «Томь» и «Роса» может быть более двух лет.

Для техники, эксплуатирующейся в районах Крайнего Севера, необходима специальная жидкость, у которой вязкость при $-55\text{ }^{\circ}\text{C}$ должна быть не более $1500\text{ мм}^2/\text{с}$. При отсутствии такой жидкости практикуется разбавление жидкости «Нева» и «Томь» 18–20 % этилового спирта. Такая смесь работоспособна при температуре до $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, однако имеет низкую температуру кипения и не обеспечивает герметичности резиновых манжетных уплотнений. Поэтому разбавление жидкости спиртом вынужденная мера, и по окончании зимней эксплуатации смесь следует заменить.

7.4. Охлаждающие жидкости

Первые антифризы появились в 1920-е г. XX в. Изготавливались они на основе глицерина (температура кипения $290\text{ }^{\circ}\text{C}$), а потому кроме низкой температуры замерзания обладали также высокой вязкостью и отвратительной текучестью. Гонять такой «кисель» по каналам системы охлаждения и трубкам радиатора для водяного насоса задача не из простых. С техническими проблемами справились, когда к глицерину начали добавлять этанол. Текучесть заметно улучшилась, но взамен получили «человеческий фактор». Этанол – сильный психотропный яд, что-то вроде наркотика.

Система охлаждения представлена на рис. 7.2.

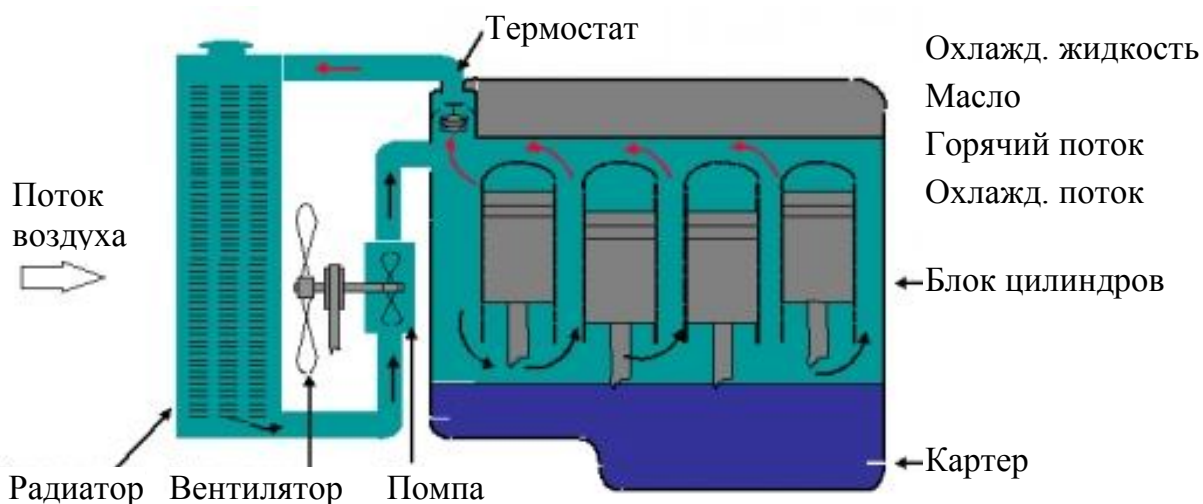


Рис. 7.2. Охлаждающие жидкости

Замена этанолу, а заодно и глицерину нашлась в виде этиленгликоля. Правда, это тоже яд.

Свойства водных растворов этиленгликоля представлены в табл. 7.10.

Таблица 7.10

Свойства водных растворов этиленгликоля

Концентрация этиленгликоля, % по массе	d420	Температура замерзания, °С
26,4	1,0340	-10
36,4	1,0506	-20
45,6	1,0 27	-30
52,6	1,0713	-40
58,0	1,0780	-50
63,1	1,0833	-60
66,0	—	-65
66,7	1,0856	-75
72,1	1,0923	-60
78,4	1,0983	-50

Сам по себе в чистом виде этиленгликоль замерзает уже при $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$. При добавлении к этиленгликолю 2 % воды полученный раствор начинает кристаллизоваться уже при $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$. И так будет продолжаться, пока содержание воды в растворе не достигнет 65–70 %. Теперь температура, при которой замерзнет «вода плюс этиленгликоль», будет достигать $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Причем сам раствор при замерзании

превращается в кашеобразную массу, нисколько не увеличивает свой объем, как это случается со льдом, и, следовательно, не «размораживает» двигатель и радиатор. Но дальнейшее увеличение концентрации воды в антифризе чревато серьезными последствиями, поскольку начинается обратный процесс – температура замерзания растет. Когда вода занимает уже 3/4 объема раствора, антифриз застынет всего лишь при 10 °С.

Температура замерзания антифриза представлена на рис. 7.3.

Смесь этиленгликоля с водой отличает высокая коррозионная активность к цветным металлам и склонность к вспениванию. Поэтому в раствор вводят в небольших количествах специальные присадки, призванные подавлять отрицательные свойства антифриза. Охлаждающая жидкость с набором присадок и содержанием этиленгликоля 40 % называется «Тосол А40».

Ассортимент охлаждающих жидкостей, выпускаемых в СССР, разнообразием не отличался. Не отличался настолько, что «Тосол» как основной антифриз тех времен превратился в имя нарицательное, и нынче автолюбители называют тосолами любые охлаждающие жидкости, в том числе и импортные. А на самом деле «Тосол» – всего лишь аббревиатура. ТОС – технологии органического синтеза. Это первые буквы названия отдела в Государственном научно-исследовательском институте органической химии и технологии (ГосНИИОХТ), который в 1971 г. разработал охлаждающую жидкость для автомобилей ВАЗ взамен итальянского «ПАРАФЛЮ». ОЛ – окончание, характерное для спиртов (этанол, бутинол, метанол).

Так как торговая марка «Тосол» не была зарегистрирована, под ней на рынок запасных частей и расходных материалов проникают практически все подделки антифризов. Зарубежные продукты не подделывают, по крайней мере лабораторные исследования антифризы выдерживают. Однако популярность «Тосола» была столь высока, что так стали вскоре называть любые охлаждающие жидкости, встречающиеся в продаже.

Antifreeze в буквальном переводе с английского означает «против замерзания» и в принципе представляет собой такой же раствор моноэтиленгликоля с деминерализованной водой плюс всевозможными присадками, предотвращающими вспенивание и коррозию, что и настоящий «Тосол».

Основные отличия «Тосола» и антифриза – в добавках. И если в российском «Тосоле» их около 10, то в лучших зарубежных образцах

– около 40. Да и количество контролируемых параметров в зарубежном антифризе около 30, в отличие от 10 в российских.

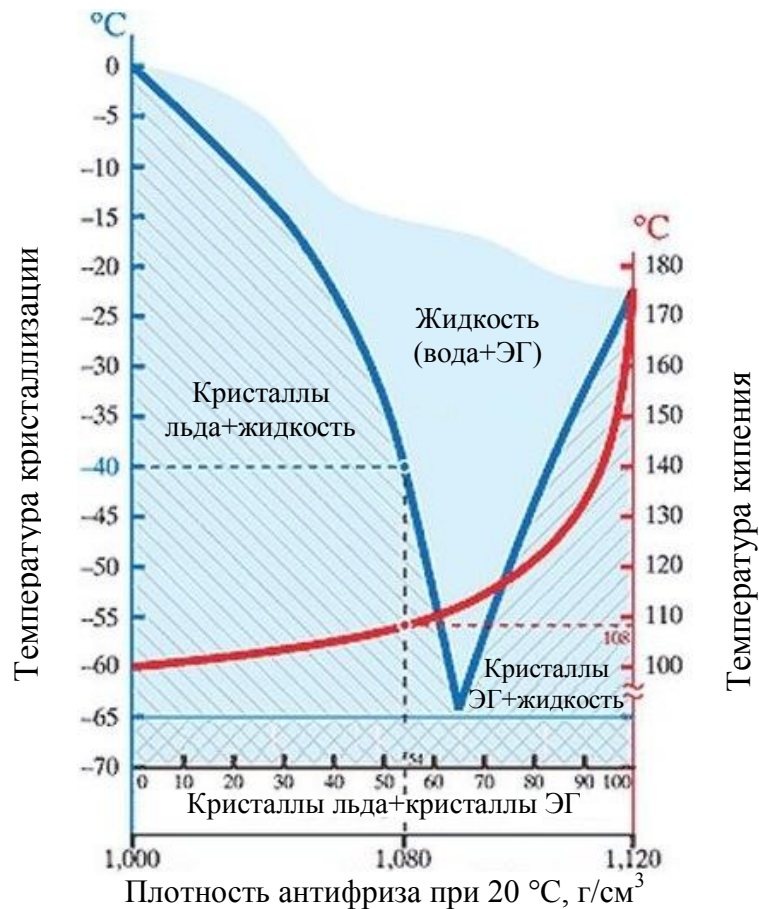


Рис. 7.3. Температура замерзания антифриза

Термин «Antifreeze» (антифриз) использовали для обозначения концентрата, который добавляли к воде в системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания. Однако этот термин принимал во внимание только морозозащитную роль этого продукта, допуская, что его использование является сезонной потребностью и не отражает его функцию как теплообменной среды, разработанной, чтобы предохранить систему охлаждения двигателя от коррозии и повреждения при всех эксплуатационных условиях. Термин «engine coolant concentrate» (дословно – «двигательный охладитель концентрированный») охватывает все эти условия и в настоящее время более предпочтителен.

Вода имеет целый ряд положительных свойств: доступность, высокую теплоемкость, пожаробезопасность, нетоксичность, хорошую прокачиваемость при положительных температурах.

К недостаткам воды следует отнести: неприемлемо высокую

температуру замерзания и увеличение объема при замерзании, недостаточно высокую температуру кипения и склонность к образованию накипи. Эти недостатки ограничивают применение воды в качестве охлаждающей жидкости. Однако в тех климатических зонах, где не бывает низких температур или автомобили эксплуатируются только в летний период, вода может применяться в системах охлаждения. В этом случае важно знать ее свойства, чтобы избежать нежелательных последствий от эксплуатации двигателей на воде.

В первую очередь это относится к накипи – твердым и прочным отложениям на горячих стенках системы охлаждения, образующимся в результате оседания на стенках бикарбонатов, сульфатов и хлоридов кальция и магния, содержащихся в воде.

Образование накипи кроме ухудшения теплоотвода приводит к увеличению расхода топлива. Так, при толщине накипи 1,5–2 мм расход топлива может возрасти на 8–10 %. Это происходит вследствие недопустимого повышения температурного режима цилиндропоршневой группы из-за термического сопротивления слоя накипи.

Для предупреждения образования накипи в системе охлаждения используется два способа:

- введение антинакипинов (хромпик $K_3Ca_2O_7$, нитрат аммония NH_4NO_3);
- умягчение воды перед заливкой в систему (кипячением, перегонкой или обработкой кальцинированной содой Na_2CO_3).

Системы охлаждения современных двигателей герметичны, и жидкость в них находится под небольшим давлением, обычно около 0,05 МПа, которое поддерживается клапаном радиатора. В новых моделях автомобилей давление в системе охлаждения еще выше (0,12 МПа) и поддерживается клапаном в расширительном бачке. При давлении 0,05 МПа вода кипит при 112 °С, а при 0,12 МПа – при 124 °С.

Антифризам присущи некоторые недостатки. Так, их теплопроводность и теплоемкость ниже, чем у воды, что несколько снижает эффективность систем охлаждения.

При нагреве антифризы увеличивают объем, ввиду чего в системе охлаждения устанавливается расширительный бачок. Этиленгликоль коррозионно агрессивен по отношению к металлам, поэтому в антифризы при изготовлении добавляют специальные антикоррозионные и противопенные присадки. Общее содержание присадок составляет 3–5 %.

Температура кипения антифриза достаточно высока и составля-

ет 120–132 °С. Поэтому в герметичной системе охлаждения современного автомобиля при нормальных условиях эксплуатации (без перегрева двигателя) потери антифриза происходят преимущественно из-за утечек (микрощели в радиаторе, ослабление креплений хомутов на шлангах и другие неисправности).

Восполнять уровень антифриза в системе охлаждения водой нежелательно, так как при этом снижается концентрация этиленгликоля в смеси, что ведет к повышению температуры замерзания.

Допустимый срок службы антифриза типа «Тосол А40-М» составляет до 3 лет эксплуатации, или 60 тыс. км пробега. При более длительных сроках эксплуатации на некоторых деталях системы охлаждения начинают появляться очаги коррозии, в первую очередь на крыльчатке водяного насоса, т.е. на чугуне. Корродируют также детали из алюминия, припой в радиаторе, латунные трубки радиатора и корпус термостата.

Антифриз в процессе эксплуатации изменяет свои характеристики: снимается запас щелочности, увеличивается склонность к це-нообразованию, возрастает агрессивность к резине и увеличивается способность вызывать коррозию металлов. Интенсивность изменения характеристик антифриза зависит от средней рабочей температуры в двигателе. В южных районах, где эти температуры обычно более высокие, антифриз стареет интенсивнее. В северных же районах страны антифриз может служить и более трех лет.

Контрольные вопросы и задания

1. На основании чего выбирается рабочая жидкость для гидро-системы машины?
2. Как маркируются гидравлические масла в соответствии с ГОСТ 17479.3-85?
3. Какие требования предъявляют к амортизаторным маслам?
4. Для чего необходимы тормозные жидкости?
5. Приведите пример охлаждающей жидкости.

8. МЕТОДЫ И СРЕДСТВА НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ТРУБОПРОВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

8.1. Оценка состояния конструкционных материалов (дефектоскопы)

Для оценки состояния материала, из которого изготавливаются конструкции машин, прежде всего необходимо определить дефекты, нарушающие сплошность материала. Такие дефекты обычно проявляются в виде микротрещин, пор, каверн внутри материала, возникающих из-за его усталости, а также в результате производственных дефектов (главным образом неснятые напряжения, дефекты отливок), недостатков расчета, а также случайных эксплуатационных воздействий (удары и т. п.), превышающих допустимые. Большое разнообразие размеров, конфигурации и местоположений дефектов затрудняет выбор обобщенных количественных параметров степени повреждения.

Пользуются следующими частными параметрами:

- процент поврежденной площади;
- среднее число повреждений (дефектов на единицу площади);
- размеры (площадь, глубина) наибольшего повреждения или среднее значение повреждений.

Для объективного определения состояния металлоконструкций строительных машин наиболее эффективны методы неразрушающего контроля. Известно множество методов неразрушающего контроля (ГОСТ 18353–79 «Контроль неразрушающий. Классификация видов и методов»).

Для строительных машин наиболее пригодны следующие методы.

Визуально-оптические методы основаны на получении информации о состоянии объекта диагностирования при визуальном наблюдении при помощи оптических средств. К числу применяемых при этом оптических средств относятся зеркала, линзы, микроскопы и эндоскопы (рис. 8.1).

Последние обеспечивают возможность обследования внутренних поверхностей не только металлоконструкций, но и цилиндров ДВС (через отверстия для свечей или форсунок) и гидроцилиндров (через штуцера трубопроводов и рукавов).



Рис. 8.1. Визуально-оптические приборы

Эндоскопы (рис. 8.2) представляют собой жесткую оптическую систему с призмами и линзами или гибкую оптическую систему на базе волоконной оптики. Для освещения объекта наблюдения в эндоскопах используют внешние лампы мощностью 100–300 Вт. Установленные в серийных эндоскопах линзы обеспечивают 6–12 кратное увеличение изображения [22].



Рис. 8.2. Эндоскоп

Кроме визуального наблюдения многие эндоскопы рассчитаны на фотографирование изображения при помощи специальной фотокамеры.

Капиллярные методы. Эти методы основаны на проникновении специальных жидких веществ в полости дефектов объекта диагностирования, в результате чего на поверхности объекта образуется изображение этих дефектов. Наиболее простой разновидностью капиллярного метода является «керосиновая проба», используемая для определения поверхностных трещин, пор и других дефектов поверх-

ностей элементов металлоконструкций машин. Поверхность объекта смачивают керосином, протирают, затем посыпают порошком мела. Меловое покрытие способствует повышению контрастности изображения дефектов на поверхности. Большую контрастность дает применение вместо керосина специальной темно-красной жидкости, обладающей высокой капиллярностью.

Дальнейшее развитие капиллярные методы получили в результате использования люминесцентных индикаторных жидкостей, которые светятся под действием ультрафиолетового излучения.

Работы по выявлению дефектов капиллярным методом представлены в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Работы при капиллярном методе выявления дефектов

Рисунок	Описание работ
	<p>Предварительная очистка поверхности. Чтобы краситель мог проникнуть в дефекты на поверхности, ее предварительно следует очистить водой или органическим очистителем. Все загрязняющие вещества (масла, ржавчина и т.п.), любые покрытия (ЛКП, металлизация) должны быть удалены с контролируемого участка. После этого поверхность высушивается, чтобы внутри дефекта не оставалось воды или очистителя</p>
	<p>Нанесение пенетранта. Пенетрант, обычно красного цвета, наносится на поверхность путем распыления, кистью или погружением ОК в ванну, для хорошей пропитки и полного покрытия пенетрантом. Как правило, при температуре 5-50 °С, на время 5-30 мин</p>
	<p>Удаление излишков пенетранта. Избыток пенетранта удаляется протиркой салфеткой, промыванием водой. Или тем же очистителем, что и на стадии предварительной очистки. При этом пенетрант должен быть удален с поверхности, но никак не из полости дефекта. Поверхность далее высушивается салфеткой без ворса или струей воздуха. Используя при этом очиститель, есть риск вымывания пенетранта и неправильной его индикации</p>
	<p>Нанесение проявителя. После просушки сразу же на ОК наносится проявитель, обычно белого цвета, тонким ровным слоем</p>

Процесс обнаружения дефектов капиллярным методом разделяется на 5 стадий (проведение капиллярного контроля):

1. Предварительная очистка поверхности (используют очиститель).
2. Нанесение пенетранта.
3. Удаление излишков пенетранта.
4. Нанесение проявителя.
5. Контроль.

После нанесения проявителя следует выждать время от 5 мин для крупных дефектов, до 1 часа для мелких дефектов. Дефекты будут проявляться, как красные следы на белом фоне (табл. 8.2).

Таблица 8.2

Порядок выявления дефектов капиллярным методом

Предварительная очистка	Механически, щеткой	Струйным методом	Обезжиривание горячим паром	Очистка растворителем
1	2	3	4	5
Предварительная просушка				
Нанесение пенетранта	Погружение в ванну	Нанесение кистью	Нанесение из аэрозоли / распылителя	Нанесение электростатическим способом
Промежуточная очистка	Пропитанной водоне ворсистой тканью или губкой	Пропитанной водой кистью	Сполоснуть водой	Пропитанной специальной водоне ворсистой тканью или губкой
Сушка	Высушить на воздухе	Протереть не ворсистой тканью	Обдуть чистым, сухим воздухом	Высушить теплым воздухом
Нанесение проявителя	Погружением (проявитель на водной основе)	Нанесение из аэрозоли / распылителя (проявитель на спиртовой основе)	Электростатическое нанесение (проявитель на спиртовой основе)	Нанесение сухого проявителя (при сильной пористости поверхности)
Проверка поверхности и документирование	Контроль при дневном или искусственном освещении мин. 500 Lux (EN 571-1/EN3059)	Документация на прозрачной пленке	Фотооптическое документирование	Документирование с помощью фото- или видеосъемки

1	2	3	4	5
	При использовании флуоресцентного пенетранта: Освещение: < 20Lux Интенсивность УФ: 1000 μ W/cm ²			

Порядок проведения капиллярной дефектоскопии представлен на рис. 8.3.

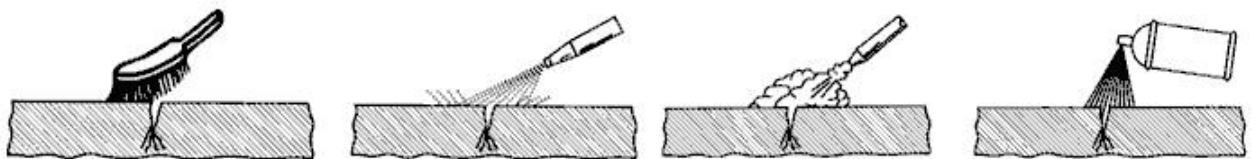


Рис. 8.3. Порядок проведения капиллярной дефектоскопии

Капиллярные методы обеспечивают определение трещин с минимальным раскрытием 1–10 мкм, минимальной глубиной 0,01–0,03 мкм и минимальной длиной 0,03–0,5 мм.

Ультразвуковой метод является одной из разновидностей акустического неразрушающего контроля, в основе которого лежит регистрация упругих волн, возбуждаемых в объекте диагностирования. В объект диагностирования ультразвуковые колебания вводят при помощи пьезоэлектрических преобразователей в импульсном или непрерывном режимах. В применении к диагностированию металлоконструкций строительных машин наиболее подходит импульсный эхо-метод, основанный на измерениях параметров коротких ультразвуковых импульсов, посылаемых с поверхности объекта диагностирования и отражаемых от внутренних дефектов и обратной стенки объекта. Принцип работы прибора, в котором использован ультразвуковой эхо-метод, аналогичен принципу работы эхолота (гидролокатора). Эти приборы включают в себя генератор и приемник ультразвуковых импульсов, электронный осциллоскоп, устройства синхронизации, развертки и др. [22].

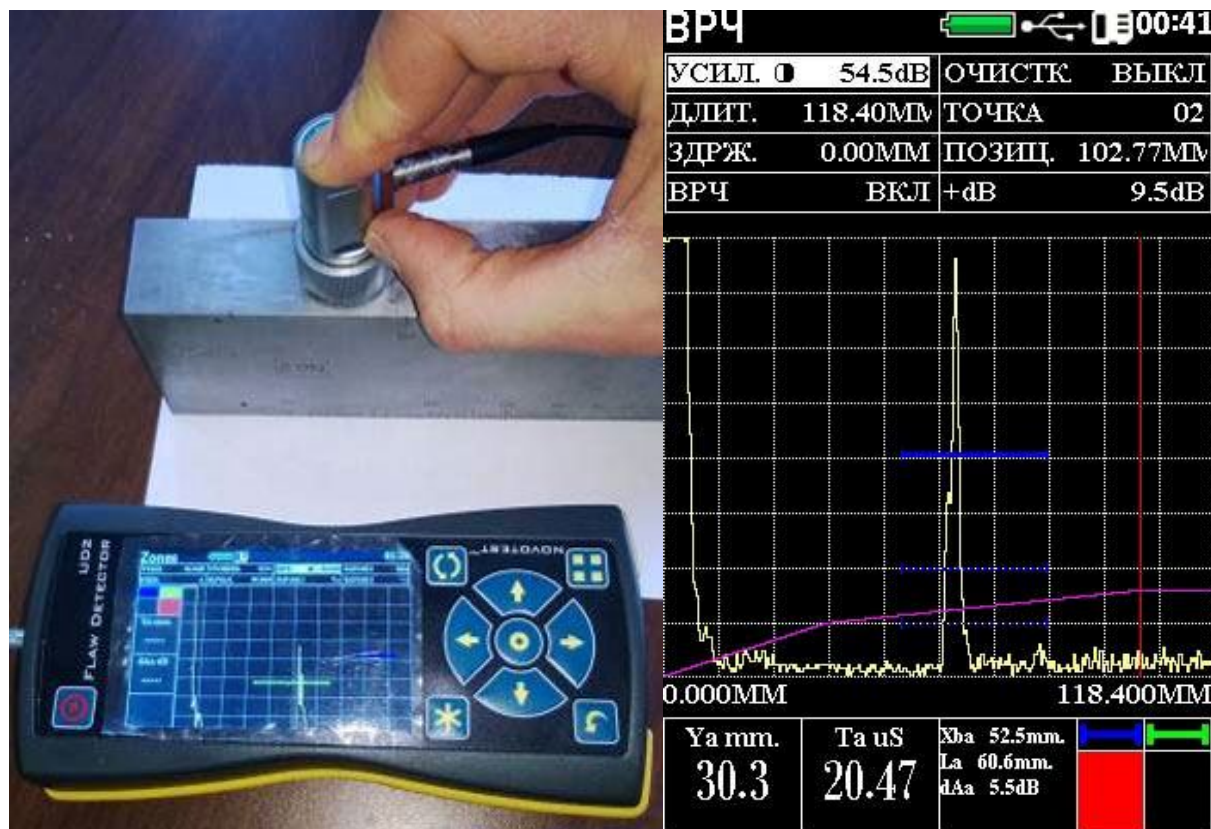


Рис. 8.4. Ультразвуковые дефектоскопы

Магнитные методы основаны на регистрации магнитных полей рассеяния, возникающих при специальном намагничивании объектов диагностирования. Вокруг дефектов образуются аномалии полей рассеяния. Для диагностирования металлоконструкций строительных машин применимы три разновидности магнитных методов: магнитопорошковый, индукционный и феррозондовый.

Для реализации магнитопорошкового метода объект диагностирования намагничивают путем пропускания тока непосредственно через объект или медный стержень, расположенный вблизи объекта. В некоторых случаях при помощи электромагнита в объекте диагностирования создают постоянное магнитное поле. Поверхность намагниченного объекта посыпают магнитным порошком или покрывают слоем магнитной суспензии. Используют магнитные порошки, получаемые либо термическим разложением пентокарбонила железа FeO_2CO_5 , либо распылением железа электрической дугой в керосине, а также порошки из мелкоразмолотой стальной окалины, феррита и др. Магнитные суспензии представляют собой взвеси магнитных порошков в воде, минеральных маслах или керосине.

Если намагниченная поверхность объекта диагностирования имеет дефекты, то на магнитном покрытии образуется характерное изображение этих дефектов, вызванное аномалиями полей рассеяния. С целью повышения контрастности изображения применяют порошки ярких цветов. Чувствительность метода в значительной степени зависит от качества магнитного порошка и конфигурации объекта диагностирования.

Магнитопорошковым методом наиболее эффективно выявлять трещины с шириной раскрытия более 1 мкм, глубиной от 10 мкм и длиной от 0,5 мм, а также внутренние скрытые дефекты на глубине до 2 мм. Промышленность выпускает как стационарные, так и мобильные магнитные дефектоскопы. Примером переносных и передвижных магнитных дефектоскопов являются приборы ПМД-70, ДМП-2, МД-50 [22].

Эти дефектоскопы включают в себя устройства для поливки магнитной суспензией и для последующего размагничивания объектов.

Прочие виды дефектоскопов.

Импедансные дефектоскопы. Принцип работы основан на определении отличия полного механического сопротивления (импеданса) дефектного участка по сравнению с доброкачественным, для чего контролируемая поверхность сканируется с помощью двух пьезоэлементов, один из которых возбуждает колебания в материале, а другой воспринимает колебания. Импедансные дефектоскопы предназначены для обнаружения дефектов, расслоений, непроклеев, пористости и нарушения целостности композитных материалов и сотовых структур в авиастроении, космической, автомобильной и других отраслях промышленности.

Резонансные дефектоскопы. Резонансный метод основан на определении собственных резонансных частот упругих колебаний (частотой 1–10 МГц) при возбуждении их в изделии. Этим методом измеряют толщину стенок металлических и некоторых неметаллических изделий. При возможности измерения с одной стороны погрешность измерения – около 1 %. Кроме того, при помощи резонансной дефектоскопии можно выявлять зоны коррозионного поражения. Вариантом резонансного метода является спектрально-акустическая дефектоскопия.

Вихревые дефектоскопы. Принцип действия основан на методе вихревых токов, заключающемся в возбуждении вихревых то-

ков в локальной зоне контроля и регистрации изменений электромагнитного поля вихревых токов, обусловленных дефектом и электрофизическими свойствами объекта контроля. Характеризуется небольшой глубиной контроля, т.е. трещины и несплошности материала на глубине до 2 мм.

Феррозондовые дефектоскопы. Используют метод магнитной дефектоскопии, основанный на том, что при движении феррозонда (чувствительного элемента, реагирующего на изменение магнитного поля) вдоль изделия вырабатываются импульсы тока, форма которых зависит от наличия дефектов в изделии. Высокая чувствительность дефектоскопов-градиентометров позволяет выявлять дефекты с шириной раскрытия в несколько микрометров и глубиной от 0,1 мм. Возможно выявление дефектов под немагнитным покрытием толщиной до 6 мм. Шероховатость контролируемых поверхностей – до Rz 320 мкм. Дефектоскопы-градиентометры применяются для контроля литых деталей, проката, сварных соединений.

Электроискровые дефектоскопы. Принцип действия основан на электрическом пробое воздушных промежутков между касающимся поверхности изоляционного покрытия щупом, подключенным к одному полюсу источника высокого напряжения, и диагностируемым объектом, подключенным к другому полюсу источника высокого напряжения непосредственно или через грунт при помощи заземлителя.

Термоэлектрические дефектоскопы. Принцип действия термоэлектрических дефектоскопов основан на измерении электродвижущей силы (термоЭДС), возникающей в замкнутой цепи при нагреве места контакта двух разнородных материалов. Если один из этих материалов принять за эталон, то при заданной разности температур горячего и холодного контактов величина и знак термоЭДС будут определяться химическим составом второго материала. Этот метод обычно применяют в тех случаях, когда требуется определить марку материала, из которого состоит полуфабрикат или элемент конструкции (в том числе, в готовой конструкции).

Индукционный метод. Основан на измерениях аномалий магнитного поля рассеяния между полюсами электромагнита переменного тока, установленного в зоне контроля объекта диагностирования. Для индикации аномалий магнитного поля используется искательная катушка, размещенная между полюсами электромагнита, возбуждающего поле. Электромагнит питается переменным током сравнительно низких частот, обычно не выше 500 Гц. ЭДС, возбуж-

денная в искательной катушке потоком рассеяния от дефекта, усиливается и подается на телефон, стрелочный индикатор или осциллограф. С применением индукционного метода могут быть выявлены трещины и непровары в сварных соединениях глубиной 0,1–0,3 мм. На основе индукционного метода работают также приборы для определения обрывов проволок в стальных канатах подъемно-транспортных машин.

Радиационные дефектоскопы. В радиационных дефектоскопах осуществляется облучение объектов рентгеновскими, α -, β - и γ -лучами, а также нейтронами. Источники излучений — рентгеновские аппараты, радиоактивные изотопы, линейные ускорители, бетатроны, микротроны. Радиационное изображение дефекта преобразуют в радиографический снимок (радиография), электрический сигнал (радиометрия) или световое изображение на выходном экране радиационно-оптического преобразователя или прибора (радиационная интроскопия, радиоскопия).

Первый радиационный дефектоскоп был внедрён в 1933 г. на Балтийском судостроительном заводе изобретателем Л. В. Мысовским и использовался для выявления дефектов литья в толстых металлических плитах к печам «Мигге-Перроя».

Инфракрасные дефектоскопы. Инфракрасные дефектоскопы используют инфракрасные (тепловые) лучи для обнаружения непрозрачных для видимого света включений. Так называемое инфракрасное изображение дефекта получают в проходящем, отражённом или собственном излучении исследуемого изделия. Дефектные участки в изделии изменяют тепловой поток. Поток инфракрасного излучения пропускают через изделие и регистрируют его распределение теплочувствительным приёмником.

Радиоволновые дефектоскопы. Радиодефектоскопия основана на проникающих свойствах радиоволн сантиметрового и миллиметрового диапазонов (микрорадиоволн), позволяет обнаруживать дефекты главным образом на поверхности изделий обычно из неметаллических материалов. Радиодефектоскопия металлических изделий из-за малой проникающей способности микрорадиоволн ограничена. Этим методом определяют дефекты в стальных листах, прутках, проволоке в процессе их изготовления, а также измеряют их толщину или диаметр, толщину диэлектрических покрытий и т. д. От генератора, работающего в непрерывном или импульсном режиме, микрорадио-

волны через рупорные антенны проникают в изделие и, пройдя усилитель принятых сигналов, регистрируются приёмным устройством.

Электропотенциальный метод основан на измерении распределения потенциалов на поверхности объекта диагностирования, через который с целью получения электрического поля пропускают ток. К зачищенной поверхности объекта прижимают токовые и потенциальные электроды. Питание токовых электродов осуществляют от аккумулятора или низковольтного сетевого источника постоянного тока. В последнем случае величину тока можно регулировать не только реостатом в цепи электродов, но и регулируемым трансформатором в цепи переменного тока. Для измерения разности потенциалов между потенциальными электродами кроме микровольтметров используют потенциометры. Сопротивление зависит от удельного сопротивления материала объекта диагностирования, размещения электродов, а также от размеров и расположения дефектов, в том числе внутренних, поскольку электрическое поле распространяется не только по поверхности.

При установке щупа объекта касаются сначала подвижные (токовые) иглы, затем неподвижные (потенциальные). Необходимая чувствительность измерений на стальных объектах обеспечивается при токах в десятки и сотни ампер. С увеличением тока возникает возможность обгорания токовых контактов. Наиболее эффективно комплексное применение электропотенциального метода наряду с другими методами, например капиллярными, которые позволяют оперативно получать картину распределения трещин по поверхности, но не дают информации об их глубине.

8.2. Неразрушающий контроль сварных швов при строительстве нефтегазопроводов

При строительстве объектов нефтегазовой инфраструктуры отдельное внимание необходимо уделять неразрушающему контролю сварных соединений. Основным регламентирующим документом при этом является РД-08.00-60.30.00-КТН-046-1-05 «Неразрушающий контроль сварных соединений при строительстве и ремонте магистральных нефтепроводов». Несмотря на определённые особенности данного вида контроля, он позволяет применять большинство вышеописанных методов.

Дефекты сварных соединений. В силу разных причин сварные соединения могут иметь дефекты, влияющие на их прочность. Все виды дефектов швов подразделяют на три группы:

- наружные, к основным из которых относятся: трещины, подрезы, наплывы, кратеры;
- внутренние, среди которых чаще всего встречаются: пористость, непровары и посторонние включения;
- сквозные – трещины, прожоги.

Причинами возникновения дефектов могут быть различные обстоятельства: низкое качество свариваемого металла, неисправное или некачественное оборудование, неверный выбор сварочных материалов, нарушение технологии сварки или неправильный выбор режима, недостаточная квалификация сварщика.

8.3. Основные дефекты сварки, их характеристика, причины возникновения и способы исправления

Трещины. Это наиболее опасные дефекты сварки, способные привести к практически мгновенному разрушению сваренных конструкций с самыми трагическими последствиям (рис. 8.5). Трещины различаются по размерам (микро- и макротрещины) и времени возникновения (в процессе сварки или после нее).

Чаще всего причиной образования трещин является несоблюдение технологии сварки (например, неправильное расположение швов, приводящее к возникновению концентрации напряжения), неверный выбор сварочных материалов, резкое охлаждение конструкции. Способствует их возникновению также повышенное содержание в шве углерода и различных примесей – кремния, никеля, серы, водорода, фосфора.

Исправление трещины заключается в рассверливании ее начала и конца с целью исключения дальнейшего распространения, удалении шва (вырубанию или вырезанию) и заваривании.

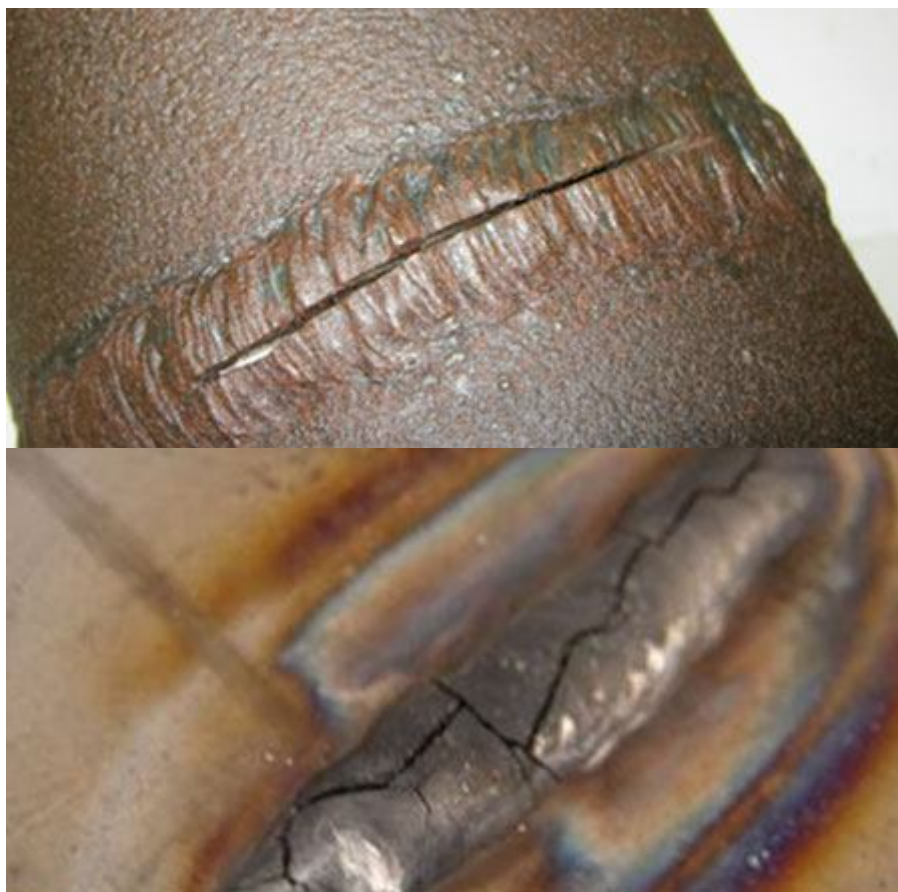


Рис. 8.5. Дефекты сварного шва: трещины

Подрезы. Подрезы – это углубления (канавки) в месте перехода «основной металл-сварной шов» (рис. 8.6). Подрезы встречаются довольно часто. Их отрицательное действие выражается в уменьшении сечения шва и возникновении очага концентрации напряжения. И то и другое ослабляет шов. Подрезы возникают из-за повышенной величины сварочного тока. Чаще всего этот дефект образуется в горизонтальных швах. Устраняют его наплавкой тонкого шва по линии подреза.

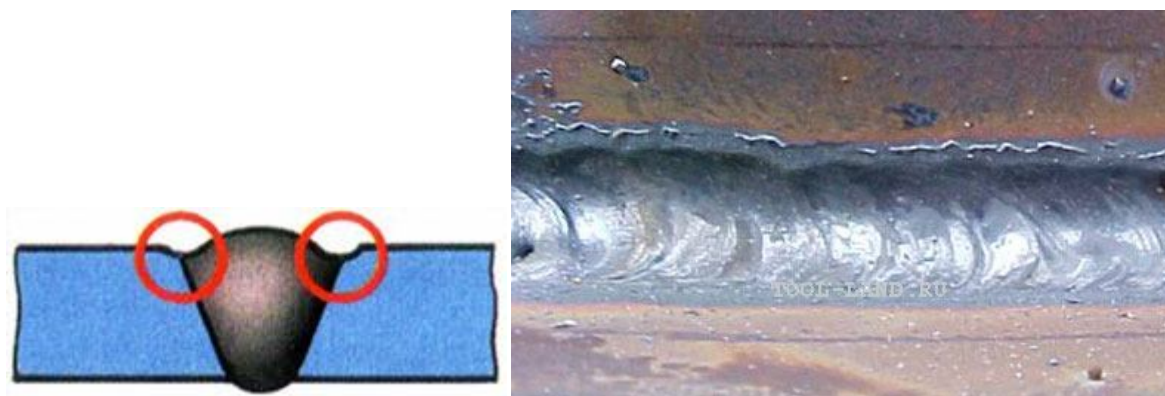


Рис. 8.6. Дефекты сварного шва: подрезы

Наплывы. Наплывы возникают, когда расплавленный металл на-текает на основной, но не образует с ним однородного соединения (рис. 8.7). Дефект шва возникает по разным причинам – при недоста-точном прогреве основного металла вследствие малого тока, из-за на-личия окалины на свариваемых кромках, препятствующей сплавлени-ю, излишнего количества присадочного материала. Устраняются наплывы срезанием с проверкой наличия непровара в этом месте.

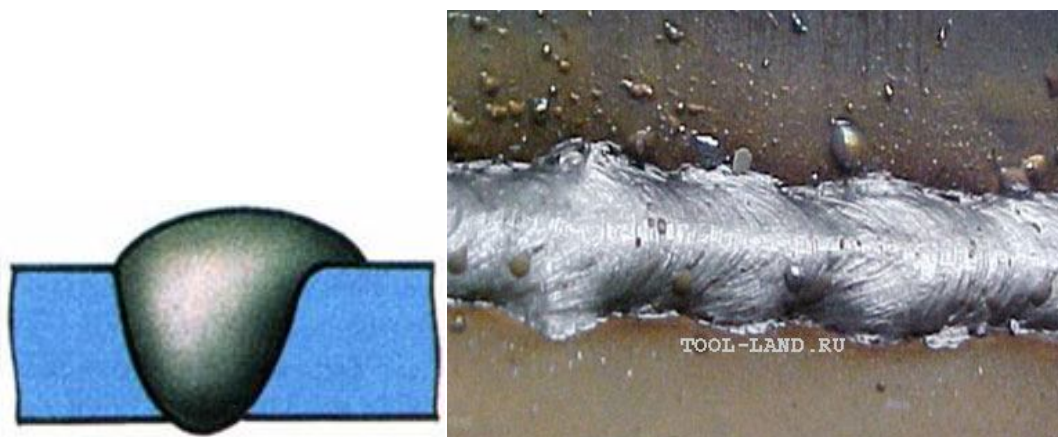


Рис. 8.7. Дефекты сварного шва: наплывы

Прожоги. Прожогами называют дефекты сварки, проявляющие-ся в сквозном проплавлении и вытекании жидкого металла через сквозное отверстие в шве (рис. 8.8). При этом обычно с другой сторо-ны образуется натек. Прожоги возникают из-за чрезмерно высокого сварочного тока, недостаточной скорости перемещения электрода, большого зазора между кромками металла, слишком малой толщины подкладки или ее неплотного прилегания к основному металлу. Ис-правляют дефект зачисткой и последующей заваркой.

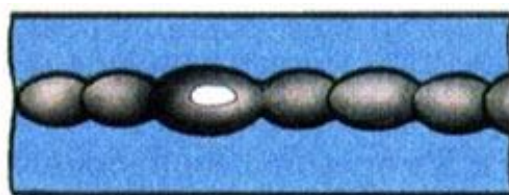


Рис. 8.8. Прожог сварного соединения

Непровар. Непровары – это локальные несплавления наплавлен-ного металла с основным или слоев шва между собой (рис. 8.9). К этому дефекту относят и незаполнение сечения шва. Непровары су-щественно снижают прочность шва и могут явиться причиной разру-шения конструкции.

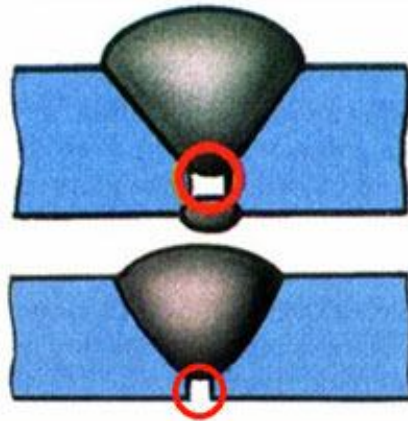


Рис. 8.9. Незаполнение и непровар шва

Дефект возникает из-за заниженного сварочного тока, неправильной подготовки кромок, излишне высокой скорости сварки, наличия на кромках свариваемых деталей посторонних веществ (окалины, ржавчины, шлака) и загрязнений. При исправлении нужно вырезать зону непровара и заварить её.

Кратеры. Это дефекты в виде углубления, возникающего в результате обрыва сварочной дуги (рис. 8.10). Кратеры снижают прочность шва из-за уменьшения его сечения. В них могут находиться усадочные рыхлости, способствующие образованию трещин. Кратеры надлежит вырезать до основного металла и заварить.

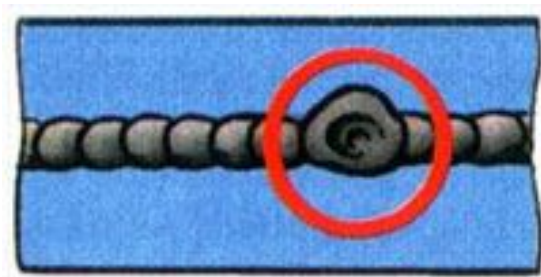


Рис. 8.10. Кратер сварочного шва

Свищи. Свищами называют дефекты швов в виде полости (рис. 8.11). Как и кратеры, они уменьшают прочность шва и способствуют развитию трещин. Способ исправления обычный – вырезка дефектного места и заварка.

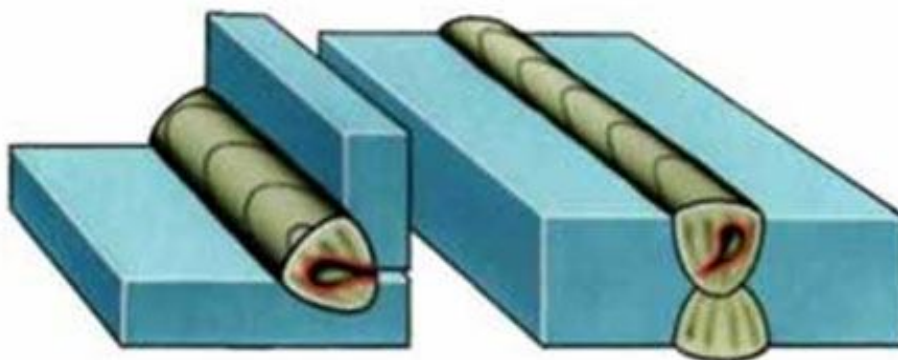


Рис. 8.11. Свищи сварных швов

Посторонние включения. Включения могут состоять из различных веществ – шлака, вольфрама, окислов металлов и прочего (рис. 8.12). Шлаковые включения образуются тогда, когда шлак не успевает всплыть на поверхность металла и остается внутри него. Это происходит при неправильном режиме сварки (завышенной скорости, например), плохой зачистке свариваемого металла или предыдущего слоя при многослойной сварке.

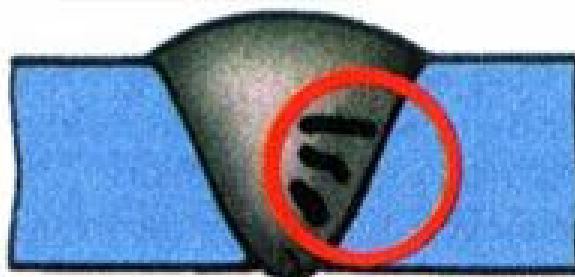


Рис. 8.12. Посторонние включения сварного соединения

Вольфрамовые включения возникают при сварке вольфрамовым электродом, окисные – из-за плохой растворимости окислов и чрезмерно быстрого охлаждения.

Все виды включений уменьшают сечение шва и образуют очаг концентрации напряжения, снижая тем самым прочность соединения. Дефект устраняют вырезкой и завариванием.

Пористость. Пористость – это полости, заполненные газами (рис. 8.13). Они возникают из-за интенсивного газообразования внутри металла, при котором газовые пузырьки остаются в металле после его затвердевания. Размеры пор могут быть микроскопическими или достигать нескольких миллиметров. Нередко возникает целое скопление пор в сочетании со свищами и раковинами.

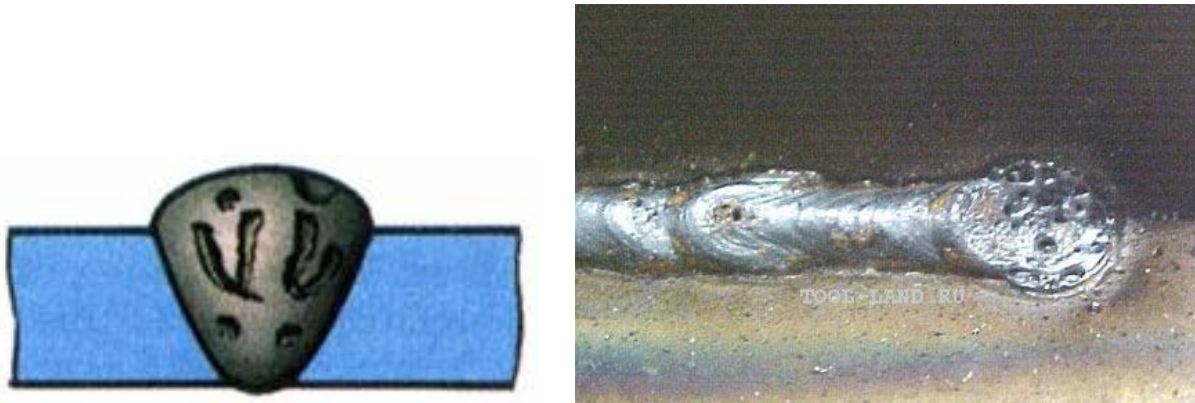


Рис. 8.13. Пористость в сварном шве

Возникновению пор способствует наличие загрязнений и посторонних веществ на поверхности свариваемого металла, высокое содержание углерода в присадочном материале и основном металле, слишком высокая скорость сварки, из-за которой газы не успевают выйти наружу, повышенная влажность электродов. Как и прочие дефекты, пористость снижает прочность сварного шва. Зону с ней необходимо вырезать до основного металла и заварить.

Перегрев и пережог металла. Пережог и перегрев возникают из-за чрезмерно большого сварочного тока или малой скорости сварки (рис. 8.14). При перегреве размеры зерен металла в шве и околошовной зоне увеличиваются, в результате чего снижаются прочностные характеристики сварного соединения, главным образом – ударная вязкость. Перегрев устраняется термической обработкой изделия.

Пережог представляет собой более опасный дефект, чем перегрев. Пережженный металл становится хрупким из-за наличия окисленных зерен, обладающих малым взаимным сцеплением. Причины пережога те же самые, что и перегрева, а кроме этого еще и недостаточная защита расплавленного металла от азота и кислорода воздуха. Пережженный металл необходимо полностью вырезать и заварить это место заново.

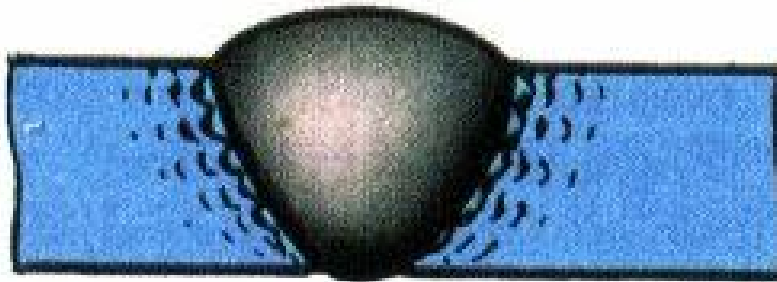


Рис. 8.14. Пережог металла шва

8.4. Контроль сварных соединений

Вполне очевидно, что качество сварных швов влияет на функциональность всей сваренной конструкции. Дефекты приводят к ослаблению прочности изделий и их разрушению в процессе эксплуатации. Из-за проницаемости швов нарушается герметичность сосудов и систем, работающих под давлением.

После завершения сварочных работ изделия должны подвергаться контролю сварных соединений с целью обнаружения и исправления дефектов. Невооруженным глазом можно рассмотреть лишь часть из них – крупные наружные трещины и поры, непровары, подрезы и т.п. Большая часть дефектов скрыта в глубине металла или имеет такие малые размеры, что обнаружить их можно только с использованием специальных приборов и материалов (рис. 8.15).



Рис. 8.15. Дефекты сварных соединений

Существует много способов контроля сварных швов, различающихся по принципу действия, способности к обнаружению тех или иных видов дефектов, техническому оснащению. Методы контроля сварных соединений подразделяются на разрушающие и неразрушающие. Последние, в силу понятных причин, являются наиболее широко используемыми. Применяются следующие основные методы неразрушающего контроля сварных соединений:

- внешний осмотр;
- радиационная дефектоскопия;

- магнитный контроль;
- ультразвуковая дефектоскопия;
- капиллярная дефектоскопия;
- контроль сварных швов на проницаемость;
- прочие методы (проверка с использованием вихревых токов и т.п.).

Внешний осмотр. Всякий контроль сварных соединений начинается с внешнего осмотра, с помощью которого можно выявить не только наружные дефекты, но и некоторые внутренние. Например, разная высота и ширина шва и неравномерность складок свидетельствуют о частых обрывах дуги, следствием которых являются непровары.

Перед осмотром швы тщательно очищаются от шлака, окалины и брызг металла. Более тщательная очистка в виде обработки шва промывкой спиртом и травлением 10%-ным раствором азотной кислоты придает шву матовую поверхность, на которой легче заметить мелкие трещины и поры. После использования кислоты нужно не забыть удалить ее спиртом во избежание разъедания металла.

Визуальный контроль сварных соединений выявляет, прежде всего, наружные дефекты – геометрические отклонения шва (высоты, ширины, катета), наружные поры и трещины, подрезы, непровары, наплывы.

Для эффективности контроля используют дополнительное местное освещение и лупу с 5–10 кратным увеличением. Лупа – очень полезный инструмент, в данном случае она помогает выявить многие дефекты, которые нельзя рассмотреть невооруженным глазом – тонкие волосяные трещины, выходящие на поверхность, пережог металла, малозаметные подрезы. Она позволяет также проследить, как ведет себя конкретная трещина в процессе эксплуатации – разрастается или нет.

При внешнем осмотре применяется также измерительный инструмент для замера геометрических параметров сварного соединения и дефектов – штангенциркуль, линейка, различные шаблоны.

Капиллярный контроль. Капиллярный контроль основан на капиллярной активности жидкостей – их способности втягиваться, проникать в мельчайшие каналы (капилляры), имеющиеся на поверхности материалов, в том числе поры и трещины сварных швов. Чем выше смачиваемость жидкости и чем меньше радиус капилляра, тем больше глубина и скорость проникновения жидкости.

С помощью капиллярного контроля можно контролировать материалы любого вида и формы – ферромагнитные и неферромагнитные, цветные и черные металлы и их сплавы, керамику, пластмассы, стекло. В основном капиллярный метод применяют для обнаружения невидимых или слабовидимых невооруженным глазом поверхностных дефектов с открытой полостью. Однако с помощью некоторых материалов (керосина, например) можно с успехом обнаруживать и сквозные дефекты.

Для капиллярного контроля разработан ГОСТ 18442-80 «Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования».

Контроль сварных швов с помощью пенетрантов. К наиболее распространенным способам контроля качества сварных швов с использованием явления капиллярности относится контроль пенетрантами (англ. penetrant – проникающий) – веществами, обладающими малым поверхностным натяжением и высокой световой и цветовой контрастностью, позволяющей легко их увидеть. Сущность метода состоит в окраске дефектов, заполненных пенетрантами (рис. 8.16).



Рис. 8.16. Пенетрант для контроля сварных швов

Существуют десятки рецептов пенетрантов, обладающих различными свойствами. Есть пенетранты на водной основе и на основе различных органических жидкостей (керосина, скипидара, бензола, уайт-спирита, трансформаторного масла и пр.). Последние (на основе различных органических жидкостей) особенно эффективны и обеспечивают высокую чувствительность выявления дефектов.

Если в рецептуру пенетрантов входят люминесцирующие вещества, то их называют люминесцентными, а способ контроля – люминесцентной дефектоскопией. Наличие таких пенетрантов в трещинах определяется при облучении поверхности ультрафиолетовыми лучами. Если в состав смеси входят красители, видимые при дневном свете, пенетранты называются цветными, а метод контроля – цветной дефектоскопией. Обычно в качестве красителей используются вещества ярко-красного цвета.

У разных пенетрантов разная чувствительность. Самые чувствительные (1-й класс чувствительности) способны выявлять капилляры с поперечным размером 0,1–1 мкм. Верхний предел капиллярного метода – 0,5 мм. Глубина капилляра должна быть минимум в 10 раз больше ширины.

Пенетрант может храниться в любой емкости и наноситься на контролируемый шов любым способом, но наиболее удобная форма выпуска – аэрозольные баллончики, с помощью которых смесь распыляется на поверхность металла. Обычно в комплект средства контроля швов входят три баллончика:

- сам пенетрант;
- очиститель, предназначенный для очистки поверхности от загрязнений перед проведением контроля и удаления излишков пенетранта с поверхности перед проявлением;
- проявитель – материал, предназначенный для извлечения пенетранта из дефекта и создания фона, для образования четкого индикаторного рисунка.

Баллончики могут быть разборными, позволяющими заряжать их на специальном зарядном стенде, входящем в комплект.

Методы контроля сварных соединений с использованием разных пенетрантов могут незначительно отличаться друг от друга, но в основном они сводятся к трем операциям – очистке поверхности, нанесению на неё пенетранта и проявлению дефектов с помощью проявителя (рис. 8.17).

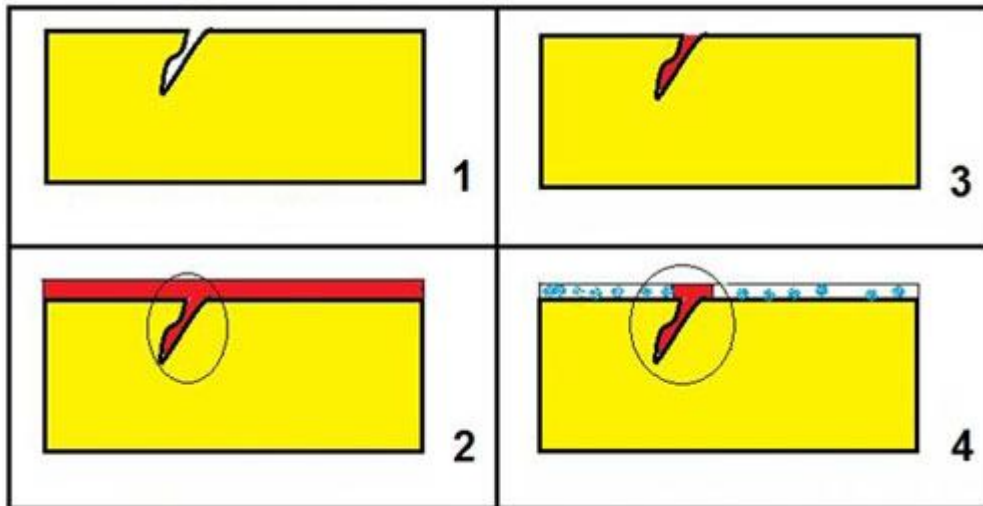


Рис. 8.17. Контроль сварных соединений пенетрантом:
 1 – очищенная поверхность с трещиной; 2 – нанесенный на поверхность пенетрант (пенетрант заполнил трещину); 3 – очищенная от пенетранта поверхность (пенетрант остался в трещине); 4 – нанесенный на поверхность проявитель (проявитель вытягивает пенетрант из трещины на поверхность и может создавать светлый фон)

Поверхность шва и околошовной зоны очищается от загрязнения, обезжиривается и сушится. При очистке важно не внести в дефекты новых загрязнений, поэтому механический способ очистки, при котором повреждения могут забиться посторонними включениями, использовать нежелательно. Обычно рекомендуется заканчивать операцию очистки очистителем, идущим в комплекте, – протерев им поверхность материалом, не оставляющим волокон. Если сварной шов перед контролем подвергался травлению, травящий состав нужно нейтрализовать 10–15% раствором соды (Na_2CO_3).

При контроле в условиях минусовых температур (если свойства используемого пенетранта допускают это) поверхность изделия рекомендуется протереть чистой тканью, смоченной в этиловом спирте.

Затем на поверхность распыляют пенетрант и дают выдержку в течение 5–20 мин (в соответствии с инструкций для конкретного состава). Это время необходимо на проникновение жидкости в имеющиеся дефекты (рис. 8.18).

После выдержки излишки пенетранта удаляются с поверхности. Способ удаления может различаться в зависимости от используемого состава. Водорастворимые смеси удаляют тканью без волокон, смоченной в воде, но обычно излишки пенетранта удаляются очистителем, входящим в состав комплекта. Независимо от способа удаления

нужно добиться того, чтобы поверхность была полностью очищена от препарата.

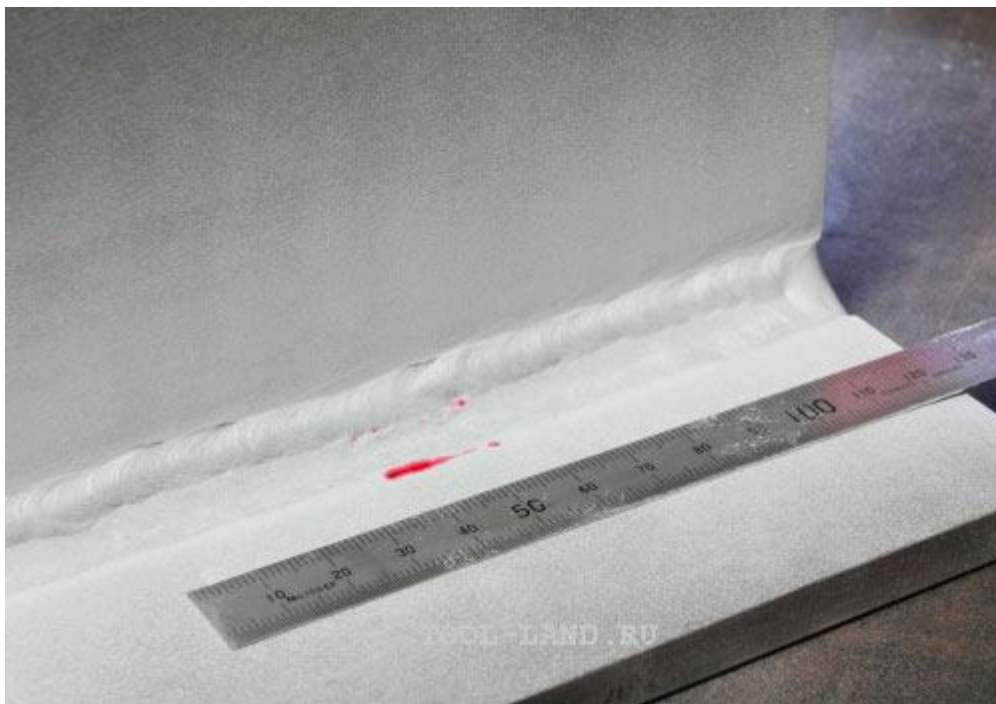


Рис. 8.18. Контроль сварных швов пенетрантом

В заключительной стадии операции из третьего баллончика наносится индикаторная жидкость, которая вытягивает пенетрант из полостей дефектов по принципу промокашки, отображая их расположение и форму в виде цветowego рисунка. В случае необходимости при осмотре применяют лупу с двукратным увеличением.

Проверка качества сварных швов с использованием пенетрантов имеет как достоинства, так и недостатки. В числе первых – простота использования, высокая чувствительность и достоверность обнаружения дефектов, многообразие контролируемых по виду и форме материалов, высокая производительность, относительная дешевизна. К основным недостаткам относится возможность обнаружения только поверхностных дефектов, необходимость тщательной очистки шва, невозможность применения после механической обработки поверхностного слоя. Применяя пенетранты, следует также иметь в виду, что широко раскрытые дефекты (более 0,5 мм) могут не проявиться из-за особенности капиллярного явления.

Контроль швов на непроницаемость с помощью керосина. Несмотря на свою простоту, контроль качества сварных соединений с помощью керосина достаточно эффективен и к тому же не требует

сколько-нибудь значительных материальных затрат. Недаром им продолжают широко пользоваться и в наше время, богатое на различные высокофункциональные устройства и приборы.

Керосин способен проникать сквозь мельчайшие трещины в сварных швах, благодаря чему позволяет обнаруживать мельчайшие дефекты. По своей эффективности способ контроля керосином эквивалентен гидравлическому испытанию с давлением 3–4 кгс/мм². Он основан на том же явлении капиллярности, что и контроль пенетрантами. К слову сказать, в некоторые пенетранты фирменного изготовления керосин входит в качестве составляющего компонента.

Проверка керосином сводится к ряду последовательных операций:

- Очистка шва с двух сторон от шлака, грязи и ржавчины.
- Покрытие одной из сторон (той, за которой удобнее наблюдать) водной суспензией каолина или мела (350–450 г на 1 л воды). После нанесения суспензии необходимо подождать, пока она высохнет. Для ускорения процесса покрытие можно просушить горячим воздухом.

- Обильное смачивание обратной стороны керосином – 2–3 раза в течение 15–30 мин, в зависимости от толщины металла. Это можно делать струей из краскопульта или паяльной лампы, а также с помощью кисти или кусочка ветоши.

- Наблюдение за стороной, на которую нанесена меловая или каолиновая суспензия, и маркирование проявляющихся дефектов.

Негерметичность швов обнаруживает себя появлением темных полос или точек на меловом или каолиновом покрытии, которые с течением времени расплываются в более обширные пятна. Именно поэтому наблюдать за обратной стороной нужно сразу после нанесения керосина, чтобы зафиксировать первые проявления керосина, точно указывающие на место и форму дефекта. Проявляющиеся точки свидетельствуют о порах и свищах, полосы – о сквозных трещинах (рис. 8.19, 8.20).



Рис. 8.19. Цистерна, подготовленная для проверки на герметичность с использованием керосина



Рис. 8.20. Керосин и мел для проверки качества сварных соединений

Продолжительность испытания при комнатной температуре должна составлять несколько часов. Скорость проникновения керосина в дефекты зависит от его вязкости, которая уменьшается с повышением температуры.

Контроль сварных швов с помощью керосина предназначен в основном для стыковых соединений, в отношении нахлесточных он менее эффективен. Повысить его действенность в этом случае можно,

просверлив отверстие и закачав или залив керосин между швами (рис. 8.21). Применяя этот прием, нужно иметь в виду, что керосин, попавший в стык деталей, может впоследствии вызвать коррозию, поэтому его необходимо удалить после испытания подогревом детали горелкой или паяльной лампой.

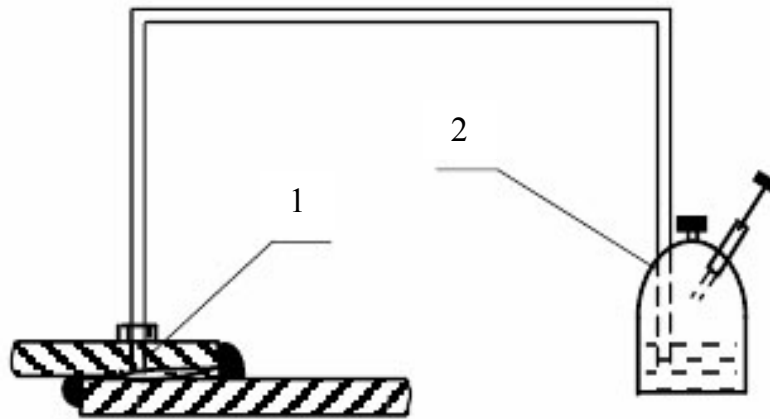


Рис. 8.21. Схема контроля керосином качества швов в нахлесточном соединении:
1 – испытуемое соединение, 2 – емкость с керосином

Контроль сварных швов на проницаемость. Ко многим используемым в промышленности и быту всевозможным емкостям, гидравлическим и пневматическим системам, изготовленным с использованием сварки, предъявляется требование герметичности. Для определения последней проводятся испытания на непроницаемость сварных швов, называемые по-разному, – течеисканием, пузырьковым способом, пневмо– и гидроиспытанием. Целью всех этих методов является обнаружение сквозных дефектов, через которые жидкость или газ могут выходить наружу сосуда или системы или, напротив, проникать внутрь.

Существует довольно много методов контроля сварных швов на проницаемость с использованием различных материалов – газов (в основном воздуха или азота), жидкостей (воды или масла). Сутью испытаний является создание избыточного давления или разрежения и обнаружение мест, через которые под их воздействием рабочий компонент (газ или жидкость) проникает через сварной шов.

По виду используемого рабочего компонента и способа создания разности давлений различают пневматический, гидравлический, пневмогидравлический, вакуумный контроль.

Пневматический способ контроля. При пневматическом способе проверяемая емкость надувается воздухом, азотом или инертным газом до давления, составляющего 100–150 % от рабочего (в зависимости от технических условий на изделие). Наружные швы смачиваются пенообразующим составом, который представляет собой раствор туалетного или хозяйственного мыла в воде (50–100 г мыла на 1 л воды).

Если испытания проводятся при минусовой температуре, часть воды (до 60 %) заменяется спиртом. Появившиеся на поверхности швов пузырьки свидетельствуют о наличии сквозных дефектов.

Рекомендуется подключать к емкости манометр и предохранительный клапан. По показаниям манометра контролируется давление и его падение – в случае наличия сквозных дефектов. Предохранительный клапан обеспечивает безопасность испытаний сбросом давления при превышении его значения выше допустимого уровня.

Небольшие сосуды можно не промазывать мыльным раствором, а помещать в ванну с водой. Дефекты обнаружат себя появлением воздушных пузырьков. Этот способ проверки даже более прост и надежен, чем промазка швов пенообразующим раствором.

Проверка аммиаком. К разновидностям пневматического испытания относится контроль качества сварки с помощью аммиака, который подают под давлением в проверяемую емкость в количестве соотв. части всего объема воздуха. Перед подачей аммиачно-воздушной смеси швы, подлежащие контролю, покрывают бумажной лентой или медицинским бинтом, пропитанным фенолфталеином. Проходя через сквозные дефекты, аммиак оставляет на ленте или бинте красные пятна. Метод проверки с помощью аммиака очень достоверен.

Обдув сварных соединений воздухом. В тех случаях, когда изделие нельзя накачать воздухом, можно применить упрощенный вариант пневматического испытания, обдувая шов с одной стороны струей воздуха под давлением, а с другой – обмазав его мыльным раствором (рис. 8.22). В этом случае в зоне обдува создается подпор воздуха, который проявляет себя появлением пузырьков с обратной стороны (при наличии сквозных дефектов).

Чтобы получить необходимый эффект, необходимо соблюдать определенные условия: давление воздуха должно быть до 2,5 кгс/см², струя должна направляться перпендикулярно шву, конец шланга должен быть увенчан ниппелем с отверстием 10–15 мм. Ниппель удерживают на расстоянии 50–100 мм от шва. Как и в случае пневма-

тического испытания, наличие сквозных дефектов определяется по появлению пузырьков воздуха на обратной стороне шва. Способ наиболее эффективен при проверке угловых швов, поскольку в этом случае создается большой подпор.

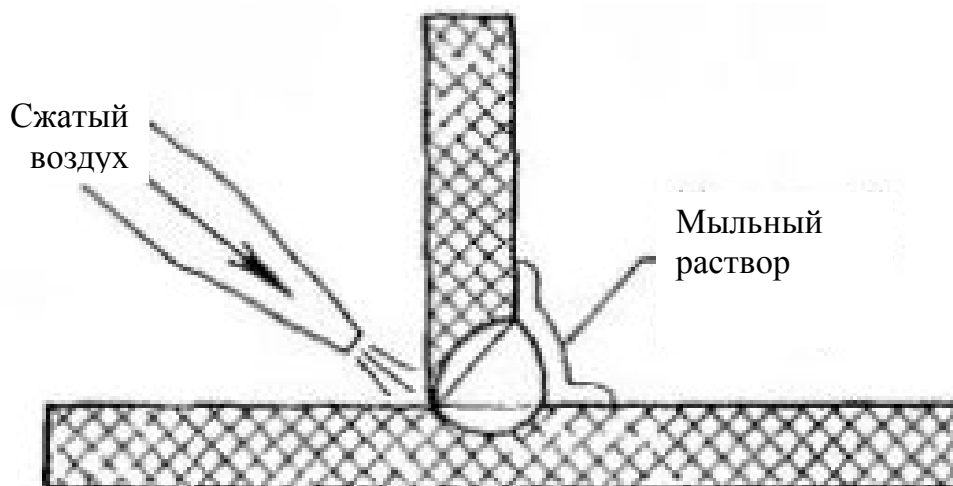


Рис. 8.22. Проверка обдувом сварных соединений воздухом

Гидравлический контроль. Гидравлическое испытание предполагает использование в качестве компонента, создающего давление, воды или масла. После создания необходимого давления (100–150 % от рабочего) емкость выдерживают в таком состоянии около 5–10 мин, обстукивая легкими ударами молотка с круглым бойком околошовную зону. Если шов имеет сквозной дефект, он проявится течью жидкости.

Емкости, работающие без значительного избыточного давления, необходимо выдерживать наполненными более длительное время – не менее двух часов.

Магнитная дефектоскопия. При контроле качества сварки магнитными дефектоскопами используется явление электромагнетизма (рис. 8.23, 8.24). Прибор создает вокруг исследуемой области магнитное поле, поток линий которого, проходя через металл, искривляется в местах дефектов. Это искажение фиксируется определенными способами, из которых в сварочном производстве используются два – магнитопорошковый и магнитографический. При первом, на поверхность сварного соединения наносят сухой или влажный (в смеси с маслом, керосином или мыльным раствором) ферромагнитный порошок (например, железный), который скапливается в местах дефектов, свидетельствуя, таким образом, о наличии несплошностей.



Рис. 8.23. Проверка качества сварных швов магнитной дефектоскопией

Более совершенный магнитографический способ предполагает наложение на шов ферромагнитной ленты, на которой после пропускания ее через прибор проявляются имеющиеся дефекты.

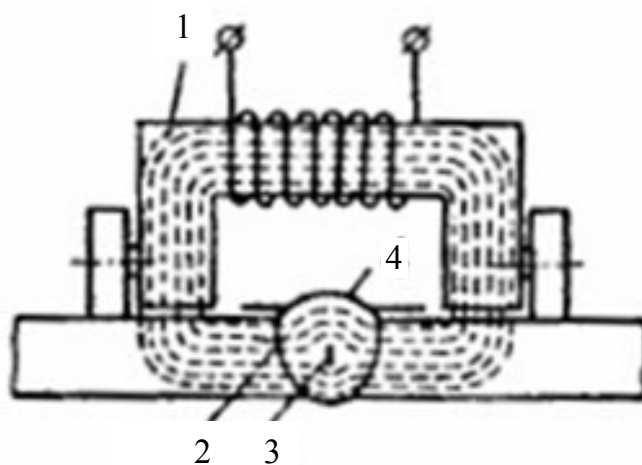


Рис. 8.24. Проверка качества сварных швов магнитной дефектоскопией:
1 – магнит; 2 – сварной шов; 3 – дефект; 4 – магнитная пленка

Магнитным способам контроля могут подвергаться только ферромагнитные металлы. Хромоникелевые стали, алюминий, медь, не являющиеся ферромагнетиками, магнитному контролю не подлежат.

Ультразвуковая дефектоскопия. Ультразвуковой способ использует способность ультразвуковых волн отражаться от границ, разделяющих две упругие среды с разными акустическими свойствами.

ми (рис. 8.25). Посланная прибором ультразвуковая волна, пройдя металл, отражается от его нижней поверхности и возвращается обратно, фиксируясь датчиком. При наличии внутри металла дефекта датчик отобразит искажение волны. Различные дефекты отображаются по-разному, что позволяет определенным образом классифицировать их.



Рис. 8.25. Проверка сварных швов ультразвуковой дефектоскопией

Контроль качества сварных соединений с помощью ультразвуковых дефектоскопов в силу удобства его проведения получил очень широкое распространение – гораздо большее, чем магнитная и радиационная дефектоскопия. К его недостаткам относится сложность расшифровки сигнала (качественно сделать контроль сварного соединения способен только специалист, прошедший обучение), ограниченность использования для металлов с крупным зерном (аустенитные стали, чугун и пр.).

Радиационная дефектоскопия. Радиационная дефектоскопия основана на способности рентгеновского и гамма-излучения проникать через металлы и фиксировать на фотопленке дефекты, встречающиеся на его пути (см. рис. 8.25). Недостатком радиационной дефектоскопии является дороговизна приборов и вредность для людей используемого радиационного излучения.

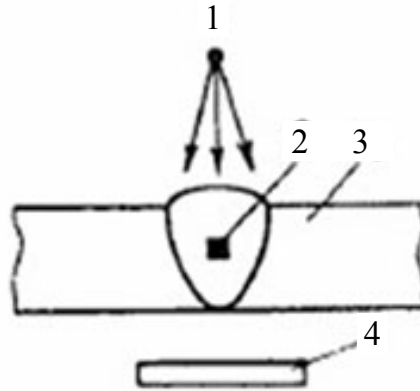


Рис. 8.25. Схема просвечивания сварного соединения:
1 – источник излучения; 2 – дефект; 3 – контролируемое изделие; 4 – детектор

Контрольные вопросы и задания

1. Какие методы неразрушающего контроля вы знаете?
2. В чем суть капиллярного метода?
3. Назовите основные дефекты сварки.
4. Как осуществляется контроль сварных соединений?
5. Для чего необходимы пенетранты?

9. ЭКОНОМИЯ ТОПЛИВА. МИФЫ И РЕАЛЬНОСТЬ

В настоящее время в связи с существенным удорожанием углеводородных топлив потребителям, эксплуатирующим различную технику, активно предлагаются устройства и способы для экономии топлива. В данной главе проанализированы различные способы экономии углеводородного топлива в процессе эксплуатации техники.

9.1. Присадки к топливу и маслам

Производители подобных препаратов утверждают, что, топливные присадки (рис. 9.1) производят каталитическую реакцию в топливе, удаляя в нем вредные примеси и делая его более эффективным энергоносителем, повышая октановое число, и т.д. Некоторые из этих присадок даже обещают удалить вредные бактерии из топлива.



Рис. 9.1. Применение присадок к топливу и маслам

Полезность этих присадок трудно измерить без помощи масс-спектрометра или другого специального оборудования, которое может измерять химические изменения, потенциально происходящие в топливе. Но даже без специальных измеряющих устройств известно, что все современные двигатели оптимизированы для работы на обычных видах топлива в их текущем состоянии. Изменение состояния топлива может пагубно повлиять на работу двигателя, так как для работы с ним двигатель может быть не настроен. Поэтому, даже если топливные присадки действительно заставляют бензин гореть лучше и чище, это не значит, что двигатель начнет расходовать его более эффективно, тем самым увеличивая пробег.

В некоторых рекламах масляных добавок вы можете увидеть поразительные вещи: двигатель работает с маслом, в котором уже на-

ходятся добавки, затем масло сливают и двигатель вновь запускают и двигатель продолжает работать без масла. Однако здесь умалчивается об одной подробности: большинство современных двигателей спроектированы таким образом, что некоторое время они могут работать с пустым резервуаром для масла. Продолжением работы двигатель обязан в первую очередь не масляным добавкам, а инженерам, которые потратили на его создание часы кропотливой работы, подбирая высокопрочные материалы для деталей двигателя.

Некоторые добавки действительно работают. Однако понимание того, какая из добавок действенная, требует хороших знаний как в области конструкции двигателя, так и в области этих самых добавок. Для моторных масел наиболее распространены препараты на основе политетрафторэтилена (ПТФЭ) или тефлона (табл. 9.1), (занесенного в Книгу рекордов Гиннеса в качестве самого скользкого материала в мире). Разработчиком, обладателем зарегистрированной торговой марки Teflon и одним из первых производителей тефлоновых препаратов для автохимии (DLX-600 и др.), является американская фирма DuPont de Nemours & Company (Дюпон).

В процессе обработки ПТФЭ покрывает трущиеся поверхности деталей, что заменяет трение металла о металл трением полимер по полимеру, что приводит к увеличению сроков службы обработанной полимерами техники, снижению расхода топлива и смазочных материалов, на другие положительные факторы.

Таблица 9.1

Характеристики присадок

Препарат	Назначение	Состав и комментарии
1	2	3
SLIDER 2000 PTFE Slider 2000, Великобритания	Восстановление компрессии, снижение потерь на трение и износа деталей, повышение мощности и экологичности двигателя	Содержит ультрадисперсные частицы PTFE (тефлона), покрывающие трущиеся поверхности
Teflon Motor Guard StepUp Brands Inc., США	Восстановление компрессии, стабилизация давления масла, подвижности поршневых колец на изношенных двигателях, облегчение запуска двигателя в зимнее время, увеличение срока службы и мощности двигателя	Содержит активированные частицы тефлона и комплекс присадок, образующих сверхскользкую пленку, сохраняющуюся после смены масла

1	2	3
9 Pro fix (Hi-Energy TE) ООО НПФ «Лаборатория триботехнологии, Россия	Защита двигателя посредством добавления в моторное масло любого типа присадки, что приводит к увеличению эффективной мощности и крутящего момента пробег, уменьшению расхода топлива, снижению шума и вибраций и т.д.	Содержит ультрадисперсный политетрафторэтил (тефлон), добавка которого обеспечивает защиту двигателя до 80 тыс. км
Универсальный модификатор-2 «Автокон-инвест», Россия	Снижение длительности износоустойчивости соединений, компрессии и мощности двигателя, снижение расхода топлива и смазочных материалов	Содержит жидкий фторопласт, тефлон, покрывающий трущиеся поверхности молекулярной пленкой
J-POWER Radiator Specialty Company, США	Антифрикционное противоизносное покрытие для снижения потерь на трение, увеличения ресурса и повышения надежности двигателя	Содержит политетрафторэтилен (тефлон), повторно применять только через 300 км пробега
1 st B1 aster With TFE Hi-Gear Products Inc., США	Смазывание, защита от коррозии и замерзания	Проникающая защита и смазка с тефлоном, облегчение работы штоков телескопических амортизаторов, замков и других механизмов, удаление влаги, разборочные работы и т.д., облегчение работы штоков, содержит пассивирующие и преобразующие ржавчину компоненты
S lattava LukKo Oljy Pontibol, Финляндия	Смазывание, защита от коррозии и замерзания, облегчение работы механизмов и замков, удаление влаги	Синтетическое масло с микрочастицами PTFE (тефлона)
Silicone Spray Antistatisch SCT-Vertnebe GmbH, Германия	Смазка соединения металла и пластика, устранение скрипа, восстановление эластичности резины, снижение коэффициента трения и т.д.	Водоотталкивающая силиконовая смазка, не содержащая минеральных масел

• *Антифрикционные присадки.* Направлены на уменьшение трения в движущихся частях двигателя. Подобные присадки действи-

тельно существуют и работают, однако рассчитывать на особую экономию топлива не стоит – 5 %, не более.

- *Реставрирующие присадки.* Данный тип присадок предназначен для реставрации внутренних изношенных поверхностей двигателя. Например, американская присадка «Restore USA», по заверениям производителя, призвана закрыть мелкие трещины в стенках цилиндра, повышая тем самым мощность и компрессию двигателя. Также многие производители обещают, что их присадки помогут удалить нагар внутри двигателя, а при дальнейшем использовании будут сохранять чистоту двигателя.

- *Топливосберегающие присадки.* Такие присадки самые многочисленные по количеству производителей и брендов. К сожалению, такие присадки для экономии топлива вряд ли могут выполнять свое назначение. Обещание производителя сэкономить 15–20 % топлива в вашем бензобаке звучит совсем неправдоподобно.

- *Дегидрирующие присадки.* Такие присадки добавляются в бензобак, где они впитывают конденсат и воду, которые постепенно накапливаются в бензобаке, что предотвращает при низких температурах замерзание топлива. Применяя дегидрирующие присадки, вы защищаете двигатель своей машины от преждевременного износа, потому что даже пара капель воды может весьма плохо сказаться на его работе.

Очищающие присадки содержат маслянистые очищающие добавки, которые, попадая с маслом в двигатель, постепенно растворяют нагар и прочие побочные продукты сгорания топлива. Как правило, такие присадки добавляют в масло при его замене, а также при замене топливных фильтров.

Не следует злоупотреблять перечисленными средствами и пользоваться ими бесконтрольно. Большая часть подобных присадок для экономии топлива не соответствует заявленным характеристикам.

9.2. Магниты топливной линии и ионизаторы топлива

Как заявляют производители магнитных резонаторов топлива (рис. 9.2), в результате их применения происходит улучшение технико-экономических показателей работы двигателя с одновременным снижением расхода топлива (бензин или дизтопливо) и токсичности выхлопных газов.

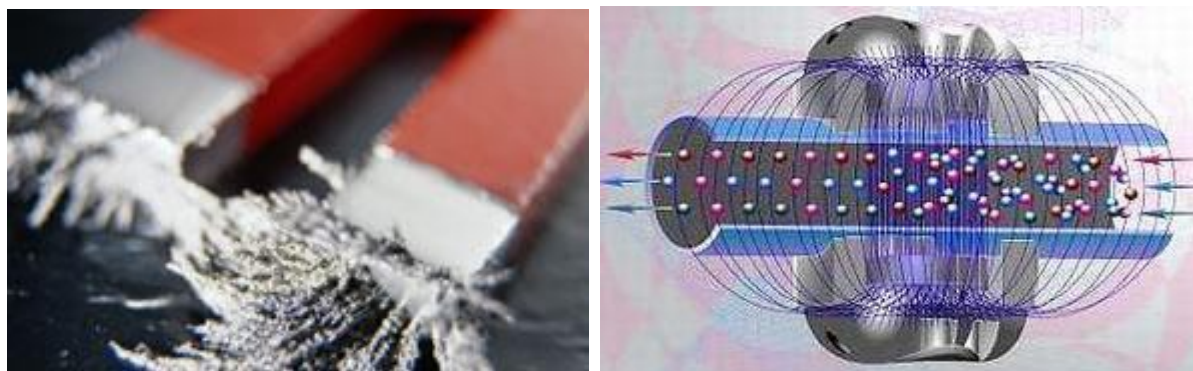


Рис.9.2. Магнитные резонаторы топлива

Оборудование типа FM – это, как правило, небольшое резонансное устройство, которое устанавливается вблизи карбюратора или инжектора (рис. 9.3), принцип действия которого основан на резонансе, который возникает в углеводородной цепочке при последовательном ее прохождении через целый спектр частот магнитного поля с индукцией около 7000 Гаусс. Раздробленное таким образом на более мелкие фрагменты топливо сгорает эффективнее. Заявлено, что получить такой эффект позволяют только магниты неодимовой группы.



Рис. 9.3. Примеры установки магнитных резонаторов на разных двигателях

Эти устройства, предположительно, должны подготовить топливо к лучшему сжиганию, когда оно поступает в камеру сгорания. Вместо того чтобы использовать магнитное поле для выполнения непосредственной работы, магниты топливной системы, как утверждают создатели, используют мощные магнитные поля, чтобы расщепить топливо на его основные элементы.

Очевидно, что от магнитов топливной линии мало проку. Нефтяное топливо пользуется такой популярностью прежде всего из-за

своей стабильности. Хотя оно и не может дать такое же количество энергии, как, например, водород, оно более безопасное и простое в обращении. Кроме этого, оно имеет «жесткую» структуру и высокую сопротивляемость внешним факторам, которую вряд ли смогут сломать магнитные поля. Даже если магнит сможет произвести значительное магнитное поле, то оно будет изменено металлом топливопровода, топливного бака и других компонентов. Также следует помнить, что слишком сильный магнит может нарушить наиболее чувствительную электронику машины, хотя это маловероятно, учитывая тщательно продуманную инженерию современных электронных приборов и электроники как таковой.

Ионизаторы топлива (рис. 9.4) производители рекомендуют как для бензиновых двигателей, так и для дизельных, его часто устанавливают где-то вдоль линии между топливным насосом и инжектором. Создатели таких устройств часто утверждают, что они производят ионное поле, которое отделяет молекулы топлива друг от друга в тот момент, когда они по нему проходят. Это заставляет топливо сформировать более «парообразное» облако в камере сгорания, что способствует более быстрому и чистому сгоранию топлива.

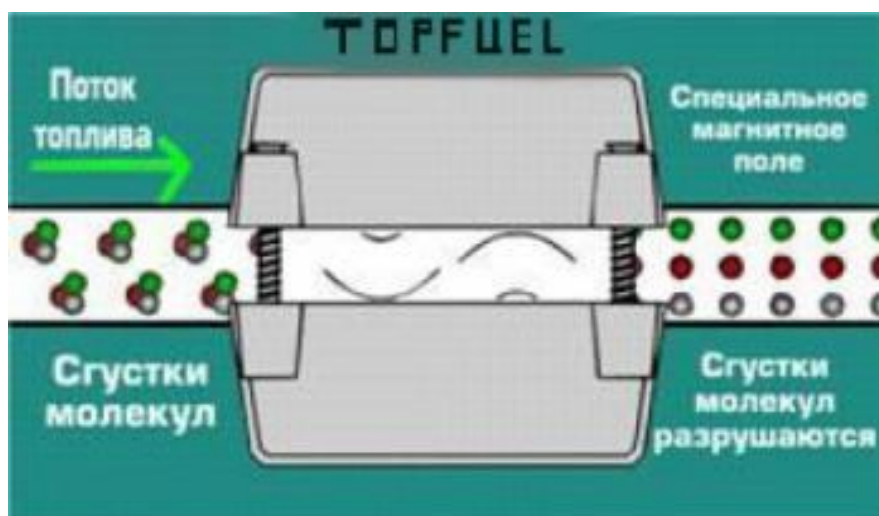


Рис. 9.4. Ионизатор топлива

Этот тип устройства нацелен на потребителя, который не очень знаком с принципами работы современных двигателей. Топливные форсунки современного ДВС уже настроены на подачу ультрамелкого топливного тумана в камеру сгорания. Даже если эти ионизаторы действительно заставляют топливные пары сгорать намного лучше,

незначительное количество дополнительно сжигаемого топлива не станет причиной значительной экономии топлива машины.

Ионизатор ДВС (рис. 9.5) необходимо вешать на свечи зажигания или крепить к распределителю зажигания, они якобы улучшают потребление топлива путем создания «ионной короны» вокруг двигателя. Предположительно, они выполняют ту же функцию, что и ионизаторы топлива, только ближе к точке воспламенения в цилиндре двигателя.



Рис. 9.5. Ионизатор ДВС и инжектор паров топлива

Предполагаемое молекулярное разделение топлива или превращение его в «молекулярный пар» для лучшего сгорания под воздействием ионизации в действительности либо не происходит вообще, либо не несет в себе никакой пользы. Не принесет оно никакой пользы и при подключении данного устройства. По некоторым данным, это одно из худших изобретений для экономии топлива из всех доступных на современном рынке. Во время испытаний ионизаторы показали себя лишь пучком разумно упакованных проводов, которые могут привести к короткому замыканию или возгоранию, если они подключены к неправильным частям двигателя.

Способность бензина к сжиганию изменяется вместе с его состоянием: в жидкой форме он горит слишком медленно, чтобы быть полезным для сгорания, но в парообразном состоянии бензин горит с взрывной скоростью, которая необходима для питания двигателя внутреннего сгорания. Поэтому одним из наиболее распространенных ложных устройств экономии топлива на современном рынке является *инжектор паров топлива*. Это устройство преобразует топливо в мелкий пар прежде чем он достигнет двигателя, что позволяет сжигать топливо быстрее и более эффективно.

На деле, данное устройство может не только не сэкономить вам лишнюю пару литров бензина, а еще и принести ущерб выхлопной

системе. Датчик выхлопных газов измеряет уровень кислорода в отработанных газах транспортного средства, что является показателем того, принимает ли двигатель правильное количество воздушно-топливной смеси. Образование дополнительных паров топлива благодаря этому устройству может привести к тому, что двигатель будет потреблять слишком много топлива, а воздуха ему будет не хватать. Поэтому бортовой компьютер настроит свои инжекторы таким образом, чтобы в двигатель поступала смесь с правильным соотношением топлива и воздуха. В лучшем случае это означает, что двигатель будет работать точно так же, как и без инжектора паров топлива. В худшем случае, плохо установленный инжектор паров топлива может подорвать работу двигателя, так как компьютер будет постоянно делать корректировки для устранения несбалансированности воздушно-топливной смеси.

9.3. Генератор водорода

Водород уже давно является альтернативой нефтяным видам топлива, и не зря. Водород – это вещество, в котором в избытке содержатся газообразные элементы, которые могут соединяться с кислородом и образовывать воду. Вместе с тем водород обладает невероятным запасом энергии. В течение многих лет ученые работали над производством водородного двигателя внутреннего сгорания в надежде на то, что этот источник питания с практически нулевым уровнем выбросов может стать отличной альтернативой бензиновому двигателю внутреннего сгорания.

Водород имеет ряд недостатков, которые затрудняют его адаптацию в качестве топлива. Он не встречается в природе в чистом виде – он должен быть извлечен из воды или других источников – и процесс его получения требует большого количества энергии. Кроме того, легкий газ трудно хранить в больших объемах. Плотность энергии, которая делает водород таким привлекательным топливом, не безопасна, если не обрабатывается должным образом.

Многие из так называемых генераторов водорода (рис. 9.6) работают следующим образом: бортовое устройство электролиза извлекает воду из резервуара для хранения и, используя электроэнергию, вырабатываемую генератором машины, расщепляет водород и кислород. Затем результат электролиза подается в ДВС, что должно повлечь за собой дополнительную мощность и экономию топлива.



Рис. 9.6. Генератор водорода

Проблема таких генераторов заключается в емкости. Процесс разделения сильной связи между атомами водорода и кислорода затрачивает много электроэнергии. Эту энергию нужно откуда-то брать, а в мобильной технике это означает только значительную дополнительную нагрузку на генератор. Машина сможет производить водородное топливо, но на процесс он потратит больше энергии, чем потом создаст.

В результате, генераторы водорода производят незначительное количество газа. И в то время как газ действительно может попасть в топливную систему (некоторые генераторы произведены настолько кустарным методом, что из-за утечек газ просто не успевает добраться до двигателя), его просто недостаточно, чтобы значительно увеличить мощность и сократить расход топлива.

Сгорание топлива – это процесс интенсивного окисления. Причем состав идеальной смеси для бензина – стехиометрический коэффициент – должен быть 14,7:1. То есть для полного сгорания 1 части топлива необходимо 14,7 частей воздуха. После этого не должно остаться ни топлива, ни свободного кислорода, а только примеси топлива, несгоревшие газы, содержащиеся в воздухе, и их окислы и производные. Получение большого количества водорода из воды довольно энергозатратный процесс, мощности мобильного генератора недостаточно. Также требуется накопитель полученного водорода, т.к. процесс не мгновенный. Вероятнее всего генератор водорода добавляет обычную дистиллированную воду (водяной пар) в камеру сгорания, улучшая характеристики сгорания смеси низкооктанового топлива, но не повышая октановое число. Двигатель работает тише (снижает де-

тонацию), эластичнее (ровнее температурный режим), немного снижает токсичность (некоторые выхлопные газы, соединяясь с водой при высокой температуре и давлении, создают нетоксичные соли и гидроксиды). Экономии топлива при этом нет, т.к. стехиометрический коэффициент вода не стабилизирует, т.е. топлива сгорит столько же.

9.4. Устройства для создания впускного вихря и усилители зажигания

Энергия сжигаемой смеси заставляет двигатель всасывать больше воздушно-топливной смеси, повторяя цикл снова и снова. Инженеры обращают пристальное внимание на поток воздуха в двигатель. Количество турбулентности потока может отразиться на качестве смеси топлива и воздуха на их входе в камеру сгорания, а это, в свою очередь, может повлиять на работоспособность двигателя. Изобретатели устройств, создающих впускной вихрь, часто утверждают, что их изобретения изменяют этот воздушный поток таким образом, чтобы он улучшал качество воздушно-топливной смеси, улучшая сжигание топлива, и, следовательно, увеличивая пробег на каждый литр горючего (рис. 9.7).



Рис. 9.7. Устройства впускного вихря и усилители зажигания

Основной фактор, который в первую очередь должен насторожить опытного механика, это то, что на самом деле подобные устройства основаны на устаревших технологиях двигателя. Двигатели, построенные до того, как двигатель начал управляться компьютерным блоком, полагались на форму и длину впускных органов, которые и манипулировали смешиванием воздуха с топливом. Но современные машины оснащены компьютерами, которые постоянно корректируют подачу топлива, чтобы тот соответствовал воздушному потоку: соз-

дайте турбулентный поток воздуха (как это делает генератор впускного вихря), и компьютер просто отрегулирует соответствующую подачу топлива. На самом деле при этом работа ДВС может ухудшиться, так как топливная система будет компенсировать поток воздуха путем изменения расхода топлива. Поток топлива откалиброван еще на заводе-производителе, чтобы обеспечить необходимое количество топлива для каждой комбинации скорости движения и нагрузке на двигатель. Изменив поток воздуха, вероятнее снизится эффективность расхода топлива.

Усилители зажигания (см. рис. 9.7). Эта группа устройств, улучшающих эффективность расхода топлива, могла бы завоевать наше доверие лет так 60 назад. Как обещает производитель, данные свечи зажигания, свечи усилители, а также связанные с ними устройства, позволят двигателю сжигать наибольшее количество топлива, поступающего в цилиндр, тем самым уменьшив объем несгоревшего топлива, улетевшего в выхлопную трубу просто так.

В первые дни появления на свет двигателей внутреннего сгорания эта разработка быть может и имела какой-то смысл. Механические распределители подачи топлива в цилиндр могли допускать ошибки, которые вызывали проблемы у свечей зажигания, а именно осечки, в результате чего один или несколько цилиндров просто прокачивали несгоревшее топливо через камеру. Устройства, которые повышают надежность свечей зажигания, могли бы повысить эффективность этих двигателей с низкими характеристиками.

Но проблемы подобного типа практически исчезли в современных двигателях. Благодаря компьютеризированной системе управления двигателем и новой, более надежной технологии зажигания, большинство современных автомобилей дают осечку при зажигании только если есть серьезные проблемы с двигателем. В настоящее время нет необходимости в повышении надежности зажигания: двигатель уже сам обо всем позаботился.

9.5. Впрыск воды и алкоголя в цилиндры. Водотопливные эмульсии

Первые авиационные двигатели нуждались в устройстве для борьбы с детонацией – преждевременном воспламенении топливно-воздушной смеси, которое может привести к повреждению деталей двигателя, например, в истребителях с поршневыми силовыми уста-

новками. Решением стал впрыск смеси воды и алкоголя в воздухозаборник, которая охлаждала двигатель и поддерживала надлежащее воспламенение топлива (рис. 9.8).

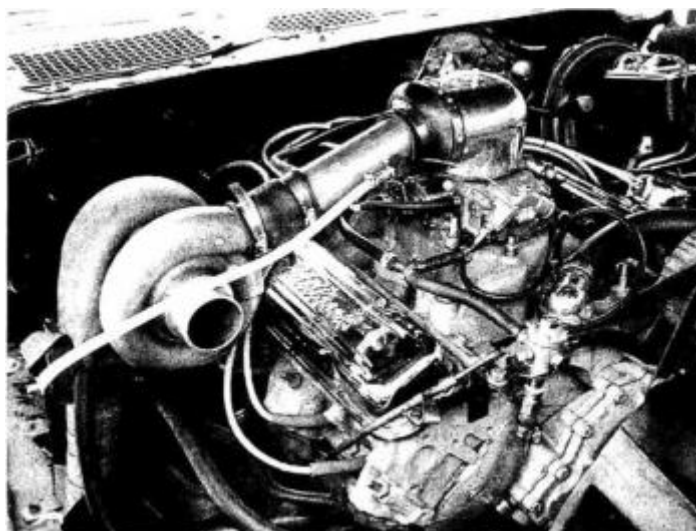


Рис. 9.8. Использование водотопливных эмульсий

Впрыск воды может быть полезным инструментом для двигателей с высокой степенью сжатия (особенно дизельных), но он не помогает сократить расход топлива обычному бензиновому мотору.

В некоторых случаях для экономии топлива, наоборот, целесообразно применять топливно-водяные смеси. В качестве примера можно привести соляро-водную смесь «аквазол». Такой состав должен обеспечить снижение вредных выхлопов, в том числе сажи, на 80 %, а окислов азота – на 30 %. Отличными показателями новое топливо обязано прежде всего воде: именно она снижает температуру в камере сгорания и препятствует образованию окислов азота. Кроме того, ее активное испарение обеспечивает лучшее распределение топливной смеси в цилиндре и, как следствие, более полное сгорание и меньшее количество сажи. «Аквазол» можно применять на всех дизельных двигателях без какой-либо переналадки.

Контрольные вопросы

1. Какие виды присадок вы знаете?
2. В чем принцип действия магнитных резонаторов топлива?
3. Для чего применяют ионизаторы топлива?
4. На что влияет впрыск воды и алкоголя в цилиндры ДВС?

10. УТИЛИЗАЦИЯ МАШИН. ВЛИЯНИЕ ИХ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ЭКОЛОГИЮ

Специальная и автомобильная техника, хотя и является предметом длительного пользования, все же имеет конечный срок жизни. Следовательно, после окончания её эксплуатации необходимо принять меры к утилизации.

В изношенных и выброшенных на свалку машинах содержатся все те материалы, которые были использованы при их изготовлении: черные и цветные металлы, пластмассы и резинотехнические изделия, стекло и керамика, дерево и картон, текстильные и битумные материалы и многое другое (табл. 10.1).

Ежегодно при амортизации машин у нас в стране образуется лома и отходов черных металлов 2,2 млн т, лома и отходов цветных металлов – 128 тыс. т, отработанных нефтепродуктов – 468 тыс. т, изношенных шин и резинотехнических изделий – 1112 тыс. т и т.д.

Таблица 10.1

Усредненный состав техники среднего класса

Материалы	Количество, % (по массе)
Черные металлы	69,0
Пластмассы	10,0
Цветные металлы	6,5
Стекло	3,5
Резина	9,0
Другие материалы	2,0

Поэтому вышедшая из эксплуатации техника может и должна стать источником вторичных материальных ресурсов. Однако если сортировка деталей, изготовленных из разных металлов, достаточно проста и давно известна, а отходы черных и цветных металлов широко применяются и на заводах-производителях техники, и в металлургической промышленности, то с изделиями из полимерных материалов дело обстоит сложнее.

Основными отходами являются аккумуляторы (свинец), обшивка салона (пластмасса), шины, кузов машины (сталь), отработавшие эксплуатационные жидкости. Отдельно стоит проблема загрязнения окружающей среды отработавшими газами ДВС машин.

10.1. Утилизация покрышек

В связи с накоплением огромного количества резиновых отходов, в особенности изношенных шин, одной из важных задач является создание приемлемой с точки зрения охраны окружающей среды технологии их утилизации (рис. 10.1). Анализ данных по количеству накапливаемых и переработанных изношенных покрышек показывает, что перерабатывается всего лишь около 20 % покрышек, а остальные накапливаются. Необходимо отметить, что резиновые отходы практически не подвержены разрушению под воздействием климатических и временных факторов.



Рис. 10.1. Утилизация покрышек

Использование изношенных покрышек:

1. В качестве топлива, а также в цементной промышленности.
2. Переработка в резиновую крошку.

Данные технологии являются малоэффективными, поскольку не позволяют в полной мере реализовать ценные свойства материалов, содержащихся в покрышках.

Существующие в настоящее время технологии переработки резиновых отходов (пиролиз, получение резиновой крошки, сжигание в цементных печах и др.) отличаются высокой энергоемкостью, необходимостью применения дорогостоящих жаропрочных материалов, и самое главное, отрицательным воздействием на окружающую среду.

3. Криогенная технология утилизации.

Для переработки старых покрышек используется уникальное оборудование:

- холодильная машина. Производство холодного воздуха – 120 °С непосредственно на месте его использования;
- дробильная многофракционная машина. Ультразвуковое разрушение покрышек, в результате которого не разрушается металлический корд;
- энергосберегающая технология возврата тепла, получаемого от холодильных машин на мойку и сушку покрышек перед производственным процессом;
- использование «теплогенераторов» и ультразвуковых сопел для мойки.

Для технологии переработки старых покрышек требуется большое количество холода:

- Покрышка проходит через туннель, где охлаждается до температуры –120 °С и становится хрупкой, как стекло.
- Под ударом прессы металлический корд отделяется от резины.
- Осколки резины попадают на мельницу в охлаждённом состоянии и перетираются до необходимой величины грануляции.
- В результате получаем резиновый порошок для производства новых покрышек, то есть безотходное производство на давальческом (бесплатном) сырье.

Заводы по переработке старых резиновых покрышек, работающие на жидком азоте, считаются высокорентабельными, а с применением новой технологии производства низких температур при –120 °С за счет холодного воздуха на месте использования позволит значительно увеличить прибыль.

Резиновая крошка, в зависимости от фракций, применяется:

- а) самые мелкие фракции могут быть использованы в производстве покрышек с участием до 80 %. Причем стоимость готовой продукции, по резиновой крошке завода, колеблется от 300 до 1000 \$ за тонну в зависимости от дисперсности фракций;
- б) добавка в асфальт (высококачественное дорожное покрытие);
- в) материал для кровли;
- г) подошвы для обуви;
- д) шланги, изделия из пластмассы, сорбционный материал и многое другое.

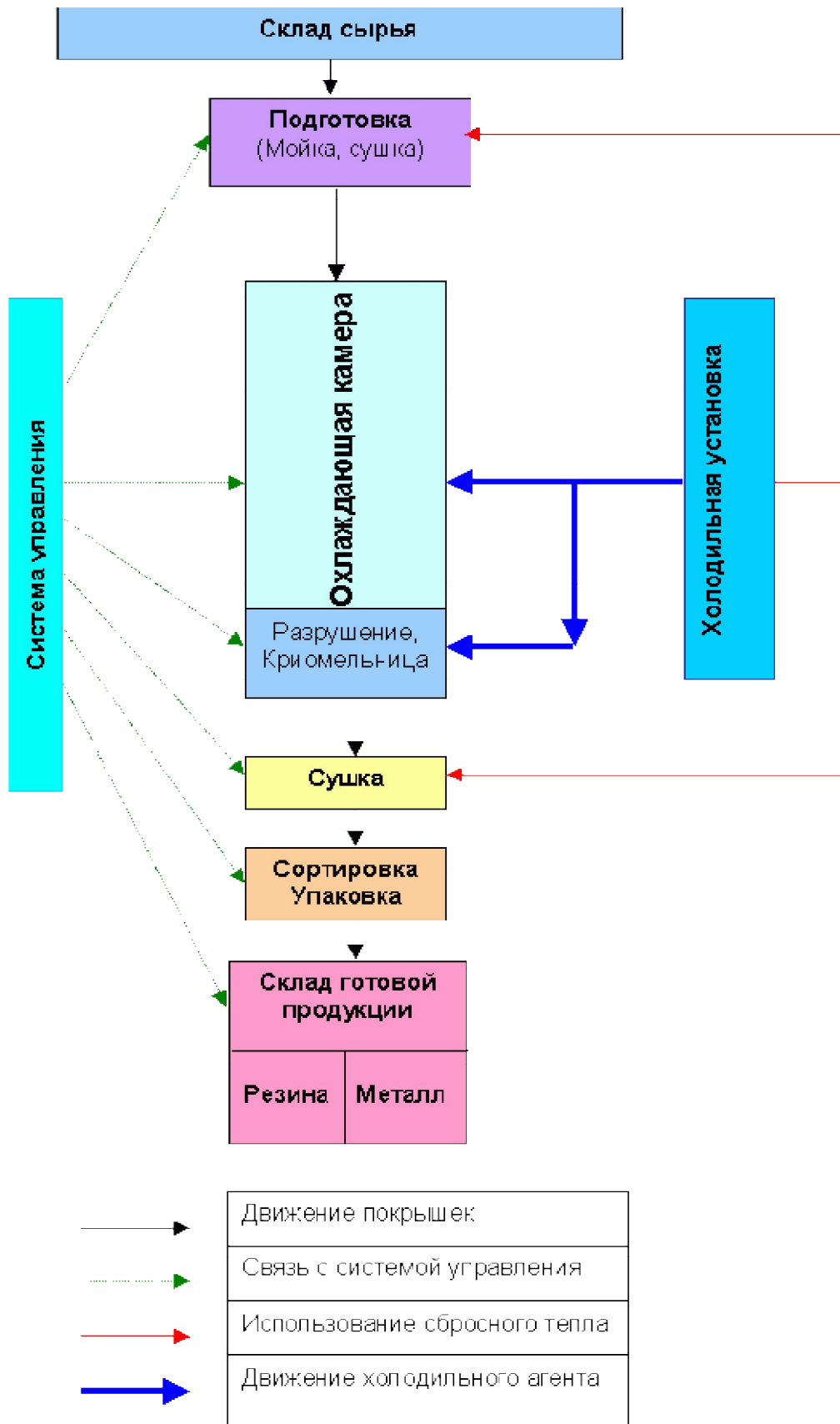


Рис. 10.2. Криогенная технология переработки покрышек

4. Метод паровой деструкции шин.

В результате переработки шин данным методом получают следующие ценные продукты:

- Альтернативное жидкое топливо по своим техническим характеристикам, соответствующее топочному мазуту марки М40, – 40 – 50 % от массы загрузки.
- Пирокарбон (техническая сажа) – 45–35 %.
- Газообразные углеводороды – 6–5 %.
- Металл (лом) – 9–10 %.

Такое направление развивается и основано на переработке на паротермической деструкции резиновых отходов в среде перегретого пара.

Сущность в следующем. В реактор одновременно подаются резиновые отходы, например изношенные покрышки и перегретый водяной пар. При температуре в реакторе 400 – 500 °С протекает деструкция резиновых отходов. Газы деструкции вместе с водяным паром попадают в конденсатор, где происходит конденсация пара и части газообразных продуктов. Неконденсирующиеся газы направляются на дожигание в топке пароконденсатора.

Сконденсированный пар и продукты деструкции отходов их конденсатора направляются в накопительную ёмкость. Твёрдый остаток деструкции направляется в мельницу, где осуществляется его размол и получается альтернативное жидкое топливо по своим техническим характеристикам, соответствующее топочному мазуту марки М40.

Как показали предварительные исследования, жидкие углеводороды могут быть использованы как топливо, связующие добавки к асфальту, а также при производстве битумных и гидроизоляционных мастик. Из углесодержащего остатка (пирокарбона) при незначительной доработке может быть получен активизированный уголь.

В настоящее время на заводе «Моссантехпром» действует опытно-промышленная установка по переработке резиновых отходов и изношенных автомобильных шин производительностью 300 кг исходного сырья в час.

Главным направлением использования продуктов переработки резиновых отходов является возможность использования их в качестве исходного сырья для резиновой промышленности (маслосмягчители, техуглерод и т. д.), промышленности нефтеоргсинтеза, в дорожном строительстве для производства битумных эмульсий и мастик.

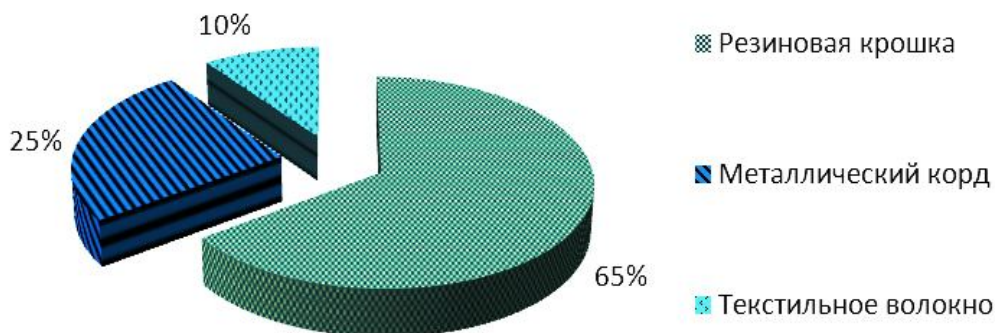


Рис. 10.3. Среднее содержание различных материалов в покрышке

Таблица 10.2

Средние расценки на утилизацию шин (2013 г.)

Покрышки	Цена за 1 т, руб.
Изношенные шины от легковых автомобилей	1 000
Изношенные шины от грузовых автомобилей	2 000
Крупногабаритные изношенные шины от специальной, карьерной и прочей техники	3 500

Недостатками переработки старых покрышек механическим способом является:

- форма частиц резины, получаемых данным способом, абсолютно произвольна, а их поверхность рваная («лохматая»), что усиливает процесс оксидации в условиях высоких температур, возникающих при размоле резины. При этом изменяются свойства исходного материала, что приводит к снижению качества получаемой резиновой крошки и исключает возможность ее применения в высокотехнологичных резинотехнических производствах;

- исключается возможность 100%-ного сепарирования резиновой крошки от остатков текстиля и металлического корда, даже при наличии специальных магнитных сепараторов и устройств типа – «циклон». Это приводит к снижению качества получаемого продукта и к увеличению износа оборудования из-за наличия металлических включений;

- вследствие запыленности и высоких температур, возникающих при перемалывании резины, а также активных химических выделений в атмосферу, – это производство относится к разряду экологически опасных.

10.2. Утилизация черных металлов

Кузов машины – чёрный лом, который используется в металлургическом, литейном и других производствах (рис. 10.4). Практически каждая тонна лома чёрных металлов, переработанная в сталеплавильном производстве, заменяет тонну чугуна. Удельная капиталоемкость производства 1 т чугуна из железорудного сырья в 7 раз превышает удельные капитальные затраты на переработку 1 т лома.



Рис. 10.4. Утилизация машин (лом чёрных металлов)

На каждый миллион тонн вовлечённых в производство вторичных чёрных металлов экономия капиталовложений составляет около 100 млн руб., а с учётом высвобождения мощностей машиностроения и транспорта – более 120 млн руб.

Не все ресурсы металла, закончившего срок службы, утилизируются. Частично они остаются неизвлечёнными, несобранными и безвозвратно теряются.

Технология утилизации кузова машин (лом чёрных металлов) представлена на рис. 10.5.

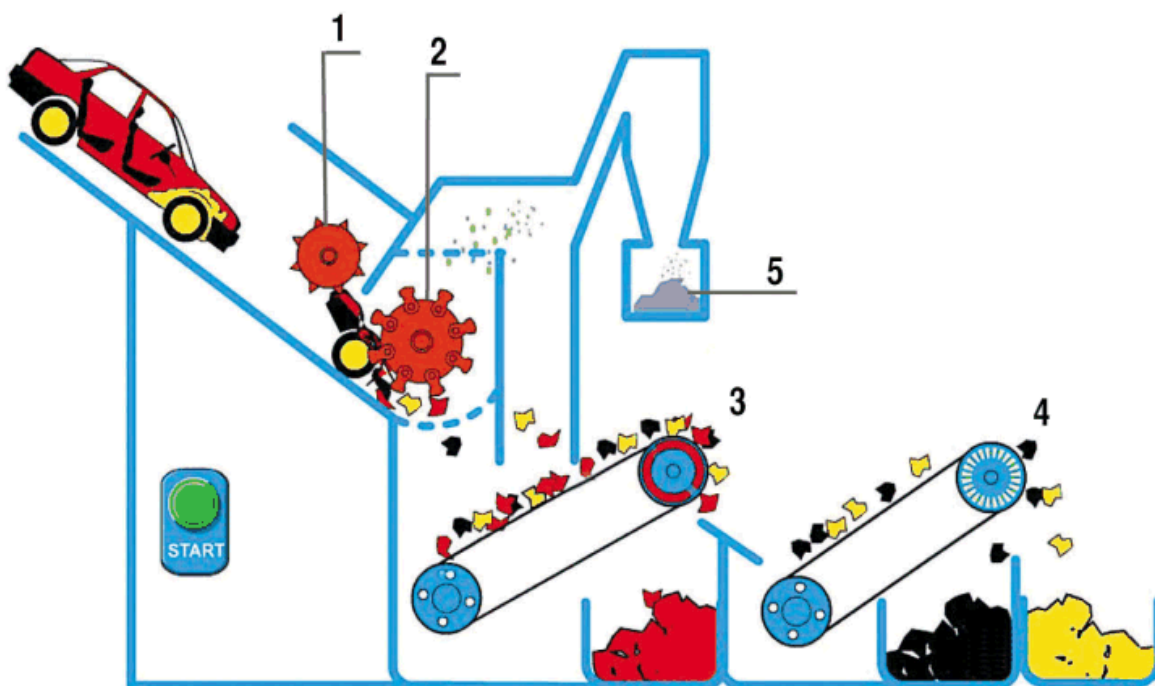


Рис. 10.5. Технология утилизации кузова машин (лом чёрных металлов)

В целом безвозвратные потери металла, закончившего срок службы из – за неполного его сбора и извлечения, составляют 12 – 15 % по отношению к образовавшимся ресурсам. Кроме того, значительная часть металла теряется в процессе эксплуатации от истирания и коррозии. Общие потери от коррозии и истирания металла за время его службы оцениваются в среднем примерно в 15 %. На металлообрабатывающих и машиностроительных заводах из – за неполного сбора образующихся металлоотходов безвозвратно теряется около 5 % кусковых металлоотходов и около 15 % стружки.

10.3. Утилизация пластмасс

В изготовлении салона машин в основном используются пластмассы – материалы, на основе природных или синтетических полимеров, способные под влиянием нагревания и давления формоваться в изделия сложной конфигурации и затем устойчиво сохранять приданную форму.

Пластмассы ещё относительно мало используются как вторичное сырьё. Это объясняется, прежде всего, многообразием типов пластмасс и выпускаемых из них изделий, а также сложностью состава, что затрудняет сортировку и переработку пластмассовых отходов, особенно бытовых.

Утилизация отходов пластмасс ввиду быстрого роста объемом их применения приобрела важное экономическое и экологическое значение. Использование отходов полимерных материалов помогает решить сырьевые проблемы, позволяя сократить потребление первичных материальных ресурсов.

Вторичные полимерные материалы должны играть в промышленности по переработке пластмасс такую же роль, какую играет металлолом в металлургии.

Отходы термопластичных пластмасс можно классифицировать следующим образом:

– технологические отходы производства, образующиеся при синтезе и переработке пластмасс и составляющие от 5 до 35 % (по массе). По свойствам они мало отличаются от исходного сырья и могут повторно перерабатываться в смеси с исходным материалом;

– отходы производственного потребления, накапливающиеся в результате выхода из строя изделий из полимерных материалов, используемых в различных отраслях экономики. Эти отходы достаточно однородны и также могут быть повторно переработаны в изделия. К ним относятся детали машин, тара, отходы пленочных материалов сельскохозяйственного назначения и др.;

– отходы общественного потребления, накапливающиеся на свалках в результате морального или физического износа полимерных деталей или изделий, в которых они использовались (пластмассовая посуда, мебель, детали автомобилей и другой бытовой техники). Хотя они и представляют ценное вторичное сырье, но вследствие перемешивания с другими видами отходов их переработка в изделия затруднена. Доля отходов общественного потребления составляет 50 % всех полимерных отходов.

Американские специалисты условно установили для всех пластмассовых изделий три срока службы: краткий, оптимальный и длительный. Для дорожной техники и транспорта предлагаемый срок службы: краткий – 7 лет, оптимальный – 10 лет, длительный – 12 лет.

Основные направления утилизации и ликвидации пластмассовых отходов следующие:

- ◆ Захоронение на полигонах и свалках.
- ◆ Переработка пластмассовых отходов по заводской технологии.
- ◆ Совместное сжигание отходов пластмасс с городским мусором.

- ◆ Пиролиз и раздельное сжигание в специальных печах.
- ◆ Использование отходов пластмасс как готового материала для других технологических процессов.

Захоронение отходов пластмасс на полигонах и свалках, которое пока наиболее широко распространено у нас в стране, может рассматриваться лишь как временная мера их утилизации, так как пластмассы подвергаются разложению чрезвычайно медленно. При этом методе из сферы возможного полезного использования изымаются тысячи тонн ценного вторичного сырья.

Переработка пластмассовых отходов по заводской технологии – наиболее оптимальный метод их использования (рис. 10.3).



Рис. 10.3. Схема переработки отходов пластмасс

Первая стадия включает сортировку отходов по внешнему виду, отделение непластмассовых компонентов, таких как ветошь, остатки бумажной или деревянной тары, металлических предметов и т. д. Вторая стадия – одна из наиболее ответственных в процессе. В результате одно- или двухстадийного измельчения материал приобретает размеры, достаточные для того, чтобы можно было осуществлять его дальнейшую переработку.

На третьем этапе дроблёный материал подвергают отмывке от загрязнений органического и неорганического характера различными растворами, моющими средствами и водой, а также отделяют его от неметаллических примесей.

Четвёртая стадия зависит от выбранного способа разделения отходов по видам пластмасс. В случае, если предпочтение отдаётся мокрому способу, сначала производят разделение отходов, а затем их сушку. При использовании сухих способов вначале дроблёные отходы сушат, а затем классифицируют.

Пятая и шестая стадии состоят в том, что высушенные дроблёные отходы смешивают при необходимости со стабилизаторами, красителями, наполнителями и другими ингредиентами и гранулируют. Часто на этой же стадии отходы смешивают с товарным продуктом.

Седьмой, заключительной стадией процесса является переработка гранулянта в изделия. Эта стадия практически мало чем отличается от процессов переработки товарного продукта с точки зрения применяемого оборудования, но часто требует специфического подхода к выбору режимов переработки. Полная реализация описанной схемы на практике является дорогостоящим и трудоёмким процессом, поэтому внедрение её довольно ограничено.

10.4. Переработка моторных, трансмиссионных масел

Утилизированное отработанное масло может иногда использоваться для тех же целей или для совершенно иных нужд. Например, отработанное моторное масло может быть регенерировано и затем продаваться в магазине как моторное масло или переработанный топочный мазут. Жидкости для холодной прокатки алюминия также могут быть отфильтрованы на месте производства и использованы повторно.

Отработанное масло может быть утилизировано следующими способами:

1) Восстановление на месте использования: предусматривает удаление загрязняющих веществ из отработанного масла и его повторное использование. Хотя такая форма утилизации не восстанавливает масло в его исходное состояние, она продлевает срок его годности.

2) Отправка на нефтеперерабатывающий завод: предусматривает использование отработанного масла либо в качестве сырьевого материала на начальной стадии процесса, либо в качестве коксовика для производства бензина и кокса.

3) Регенерация – предусматривает обработку отработанного масла, удаление загрязнений для использования в качестве основы нового смазочного масла. Регенерация продлевает срок годности масляного ресурса до бесконечности. Данная форма переработки является предпочтительной, так как она завершает цикл переработки путем повторного использования масла для производства того же продукта, которым отработанное масло было изначально, и, таким образом, экономит энергию и природное масло.

4) Переработка и сжигание для извлечения энергии: предусматривает удаление воды и частиц таким образом, чтобы отработанное масло можно было сжигать как топливо для производства тепла или

энергоснабжения производственных операций. Данная форма переработки не так предпочтительна, как методы повторного использования материала, поскольку она позволяет использовать отработанное масло только один раз. Тем не менее в результате производится ценная энергия (такая же, как при использовании стандартного топочного мазута).



Рис. 10.4. Утилизация эксплуатационных жидкостей

Утилизация отработанного масла (рис. 10.4) является благотворным фактором для окружающей среды и экономики по ряду причин:

1) При регенерации отработанного масла используется только треть энергии, применяемой при переработке сырой нефти в смазочное масло.

2) Для производства 1 л нового высококачественного смазочного масла требуется 67,2 л сырой нефти и только 1,6 л отработанного масла.

Один литр отработанного масла, утилизированного для топлива, содержит около 40 МДж энергии.

Регенерацию отработанного моторного масла используют для смесей такого материала. После проведения процедуры получают масла различного назначения и состава.

Для этого применяют процессы в виде сернокислотной очистки, гидроочистки, экстракции, вакуумной перегонки и другие методы физического и химического характера. В результате, исходя из особенностей процесса, получают 2 или 3 вида базовых масел, которые с помощью компаундирования и добавления присадок преобразовываются в масла товарные. Переработка моторного масла, имеющего вы-

сокую степень загрязнения, а также окисленных масел, как правило, производится с использованием специальных установок. При этом производится физическая и химическая обработка, в результате которой масла практически полностью очищаются от инородных веществ, продуктов старения и присадок, сохранившихся в масле.

Способы очистки масел. Здесь можно выделить несколько групп, исходя из основных способов очистки. К ним можно отнести серноокислотную очистку, адсорбционную очистку, гидроочистку, экстракционную очистку, метод тонкопленочного испарения, ультрафильтрацию и другие способы.

Способ очистки с использованием серной кислоты наиболее распространен во всем мире. При использовании такого способа в больших количествах образуется кислый гудрон, который трудно утилизируется и является экологически очень опасным.

Также такой способ очистки моторных масел не гарантирует полного удаления из материала некоторых веществ на основе хлора. Кроме этого, этот способ не эффективен для очистки некоторых современных масел. Поэтому такой метод в нашей стране практически не применяется.

Вторым по распространенности является метод адсорбционной очистки. В качестве сорбента в данном случае используется активированная глина. Полученные таким способом масла добавляют к свежим и добавляют определенные присадки.

Гидроочистка обычно применяется в случае вторичной переработки отработанных моторных масел. Использование такого способа позволяет получить высококачественные масла. Чтобы удалить из масел полициклические соединения (смолы), используют метод с применением металлического натрия.

10.5. Снижение концентрации вредных веществ в отработавших газах ДВС машин

Большинство современных машин используют в качестве горючего углеводородное топливо (бензин, дизельное топливо, спирт и др.), которое является одним из главных поставщиков углекислого газа и других вредных веществ в атмосферу.

Одним из наиболее токсичных продуктов, содержащихся в выхлопных газах ДВС, работающего на углеводородном топливе, является оксид углерода (или угарный газ). Хотя сам он и не относится к

веществам, вызывающим парниковый эффект, но легко вступает в реакцию с кислородом воздуха, с гидроксильными радикалами, образуя углекислый газ.

Загрязнение воздуха оксидами азота и кислотные дожди приносят огромный вред здоровью людей, а также растительному миру. Соединения свинца вызывают расстройство нервной системы, аллергию, некоторые углеводороды и твердые частицы способствуют развитию канцерогенных заболеваний. Содержание токсичных веществ в выхлопных газах зависит от режима работы двигателя (табл. 10.3).

Таблица 10.3

Содержание вредных веществ в выхлопных газах

Вредные вещества	Содержание вредных веществ (%) на режимах работы			
	холостой ход	постоянная скорость	ускорение от 0 до 40 км/ч	замедление от 40 до 0 км/ч
Оксиды углерода	0,5–8,5	0,3–3,5	2,5–5,0	1,8–4,5
Углеводороды	0,03–0,12	0,02–0,6	0,12–0,17	0,23–0,44
Оксиды азота	0,005–0,01	0,10–0,20	0,12–0,19	0,003–0,005

Приблизительно общее количество токсичных газов, выброшенных в атмосферу двигателем машины, можно посчитать, используя уравнение

$$N = (n \cdot A)/100,$$

где N – общее количество токсичного вещества в отработавших газах, кг; A – расход топлива, кг; n – удельный выброс токсичного вещества, % (по массе). Значения удельных выбросов токсичного вещества приведены в табл.10.4.

Таблица 10.4

Удельный выброс токсичного вещества n , % (по массе)

Вредные вещества	Значения n для	
	бензина	дизельного топлива
Оксид углерода	0,6	0,1
Углеводороды	0,1	0,03
Оксиды азота	0,04	0,04

Эти отходы, представляющие большую угрозу окружающей среде, сбору и утилизации не подлежат. Единственная мера борьбы с ними – это сокращение их объема, которое достигается техническими и эксплуатационными способами.

В дизельных двигателях смесеобразование затруднено, так как на смешение топлива и воздуха отводится очень короткое время. Процесс воспламенения топлива начинается с небольшим запаздыванием после начала впрыска топлива в камеру сгорания. В процессе сгорания впрыск топлива все еще продолжается и в таких условиях невозможно достигнуть полного использования воздуха.

В дизелях должен иметься избыток воздуха и даже при дымлении (что указывает на неполное сгорание смеси) в отработавших газах присутствует неиспользованный кислород. Это вызвано плохим перемешиванием капель топлива с воздухом. В центре топливного факела имеется недостаток воздуха, что и приводит к дымлению, хотя в непосредственной близости вокруг факела находится неиспользованный воздух.

Преимущество дизелей состоит в том, что воспламенение смеси гарантируется и при большом избытке воздуха. Неиспользование всего количества поступившего в цилиндр воздуха при сгорании является причиной относительно небольшой удельной мощности дизеля на единицу веса и рабочего объема, несмотря на его высокую степень сжатия.

Более совершенное смесеобразование имеет место в дизелях с разделенными камерами сгорания, у которых горящая богатая смесь из дополнительной камеры поступает в основную камеру сгорания, заполненную воздухом, хорошо смешивается с ним и сгорает. Для этого требуется меньшее количество избыточного воздуха, чем при непосредственном впрыске топлива, однако большая охлаждающая поверхность стенок приводит к большим потерям теплоты, что вызывает падение индикаторного КПД.

10.5.1. Дожигание в термических реакторах

При сгорании смеси стехиометрического состава должны образоваться безвредные двуокись углерода CO_2 и водяной пар, а при нехватке воздуха вследствие того, что часть топлива сгорает неполностью, – дополнительно токсичные окись углерода CO и несгоревшие углеводороды C_nH_x . Эти вредные для здоровья компоненты отрабо-

тавших газов можно дожечь и обезвредить. С этой целью необходимо специальным компрессором K (рис. 10.5) подавать свежий воздух в такое место выпускного трубопровода, где вредные продукты неполного сгорания можно сжечь. Иногда для этого воздух подают непосредственно на горячий выпускной клапан.

Как правило, термический реактор для дожигания CO и CN_x размещают сразу за двигателем непосредственно на выходе из него отработавших газов. Отработавшие газы M подводятся в центр реактора, а отводятся с его периферии в выпускной трубопровод V . Внешняя поверхность реактора имеет теплоизоляцию I .

В наиболее нагретой центральной части реактора размещена жаровая камера, нагретая отработавшими газами, где дожигаются продукты неполного сгорания топлива. При этом высвобождается теплота, поддерживающая высокую температуру реактора.

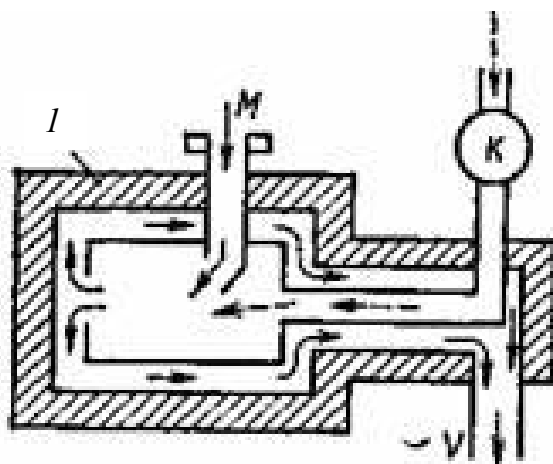


Рис. 10.5 Термический реактор:

M – вход отработавших газов; K – компрессор для подачи свежего воздуха;
 V – выход газов; I – тепловая изоляция

Однако при дожигании CO и CN в термических реакторах при высокой температуре горения образуются окислы азота. Уменьшение выброса соединений азота связано с определенными трудностями, так как условия их снижения совпадают с условиями образования вредных продуктов неполного сгорания и наоборот. В то же время температуру сгорания удастся снизить введением в смесь какого-либо инертного газа или водяного пара.

Для этой цели целесообразно рециркулировать во впускной трубопровод охлажденные отработавшие газы. Уменьшающаяся вследствие этого мощность требует обогащения смеси, большего открытия

дроссельной заслонки, что увеличивает общий выброс вредных СО и СН_x с отработавшими газами.

Рециркуляция отработавших газов совместно с уменьшением степени сжатия, изменением фаз газораспределения и более поздним зажиганием может снизить содержание NO_x на 80 %.

Окислы азота устраняют из отработавших газов, используя также и каталитические методы. В этом случае отработавшие газы вначале пропускаются через восстановительный катализатор, в котором происходит снижение содержания NO_x, а затем вместе с добавочным воздухом — через окислительный катализатор, где устраняются СО и СН_x.

10.5.2. Химические катализаторы

Несгоревшие компоненты в отработавших газах можно окислить и без горения при помощи катализатора. Для этого к отработавшим газам необходимо добавить вторичный воздух, нужный для окисления, химическую реакцию которого проведет катализатор. При этом также высвобождается теплота. Катализатором служат обычно редкие и драгоценные металлы, поэтому он весьма дорог. Каталитическое обезвреживание газовых выбросов используют обычно тогда, когда содержание горючих органических продуктов в отходящих газах мало и невыгодно использовать для их обезвреживания метод прямого сжигания. В этом случае процесс протекает при 200–300 °С, что значительно меньше температуры, требуемой для полного обезвреживания при прямом сжигании в печах и равной 950–1100 °С.

Щелочные материалы и их соединения, нанесенные на различные носители (например, оксиды металлов), часто оказываются более эффективными и надежными, а также гораздо более дешевыми, чем катализаторы из благородных металлов. На таких катализаторах реакция окисления начинается при невысоких температурах (около 200 °С), что значительно повышает возможность их использования для каталитического сжигания газов.

В качестве носителя катализатора рекомендуются оксид алюминия, кизельгур и силикаты.

Катализаторы должны обладать высокой активностью и теплопроводимостью, развитой пористой структурой, стойкостью к ядам, механической прочностью, селективностью, термостойкостью, иметь

низкие температуры «зажигания», обладать низким гидравлическим сопротивлением, иметь низкую стоимость.

Схема очистки отработавших газов с помощью катализатора представлена на рис. 10.5.

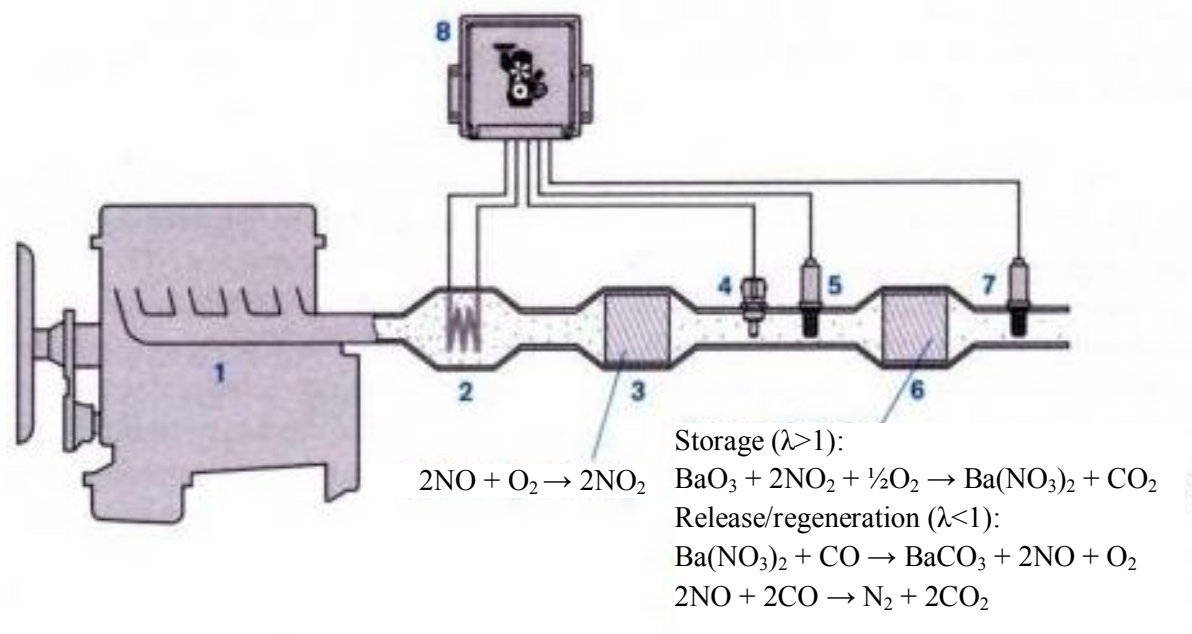


Рис. 10.5. Схема очистки отработавших газов с помощью катализатора

В процессах санитарной каталитической очистки отходящих газов с высокой активностью обладают катализаторы на основе благородных металлов (платина, палладий, серебро и др.), оксидов марганца, меди, кобальта, а также оксидные контактные массы, активированные благородными металлами (1,0–1,5 %).

Промоторы – вещества, усиливающие действие катализаторов. Например, платиновые катализаторы промотируют добавками железа, алюминия и др.

Катализатор имеет удивительно простое устройство, но воздействие его очень велико. Если вспомнить химию, то катализатор – это вещество, которое ускоряет или вызывает химическую реакцию, само не входя в продукты реакции. Катализаторы участвуют в реакции, но не являются ни реагентом, ни продуктом реакции. Так, для человеческого организма естественным катализатором многих важных биохимических реакций являются ферменты.

В каталитических преобразователях существует два различных типа катализаторов: *восстанавливающий* и *окислительный*. Оба типа состоят из керамической структуры, покрытой металлическим катализатором (обычно это платина, родий и/или палладий (рис. 10.6).

Идея заключается в том, чтобы создать структуру, которая подставляет под поток выхлопных газов максимальную площадь катализатора, и свести к минимуму задействованное при этом количество самого катализатора, так как используемые материалы весьма дороги. В некоторых преобразователях даже стали использовать золото с примесью более традиционных катализаторов. Золото дешевле по сравнению с остальными катализаторами и может повысить степень окисления на 40 %, что необходимо для снижения количества вредных газов.

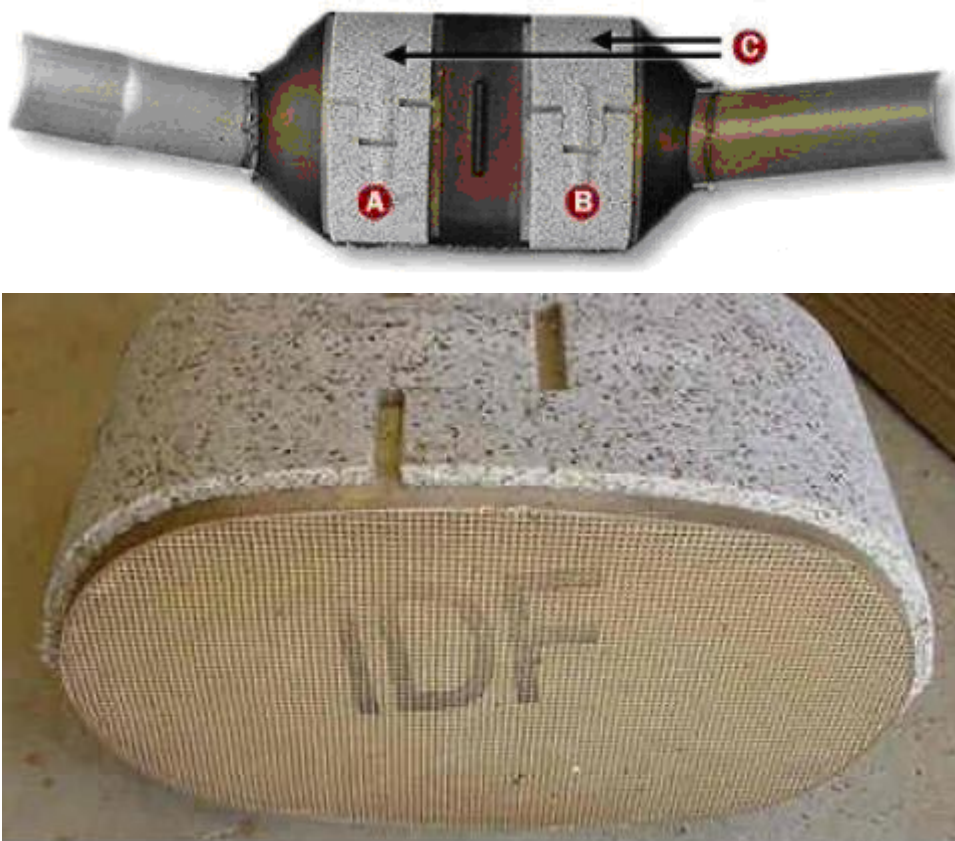


Рис. 10.6. Внутренняя часть катализатора

Большинство современных выхлопных систем оснащены тремя каталитическими преобразователями, по одному для каждого из веществ, выброс которых необходимо уменьшить.

Восстанавливающий катализатор – первый этап каталитического преобразователя. Он использует платину и родий, чтобы уменьшить выбросы NO_x . Когда молекула NO или NO_2 встречается с молекулами катализатора, от нее отделяется атом азота, высвобождая кислород – O_2 . Атом азота же связывается с другим атомом азота, образуя N_2 .

Окислительный катализатор – второй этап каталитического преобразователя. Он снижает количество несгоревшего топлива и окиси углерода в результате их сжигания (окисления) с помощью таких катализаторов, как платина и палладий. Этот катализатор также помогает CO вступить в реакцию с несгоревшим кислородом, образуя углекислый газ CO_2 .

Существует два основных вида конструкций, используемых в каталитическом преобразователе, – это конструкция по типу «соты» и «керамические бусины». Большинство машин используют сотовые структуры.

Выпускной тракт представлен на рис. 10.6.

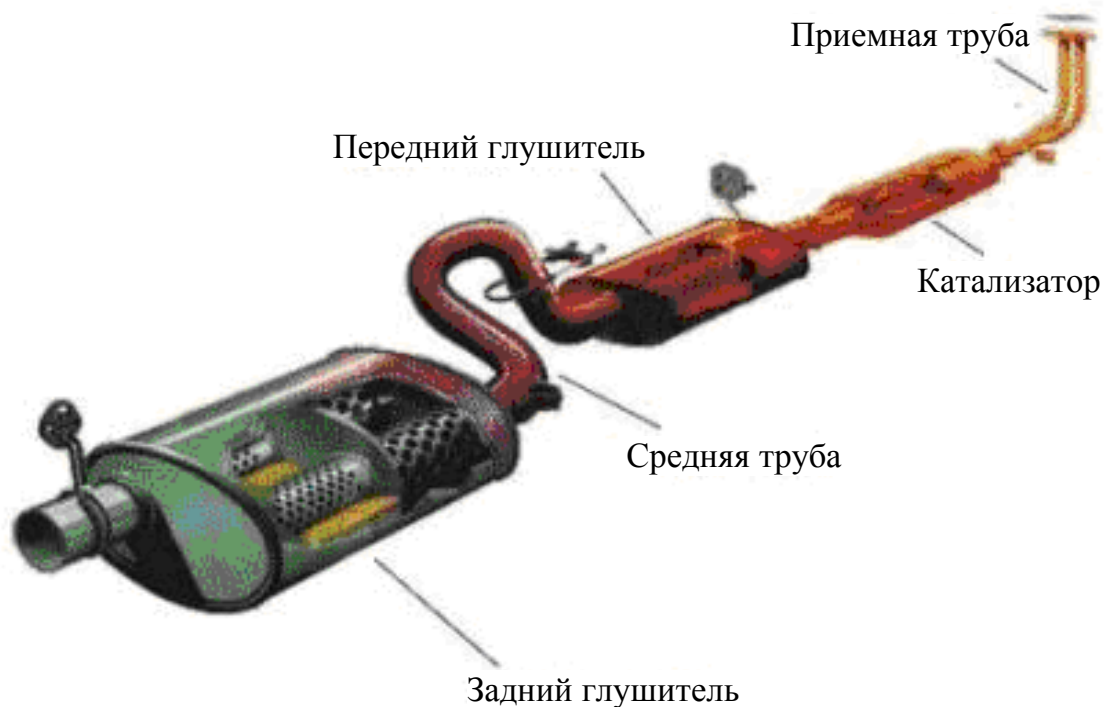


Рис. 10.6. Выпускной тракт

Третьим этапом преобразования является система управления, которая контролирует поток выхлопных газов и использует эту информацию для управления системой впрыска топлива. Один датчик кислорода установлен выше автомобильного катализатора, то есть ближе к двигателю, чем сам преобразователь. Этот датчик говорит компьютеру двигателя, сколько кислорода содержится в выхлопе. Компьютер двигателя уменьшает или увеличивает количество кислорода в выхлопных газах за счет регулировки количества воздуха, поступающего к топливу. Эта схема позволяет контролировать двигатель компьютера, чтобы убедиться, что двигатель работает на соот-

ношении, близком к стехиометрической точке, а также, что в выхлопных газах достаточно кислорода для работы окислительного катализатора для окисления несгоревших углеводородов и СО.

Каталитический преобразователь прodelывает большую работу по уменьшению загрязнения окружающей среды, но его производительность может быть существенно улучшена. Одним из недостатков является то, что каталитический преобразователь работает только при достаточно большой температуре. Когда вы только заводите машину, каталитический преобразователь почти не работает.

Простое решение этой проблемы состоит в том, чтобы передвинуть каталитический преобразователь ближе к двигателю. Тогда выхлопные газы, поступающие в каталитический преобразователь, будут более горячими, и он нагреется быстрее, но это одновременно сокращает срок службы конвертера из-за воздействия чрезмерно высоких температур. Большинство производителей размещает каталитический преобразователь достаточно далеко от двигателя именно для того, чтобы высокие температуры не вредили ему.

Подогрев каталитического преобразователя – хороший способ снижения выбросов. Самый простой способ подогреть катализатор – использование электрических нагревателей. К сожалению, 12-вольтовая электрическая система, установленная на большинстве машин, не может нагреть каталитический преобразователь достаточно быстро. Большинство людей не будет ждать несколько минут, пока нагреется каталитический преобразователь. Гибридные машины имеют большие, высоковольтные батареи, которые могут достаточно быстро нагреть катализатор.

Каталитические преобразователи дизельных двигателей плохо справляются с сокращением выбросов NO_x . Это одна из причин в том, что дизельные двигатели сами по себе функционируют в более низком температурном режиме, чем обычные, а преобразователи работают лучше при нагреве. Некоторые ведущие эксперты в области «зеленого» двигателестроения придумали новую выхлопную систему, которая помогает исправить этот недостаток. Они впрыскивают водный раствор мочевины в выхлопную трубу до того, как газы достигнут преобразователя. При этом возникает химическая реакция, которая уменьшает количество NO_x . Карбамид, также известный как мочевина, – органическое соединение углерода, азота, кислорода и водорода. Его можно обнаружить в моче млекопитающих и земноводных, что и объясняет такое название. Мочевина реагирует с NO_x с по-

лучением азота и водяного пара, снижая количество оксидов азота в выхлопных газах более чем на 90 %.

10.5.3. Раствор мочевины

Новой системой нейтрализации отработавших газов является система SCR. Сокращение SCR означает Selective Catalytic Reduction (избирательное каталитическое восстановление). Она предназначена для снижения уровня оксидов азота, содержащихся в отработавших газах (ОГ).

В данной технологии химическая реакция восстановления (нейтрализации) происходит избирательно. Это означает, что в составе отработавших газов целенаправленно снижается только содержание оксидов азота. Содержащиеся в отработавших газах оксиды азота (NO_x) в катализаторе восстановления превращаются в азот (N_2) и воду (H_2O). Для этого в поток отработавших газов перед катализатором непрерывно впрыскивается восстановитель (мочевина). Мочевина содержится в отдельном дополнительном баке. При нагреве примерно до $200\text{ }^\circ\text{C}$ катализатор восстановления достигает рабочей температуры.

Блок управления двигателя получает данные о температуре ОГ перед катализатором восстановления от датчика температуры ОГ 4 G648. Раствор мочевины AdBlue забирается насосом мочевины из бака мочевины и под давлением примерно 5 бар прокачивается через обогреваемый трубопровод мочевины к форсунке мочевины. Форсунка мочевины управляется блоком управления двигателя и впрыскивает мочевины в дозируемом количестве в трубопровод системы выпуска отработавших газов (рис. 10.7). Впрыснутая мочевина подхватывается потоком ОГ и равномерно распределяется микшером в отработавших газах. На участке к восстановительному катализатору, так называемом гидролизном участке, мочевина распадается на аммиак (NH_3) и углекислый газ (CO_2).

В восстановительном катализаторе аммиак NH_3 вступает в реакцию с оксидами азота NO_x , образуя азот N_2 и воду H_2O .

Состав раствора мочевины AdBlue прост: это раствор мочевины определенной концентрации в дистиллированной воде. Внешне он представляет собой прозрачную жидкость со слабым аммиачным запахом. Это естественный продукт, а потому он не является раздра-

жающим и токсичным, а также не провоцирует аллергических реакций.

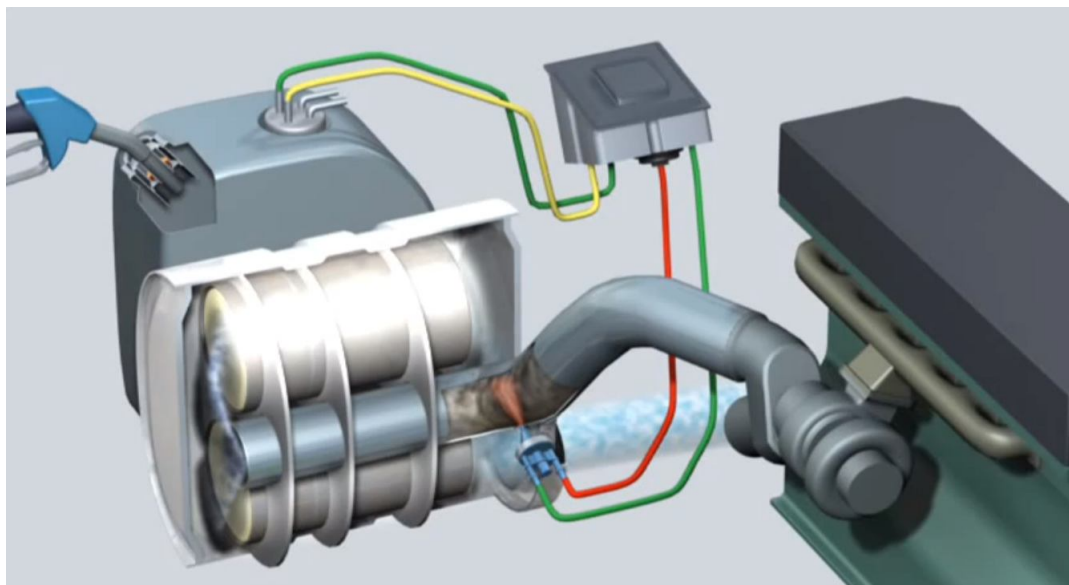


Рис. 10.7. Впрыск мочевины

Раствор мочевины AdBlue используется для очищения выхлопных газов автомобилей и перевода их в безопасные с точки зрения экологии соединения. По мере необходимости происходит дозированный впрыск жидкости, вступающей в химическую реакцию с выхлопами, в результате чего они разлагаются на азот и воду, то есть на совершенно безвредные соединения.

Чтобы мочевина могла быть использована в машине, необходимо её оборудовать дополнительным баком и блоком с электронным управлением. После этого водитель или оператор может не задумываться о работе системы, электроника сама определяет режим работы машины, а также показатели внешней среды и обеспечивает подачу нужного количества реагента. В результате вне зависимости от ситуации выхлопные газы будут полностью нейтрализованы и не принесут существенного вреда окружающей среде.

Система экономична. В стандартных условиях расход реагента составляет 1–2 л на 100 км пути. Средняя вместимость бака составляет 40 л, что позволяет покрывать значительные расстояния без дозаправки мочевиной.

Изначально продукт появился в Германии, где проблемам окружающей среды уделяется огромное внимание. Теперь им пользуется вся Европа и начинает пользоваться Россия.

10.5.4. Система рециркуляции отработавших газов

EGR (Exhaust Gas Recirculation) – система рециркуляции отработавших газов. Система EGR возвращает часть отработавших газов из выпускного во впускной коллектор. Основная задача системы – в снижении токсичности выхлопа в режимах прогрева и резкого ускорения двигателя, который на данных режимах работает на обогащённой топливной смеси.

Данная система усложняет жизнь многим, занимающимся ремонтом техники.

Состав системы:

1) основная часть – клапан EGR. Обеспечивает перепускание газов из выпускного во впускной коллектор. По причине постоянного контакта с раскалёнными газами – наименее живучая часть системы. Основная, она же и самая главная неисправность – негерметичность. В разных модификациях системы EGR может управляться как электрически, так и пневматически;

2) соленоид EGR. Применяется в системах с пневматическим управлением клапаном. Основная неисправность та же, что и для клапана, – негерметичность и на работе двигателя сказывается одинаково, так как в результате мы тоже получаем открытый клапан EGR;

3) датчик положения штока клапана EGR (датчик степени открытия клапана EGR). Случается, что ломается, но кроме загоревшейся лампы неисправности двигателя никаких неприятных последствий не наблюдается;

4) блок управления двигателя. Разные системы могут иметь различный набор компонентов, но общее – это клапан EGR.

Основная неисправность системы EGR – это негерметичность, обеспечивающая подсос дополнительного воздуха во впускной коллектор. Это приводит в двигателях с расходомером воздуха (MAF-сенсор) к обеднению топливной смеси, вызванное присутствием неучтённого МАФом воздуха; в двигателях с датчиком давления (MAP-сенсор) – к обогащению топливной смеси, вызванное увеличением давления во впускном коллекторе; в двигателях, использующих оба способа контроля за количеством воздуха (из-за значительной погрешности MAF-сенсора при низком потоке через датчик), к обогащению на холостом ходу и резкому обеднению на переходных режимах. И во всех случаях из-за снижения количества кислорода в поступающем в двигатель воздухе нарушается горение топливной смеси в

цилиндрах двигателя. Эта зависимость очень сложная, и неисправность системы EGR на разных моделях двигателей проявляется по-разному. Большое значение имеет количество поступающих во впускной коллектор отработавших газов (т.е. величина открытия клапана EGR), общее состояние двигателя (износ свечей зажигания, проблемы топливного насоса или забитость топливных форсунок), частота вращения и нагрузка на двигатель.

Любой блок управления двигателем имеет программу, по которой он стремится стабилизировать частоту оборотов холостого хода и состав топливной смеси. Причём величина регулирования степени открытия/закрытия исполнительного механизма системы регулирования оборотов холостого хода и длительность времени впрыска имеют вполне понятные пределы. Когда блоку управления удаётся стабилизировать холостой ход, на переходных режимах он не справится с необходимой коррекцией состава смеси, так нажатие на педаль акселератора приведёт к возрастанию давления в выпускном коллекторе и увеличению количества поступающих во впускной коллектор отработавших газов, которые не содержат необходимого для горения кислорода. На данном этапе всё это будет ухудшать разгонную динамику автомобиля, возможно появление провалов и рывков при движении. Но дальше картина неисправности будет меняться. Дело в том, что раскалённые газы, взаимодействуя с масляным туманом во впускном коллекторе (причина его появления – система вентиляции картера, клапане PCV), приведут к усилению нагарообразования на внутренних частях коллектора, отложению нагара на впускных клапанах, повышенному загрязнению наружных частей распылителей топливных форсунок и появлению копоти на изоляторах свечей зажигания. Всё это скажется на пусковых характеристиках двигателя и нестабильных оборотах холостого хода, причём возможно как дёрганье и пропуски зажигания, так и плавание оборотов. При резком нажатии на газ возможно появление вспышек во впускном коллекторе. Если на данной стадии не обращать внимание на двигатель, то очень скоро холостой ход пропадёт совсем или его величина превысит все допустимые пределы. А на машинах с АКПП высокая величина холостого хода очень быстро приведёт к поломке коробки.

Система EGR имеет ограниченный ресурс. Необходима замена всех компонентов системы при пробеге 70–100 тыс. км, однако это справедливо при достаточно качественном топливе.

С российским бензином необходимо заменять все компоненты при пробеге 50000 км.

Рециркуляция отработавших газов (рис. 10.8) повышает эффективность работы двигателя, уменьшает расход топлива, снижает «жесткую» работу дизельного двигателя и детонацию в бензиновом двигателе.

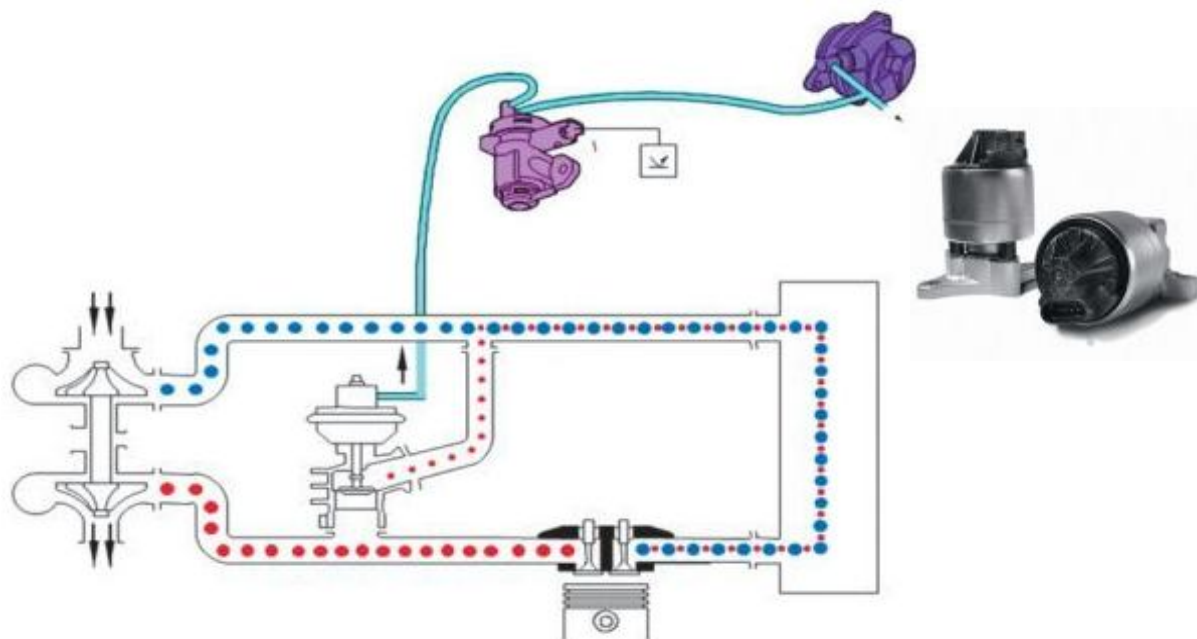


Рис. 10.8. Система рециркуляции ОГ и клапан EGR

Когда температура в камере сгорания становится очень высокой, кислород и азот в поданном в цилиндры воздухе начинают взаимодействовать друг с другом и образуют окиси азота. В бензиновом двигателе кислород нужен для сжигания топлива, а теперь его нет в достаточном количестве, так как азот «украл» его. В результате из-за неполного сгорания топлива двигатель теряет часть мощности, выбрасывая NO_x и в избытке CO и HC в атмосферу. О топливной экономичности говорить не приходится.

Клапан EGR системы рециркуляции отработавших газов, являющийся основой всей системы, позволяет части сгоревших отработавших газов вернуться обратно во впускной коллектор и смешаться со свежим зарядом воздуха. Кислород повышает температуру горения, таким образом, за счет введения отработавших газов (т.е. искусственного уменьшения содержания кислорода в составе горючей смеси) происходит снижение температуры сгорания. Это приводит к

снижению количества кислорода, взаимодействующего с азотом, таким образом, снизится количество NO_x .

Рециркуляция ОГ имеет и другие преимущества. В бензиновых двигателях она снижает насосные потери за счет снижения перепада давления на дроссельной заслонке. Более низкие температуры сгорания предотвращают детонацию, поэтому может быть установлен более ранний момент зажигания, что обеспечит повышение крутящего момента. В дизельных двигателях она снижает «жесткую» работу двигателя на холостом ходу, так как пониженное содержание кислорода понижает давление сгорания.

Система рециркуляции отработавших газов (EGR – Exhaust Gas Recirculation) предназначена для снижения в отработавших газах оксидов азота за счет возврата части газов во впускной коллектор.

Оксиды азота образуются в двигателе под действием высокой температуры. Чем выше температура в камерах сгорания, тем больше образуется оксидов азота. Возврат части отработавших газов во впускной коллектор позволяет снизить температуру сгорания топливно-воздушной смеси и, тем самым, уменьшить образование оксидов азота. При этом соотношение компонентов в топливно-воздушной смеси остается неизменным, а мощностные характеристики двигателя изменяются незначительно.

Система рециркуляции отработавших газов применяется как на дизельных, так и на бензиновых двигателях. На бензиновых двигателях внутреннего сгорания, оборудованных турбонаддувом, система рециркуляции отработавших газов не применяется.

В зависимости от стандарта токсичности отработавших газов на дизельных двигателях внутреннего сгорания применяются различные схемы системы рециркуляции отработавших газов: высокого давления, низкого давления и комбинированная система рециркуляции.

Система рециркуляции отработавших газов высокого давления применяется на дизельных двигателях, отвечающих требованиям Евро-4 (содержание оксида азота в отработавших газах не более 0,25 г/км). Система обеспечивает отвод части отработавших газов непосредственно из выпускного коллектора перед турбокомпрессором и подачу в канал перед впускным коллектором (рис. 10.10).

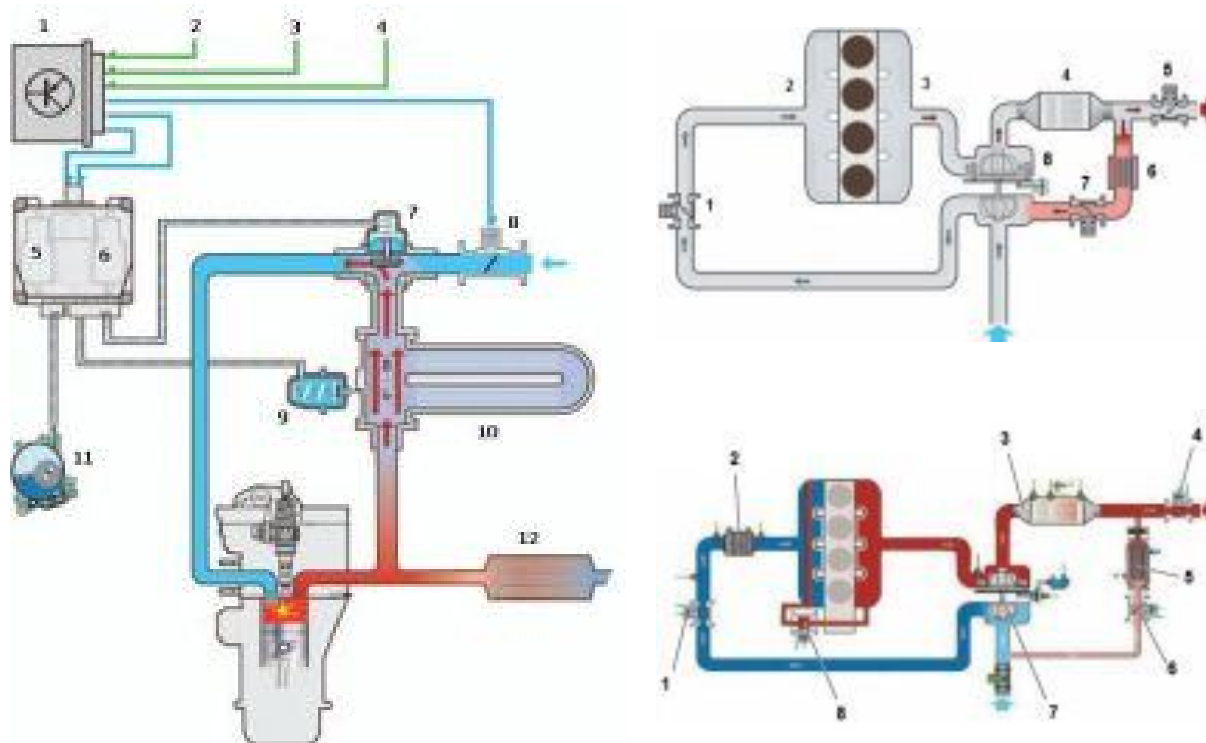


Рис. 10.10. Варианты системы рециркуляции ОГ

Конструктивно система объединяет клапан рециркуляции и патрубки отвода отработавших газов. Клапан рециркуляции осуществляет перепускание отработавших газов из выпускной системы во впускной коллектор. Клапан имеет пневматический или электрический привод.

Работа пневматического клапана основана на разряжении, возникающем во впускном коллекторе (бензиновые двигатели) или создаваемым вакуумным насосом (дизельные двигатели). Величину разряжения, подающегося на клапан рециркуляции, регулирует управляющий клапан, представляющий собой электромагнитный клапан.

Интенсивность рециркуляции отработавших газов зависит от разницы давлений в впускной и выпускной системах. Величина давления в впускной системе регулируется с помощью дроссельной заслонки. При закрытии дроссельной заслонки уменьшается давление на впуске и соответственно повышается интенсивность рециркуляции. Вместе с тем с ростом объема рециркуляции уменьшается поток отработавших газов, проходящих через турбину компрессора, что снижает давление наддува.

Система рециркуляции отработавших газов не работает на холостом ходу, при холодном двигателе, а также при полностью открытой дроссельной заслонке.

Рециркуляция отработавших газов производится под контролем системы управления двигателем. По сигналу блока управления перемещается дроссельная заслонка и срабатывает клапан рециркуляции. Положение дроссельной заслонки контролируется потенциометрическим датчиком.

На отдельных двигателях в системе рециркуляции отработавших газов применяется охлаждение отработавших газов, которое дополнительно снижает температуру сгорания и, тем самым, уменьшает образование оксидов азота. Охлаждение производится путем прохождения охлаждающей жидкости через специальный радиатор, включенный в систему охлаждения двигателя. Для защиты от перегрева в систему охлаждения включен и корпус клапана рециркуляции.

На дизельных двигателях, отвечающих нормам Евро-5 (содержание оксида азота в отработавших газах не более 0,18 г/км), применяется система рециркуляции отработавших газов низкого давления. В такой системе отработавшие газы отводятся после сажевого фильтра, охлаждаются в радиаторе системы рециркуляции, проходят через клапан (заслонку) рециркуляции и подаются в впускную систему непосредственно перед турбокомпрессором.

Система низкого давления обеспечивает меньшую температуру отработавших газов, отсутствие частиц сажи и в конечном счете меньшее содержание оксидов азота в выхлопе. Помимо этого все отработавшие газы проходят через турбину компрессора, поэтому давление наддува не снижается.

Регулирование интенсивности рециркуляции отработавших газов осуществляет система управления двигателем с помощью дроссельной заслонки, заслонки рециркуляции и выпускной заслонки. Заслонки имеют электрический привод. Величина открытия каждой из заслонок фиксируется потенциометрическими датчиками. Степень открытия заслонок определяется на основании заложенной в блок управления цифровой модели, учитывающей наполнение цилиндров, давление наддува и интенсивность рециркуляции отработавших газов.

На дизельных двигателях, отвечающих требованиям перспективного стандарта Евро-6 (содержание оксида азота в отработавших газах не более 0,08 г/км), применяется комбинированная система рециркуляции отработавших газов. Система имеет две отдельные маги-

страли рециркуляции отработавших газов – высокого и низкого давления.

Рециркуляция отработавших газов осуществляется аналогично рециркуляции на двигателях Евро-5. Кроме того, в определенных режимах работы двигателя происходит дополнительная подача отработавших газов из магистрали высокого давления, что еще больше уменьшает содержание оксидов азота. Магистраль высокого давления не имеет охладителя отработавших газов.

10.5.5. Рекуперация энергии отработавших газов

Отработавшие газы машины содержат немало энергии, которая обычно может применяться для привода турбины наддува, остальная часть нагретых газов не используется.

Для использования энергии отработавших газов фирма BMW разработала вариант двигателя, в котором газы нагревали воду, превращая ее в пар, который затем с помощью паровой машины подкручивал коленчатый вал ДВС.

В другом варианте энергия тепла отработавших газов используется для получения электрической энергии и питания многочисленных потребителей на борту, разгрузив штатный генератор. Можно отметить, что в современных машинах ради 1 кВт·ч электроэнергии приходится сжигать бензина на 6 кВт·ч.

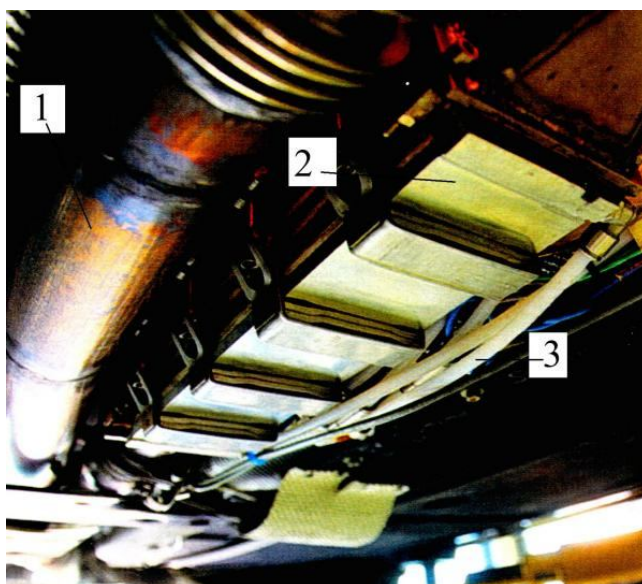


Рис. 10.11. Система рекуперации отработавших газов:
1 – выхлопная труба; 2 – термоэлектрогенератор;
3 – подвод охлаждающей жидкости

В этом варианте рядом с выхлопной трубой размещается термоэлектрогенератор (термопара) на основе теллурида висмута, преобразующий разницу температуры охлаждающей жидкости и отработавших газов ток (рис. 10.11). При габаритах 300×100 мм он выдает около 600 Вт мощности. Работает термоэлектрогенератор при больших нагрузках ДВС, когда отработавшие газы имеют высокую температуру.

Контрольные вопросы и задания

1. Как утилизируют покрышки?
2. Опишите технологию утилизации кузова машин.
3. Какие основные направления утилизации и ликвидации пластмассовых отходов вы знаете?
4. Какие существуют способы утилизации масел?
5. Для чего применяются химические катализаторы?

Библиографический список

1. Технологические машины и комплексы в дорожном строительстве (производственная и техническая эксплуатация) : учебное пособие для вузов / В.Б. Пермяков, В.И. Иванов, С.В. Мельник и др. ; под ред. В.Б. Пермякова. – М. : «ИД «БАСТЕТ», 2014. – 752 с.

2. Основы рациональной эксплуатации парков нефтегазовой и строительной техники : методические указания к выполнению курсовой работы по дисциплинам «Эксплуатация подъемно-транспортных, строительных и дорожных машин» и «Техническая эксплуатация строительных, дорожных и коммунальных машин» для студентов специальностей 190603 «Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (нефтегазодобыча)», 190205 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование» всех форм обучения / сост. : С.В. Савельев, В.С. Серебренников. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2012. – 45 с.

3. Инструкция по перевозке крупногабаритных и тяжеловесных грузов автомобильным транспортом по дорогам Российской Федерации : утв. Минтранс России 27.05.1996. Ред. от 24.07.2012. Зарегистрировано в Минюсте России 08.08.1996 № 1146.

4. Федеральное управление автомобильных дорог «Сибирь» (ФКУ «Сибуправтодор») [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sibupravtodor.ru/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 10.10.2015).

5. Европейское соглашение 1957 г. о международной дорожной перевозке опасных грузов (ДОПОГ) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// http://dopog-online.ru/](http://http://dopog-online.ru/), свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 10.10.2015).

6. Таможенная Конвенция 1975 г. о международной перевозке грузов на территории России [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://base.consultant.ru/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 10.10.2015).

7. Карнаухов, Н.Н. Эксплуатация машин в строительстве : учеб. пособие / Н.Н. Карнаухов, Ш.М. Мерданов, В.В. Шефер, А.А. Иванов. – Тюмень : ТюмГНГУ, 2006. – 440 с.

8. Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации : федеральный закон от 10.01.2003 № 18-ФЗ (ред. от 06.04.2015). – М., 2015.

9. Диагностика строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин/ А.Н. Максименко, Г.Л. Антипенко, Г.С. Лягушев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 302 с.

10. *Коншин, В. М.* Методы и средства диагностирования в системе сервиса строительных и дорожных машин : учебное пособие / В. М. Коншин. – М. : Изд-во МАДИ (ГТУ), 2004. – 118 с.

11. *Максименко, А. Н.* Диагностика строительных, дорожных и подъемно-транспортных машин : учеб. пособие / А. Н. Максименко, Г. Л. Антипенко, Г. С. Лягушев. – СПб. : БХВ-Петербург, 2008. – 302 с.

12. Датчики давления Easy Control [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.autoreview.ru/archive/2004/05/nipel/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 10.10.2015).

13. Техническая диагностика строительных, дорожных и коммунальных машин : учебное пособие / В. И. Иванов, В. Н. Кузнецова, Р. Ф. Салихов, Е. А. Рыжих. – Омск : Изд-во СибАДИ, 2006. – Ч. I. Теоретические основы технической основы диагностики СДКМ. – 132 с.

14. Водородная энергетика [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.economic-energy.com.ua/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 10.10.2015).

15. *Максименко, А. Н.* Эксплуатация строительных и дорожных машин : учеб. пособие / А. Н. Максименко. – СПб. : БХВ-Петербург, 2006. – 400 с.

16. Эксплуатация и техническое обслуживание дорожных машин, автомобилей и тракторов : учебник / Е.С. Локшин, С.Ф. Головин, В.М. Коншин, А.В. Рубайлов ; под ред. Е.С. Локшина. – М. : Мастерство, 2002. – 464 с.

17. ГОСТ В. 18241-90. Топливо, масла смазки и специальные жидкости. Номенклатура и порядок назначения. – М. : Издательство стандартов, 1990. – Введ. с 01.01.90.

18. ГОСТ 17479.1-85. Обозначение нефтепродуктов. Масла трансмиссионные. – М. : Издательство стандартов, 1985. – Введ. с 01.01.85.

19. ГОСТ 17479.1-85. Обозначение нефтепродуктов. Масла моторные. – М. : Издательство стандартов, 1985. – Введ. с 01.01.85.

20. ГОСТ 17479.3-85. Масла гидравлические. Классификация и обозначение. – Введ. с 01.01.87.

21. Тормозные жидкости DOT 3, DOT 4, DOT 5, DOT 5.1, классификация, характеристики, взаимозаменяемость, область применения [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://velo100.ru/technics/dot_3_5_5.1, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 10.10.2015).

22. Независимая лаборатория неразрушающих методов контроля [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.gamma-unit.ru/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения к ресурсу: 10.10.2015).