МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ – ФИЛИАЛ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО
УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ» В Г. ЗЕРНОГРАДЕ
(Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ)

Н.В. Сергеев

Специальные главы технической эксплуатации двигателей автотранспортных средств

Учебное пособие

Зерноград – 2025

УДК 62-144.3

Печатается по решению методической комиссии по направлению подготовки 23.04.03 Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов Азово-Черноморского инженерного института – филиала федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Донской государственный аграрный университет» в г. Зернограде

Рецензент
доктор технических наук, профессор кафедры Т и СМ АПК ***Несмиян А.Ю.***

Специальные главы технической эксплуатации двигателей автотранспортных средств: учебное пособие / Составитель Н.В. Сергеев. – Зерноград: Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2025. – 207 с.

В учебном пособии описаны особенности производственной и технической эксплуатации двигателей внутреннего сгорания в отраслях народного хозяйства, в экстремальных природно-климатических и особых производственных и социальных условиях. Рассмотрены основные направления научно-технического прогресса на автомобильном транспорте; перспективы и направления развития технической эксплуатации автомобилей. В конце каждой главы учебного пособия приводятся контрольные вопросы.

При составлении учебного пособия были использованы материалы, опубликованные в электронных источниках и книжных изданиях, авторам которых выражаю благодарность.

Пособие предназначено для студентов и магистрантов очной и заочной форм обучения по направлениям подготовки и специальностям, входящим в укрупнённую группу подготовки 23.00.00 Техника и технологии наземного транспорта.

Рассмотрено и одобрено на заседании кафедры «Эксплуатация и технический сервис наземных транспортно-технологических средств».
Протокол № 1 от 28 августа 2024 г.

Рассмотрено и одобрено методической комиссией инженерно-технологического факультета.
Протокол № 4 от 10 сентября 2024 г.

© Н.В. Сергеев, составитель, 2025
© Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВО Донской ГАУ, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ…… 7

1 Производственная эксплуатация двигателей…… 8
1.1 Энергетика в использовании техники по назначению…….. 8
1.1.1 Место ДВС в общей системе энергообеспечения……. 8
1.1.2 Научно-технические проблемы и задачи энергетики……... 11
1.2 Факторы, влияющие на техническое состояние и эксплуатационные свойства двигателей…….. 12
1.2.1 Природно-климатические факторы…… 12
1.2.2 Режимы работы двигателей…… 15
1.2.3 Качество расходных материалов…… 16
1.3 Эксплуатационные свойства ДВС…….. 19
1.3.1 Основные эксплуатационные показатели дизельного двигателя 19
1.3.2 Выбор рациональных режимов работы двигателя. Оценка экономичности работы двигателя……. 22
1.3.3 Влияние атмосферных условий и технического состояния на эксплуатационные показатели ДВС……. 24
1.4 Приспособленность двигателя к условиям эксплуатации…… 26
1.4.1 Приспособленность и условия…… 26
1.4.2 Показатели приспособленности……. 29
1.4.3 Эксплуатационная технологичность машин……. 30
1.5 Влияние условий эксплуатации на топливную экономичность….. 32
1.5.1 Влияние температуры на расход топлива…… 32
1.5.2 Влияние режима движения транспортного средства на расход топлива двигателем…….. 35
1.5.3 Влияние нагруженности машины на расход топлива……. 36
1.6 Эффективность использования ДВС…….. 38
1.6.1 Надежность – показатель эффективности двигателя (машины) 38
1.6.2 Пути повышения эффективности при создании машин…….. 40
1.6.3 Пути повышения эффективности ДВС при эксплуатации…….. 42
2 Обеспечение работоспособности и исправности ДВС…….. 45
2.1 Введение в техническую эксплуатацию машин…… 45
2.1.1 Техническое состояние и работоспособность изделия…… 45
2.1.2 Основные понятия и определения технической эксплуатации... 46
2.1.3 Основные причины изменения технического состояния машин 48
2.1.4 Определение предельных величин износа…… 49
2.1.5 Пути обеспечения работоспособности машин…….. 50
2.2 Система технического обслуживания машин…… 52
2.2.1 Планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта……. 52
2.2.2 Виды и методы технического обслуживания…… 53
2.2.3 Теоретические основы и правила эксплуатационной обкатки… 54
2.2.4 Установление периодичности технического обслуживания….. 55

2.2.5 Группирование операций и нормативы периодичности технических обслуживаний…… 58
2.3 Техническое обслуживание двигателей……. 59
2.3.1 Периодичность и содержание ТО автомобильных двигателей... 59
2.3.2 Нормативы ТО и Р. Корректирование нормативов…….. 60
2.3.3 Повышение эффективности использования автомобильных двигателей……. 63
3 Диагностика неисправностей в системах автомобильных бензиновых двигателей……. 67
3.1 Особенности диагностики автомобильных бензиновых двигателей при различных способах подачи воздуха и топлива…. 67
3.2 Диагностика характерных неисправностей работы автомобильных бензиновых двигателей в процессе эксплуатации 75
3.2.1 Диагностика неисправностей механической части двигателя… 75
3.2.2 Диагностика неисправностей, влияющих на работу двигателя на холостом ходу……. 81
3.2.3 Диагностика неисправностей, влияющих на топливную экономичность и выбросы токсичных компонентов с отработавшими газами…….. 91
3.2.4 Диагностика неисправностей, влияющих на мощностные показатели работы двигателя…….. 110
3.2.5 Диагностика режимов пуска и прогрева двигателя в условиях низких температур……... 123
4 Устройство и диагностика систем зажигания. Диагностическое оборудование для контроля и регулировки систем зажигания…. 134
5 Диагностическое оборудование, применяемое для комплексной диагностики систем бензинового двигателя…….. 152
6 Обзор существующих методов диагностирования системы питания дизельного двигателя…… 160
6.1 Описание наиболее частых неисправностей…….. 160
6.2 Общие сведения…… 162
6.3 Поэлементное диагностирование и устранение неисправностей… 163
6.4 Проверка датчиков и исполнительных механизмов систем питания дизельных двигателей с электронным управлением…….. 166
6.5 Проверка давления в системе питания двигателя…….. 168
6.6 Особенности диагностирования неисправностей систем с насосом-форсункой…… 169
6.7 Регулировка насоса-форсунки после установки…… 170
6.8 Проверка и установка угла опережения……. 171
6.9 Особенности диагностирования неисправностей систем Common Rail……. 176
7 Методы исследования систем питания дизельного двигателя 185
7.1 Обоснование выбора средств диагностирования…….. 185
7.2 Компьютерная диагностика электронного блока управления двигателем…… 186

7.3 Поиск неисправностей с помощью анализа отработавших газов…. 189
7.4 Диагностирование неисправностей с использованием датчиков давления…….. 191
7.5 Обоснование разработки способа диагностирования……..... 193
8 Разработка способа диагностирования систем питания дизельного двигателя…….. 194
8.1 Методика диагностирования…… 194
8.2 Описание процесса диагностирования……..... 196
ЛИТЕРАТУРА…… 203

СПИСОК ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

ВМТ – верхняя мертвая точка
ГДС – главная дозирующая система
ГРМ – газораспределительный механизм
ДАД – датчик абсолютного давления
ДЗ – дроссельная заслонка
ДК – датчик кислорода
ДМРВ – датчик массового расхода воздуха
ДПДЗ – датчик положения дроссельной заслонки
ДПКВ – датчик положения коленчатого вала
ДФ – датчик фаз
КПД – коэффициент полезного действия
КШМ – кривошипно-шатунный механизм
ОГ – отработавшие газы
РДТ – регулятор давления топлива
РХХ – регулятор холостого хода
СУД – система управления двигателем
СХХ – система холостого хода
ТЖХХ – топливный жиклер холостого хода
УОВТ – угол опережения впрыска топлива
УОЗ – угол опережения зажигания
УН – ускорительный насос
ХХ – холостой ход
ЦПГ – цилиндропоршневая группа
ЭБУ – электронный блок управления
ЭМР – экономайзер мощностных режимов
n – частота вращения коленчатого вала
α – значение состава смеси
X – значение состава смеси в зарубежной литературе (аналог α)

ВВЕДЕНИЕ

Развитие техники и совершенствование технологических процессов, её создание, производство, сбыт, эксплуатация, обслуживание, ремонт и утилизация ставят перед специалистами задачу эффективного или, что более точно, оптимального решения возникающих проблем. Это явление общераспространённое, так как человек в своей повседневной деятельности незаметно для себя самого стремится сделать всё рационально-целесообразным образом, т.е. осуществить процесс оптимизации решаемой проблемы – найти наилучший вариант решения из возможных в рассматриваемой ситуации.

Работы по дальнейшему повышению надежности двигателей, их безотказности и долговечности должны вестись за счет обеспечения равнопрочности деталей и узлов (в крайнем случае, кратности ресурса по отношению к базовым деталям повышенной долговечности).

Эти задачи решаются путем совершенствования конструкции и технологии изготовления двигателей, повышения качества применяемых материалов и изделий смежных производств, совершенствования мероприятий в сфере эксплуатации и ремонта.

Высокая надежность двигателей дает большой экономический эффект в народном хозяйстве за счет сокращения простоев техники, увеличения производительности машин, снижения затрат на ремонты, уменьшения потребности в запасных частях. Увеличение моторесурса двигателей равноценно увеличению их выпуска.

Последовательный анализ и решение комплексных задач, связанных с управлением техническим состоянием, эффективностью и эксплуатацией двигателей АТС, со временем повысит производительность автомобилей со снижением удельных затрат на выполнение транспортной работы.

Главная задача дисциплины как инженерной науки – разработка методов:

– высокоэффективного использования ДВС на предприятиях (в подразделениях) применительно к природно-климатическим и производственным условиям;

– обеспечения работоспособности и функционирования техники;

– обеспечения топливной экономичности двигателей в различных производственных условиях;

– снижения негативного влияния процесса работы двигателей на человека и окружающую среду.

1 ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

1.1 Энергетика в использовании техники по назначению

Эксплуатация ПДВС отражает три аспекта – использование их по назначению, поддержание в работоспособном состоянии и обеспечение функционирования.

Первый аспект – использование по назначению – подразумевает организационные мероприятия по обеспечению эффективного применения двигателей.

Второй – поддержание в работоспособном состоянии – обеспечение работоспособности путем технического обслуживания.

Третий – обеспечение функционирования – обеспечение эксплуатационными материалами (ТСМ, запчасти и другое).

1.1.1 Место ДВС в общей системе энергообеспечения

Двигатели внутреннего сгорания (ДВС) нашли применение в большинстве отраслей народного хозяйства, и в первую очередь на автотранспорте.

На автомобильные ДВС приходится около 25% общего количества потребляемой энергии, хотя КПД их невысок и находится в пределах:

– тихоходные дизели – 32–39%, возможный – 35–41%;

– быстроходные дизели – 32,41%, возможный – 36,43%;

– дизели с наддувом – 42,45%, возможный – 48,50%;

– карбюраторные ДВС – 25,30%, возможный – 28,32%.

Теоретически максимальный КПД бензиновых ДВС около 58%, дизелей – 64%.

При таком распространении автомобильные ДВС являются основными загрязнителями воздуха. Загрязнения от их использования составляют около 60% общего количества всех видов загрязнений.

Источником энергии для ДВС в 20 веке и в начале 21 века в основном являлись и являются продукты нефти. Если в 1910 году в мировом энергетическом балансе нефть составляла 3% (65% – уголь), то в 1990 году – 38%. Природный газ составлял в 1935 году 3%, а к концу 20 века – 24%. Тот и другой энергоноситель используется в настоящее время ДВС. Эти энергоресурсы обеспечивают 60% общемирового потребления. В России они составляют 70%.

Годовой объем производства энергоресурсов на душу населения в России составляет 6,3 тонны условного топлива. В связи со значительным экспортом (это треть добываемых ресурсов) потребление внутри страны составляет 4,2 тонны условного топлива. Глава Минприроды Александр Козлов в интервью изданию РБК оценил обеспеченность России запасами нефти в 59 лет, природным газом – в 103 года, по углю более 100 лет.

В первые десятилетия текущего века роль нефти в мире определяющая, а далее возрастет роль угля, атомной энергии, энергии биомассы и других ис-

точников. В перспективе следует ожидать падения производства в связи с ростом цен на энергоресурсы и активным поиском альтернативных источников и энергосберегающих технологий.

Цена на энергетические ресурсы тем больше, чем выше их энергосодержание и качество.

На мировом рынке в расчете на тонну условного топлива наибольшую цену имеет нефть. На 15–20% меньше цена на природный газ. На эффективность использования энергоресурсов значительное влияние оказывают операции по доставке продуктов – эффективность транспортных средств. Основные характеристики включают производительность и экономичность.

Производительность транспортных средств за час ($W_ч$)

$$W_ч = V_p \cdot M, \text{ т-км/ч}, \quad (1.1)$$

где V_p – скорость движения, км/ч;

M – масса перевозимого груза, т.

Экономичность транспортных средств

$$g = \frac{G_т}{W_ч}, \text{ кг/т-км}, \quad (1.2)$$

где G_T – часовой расход топлива, кг/ч.

Производительность автотранспорта 100–1500 т-км/ч, параметр экономичности 0,5–1,0 кг/(т-ч). Для сравнения характеристики железнодорожного транспорта: 4000–6000 т-км/ч и 1,2–1,6 кг/(т-ч) соответственно.

Наибольшее число ДВС в стране и мире установлено на автотранспортных средствах. Мировой парк АТС насчитывает 140 млн грузовых и 460 млн легковых автомобилей и автобусов. В мире на 1000 человек приходится 100 единиц АТС, в России – 190 ед. Для примера, в США приходится около 800 единиц на 1000 человек. Суммарная мощность автомобильных двигателей составляет 20–25 млрд кВт, а вырабатываемая ими энергия 30 триллионов кВт-ч/год. Это составляет четвертую часть всего объема энергии, осваиваемого человечеством.

По состоянию на 1 января 2024 года на территории Российской Федерации было зарегистрировано 54,5 млн единиц автомобильной техники. Такие данные получили эксперты агентства «АВТОСТАТ» в ходе подготовки отчета «Парк ТС в РФ на 01.01.2024 г.» 85% от этого количества приходится на легковые автомобили, которых насчитывается 46,36 млн штук. Также в России числится 4,17 млн легких коммерческих машин (LCV) и 3,6 млн грузовиков. Самым же малочисленным сегментом остаются автобусы, которых зарегистрировано 0,36 млн единиц.

Общий объем перевозок составляет 19 млн тонн (с услугами зарубежных фирм). Протяженность автодорог свыше 900 000 км, 10% из них грунто-

вые, а треть имеют гравийное, шлаковое или булыжное покрытие. Плотность автодорог общего пользования составляет 25 км на 1000 квадратных километров (в США – 800, в Западной Европе – 1000 км).

По прогнозу развития транспорта в России за 20 лет (с 2010 до 2030 гг.) потребление моторного топлива возрастет с 19 до 37 млн тонн пассажирским транспортом и с 48 до 83 млн тонн – грузовым. Внутри страны на рынке грузовых автоперевозок работают около 2 млн АТС. В среднем объем перевозок одного грузовика около 2200 тонн в год, а грузооборот – 53000 т-км. Среднесуточный пробег – 24 км.

Энергетика – система суперсложная, которая включает и компонент ДВС, представляющий динамическую систему с множеством элементов, в том числе и с хозяйственным комплексом государства.

В связи с тем, что ДВС преимущественно принадлежит к транспортной составляющей энергетики, обладающей указанными особенностями (динамичность, множество элементов с их связями и др.), – является **логистической системой**.

Логистика – дисциплина, целью которой является оптимальное управление материальными, совокупными информационными и финансовыми потоками от их возникновения в виде сырья до поглощения в виде конечного продукта. ***ДВС является заключительным этапом в логистическом канале.***

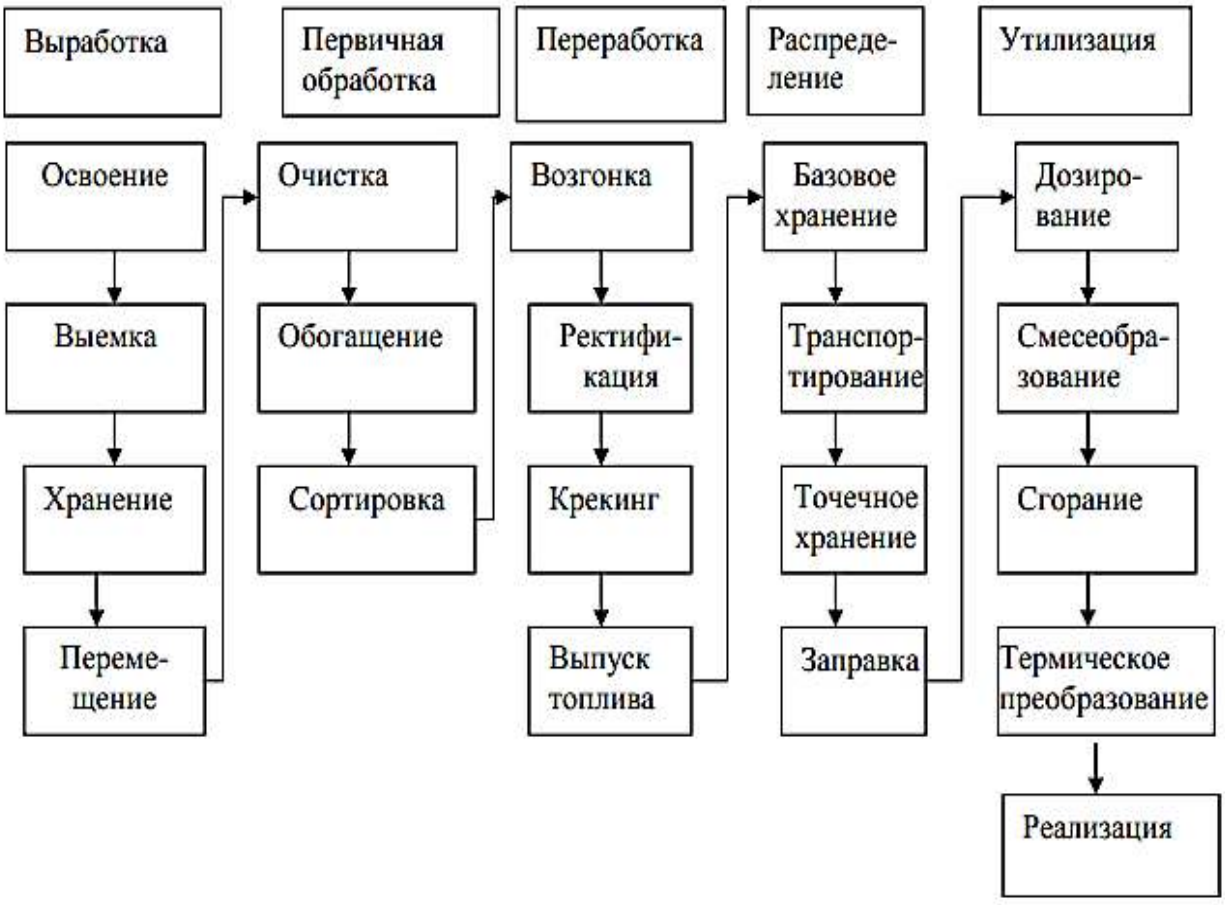


Рисунок 1.1 – Диаграмма энергетического потока (нефтяное топливо) до утилизации в ДВС

Сам же процесс энергопотока по логистическому каналу можно представить в виде диаграммы (рисунок 1.1).

Верхний ряд – сфера деятельности. Она делится на пять полос ответственности хозяйственных комплексов от выработки до утилизации. Информация о сферах деятельности располагается «послойно», в зависимости от полос ответственности хозяйственных комплексов.

Логистический и другие подходы интегрируются для решения проблем моделирования, проектирования, анализа и сопровождения сложных распределительных систем. Критерии оптимизации могут быть в виде суммарных затрат по логистической системе, корпоративной прибыли и других показателей.

1.1.2 Научно-технические проблемы и задачи энергетики

Эффективность реализации энергии, в том числе и ДВС, существенно сказывается на эффективности использования технических средств, применяющих энергоустановки, и в первую очередь на эффективности перевозок.

На данном этапе развития техники необходимо рассмотреть ряд проблем.

А. Развитие теоретических основ рабочих процессов в совершенствовании организации сгорания жидкого и газообразного топлива в традиционных двигателях, разработка вопросов применения альтернативных моторных топлив, совершенствование методов снижения уровня загрязнения окружающей среды и др.

Б. Совершенствование потребителей энергии по снижению удельной массы элементов техники, особенно на транспорте, повышению удельной мощности ДВС и КПД энергосиловых элементов и др.

В. Автоматизация и оптимизация управления энергосиловыми элементами с учетом условий работы энергоустановок и систем в целом, настройки машин на основной режим работы, обеспечение грамотного управления ими.

Г. Энергоснабжение технических систем и предприятий с обеспечением экономии энергоресурсов в соответствии с распределительной логистикой и оценкой энергоемкости продукции.

Д. Защита окружающей среды и здоровья людей за счет снижения дымности ДВС, снижения токсичности отработанных газов, обеспечения экологической безопасности использования моторных топлив, контроля качества и расходования топливосмазочных материалов (ТСМ).

Е. Повышение экономичности рабочего процесса энергоустановок за счет рационального управления машиной и её технологическим обслуживанием, использования логистических методов применения техники, совершенствования конструкции машин для конкретных условий работы, поддержания машин в исправном состоянии.

Ж. Для транспортных средств – развитие дорожной сети и оптимизация управления автотранспортными потоками.

Контрольные вопросы

1. Основные аспекты эксплуатации машин.
2. Место ДВС в энергообеспечении производства.
3. В чем состоит логистический подход в вопросах совершенствования системы энергообеспечения?
4. Проблемы энергетики, связанные с повышением эффективности технических средств по производству энергии и её реализации.

1.2 Факторы, влияющие на техническое состояние и эксплуатационные свойства двигателей

Одними из основных технико-экономических факторов двигателя являются надежность и долговечность. Долговечность характеризуется сроком службы и ресурсом. На ресурс же в свою очередь влияют многие факторы. В том числе:

– природно-климатические условия;

– режим работы двигателей (машин, на которых установлены ДВС);

– качество расходных материалов (рабочая смесь, смазочные материалы, технические жидкости) и другие факторы.

1.2.1 Природно-климатические факторы

Эти факторы сопровождают ДВС на протяжении всего периода эксплуатации. Они характеризуются температурой окружающего воздуха, атмосферным давлением, скоростью потоков воздуха, количеством атмосферных осадков, продолжительностью зимнего периода и др.

В свою очередь, температурный режим оценивается статистическими характеристиками:

– закон распределения температур;

– средняя годовая температура и её отклонения (min, мах и др.);

– средняя температура самого жаркого и самого холодного месяцев года;

– средняя продолжительность периода с определенными температурами (например ниже 10 °С, ниже минус 40 °С и др.).

Многие показатели климатических факторов взаимосвязаны. Количество дней со снежным покровом коррелируется со среднегодовой температурой воздуха зависимостью

$$Д_с = 263 - 10t_в, \qquad (1.3)$$

где $Д_с$ – количество дней в году со снежным покровом;

$t_в$ – температура воздуха среднегодовая, °С.

Основными климатическими факторами, оказывающими влияние на режимы работы ДВС, являются средняя годовая температура воздуха, его влажность и колебания температуры.

Средняя годовая температура воздуха, которая имеет широкий диапазон для страны: от плюс 16,8 °С – климат очень жаркий и сухой; до минус 16,6 °С – климат очень холодный.

Средняя влажность воздуха изменяется от 20% – климат жаркий и сухой до 80% – умеренно влажный и более 80% – влажный.

Внутри одного климатического района колебания температуры определяют так: от плюс 30 до минус 60 °С – климат очень холодный (Якутск); от плюс 30 до минус 50 °С – климат холодный (Салехард); от плюс 30 до минус 30 °С – климат умеренный (Екатеринбург).

Климатические факторы учитываются в первую очередь в расчете норм амортизационных отчислений. Здесь выделяются районы Крайнего Севера и местности, приравненные к нему, пустынно-песчаные и высокогорные районы.

Для этих районов нормативный срок службы уменьшен на 30%, норма амортизации на 30% увеличена. Для остальных районов применяется основная норма амортизации.

В расчете норм эксплуатационного расхода топлива выделены следующие районы: южные, увеличение зимней надбавки – 5%; для районов с умеренным климатом – увеличение на 10%; для северных – 15%; для Крайнего Севера и местностей, приравненных к нему – 20%.

Отдельно выделены горные местности. Для них установлено увеличение основной нормы от 5 до 10% в зависимости от высоты над уровнем моря.

В нормах периодичности технического обслуживания (ТО) учитывается степень переменного характера природно-климатических факторов. Учитываются эти факторы и в нормативах пробега до капитального ремонта автомобиля, трудоемкости текущего ремонта и расхода запасных частей. ГОСТ 16350-80 определены значения коэффициентов корректирования для автомобилей.

Недостатком в установленных нормативах является то, что все нормативы не учитывают модели и марки машин, типаж двигателей и другие особенности. На практике же многообразие машин имеет разную приспособленность к условиям эксплуатации и в первую очередь ДВС.

Надежная работа ДВС и его ресурс связаны с поддержанием оптимальной температуры двигателя, его узлов и систем. При эксплуатации ДВС автомобилей и тракторов при повышенных температурах и запыленности наблюдается загрязнение системы охлаждения с образованием слоя накипи на охлаждаемых поверхностях. Это приводит к перегреву двигателя, к местному перегреву трущихся поверхностей, появлению трещин, задиру деталей ЦПГ.

Скорость коррозии металла в системе охлаждения неработающего ДВС в 1,8 раза, а в работающем в 25 раз больше, чем в воде при комнатной температуре (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Скорость коррозии в сутки, г/м

Металл	В системе охлаждения ДВС		В воде при 20 °С
	работающего	неработающего	
Чугун	17,0	1,2	0,73
Сталь	17,0	1,2	0,7
Латунь	0,7	–	–

Для охлаждения ДВС применение всесезонной охлаждающей жидкости, которая обладает антикоррозионными свойствами, позволяет избегать указанных неприятностей. Однако следует отметить, что всесезонные жидкости имеют меньшую теплопроводность по сравнению с водой. В результате отвод тепла ухудшается и температура деталей ЦПГ увеличивается (поршня на 10–20 °С). При использовании тосола и других жидкостей необходимо увеличивать скорость их прокачки, на что тратится дополнительная энергия.

В условиях жаркого климата при работе двигателя температура бензонасоса на 20–30 градусов выше температуры окружающего воздуха, отчего снижается надежность из-за образования паровых пробок (бензиновый двигатель).

Забор воздуха в жаркую погоду не из моторного отсека, а снаружи – более холодного – повышает на 8% топливную экономичность двигателя автомобиля ЗИЛ. У двигателей ЯМЗ при увеличении температуры топлива в головке насоса высокого давления на 10 градусов снижается мощность и на 2% часовой расход топлива.

Около 10% от общего износа цилиндров ДВС автомобиля при эксплуатации в средней полосе и 20% на Крайнем Севере связано с пусками их при низкой температуре (для старых двигателей данные достигают 50–75% по причине низких вязкостно-температурных свойств).

Износ за один пуск при температуре минус 30 градусов приравнивают к восьмичасовой работе ДВС в нормальных условиях. Повышенный износ ЦПГ при холодных пусках вызывается задержкой поступления масла к трущимся поверхностям.

Изменение времени задержки поступления масел и расхода через цилиндровые гильзы в зависимости от температуры пуска ЯМЗ-238 представлены на рисунке 1.2.

Пути снижения износа при пуске холодных ДВС включают применение масел с пологой вязкостно-температурной зависимостью, прогрев двигателя перед пуском, разжижение масла топливом, быстрый прогрев после пуска, совершенствование системы смазки с целью ускорения подачи масла к трущимся поверхностям и другие пути.

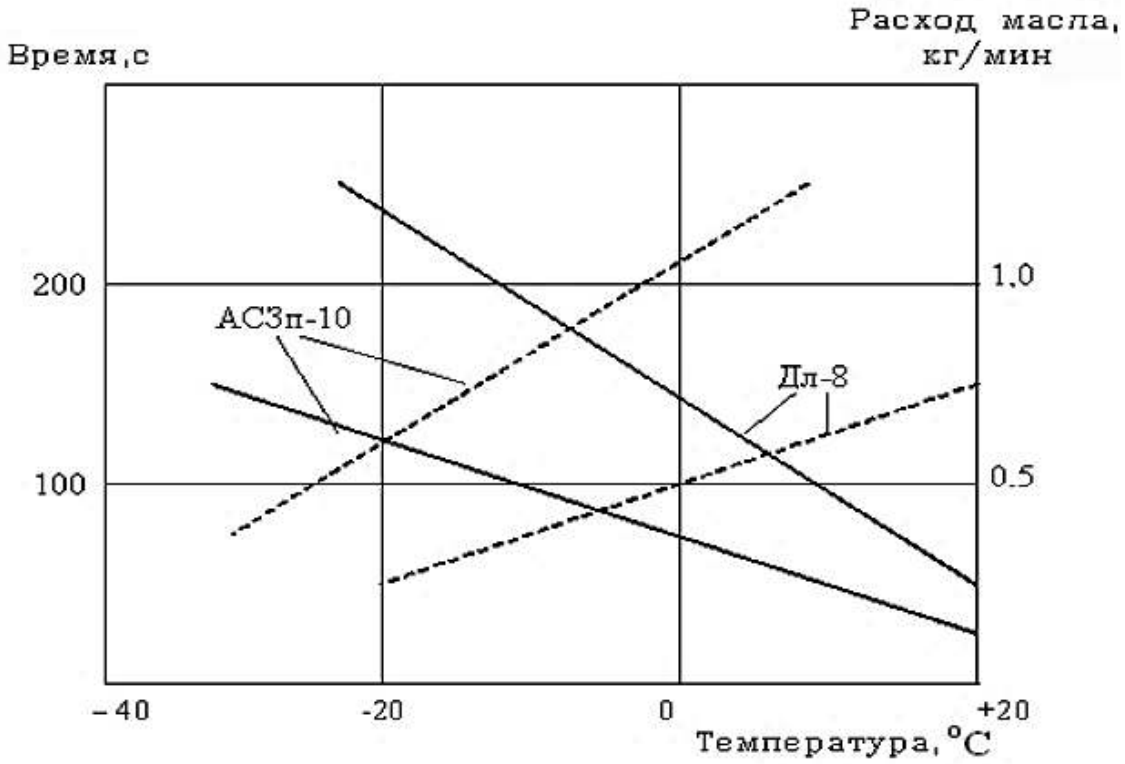


Рисунок 1.2 – Изменение времени (—— задержки поступления и ----- расхода масел через гильзы цилиндров) в зависимости от температуры при пуске дизельного двигателя ЯМЗ-238

1.2.2 Режимы работы двигателей

Работа ДВС, особенно установленных на автомобилях, тракторах и других мобильных машинах, характеризуется стохастическими режимами работы. Колебания режимов работы двигателей связаны с условиями работы самих машин. В том числе на автомобилях сказываются дорожные условия: покрытия дорог, состояние покрытий, профиль в продольном направлении, интенсивность движения, частота остановок и другие факторы. Для тракторов факторами колебания режимов являются вид работ, нестабильность обрабатываемого материала, рельеф местности и другие.

Нестабильные условия работы вызывают колебания крутящего момента и частоты вращения на коленчатом валу, повышенный расход топлива, увеличение износа трущихся поверхностей и снижение ресурса.

Работа двигателя в условиях эксплуатации автомобиля и других машин характеризуется почти непрерывным изменением крутящего момента и частоты вращения коленчатого вала. Характер и непостоянство режимов работы двигателя обусловлены назначением машины, климатическими условиями эксплуатации, индивидуальными особенностями оператора, эксплуатационными регулировками двигателя и другими факторами.

Для автомобиля эксплуатационный режим работы двигателя определяется комплексом тепловых, нагрузочных и скоростных режимов, формируе-

мых режимами холостого хода, разгона, движения с постоянной скоростью и торможения. Неустановившийся режим работы двигателя при этом составляет до 97% в условиях городского движения, 90–95% при движении по грунтовым дорогам и 30–35% времени движения на автомагистралях.

Используемая мощность двигателя при этом в большинстве случаев находится в пределах 13–78% от номинальной.

В зависимости от условий эксплуатации автомобиля на каждые 1000 км пробега приходится от 30 до 500 пусков и остановок двигателя. При неустановившихся нагрузочных и скоростных режимах работы двигателей в сравнении с установившимися режимами расход топлива возрастает на 5–7%.

Неустановившийся режим работы ДВС имеет место на режимах принудительного холостого хода и торможения двигателем. В условиях городского движения эти режимы доходят до 15–20% от общего времени движения. При этом наблюдаются высокие частоты вращения коленчатого вала при минимальной подаче топлива. Такой режим связан со значительной токсичностью отработавших газов, и его желательно по возможности сокращать.

Испытания при низкой температуре охлаждающей жидкости и масла показали, что износ цилиндров ДВС, нагруженных всего на 10–15% от максимальной мощности, имеет большие значения, чем при нагрузке его на 70–80% (при оптимальной температуре). Совместное увеличение нагрузок и скоростей в значительной мере изменяет тепловой режим двигателя и в целом повышает износ его деталей. Установлено, что скоростной режим работы двигателя на общий его износ оказывает большее влияние, чем режим повышенных нагрузок.

При неустановившихся режимах возможно возникновение детонации. Детонация в бензиновых двигателях возникает обычно при 100%-й нагрузке и частоте вращения коленчатого вала, близкой к значениям частоты при максимальном крутящем моменте. При детонации резко увеличиваются местные температуры, способствующие износу ЦПГ.

1.2.3 Качество расходных материалов

Основными расходными материалами для ДВС являются топливо, воздух, масла и консистентные смазки, технические жидкости.

Результаты исследований показывают, что **запыленность воздуха**, потребляемого двигателем для образования горючей смеси, колеблется в пределах от 0,0003 до 1,4 г/м. Степень запыленности зависит от времени года, типа дорожного покрытия для транспорта, погодных условий, высоты забора воздуха от поверхности движения, конструктивных особенностей расположения двигателя и его защиты, других факторов.

Основные составляющие пыли – окислы кремния, железа, алюминия и других элементов. До 80% содержания по весу частиц пыли, поступающей к воздухоочистителю, имеют размеры до 30 мкм. От 50 до 90% в массе пыли содержат кварц. Он отличается тем, что твердость его превышает твердость материалов, из которых изготовлены детали двигателя. В связи с этим имеет

место абразивное изнашивание. Опыт показывает, что 150 граммов пыли достаточно для полного износа ЦПГ ДВС.

От поступления в двигатель пыли износ двигателя составляет 33,8–68,9% от общего эксплуатационного износа.

В топливе при доставке, хранении и отпуске (заправке машин) накапливаются загрязняющие примеси. Из органических – асфальтосмолистые продукты, и неорганические – пыль, продукты коррозии, износа перекачивающих средств. При загрязнении имеет место корреляционная зависимость между составом загрязняющих примесей и запыленностью воздуха.

В зависимости от запыленности окружающего воздуха и сезона эксплуатации в баках автомобилей находится от нескольких граммов до 200–300 граммов пылевидных частиц на тонну топлива. В дизельном топливе содержание примесей колеблется от 50 до 400 г/т. В сильно запыленных условиях содержание примесей к моменту выработки топлива увеличивается в 2–3 раза по сравнению с содержанием при заправке. В пробах из баков тракторов обнаруживали свыше 2,5 граммов примесей в 1 литре топлива.

Размеры частиц в дизельном топливе и бензине не превышают 50 мкм. Основное количество частиц имеет размеры около 5 мкм.

Значительное место в порче топлива занимает его обводнение в результате конденсации паров воды на стенках емкостей при колебаниях температуры.

Загрязнение масла в работающем двигателе происходит за счет органических и неорганических примесей. Органические состоят в основном из продуктов неполного сгорания топлива, попадающего из камеры сгорания, воды, соединений серы и свинца. Неорганические примеси представляют собой пылевидные частицы, частицы износа деталей и другие.

Примеси попадают в масло при его транспортировке, хранении, заправке. В свежих маслах, при заправке их в двигатель, примеси достигают 0,23%, основная часть которых состоит из некачественных (выпавших) присадок. Скорость загрязнения представлена в таблице 1.2.

Таблица 1.2 – Средняя скорость загрязнения масла

Тип двигателя	Средняя скорость	
	мг/л.с.-ч	мг/л.с.-км
1. Дизели четырехтактные:		
– автомобильные	45	1,5
– тракторные	50	–
2. Дизели двухтактные	70	2,3
3. Карбюраторные ДВС автомобилей:		
– легковых	15	0,3
– грузовых	20	0,7
4. Газовые ДВС	4	0,14

Существенное значение в загрязнении масел имеют присадки. В работавших маслах с присадками доля неорганических примесей зачастую превосходит долю органических. При этом неорганические примеси в маслах с присадками состоят в основном из зольных частиц присадки, которые могут способствовать абразивному изнашиванию. Учитывая это, при использовании зольных присадок, да еще малостабильных, должны повышаться требования к эффективности очистки масла.

Размеры частиц примесей в масле составляют 0,5–2 мкм. В отработавших маслах без присадок загрязнение состоит из органических частиц (до 92% состава).

Неорганические примеси имеют высокую степень дисперсности, так как они проникают через воздухоочиститель и подвергаются многократному дроблению в трущихся парах.

Таблица 1.3 – Состав загрязняющих примесей в отработавшем масле (% по весу)

Загрязняющие примеси	Карбюрат. ДВС	Дизели	Газовые ДВС
Асфальтены	3...15 / 6...30	2...8 / 3...10	10...22 / 18...37
Карбены, карбоиды, сажа	20...64 / 38...85	56...62 / 80...90	10...18 / 17...28
Несгораемые	30...68 / 10...31	20...52 / 4...13	55...85 / 42...58

Примечание. В числителе – масло с присадками, в знаменателе – без присадок.

Под действием асфальтослоистых продуктов и попадания в масло воды большинство частиц укрупняются (коагуляция), выпадают в осадок и образуют на деталях отложения. Применение в маслах моюще-диспергирующих присадок примеси размельчаются на мелкие взвешенные частицы вплоть до полного растворения (солюбилизации) органических частиц.

Все вышеуказанное связано с надежностью и долговечностью ДВС, технико-экономическими показателями машин, на которых они установлены, себестоимостью продукции, в производстве которой они участвуют, и услуг, которые оказывают предприятия другим предприятиям и частным потребителям этих услуг.

Контрольные вопросы

1. Климатические факторы, влияющие на эффективность использования ДВС.
2. Нормы эксплуатационного расхода топлива в связи с природноклиматическими условиями работы ДВС.
3. Влияние температуры окружающего воздуха на состояние ДВС.

4. Связь режимов работы двигателей с условиями работы машин.

5. Запыленность воздуха, потребляемого двигателем, и его износ.

6. Влияние эксплуатационных факторов на эффективность присадок в смазывающих материалах.

1.3 Эксплуатационные свойства ДВС

1.3.1 Основные эксплуатационные показатели дизельного двигателя

Основными эксплуатационными показателями дизельного двигателя являются:

– эффективная мощность, N_e, кВт (л.с);

– крутящий момент, $M_{дв}$, кН·м;

– массовый часовой расход топлива, G_T, кг/ч;

– удельный расход топлива, g_e, г/кВт·ч;

– частота вращения вала двигателя, n, об/мин;

Все эти показатели снимаются на тормозных стендах (n, $M_{дв}$, G_T) и рассчитываются по результатам испытаний (N_e, g_e);

Эффективная мощность двигателя

$$Ne = 0{,}105 M_{дв} \cdot n, \text{ кВт}, \tag{1.4}$$

где $M_{дв}$ – крутящий момент двигателя, кН-м;

n – частота вращения коленчатого вала двигателя, об/мин.

Удельный расход топлива

$$g_e = \frac{1000 \cdot G_т}{N_e}, \text{ г/кВт-ч}, \tag{1.5}$$

где $G_Т$ – массовый часовой расход топлива, кг/ч.

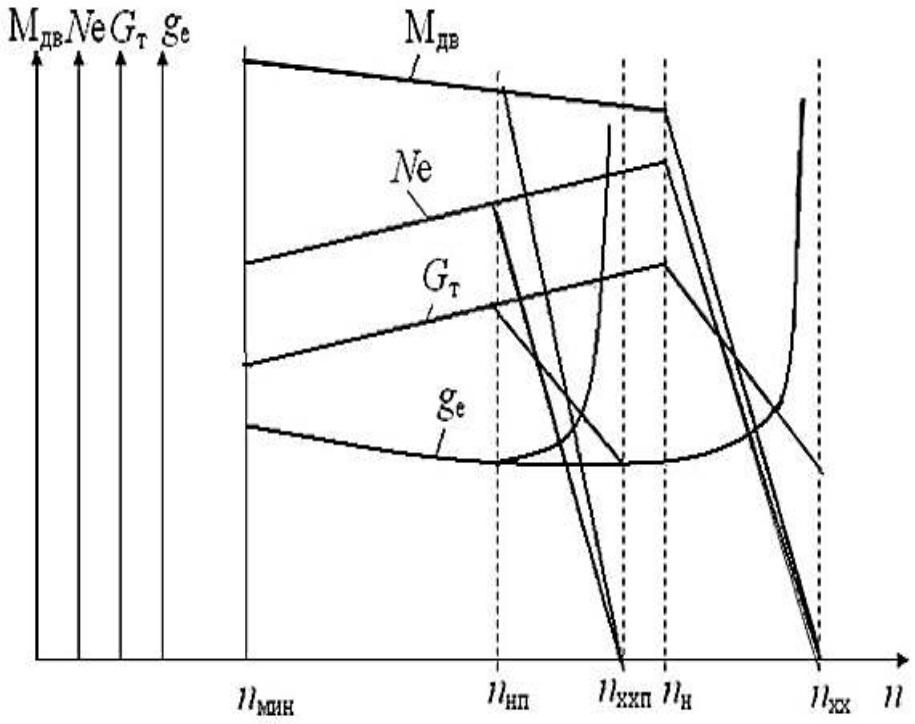
Полную характеристику эксплуатационных показателей двигателя дает регуляторная его характеристика.

Для оценки эксплуатационных показателей двигателя удобно пользоваться характеристикой показателей в функции частоты вращения вала двигателя (скоростная характеристика). Соотношение этих показателей наглядно видно на скоростной характеристике дизельного двигателя с всережимным регулятором (рисунок 1.3).

График показывает, что двигателю можно задать множество скоростных режимов работы путем изменения подачи топлива. При этом изменяется характеристика двигателя.

Каждому режиму будут соответствовать свои номинальные значения показателей. Методика построения характеристики на промежуточных режимах следующая.

Задается значение частоты вращения вала двигателя на холостом ходу пониженного скоростного режима – n_{xxn} (устанавливается акселератором).



$n_н$ и $n_{хх}$ – частота вращения номинальная и холостого хода, соответствующая нормальному скоростному режиму; $n_{нп}$ и $n_{ххп}$ – частота вращения, соответствующая пониженному скоростному режиму

Рисунок 1.3 – Регуляторная характеристика двигателя с промежуточным режимом

Номинальную частоту вращения на пониженном скоростном режиме можно определить так:

$$n_{нп} = n_н - 1{,}08(n_{хх} - n_{ххп}). \quad (1.6)$$

Расход топлива на пониженном скоростном режиме рассчитывается по формуле

$$G_{тххп} = G_{тхх}\frac{n_{ххп}}{n_{хх}}, \text{ кг/ч} \quad (1.7)$$

$$\text{и } g_{en} = \frac{1000G_{тп}}{N_{en}}, \text{ г/э кВт-ч}, \quad (1.8)$$

где $G_{ТП}$ и N_{en} – значения расхода топлива и мощности, соответствующие любой точке частоты вращения между n_{xxn} и $n_{НП}$.

На каких же режимах следует эксплуатировать двигатель? Этот режим близок к номинальной загрузке – при полной подаче топлива. Это может

быть достигнуто расчетом и подбором состава исполнительных органов машины, на которой установлен двигатель.

Недогрузка двигателя приводит к нарушению теплового режима и повышенному износу, отложению смол и закоксовыванию ЦПГ.

Перегрузки двигателя приводят к перегреву и увеличению износа. При этом проявляется неустойчивость работы, возрастают колебания частоты вращения. Это ведет к интенсивному износу и поломкам. Работы при перегрузках и на холостом ходу следует избегать.

При недогрузке на нормальном скоростном режиме целесообразно включать повышенную передачу, если это мобильное средство, но снижать частоту вращения вала двигателя (подачу топлива).

Дать оценку реализации энергетических возможностей двигателя можно по степени использования мощности и номинального крутящего момента:

$$\eta_N = \frac{N_i}{N_н}, \quad \eta_М = \frac{М_i}{М_н}, \tag{1.9}$$

где η_N и $\eta_М$ – коэффициенты использования мощности и крутящего момента;

Ni и М*i* – мощность и крутящий момент, соответствующие заданной нагрузке;

$N_н$ и $М_н$ – мощность и крутящий момент, соответствующие номинальной частоте вращения вала двигателя.

Связь между коэффициентами использования мощности η_N и крутящего момента $\eta_М$ выражается соотношением

$$\eta_N = \eta_М \frac{n_i}{n_н}, \tag{1.10}$$

где n_i – частота вращения вала двигателя при заданной нагрузке;

$n_н$ – номинальная частота вращения (при максимальной нагрузке).

При номинальной нагрузке двигателя $n_i = n_н$. При этом выполняется условие $\eta_N = \eta_М$. Если эти значения близки к единице, обеспечивается минимальный расход топлива.

Однако варьирование сил сопротивления рабочих машин вынуждает снижать степень использования мощности и крутящего момента.

Чем больше коэффициент вариации, тем меньше значения η_N и η_M. Это создает запас мощности для преодоления временных перегрузок.

Крутящий момент в любой точке приближенно можно определить:

– на регуляторной ветви

$$М_{ip} = М_н \frac{(n_{xx} - n_i)}{(n_{xx} - n_н)} \ ; \tag{1.11}$$

– на корректорной ветви

$$М_{ik} = М_н + (М_{max} - М_н) \frac{(n_н - n_i)}{(n_н - n_{max})}. \tag{1.12}$$

Мощность на указанных выше участках определяется соответственно:

$$N_{ip} = M_{ip} \cdot n_i \text{ и } N_{ik} = M_{ik} \cdot n_i. \quad (1.13)$$

По допустимому значению коэффициента использования крутящего момента можно определить допустимое значение частоты вращения $n_{i\text{доп}}$ в сторону уменьшения:

$$n_{i\text{доп}} = n_{xx} - \eta_{\text{мдоп}} \cdot (n_{\text{хх}} - n_{\text{н}}), \quad (1.14)$$

где $\eta_{\text{мдоп}}$ – коэффициент использования крутящего момента.

Условия производства зачастую не позволяют обеспечить нормальную загрузку двигателя. В этом случае снижают подачу топлива – переводят работу двигателя на пониженный скоростной режим и включают повышенную передачу мобильного средства.

Это позволяет экономно расходовать топливо, но снижает коэффициент приспособляемости – перегрузочную способность двигателя.

Способность двигателя преодолевать перегрузки оценивается и коэффициентом приспособляемости двигателя по крутящему моменту $К_{\text{ммах}}$ и по частоте вращения $К_{\text{пmax}}$:

где M_{max} – максимальный крутящий момент; n_{max} – частота вращения к/в при максимальном крутящем моменте.

Для тракторных дизельных двигателей первый находится в пределах 1,05–1,2; второй – 1,3–1,6.

А степень неравномерности регулятора

$$\Delta = \frac{n_{xx} - n_{\text{н}}}{n_{\text{ср}}} = \frac{2(n_{xx} - n_{\text{н}})}{n_{xx} + n_{\text{н}}}. \quad (1.15)$$

Коэффициент уменьшения частоты вращения коленчатого вала двигателя

$$К_{\text{уч}} = \frac{n_{\text{мин}}}{n_{\text{н}}}. \quad (1.16)$$

1.3.2 Выбор рациональных режимов работы двигателя. Оценка экономичности работы двигателя

Вероятностный характер изменения сопротивления рабочих машин, на которых установлен двигатель, вызывает изменение сил сопротивления на валу двигателя. Эти варьирования подчинены закону нормального распределения. При этом рост варьирования приводит к снижению частоты вращения и мощности двигателя, росту удельного расхода топлива.

Рекомендации по оптимизации степени загрузки двигателя основаны на экспериментальных исследованиях, так как в процессе взаимосвязаны многие факторы, функциональная взаимозависимость которых не определена.

Оптимальные значения степени загрузки двигателей по коэффициенту использования номинального крутящего момента в зависимости от коэффициента вариации сил сопротивления приведены в таблице 1.4.

При оптимальном значении коэффициента загрузки $п_{мд}$ можно рассчитать оптимальную частоту вращения вала двигателя (рассмотрено выше). Контролируя показания тахоспидометра (например, трактора), можно установить оптимальную степень загрузки двигателя.

Автоматизация процесса поддержания оптимальной степени загрузки двигателя в условиях варьирования внешних сил сопротивления позволит подняться на новую ступень развития науки и практики по повышению производительности рабочих машин и агрегатов, рациональному использованию энергии.

Таблица 1.4 – Оптимальные значения коэффициента использования номинального крутящего момента

Двигатель	$\eta_{м\ оптим}$, при варьировании нагрузки		
	$v_м = 10\%$	$v_м = 20\%$	$v_м = 30\%$
Д-240	0,966	0,926	0,884
СМД-60	0,978	0,948	0,913
СМД-62	0,979	0,952	0,919
ЯМЗ-240	0,973	0,840	0,904

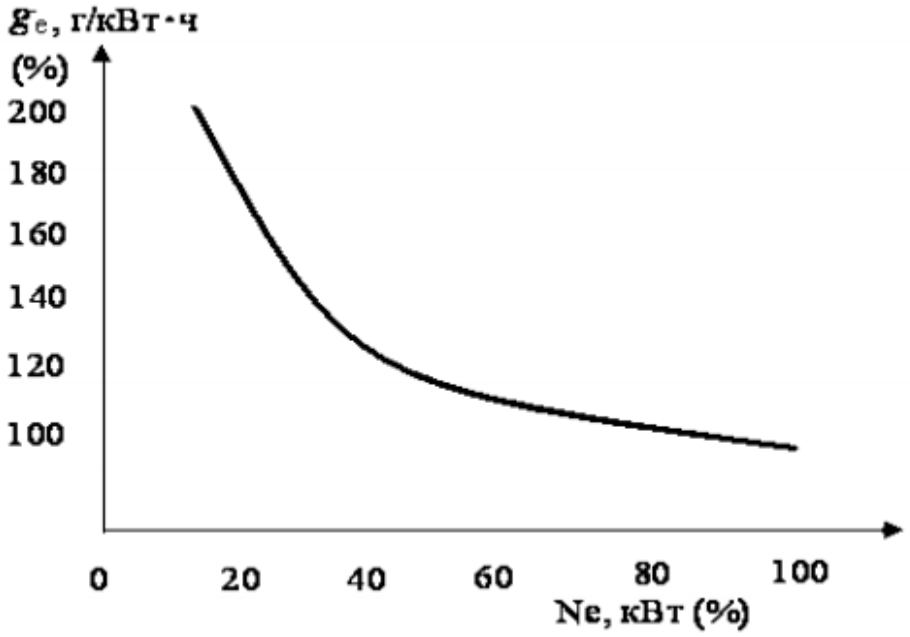


Рисунок 1.4 – Зависимость удельного расхода топлива от степени загрузки ДВС

Экономический КПД двигателя

$$\eta_{\text{дв}} = \frac{3600 \cdot 1000}{g_e \cdot H_{\text{н}}}, \qquad (1.17)$$

где $H_{\text{н}}$ – низшая теплотворная способность топлива (для дизельного $H_{\text{н}} = 41690$ кДж/кг);

g_e – берется при номинальной частоте вращения вала двигателя.

Экономичность двигателя – зависимость удельного расхода топлива от загрузки двигателя представлена на рисунке 1.4.

1.3.3 Влияние атмосферных условий и технического состояния на эксплуатационные показатели ДВС

А. Влияние атмосферных условий

Эксплуатационные показатели зависят от температуры и влажности окружающего воздуха, атмосферного давления.

Температура. Отрицательное влияние низких температур на работу двигателя проявляется за счет:

– увеличения вязкости эксплуатационных материалов и в первую очередь дизельного топлива и смазочных материалов;

– снижения испаряемости бензинов;

– кристаллизации воды в бензине и углеводородов в дизельном топливе;

– повышения энергозатрат на пуск двигателя и других факторов.

Влияние высоких температур имеет место:

– через снижение наполнения цилиндров и переобогащение рабочей смеси;

– перетекание топлива через зазоры плунжерных пар и форсунок;

– ухудшение подачи топлива в камеру сгорания;

– образование паровых пробок.

Давление. Атмосферное давление сказывается на эффективности работы двигателя. При перепаде высоты над уровнем моря в 1 километр плотность воздуха изменяется на 9%; коэффициент избытка воздуха в рабочей смеси a – на 5–6%; эффективная мощность N_e – на 12–13%; удельный расход топлива g_e – на 14–15%.

Б. Влияние состояния двигателя

Изменение состояния двигателя характеризуется износом сборочных единиц, увеличением зазоров в сопряжениях, отложением на сборочных единицах продуктов сгорания, окислением топлив и масел, ухудшением свойств материалов.

Расход моторесурса ДВС, износ трущихся поверхностей, нарушение регулировок приводят к ухудшению его показателей, снижению мощности и росту удельного расхода топлива.

В. Влияние привода вспомогательного оборудования на эксплуатационные показатели

Затраты мощности, связанные с приводом вспомогательного оборудования, в сумме значительно снижают эффективную мощность и особенно мощность тяговую (для тракторов), и мощность, реализуемую через движители транспортных средств. Вспомогательное оборудование включает компрессор, вентилятор, масляный и водяной насосы и т. д.

Таблица 1.5 – Потери мощности двигателя автомобиля КамАЗ на привод механизмов (вспомогательного оборудования)

Объекты привода	Затраты мощности (кВт) при частоте вращения вала двигателя, n_e, мин^1		
	1000	1800	2600
1. ТНВД	0,18	0,44	0,74
2. Насосные ходы	0,96	4,7	13,1
3. Впускная система	1,32	2,65	3,46
4. Выпускная система	0,92	1,54	2,2
5. Газораспред. механизм	1,03	2,65	4,12
6. КШМ	0,26	0,88	3,2
7. Масляный насос	0,44	0,96	1,84
8. Водяной насос	0,18	0,74	2,13
9. Генератор	1,73	1,92	2,06
10. Компрессор	0,48	0,88	1,32
11. Вентилятор	0,82	3,24	9,93
12. Насос гидроусилителя	3,68	6,6	9,3
Всего: – мощность, N, кВт	12,0	27,2	53,4
– крутящий момент, М, Н·м	114,6	143,2	196,0

Момент, потребный для привода оборудования $M_{по}$, зависит от угловой скорости вала двигателя ω и описывается с достаточной точностью параболой

$$M_{по} = M_{п} + b \cdot \omega^2, \tag{1.18}$$

где $M_{п}$ – момент, определяющий потери на трение в ЦПГ компрессора, зацеплениях, уплотнениях и подшипниках;

b – коэффициент, характеризующий потери на привод вентилятора, насосов, усилителя руля и др.

Потери мощности двигателя на привод механизмов выглядят следующим образом: масляный насос – 1–1,5%, водяной насос – 2–4%, вентилятор – 4,8%, генератор – 0,3–0,4%, глушитель – 2%, воздушный фильтр – 1–1,5%.

Сравнительные данные по затратам мощности двигателя автомобиля КамАЗ приведены в таблице 1.5.

Суммарным затратам мощности 12,0; 27,2; 53,4 кВт отвечают значения крутящего момента, соответственно 114,6; 143,2 и 196,0 Н·м.

Задача конструкторов и изобретателей – в первую очередь обратить внимание на усовершенствование более затратных по мощности узлов и систем.

Контрольные вопросы

1. Основные эксплуатационные показатели дизельного двигателя.
2. Скоростные режимы дизельного двигателя.
3. Оценка степени использования мощности и номинального крутящего момента дизельного двигателя.
4. Рациональные режимы работы дизельного двигателя.
5. Оценка экономичности работы дизельного двигателя.
6. Влияние атмосферных условий на эксплуатационные показатели ДВС.
7. Влияние технического состояния на эксплуатационные показатели ДВС.
8. Влияние привода вспомогательного оборудования на эксплуатационные показатели ДВС.

1.4 Приспособленность двигателя к условиям эксплуатации

1.4.1 Приспособленность и условия

Эффективность использования машин определяется во многом их качеством. Качество – совокупность свойств изделия, обуславливающих пригодность его для использования по назначению. Для автомобиля это грузоподъемность, динамичность, топливная экономичность, проходимость, управляемость, комфортность и другие. Из приведенного списка свойств автомобиля, определяющих пригодность, более половины относится к двигателю. В том числе динамичность, топливная экономичность, комфортность и другие.

Под свойством следует понимать объективную особенность изделия, которая закладывается при его создании, а проявляется при его эксплуатации. При этом свойство «надежность» определяется способностью изделия (двигателя) сохранять на установленном уровне значения показателей его качества и эффективности во времени (расходовании ресурса). А уровень пока-

зателей машин, на которых установлен двигатель, да и самого двигателя, зависит от условий эксплуатации.

Условия эксплуатации выявляют свойство двигателя – приспособленность к этим условиям (адаптивность).

Приспособленность проявляется в условиях эксплуатации. При изменении условий эксплуатации изменяются и потребительские свойства машины. Степень изменений различна для двигателей разных типов, марок и моделей. Это является проявлением различного уровня приспособленности (адаптивности). Например, снижение температуры окружающего воздуха оказывает различное влияние на расход топлива разных автомобилей с различными двигателями.

Качество нового автомобиля в стандартных (нормальных, эталонных) условиях эксплуатации характеризуют номинальные значения показателей. Стандартные факторы для автомобиля – температура воздуха плюс 20 °С; дорога прямолинейная, горизонтальная с гладким покрытием.

Номинальные значения показателей являются опорными (отправными) при назначении и корректировании нормативов, к которым относятся техническое обслуживание (ТО), ремонт, расход топлива и другие. Эти значения приводятся в нормативно-технической и конструкторской документациях.

В реальных условиях, которые часто значительно отличаются от стандартных, показатели качества не соответствуют номинальным. Это сказывается на снижении эффективности работ. При температуре воздуха минус 40 °С расход топлива у автомобилей с карбюраторным двигателем увеличивается до 20–30%. Кроме того, на автомобиль и двигатель оказывает существенное влияние и длительность эксплуатации. Влияние условий и длительности эксплуатации на эксплуатационные показатели машин отражено на рисунке 1.5.



Рисунок 1.5 – Влияние условий и длительности эксплуатации на эксплуатационные показатели машин

Если влияние условий эксплуатации зависит от приспособленности к этим условиям, то влияние длительности зависит от надежности машины. Совокупность факторов условий эксплуатации называют факторным пространством.

Факторное пространство включает природно-климатические условия, средства облегчения запуска, организацию ремонта и обслуживания, производственно-техническую базу и другие.

Двигатели и машины в целом определенного срока службы и в определенных условиях использования характеризуются действительными показателями, которые носят название «реализуемые».

Эффективность работы машин обеспечивается реализуемыми показателями, которые иногда значительно отличаются от номинальных. Схема формирования реализуемых показателей представлена на рисунке 1.6.

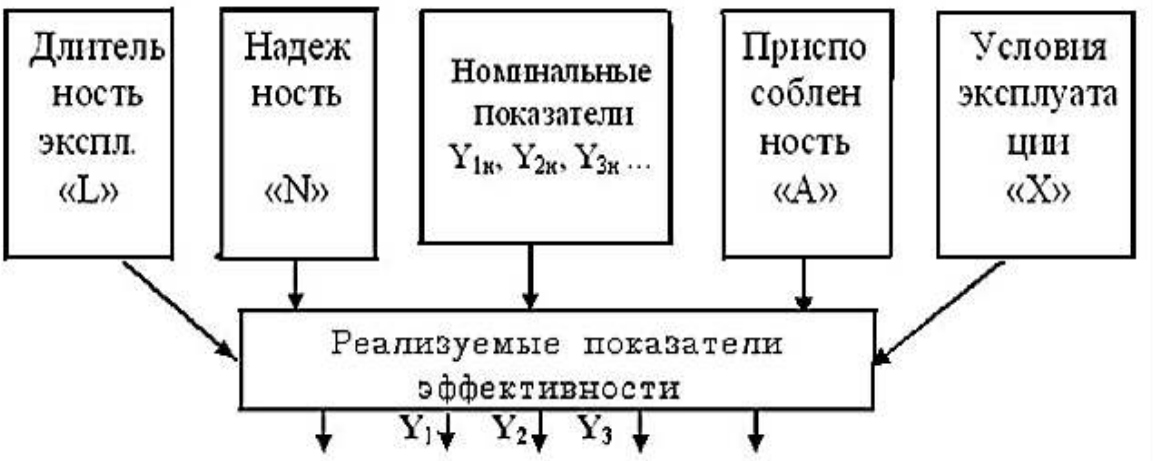


Рисунок 1.6 – Формирование реализуемых показателей

Общие принципы механизма формирования показателей можно представить моделью

$$Y = f(Y_н; L; N; A; X), \tag{1.19}$$

где $Y_н$ – номинальные значения показателей;

L – длительность эксплуатации;

N – надежность машины;

A – приспособленность машины к условиям;

X – условия эксплуатации.

Рассматриваемый подход разграничивает составляющие показателя и причины его изменения. Это позволяет управлять реализуемыми показателями Y_1, Y_2 ... Y_i при создании машины и её использовании. Рассмотренные положения являются концепцией формирования реализуемых показателей эффективности пространственно-временной системы, которая учитывает длительность и условия эксплуатации, в результате действия которых проявляются надежность и приспособленность.

Надежность – сдерживающий фактор физического старения.

Приспособленность – сдерживающий фактор к условиям эксплуатации.

1.4.2 Показатели приспособленности

Для количественной оценки приспособленности машины к условиям эксплуатации можно использовать коэффициент приспособленности и поправку на приспособленность.

Коэффициент приспособленности показывает во сколько раз значение показателя эффективности в данных конкретных условиях отличается от номинального значения

$$К_п = \frac{Y}{Y_н}, \tag{1.20}$$

где Y – значение показателя в данных условиях;

$Y_н$ – то же номинальное значение.

Обеспечение величины коэффициента $К_п$, близкой к единице, свидетельствует о высокой приспособленности машины к данным условиям эксплуатации. Имея значение коэффициента $К_п$ для различных показателей и условий, а также номинальные значения этих показателей, легко найти значение показателя в данных конкретных условиях:

$$Y = К_п \cdot Y_н. \tag{1.21}$$

Сравнивая значения коэффициента $К_п$ различных машин (двигателей), можно сделать вывод о степени их совершенства по какому-либо показателю.

В качестве примера сравнивается степень приспособленности транспортных средств ЗИЛ и ГАЗ к температуре минус 40 °С.

Минимальное значение расхода топлива автомобиля ЗИЛ – 22 кг/100 км, ГАЗ – 21 кг/100 км.

При температуре минус 40 °С расход составил для ЗИЛ – 27 кг/100 км, а ГАЗ – 26,0 кг/100 км.

Коэффициент приспособленности $К_п$ для ЗИЛ составил 1,23, а для ПАЗ – 1,24. ЗИЛ лучше приспособлен для работы при низкой температуре. По этому показателю он более совершенен.

Поправка на приспособленность показывает, на сколько текущее значение показателя отличается от номинального:

$$\Delta Y = Y - Y_н. \tag{1.22}$$

Отсюда текущее значение Y равно:

$$Y = Y_н + \Delta Y. \tag{1.23}$$

Для определения $К_п$ и ΔY при любых значениях фактора условий эксплуатации необходимо знать математическую модель приспособленности и значения входящих в нее параметров. К их числу относятся параметр приспособленности $П_п$ и параметр чувствительности S.

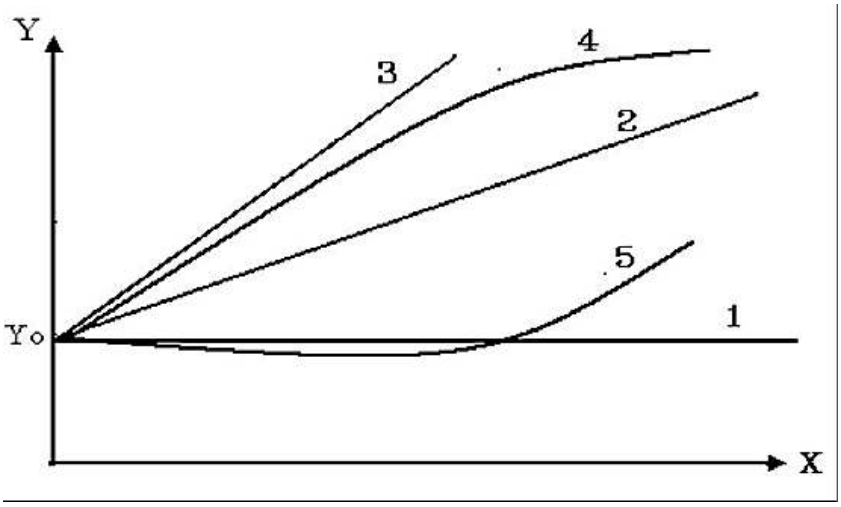


Рисунок 1.7 – Графическая модель зависимостей показателей

Математическая модель для приведенных зависимостей на рисунке 1.7 имеет вид

$$Y = Y_0 + S \cdot X^{\Pi_п}. \tag{1.24}$$

Здесь в качестве параметра чувствительности выступает угловой коэффициент S. В качестве параметра приспособленности – степень переменной X (значений фактора влияния).

Для горизонтальной прямой (1) $S = 0$; $\Pi_п = 1$; $Y = Y_0$.

Для прямой 2 и 3 $Y = Y_0 + S \cdot X^{\Pi_п}$; $0 < S > \infty$; но $S_2 < S_3$; а $\Pi_п = 1$.

И $$Y = Y_0 + S \cdot X.$$

Для зависимости 4 $Y = Y_0 + S \cdot X^{\Pi_п}$; $0 < \Pi_п < 1$.

Параметр $\Pi_п$ для зависимости 5 – $\Pi_п > 1$.

1.4.3 Эксплуатационная технологичность машин

Техническое обслуживание машин в период эксплуатации связано с затратами труда и средств, величина которых в значительной степени зависит от их приспособленности к проведению мероприятий.

Технологичность технических объектов – совокупность свойств, характеризующих их приспособленность к изготовлению, эксплуатации и ремонту при заданном качестве и минимальных затратах труда, времени, средств и материалов. Различают производственную, эксплуатационную и ремонтную технологичность.

Эксплуатационная технологичность машин – совокупность свойств, обеспечивающих приспособленность их к техническому и технологическому обслуживанию, транспортировке, хранению, диагностированию, устранению

отказов и неисправностей. Она связана с взаимозаменяемостью, унификацией, контролепригодностью, доступностью, стабильностью регулировок и др.

Взаимозаменяемость представляет собой способность сборочных единиц занимать свои места в машине (агрегате) без дополнительной обработки и обеспечивать её нормальную работу. Различают взаимозаменяемость геометрическую и функциональную.

Унификация составных частей машин и механизмов определяется уровнем применения унифицированных сборочных единиц. Это позволяет использовать для восстановления работоспособности машин типовые изделия, технологические процессы и др.

Контролепригодность характеризуется наличием на объекте контроля встроенных средств (датчиков, индикаторов), указывающих состояние сборочных единиц. Среди них минимальный набор диагностических параметров, удобство подсоединения внешних приборов диагностирования, трудоемкость определения параметров и др.

Доступность характеризуется легкостью доступа к обслуживаемым или заменяемым объектам при ТО, диагностировании и восстановлении работоспособности.

Стабильность регулировок определяется периодичностью их выполнения в процессе использования машины по назначению.

Основными количественными характеристиками технологичности машин являются оперативное время выполнения операций, суммарное время ТО, трудоемкость обслуживания и другие.

Оперативное время – часть рабочего времени, в течение которого выполняется операция. Оно складывается из основного и вспомогательного (подготовка к ТО и другие).

Суммарное время ТО – время от начала обслуживания до его завершения (в том числе ожидание обслуживания, подготовка материалов, запасных частей и инструмента и другие).

Оперативная трудоемкость ТО складывается из трудоемкости обслуживания сборочных единиц машины. Иногда целесообразно оценивать обслуживание по видам работ (очистительно-моечные, крепежные, контрольно-регулировочные, разборочно-сборочные и другие).

Обобщающим показателем оценки приспособленности машины к ТО является ***удельная оперативная трудоемкость***, которая определяется отношением трудоемкости ТО машины в целом к ее наработке. Сравнение трудоемкости ТО для разных марок машин, периодов их использования, наработки позволяет оценить технический уровень машин и определить направления по совершенствованию конструкций и технологии обслуживания.

Контрольные вопросы

1. Свойство двигателя – приспособленность к условиям эксплуатации (адаптивность).
2. Влияние условий и длительности эксплуатации на эксплуатационные показатели машин.

3. Коэффициент приспособленности машины к условиям эксплуатации.

4. Поправка на приспособленность машины к условиям эксплуатации.

5. Эксплуатационная технологичность машин (взаимозаменяемость, унификация).

6. Эксплуатационная технологичность машин (контролепригодность, доступность, стабильность регулировок).

7. Основные количественные характеристики технологичности машин.

1.5 Влияние условий эксплуатации на топливную экономичность

1.5.1 Влияние температуры на расход топлива

Причиной повышения расхода топлива машинами с ДВС при низких температурах является в первую очередь увеличение его потребления двигателем. Причина состоит в ухудшении рабочего процесса из-за повышения плотности и роста массы забираемого воздуха. Плотность воздуха связана с повышением его вязкости, снижением испаряемости. Все это обедняет горючую смесь, горение её менее интенсивное. Результат – неполное сгорание топлива и повышение расхода.

При низких температурах наблюдаются случаи обледенения карбюратора (диффузора), что приводит к росту расхода топлива и отказу работы двигателя. Для дизельных двигателей характерно в таких условиях запаздывание с воспламенением и неполное сгорание топлива.

Особые трудности при низких температурах связаны с запуском двигателей. В связи с этим эксплуатационники идут на условия круглосуточной работы двигателей. А это вызывает дополнительный расход топлива, износ трущихся поверхностей, сокращение ресурса. Дополнительный расход зачастую связан с прогревом двигателя после запуска.

Указанные явления у разных двигателей проявляются в разной степени. Этот факт объясняется разной приспособленностью двигателя (машины), которая зависит от компоновки машины, положения двигателя на машине, его защиты, управления потоками воздуха, систем регулирования теплового состояния. Непроизводительный расход топлива связан с количеством стоянок и остановок машины. Суммарные потери за счет стоянок (прогрев двигателя после остывания и других причин) при температуре минус 40 ^{o}C по сравнению с движением без остановок от 2,6 до 9% в городе и 2,5% – за городом.

Зависимость расхода топлива двигателем автомобиля от температуры окружающего воздуха при различной скорости движения (частоте вращения коленчатого вала двигателя) представлена на рисунке 1.8.

Влияет на повышение расхода топлива и высокая температура окружающего воздуха. Она ведет к повышению температурного режима двигателя. Повышение температуры ведет к понижению плотности топлива и уменьшению его массы при заполнении цилиндров. В то же время понижа-

ются плотность и вязкость топлива, повышается его испаряемость. В связи с этим горючая смесь оказывается переобогащенной и сгорает при работе не полностью.

Кроме этого высокая температура и переобогащенная смесь приводят к детонации топлива, образованию паровых пробок в системе подачи топлива, калильному зажиганию. В итоге наблюдается перерасход топлива.

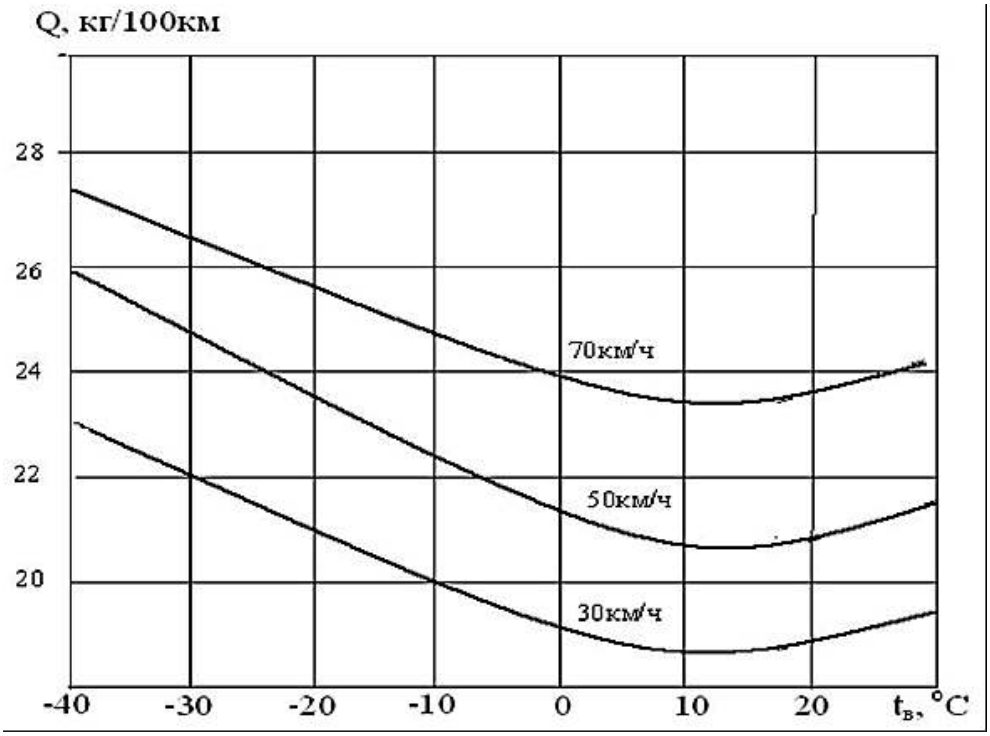


Рисунок 1.8 – Зависимость расхода топлива двигателем автомобиля от окружающей температуры воздуха

На повышение расхода топлива существенное влияние оказывает техническое состояние самого двигателя, связанное с высокой температурой. Повышение интенсивности износа из-за высоких температур ведет к возрастанию расхода топлива за счет ухудшения рабочего процесса, снижения герметичности цилиндров, роста накипеобразования, увеличения прокачивания охлаждающей жидкости и др.

Расход топлива, экономичность его работы связаны с характеристиками топлива и их природой. Введением в практику использования новых топлив установлено, что они обладают особенностями горения (например, метанолсодержащие бензины), специфическим влиянием на износ двигателя, а в итоге меняют топливную экономичность.

Свои особенности имеет и газовое топливо. Наблюдается обеднение рабочей смеси от температуры окружающего воздуха. При повышенной температуре улетучиваются легкие фракции, топливо интенсивно окисляется, активизируется развитие в нефтепродуктах вредной микрофлоры, появляются негативные биохимические процессы. Диапазон температур окружающего воздуха, оптимальный по расходу топлива, от плюс 5 до плюс 20 °С. Для ре-

альных условий эксплуатации диапазон температур окружающего воздуха можно считать от минус 60 до плюс 50 °С.

Отклонения температуры от оптимальной имеют пониженные на 60 °С и более, повышенные – на 30 °С. Влияние повышенной температуры окружающего воздуха при хранении ТСМ и заправке на качество и топливную экономичность представлено на рисунке 1.9.

Выявлено, что при понижении температуры интенсивность роста расхода топлива выше, чем при повышении (рисунок 1.10). Этот факт объясняется влиянием изменения физических свойств трансмиссии машины и шин, аэродинамического сопротивления движению машины. Кроме того, при пониженных температурах топливо расходуется на поддержание теплового состояния двигателя, кабины, салона.

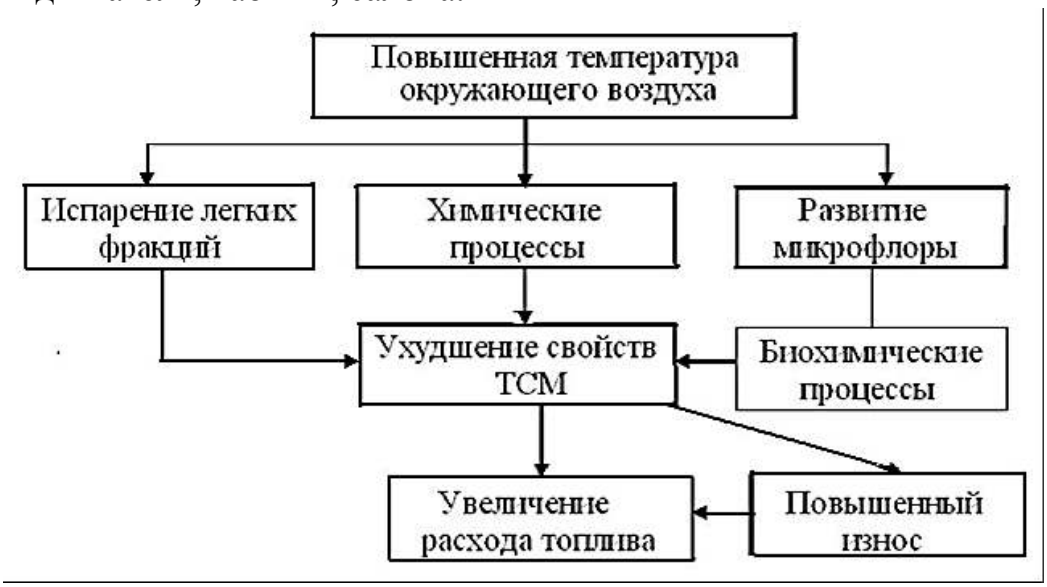


Рисунок 1.9 – Влияние повышенной температуры окружающего воздуха при хранении ТСМ и заправке на топливную экономичность

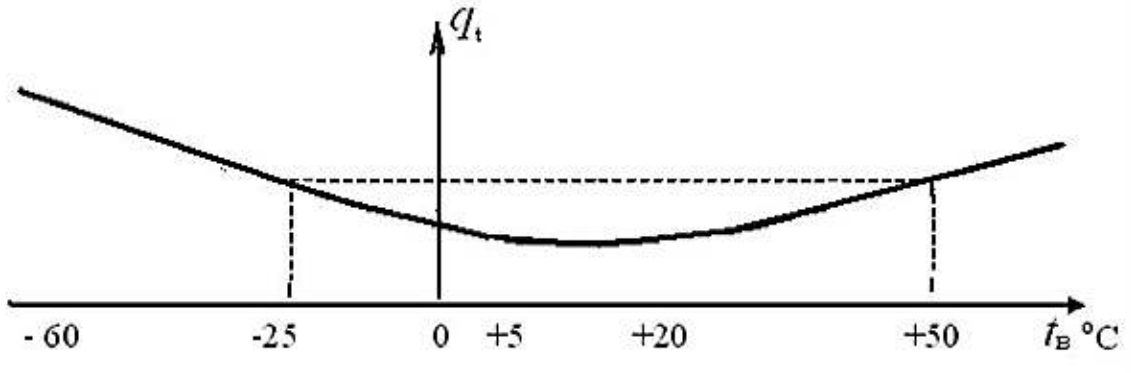


Рисунок 1.10 – Зависимость расхода топлива двигателем от температуры окружающего воздуха

Математическая (аналитическая) модель зависимости расхода топлива (топливной экономичности) от температуры окружающего воздуха (среды) является квадратичной:

$$q_t = q_o + S \cdot (t - t_o)^2, \qquad (1.25)$$

где q_o – расход топлива при оптимальной температуре; S – параметр чувствительности; t, t_o – температура окружающего воздуха (текущее и оптимальное значения). Модель для коэффициента приспособленности ($К_п = Y/Y_0$) примет вид $К_п = q/q_o$, а с учетом зависимости (1.21) $К_п = (q_o + S\cdot(t + t_o)2)/q_o$, тогда

$$К_п=1 + C(t - t_o)^2, \quad (1.26)$$

где $C = S/q_o$ – относительный параметр чувствительности.

Показатели адаптивности q_o, S, t_o, C зависят от модели и марки машины (автомобиля), конкретных условий эксплуатации.

Средние значения q и $К_п$ можно определить с учетом дисперсии σ^2:

$$q_t\,(_{ср}) = q_o + S[(t_{ср} - t_o)^2 + \sigma_t^2], \quad (1.27)$$

а

$$К_п=1 + C[(t_{ср} - t_o)^2 + \sigma_t^2], \quad (1.28)$$

где σ^2 – дисперсия, характеризующая вариацию текущего значения параметра вокруг среднего значения.

По приведенным формулам для практического использования рассчитаны дифференцированные надбавки к нормам расхода топлива на отрицательную температуру окружающего воздуха.

1.5.2 Влияние режима движения транспортного средства на расход топлива двигателем

Наблюдения показывают, что расход топлива двигателем может изменяться более чем в два раза за счет изменения среднетехнической скорости автомобиля. Практика показывает, что минимальный расход топлива двигателем для большинства грузовых автомобилей соответствует скорости движения 30–45 км/ч, для легковых – 50–80 км/ч. При отклонениях от оптимальной скорости расход топлива возрастает. Снижение скорости приводит к более интенсивному возрастанию расхода, чем увеличение.

Для изучения закономерности изменения исследователи считают целесообразным использовать не саму скорость движения, но логарифм скорости (квадратическую модель):

$$Q = q_o + S \cdot (\ln V - \ln V_o)^2, \quad (1.29)$$

где q_o – расход топлива при оптимальной скорости движения;

S – параметр чувствительности;

V и V_o – текущее и оптимальное значение скорости.

Для автомобиля ЗИЛ при полной нагрузке на 5 передаче:
$q_0 = 25{,}6$ кг/100 км, $S = 9{,}41$ кг/100 км, $V_o = 28{,}3$ км/ч.

Графическое изображение зависимости расхода топлива от скорости движения автомобиля представлено на рисунке 1.11.

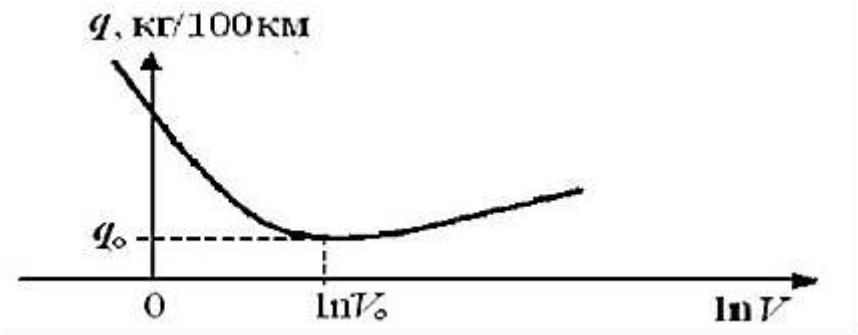


Рисунок 1.11 – Зависимость расхода топлива двигателем автомобиля от скорости движения

Существенное влияние на расход топлива оказывает переменный характер движения и особенно величина ускорения. В связи с этим при движении в городе этот фактор проявляется более интенсивно, так как количество ускорений, их интенсивность и длительность здесь наиболее выражены. Наблюдениями доказано, что при движении на внутригородских маршрутах расход топлива на ускорениях составляет 50% и более от общего расхода.

Расход топлива увеличивается в 1,5 раза при неполном использовании мощности двигателя, при длительном движении на промежуточных передачах.

Снижение влияния рассмотренных негативных факторов может быть реализовано как на уровне создания машин, так и в условиях эксплуатации за счет технологических и организационных мероприятий.

1.5.3 Влияние нагруженности машины на расход топлива

Одним из важнейших факторов, влияющих на экономичность машин, является величина нагрузки. Для автомобиля это масса (объем) перевозимого груза, для трактора – тяговое усилие.

Затраты энергии на передвижение транспортного средства можно выразить простейшей зависимостью

$$E = (F_{ВН} + F_{кач} + F_{возд})S_п, \qquad (1.30)$$

где $F_{ВН}$ – сила внутреннего сопротивления;

$F_{кач}$ – сила сопротивления качению;

$F_{возд}$ – сила сопротивления воздуха;

$S_п$ – пройденный путь,

$$\text{или} \quad E = \int (F_{ВН} + F_{кач} + F_{возд})\, dS. \qquad (1.31)$$

Сила внутреннего сопротивления

$$F_{вн} = К_{вн} (m_а + m_Г), \quad (1.32)$$

где $К_{вн}$ – коэффициент внутреннего сопротивления;

m_a и $m_г$ – массы машины и груза.

Сила сопротивления качению

$$F_{кач} = f \cdot g(m_a + m_г), \quad (1.33)$$

где f – коэффициент сопротивления качению;

g – ускорение свободного падения.

С учетом последних двух зависимостей можно записать:

$$E = \int [(К_{вн} + f \cdot g)(m_a + m_г) + F_{возд}]dS. \quad (1.34)$$

Если допустить, что $К_{вн}$, f и m_a – величины постоянные, то энергия, расходуемая на передвижение машины, линейно зависит от массы груза. Этот факт подтвержден экспериментально. Отсюда можно сделать вывод, что зависимость расхода топлива от массы груза имеет линейный характер.

Однако в практике $К_{вн}$ не является постоянной величиной по причине изменения вязкости масла при изменении температуры и изменения жесткости шин транспортных средств, пятна контакта и др. В результате затраты энергии не будут строго линейной функцией от массы груза.

Влияние массы груза на расход топлива описал нелинейной моделью Р.П. Лахно для автопоезда:

$$q = 0{,}142 + 0{,}125G_{АП} + 0{,}0000786G_{АП}^2, \quad (1.35)$$

где $G_{АП}$ – полная масса автопоезда.

В настоящее время для нормирования расхода топлива используется линейная модель зависимости топливной экономичности от массы груза (на автотранспорте). Топливную экономичность оценивают удельным расходом топлива.

А. Расход на 100 т·км грузооборота

$$q = \frac{100Q_{сум}}{L_г \cdot G_г \cdot \gamma_т}, \frac{л}{100\ т\text{-}км}, \quad (1.36)$$

где $Q_{сум}$ – количество топлива, израсходованного за определенный пробег, кг;

$L_г$ – пробег с грузом, км;

$G_г$ – полезный груз, перевозимый транспортным средством, т;

$\gamma_т$ – плотность топлива, г/см^3.

Б. Расход на 100 км пробега

$$q = \frac{100Q_{сум}}{L_{сум} \cdot \gamma_т}, \frac{л}{100\ км}, \quad (1.37)$$

где $L_{сум}$ – общий пробег машины (с грузом и без груза), км.

Контрольные вопросы

1. Влияние низкой температуры окружающего воздуха на расход топлива ДВС.
2. Влияние высокой температуры окружающего воздуха на расход топлива ДВС.
3. Влияние режима движения транспортного средства на расход топлива двигателем.
4. Влияние нагруженности машины на расход топлива.
5. Оценка топливной экономичности транспортного средства.

1.6 Эффективность использования ДВС

1.6.1 Надежность – показатель эффективности двигателя (машины)

Выпуском двигателей, особенно для автотранспорта, занимаются многие предприятия. Отечественным производителям ДВС приходится конкурировать в этой области и с зарубежными фирмами, и не всегда успешно. Это вызывает необходимость систематического повышения технико-экономической эффективности выпускаемых двигателей.

Некоторые специалисты основным показателем эффективности ДВС считают надежность. При этом технико-экономическую эффективность ДВС можно выразить интегральным показателем качества, который (применительно к автомобилю) за полный амортизационный срок (срок службы) можно определить по формуле

$$K_{\text{а}} = \frac{A_{\text{а}}}{C_{\text{а}}}, \frac{\text{т-км}}{\text{руб.}}, \tag{1.38}$$

где $A_{\text{а}}$ – работа, произведенная автомобилем, т·км;

$C_{\text{а}}$ – приведенные затраты на создание, изготовление, эксплуатацию и ремонт автомобиля.

Интегральный показатель качества, применительно к двигателю (на автомобиле), за полный амортизационный срок (срок службы) можно определить по формуле

$$K_{\text{д}} = \frac{A \cdot \beta}{C_{\Sigma}}, \frac{\text{л.с-ч}}{\text{руб.}}, \tag{1.39}$$

где A – работа, произведенная двигателем за весь срок службы, л.с-ч;

β – коэффициент снижения полезной работы двигателя за счет его веса;

C_{Σ} – приведенные затраты на создание, изготовление, эксплуатацию и ремонт двигателя за весь срок службы, руб.

$$\beta = 1 - \frac{G_{\text{дв}}}{G_{\text{ав}}}, \tag{1.40}$$

где $G_{\text{дв}}$ и $G_{\text{ав}}$ – вес двигателя и вес автомобиля соответственно.

Работу, произведенную двигателем за весь срок службы *A,* можно выразить (с некоторым допущением):

$$A = N_{ен} \cdot K_{и} \cdot T_{\Sigma}, \text{ л.с-м·ч}, \tag{1.41}$$

где $N_{ен}$ – эффективная мощность двигателя (номинальное значение), л.с.;

T_{Σ} – полный амортизационный срок службы двигателя, моточасы;

$K_{и}$ – коэффициент использования номинальной мощности.

Приведенные затраты на создание, изготовление, эксплуатацию и ремонт двигателя за весь срок службы найдем по формуле

$$C_{\Sigma} = \sum_{1}^{5} C_i, \tag{1.42}$$

где C_1 – затраты на создание и изготовление двигателя; C_2 – увеличение затрат на создание и изготовление трансмиссии машины при использовании данного двигателя в сравнении с эталонным одинаковой мощности (например применение дизельного вместо карбюраторного); $C_з$ – эксплуатационные затраты; C_4 – санитарные затраты, условно эквивалентны отрицательному воздействию на водителя (оператора), пассажиров и окружающую среду от дымности и токсичности отработанных газов, шума, вибрации и др.; C_5 – остальные затраты.

Эксплуатационные затраты $C_з$ включают:

$$C_з = C_{з.1} + C_{з.2} + C_{з.3} + C_{з.4} + C_{з.5}, \tag{1.43}$$

где $C_{з.1}$, $C_{з.2}$, $C_{з.3}$ – затраты на топливо, масла и поддержание работоспособности двигателя в эксплуатации (ТО, ТР и КР); $C_{з.4}$ – потери, связанные с вынужденным простоем машины из-за отказов двигателя (несвоевременное выполнение работ); $C_{з.5}$ – затраты, связанные с подготовкой двигателя к запуску и выводу его на рабочий режим.

Подставляя значения составляющих в исходную формулу (1.39), получаем величину интегрального показателя качества К.

Амортизационный срок службы ДВС

Полный амортизационный срок службы двигателя на машине T_{Σ} в моточасах определится как

$$T_{\sum} = T_{1кр}\left(1 + \sum_{1}^{n} \theta_i\right), \tag{1.44}$$

где $T_{1кр}$ – срок службы (ресурс) двигателя до первого КР; θ_i – отношение ресурса двигателя после очередного *i*-го капитального ремонта к ресурсу первого КР; *n* – количество капитальных ремонтов.

Подставляя соответствующие величины в формулу (1.39), получаем величину интегрального показателя качества К.

Коэффициент надежности двигателя $К_н$ и удельные затраты на поддержание двигателя в работоспособном состоянии $З_у$ с учетом приведенных затрат, связанных с простоем машины из-за отказов двигателя, составят:

$$К_н = \frac{C_\Sigma - (C_{3.3} + C_{3.4})}{C_\Sigma}, \quad (1.45)$$

$$З_у = \frac{C_{3.3} + C_{3.4}}{A}, \quad (1.46)$$

где $C_{3.3}$ – затраты на поддержание работоспособности двигателя (ТО, ТР и КР); $C_{3.4}$ – потери, связанные с вынужденным простоем машины из-за отказов двигателя (несвоевременное выполнение работ); A – работа, произведенная двигателем за весь срок службы.

Из приведенных зависимостей видно, что удельные затраты на поддержание двигателя в работоспособном состоянии $З_у$ – показатель надежности двигателя более универсальный, так как позволяет сравнивать двигатели независимо от стоимости их изготовления.

$$К_н = \frac{C_\Sigma - (C_{то} + C_{тр} + C_{кр} + C'_{то} + C'_{тр} + C'_{кр})}{C_\Sigma}, \quad (1.47)$$

$$У_з = \frac{C_{то} + C_{тр} + C_{кр} + C'_{то} + C'_{тр} + C'_{кр}}{N_н \cdot К_и \cdot \beta \cdot Т_{1кр}(1+\Sigma\alpha_t)}. \quad (1.48)$$

Из приведенных формул видны основные пути повышения эффективности двигателей. Среди них увеличение мощности ДВС и коэффициента его использования; уменьшение веса двигателя; снижение расходов на изготовление и увеличение приспособленности к трансмиссии транспортного средства; снижение расходов на ТСМ; повышение надежности; улучшение пусковых свойств двигателя и возможности выхода его на рабочий режим; повышение экологичности (уменьшение дымности, токсичности, шумности, вибрации и т. д.).

1.6.2 Пути повышения эффективности при создании машин

На эффективность использования рабочих машин (транспортных средств) большое влияние оказывает производительность (объем работ в единицу времени). Повышение производительности автотранспорта связано с увеличением скорости движения и повышением грузоподъемности. А это требует увеличения энерговооруженности транспортного средства за счет увеличения абсолютной мощности двигателя и увеличения мощности двигателя, приходящейся на единицу полной массы машины (составляет от 8 л.с./т и выше, а полвека назад составляла 3–4 л.с./т). Увеличение массы автомоби-

ля и скоростей движения привело к значительному повышению мощностей двигателей.

Если в середине прошлого века мощность двигателей грузовых автомобилей составляла от 40 до 120 л.с., то в настоящее время для некоторых машин она достигает свыше 1000 л.с. По прогнозам для тяжелого (внедорожного) автотранспорта целесообразны двигатели мощностью до 2000 л.с.

Рост мощности двигателей транспортных средств для повышения скорости и грузоподъемности сопровождается ростом расхода топлива на километр пути. Это вызвало актуальность проблемы топливной экономичности транспортных средств.

Повышение мощности бензиновых двигателей на грузовых автомобилях и автобусах требует увеличения диаметра цилиндров, что из-за склонности к детонации вызывает необходимость использования высокооктановых бензинов, или снижения степени сжатия, приводящей к снижению топливной экономичности. Это ограничило увеличение диаметра цилиндров карбюраторных двигателей немногим более 100 мм.

Переход к использованию на грузовых автомобилях дизелей вместо бензиновых двигателей вызвало снижение эксплуатационного расхода топлива на 25–30%, а в напряженных городских условиях до 40–50%. На полноприводных машинах в условиях бездорожья и особенно с прицепами экономия составляет иногда более чем в 2 раза.

При парке машин в 1 миллион единиц грузоподъемностью 8 тонн годовая экономия топлива от замены бензиновых двигателей на дизели может составить до 4,4 млн тонн. При этом снижаются транспортные и складские расходы. Другими преимуществами дизелей являются:

– меньшая токсичность отработанных газов;

– лучшая приспособленность для применения наддува;

– меньшая требовательность к сортам топлива;

– большая пригодность для создания многотопливных модификаций;

– большая возможность торможения автомобиля двигателем;

– меньшая пожароопасность;

– меньшая теплоотдача в систему охлаждения;

– лучшие динамические качества.

Имеют место при этом и недостатки, в том числе:

– более жесткий процесс сгорания;

– рост массивности и стоимости двигателя до 25%;

– выше стоимость изготовления трансмиссии при переходе с бензинового ДВС на дизель до 10–20%;

– в 1,5–2 раза выше стоимость аккумуляторных батарей (на тракторах устанавливают пусковой двигатель);

– труднее запуск, особенно при низких температурах, и др.

В то же время топливная экономичность заставляет пренебрегать указанными выше недостатками и подталкивает производство к использованию дизелей даже на машинах малой грузоподъемности и легковых машинах.

Высокая масса дизелей для тракторных двигателей не только не ухудшает технические характеристики трактора, но наоборот повышает его сцепной вес, который необходим для повышения тягового усилия, снижения буксования.

Уменьшение стоимости двигателя связано с увеличением массовости их выпуска. В связи с этим целесообразно создание унифицированных семейств двигателей многоцелевого назначения с широкой конструкторской и технологической унификацией деталей и узлов моделей двигателей с разным числом цилиндров.

1.6.3 Пути повышения эффективности ДВС при эксплуатации

Практика показывает, что расходы на поддержание двигателя в работоспособном состоянии во много раз выше стоимости изготовления (производства). Стоимость технического обслуживания и ремонта по сравнению со стоимостью изготовления выше до 7 раз, а трудоемкость – до 60 раз.

Расходы на поддержание работоспособности двигателя с потерями, связанными с простоями машин из-за его отказов, в значительной степени определяют его технико-экономическую эффективность.

Для обеспечения высокой надежности двигателя необходимо обеспечить минимально допустимый объем ТО в эксплуатации вплоть до исключения его по отдельным узлам и агрегатам при сохранении их безотказности и долговечности и двигателя в целом.

Высокая надежность двигателя, заложенная при создании, обеспечиваемая при изготовлении и реализуемая при эксплуатации, может снизить затраты на поддержание двигателя в работоспособном состоянии и потери, связанные с простоем машины по вине двигателя.

Отсюда надежность двигателя является основой его техникоэкономической эффективности, резервом экономии общественного труда и основой повышения его производительности. В свою очередь, надежность определяется безотказностью, долговечностью, ремонтопригодностью и др.

Высокая надежность двигателя обеспечивается:

– повышением безотказности за счет обеспечения одинаковой долговечности (ресурса), или его кратности для сборочных единиц относительно базовой детали, обладающей высокой долговечностью;

– увеличением ресурса двигателя до капитального ремонта за счет повышения ресурса лимитирующих сборочных единиц;

– увеличением вторичного межремонтного ресурса двигателя (до 80%);

– снижением стоимости КР за счет совершенствования методов ремонта, восстановления деталей и снижения стоимости запчастей;

– снижением трудоемкости ТО и повышением ремонтопригодности за счет конструкторско-технологических мероприятий и др.



Рисунок 1.12 – Основные направления работ
по повышению надежности ДВС в эксплуатации

Надежность работы двигателей в свою очередь зависит:
– и от условий, в которых работают сборочные единицы;
– нагрузочного и теплового режима двигателя;
– качества смазывающих материалов;
– исключения поступления к парам трения абразивных частиц и др.;

– степени покрытия поверхностей пар трения отложениями, нагаром.

Указанные причины приводят к потере работоспособности двигателя, сокращению ресурса.

Основные направления работ по повышению надежности ДВС в эксплуатации представлены на рисунке 1.12.

Для выполнения надежной работы должно быть обеспечено снижение их влияния на появление отказов. При этом необходимо:

– совершенствование конструкции и технологии изготовления (восстановления) деталей;

– повышение уровня эксплуатации изделий;

– улучшение качества капитальных ремонтов (восстановления ресурса);

Вопросы к разделу

1. Надежность как показатель эффективности работы двигателя.
2. Приведенные затраты на создание, изготовление, эксплуатацию и ремонт двигателя за срок службы.
3. Пути повышения эффективности при создании двигателей машин.
4. Преимущества дизелей перед другими двигателями.
5. Пути повышения эффективности ДВС при эксплуатации.

2 ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ И ИСПРАВНОСТИ ДВС

2.1 Введение в техническую эксплуатацию машин

2.1.1 Техническое состояние и работоспособность изделия

Половина сборочных единиц машины в процессе работы теряет первоначальные свойства. Применительно к автомобилю, до 4 тысяч его деталей имеют ресурс меньший, чем сам автомобиль. Эти сборочные единицы являются предметами постоянного внимания организаций и частных лиц, эксплуатирующих машины.

Взаимодействие машины с окружающей средой, а отдельных деталей – между собой вызывает нагрев, физические и химические преобразования, изменения размеров деталей, зазоров сопряжений, электрических и других величин. Для поддержания машины в работоспособном состоянии требуются воздействия в виде ТО и ремонтов.

Машина, двигатель (узел, агрегат) может быть в исправном и неисправном состоянии. Процесс изменения состояния изделий графически изображен на рисунке 2.1.

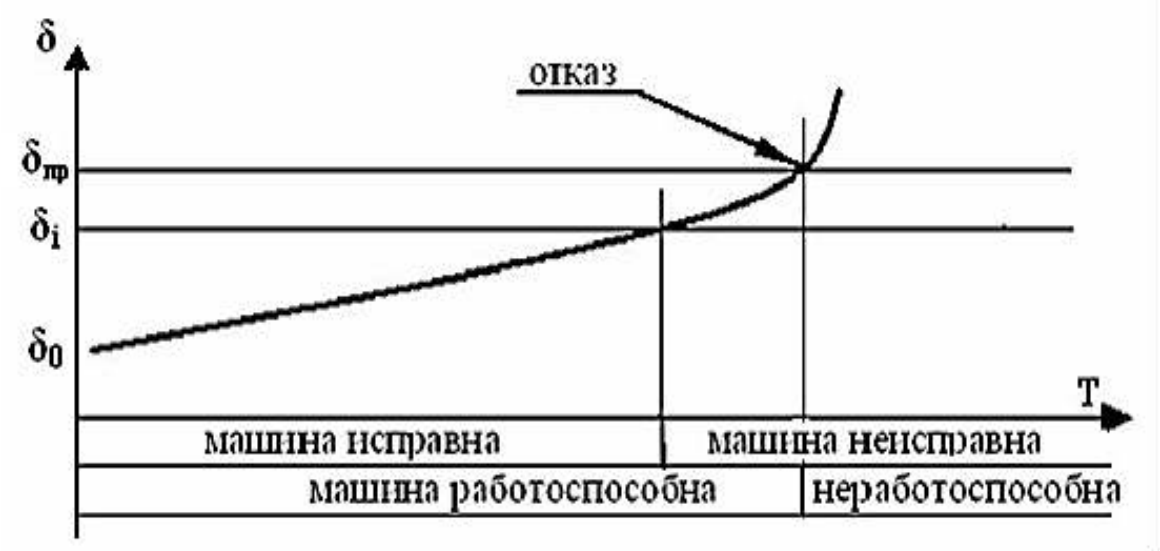


Рисунок 2.1 – Изменение состояния сборочных единиц в результате расходования ресурса

Машина (агрегат) считается исправной, если все её параметры находятся в пределах, заданных конструкцией или техническими условиями.

Машина (агрегат) неисправна, если хотя бы один из параметров не соответствует установленным требованиям. При этом она не обеспечивает выполнение работ в нужном объеме, требуемого качества и с допустимыми затратами материалов и средств.

К требованиям, определяющим состояние объекта, относятся надежность, безопасность, экономичность, эргономичность, эстетичность и др. При

этом машина может быть неисправной, но работоспособной. При определении работоспособности машины принимаются во внимание основные свойства (требования), а при оценке исправности – все требования, предъявляемые к ней в процессе эксплуатации.

ГОСТ 18322-2016 вводит в этой области основные понятия и определения.

Неработоспособное состояние обусловлено несоответствием значений одного или нескольких параметров объекта установленным требованиям нормативно-технической документации, характеризующим его способность выполнять заданные функции.

Переход от работоспособного к неработоспособному состоянию называют отказом. **Отказ – событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта.**

Различают отказы внезапные и постепенные; независимые и зависимые; конструкционные, технологические, эксплуатационные и другие.

Внезапный отказ связан с пиковыми нагрузками или скоростями. Появление его носит случайный характер и прогнозирование его невозможно. Проявляются такие отказы в виде поломок и прекращения функционирования.

Постепенный отказ связан с длительным периодом изменения параметра до наступления предельного состояния, после которого использование объекта невозможно, нецелесообразно экономически или из соображений безопасности.

Независимый отказ не обусловлен зависимостью появления отказов других элементов машин. Зависимый отказ связан с появлением отказа других элементов объекта.

Конструкционный отказ связан с недостатками конструктивного характера машины или детали (сборочные единицы).

Технологические отказы связаны с недостатками изготовления машины или ее ремонта.

Эксплуатационные отказы связаны с нарушениями требований по применению машин в конкретных условиях. Это могут быть перегрузки, критические скорости, условия работы, ошибки оператора и другие причины.

Основным показателем, характеризующим устойчивость изделия против появления отказов, является его надежность.

2.1.2 Основные понятия и определения технической эксплуатации

Техническая эксплуатация машин (ТЭ) как наука определяет пути и методы наиболее эффективного управления их техническим состоянием. ***Целями технической эксплуатации являются:***

– обеспечение своевременной и наиболее полной реализации технических возможностей конструкции, безопасности при выполнении работ и заданных уровней эксплуатационной надежности машины;

– оптимизация материальных и трудовых затрат;

– обеспечение минимального влияния технического состояния машин на человека и окружающую среду.

Как область практической деятельности ТЭ – это комплекс технических, экономических и организационных мероприятий, обеспечивающих поддержание машин в исправном состоянии и функционирование их при рациональных затратах труда и материалов.

Составляющими технической эксплуатации являются обкатка, техническое обслуживание, эксплуатационный ремонт, обеспечение топливом и смазочными материалами (ТСМ), заправка машин, техосмотры и хранение в нерабочий период.

Эффективность ТЭ зависит от качества изделия и его надежности.

Надежность – свойство изделия выполнять заданные функции при сохранении первоначальных технических характеристик во времени в пределах установленных допусков. Количественными характеристиками надежности могут быть однородные (простые) показатели и комплексные.

Простые показатели надежности характеризуют только одно свойство изделия (наработка на отказ, гамма-процентный ресурс и другие). Комплексные показатели характеризуют ряд свойств (безотказность, ремонтопригодность и т. д.). К ним относятся коэффициенты технической готовности и использования, среднее время восстановления и другие.

Надежность является обобщающим свойством изделия, включающим безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость (ГОСТ 27.002-83). Уровень надежности закладывается при создании техники, обеспечивается при производстве и поддерживается при эксплуатации.

Безотказность – свойство изделия, заключающееся в непрерывном сохранении работоспособности в течение некоторой наработки. Она характеризуется вероятностью безотказной работы, интенсивностью отказов, наработкой до отказа и другими показателями.

Долговечность – свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта. Она характеризуется средним ресурсом, средним сроком службы и другими показателями.

Ремонтопригодность – свойство изделия, заключающееся в приспособленности его к предупреждению, обнаружению и устранению отказов, поддержанию и восстановлению работоспособности путем технического обслуживания и ремонта. Она оценивается средним временем восстановления работоспособности.

Ремонтопригодность – свойство изделия сохранять значения показателей безотказности, долговечности и ремонтопригодности в течение и после хранения и транспортировки. Оценивается она средним и гамма-процентным сроком сохраняемости.

От надежности машин зависит качество выполняемых работ, их себестоимость, безопасность и безвредность. Сама надежность зависит от условий эксплуатации, режимов работы изделия, качества технического обслуживания и ремонта.

2.1.3 Основные причины изменения технического состояния машин

Основными, постоянно действующими причинами изменения технического состояния двигателя и других отдельных сборочных единиц машины являются (применительно к транспортным средствам):

– изнашивание – около 40% признаков проявления отказов;

– пластическая деформация – 26–30%;

– усталостные разрушения – около 18%;

– другие виды разрушений (трещины – 12%, температурные разрушения – 12%, поломки – 5%, прочие – 4%).

Отказы могут проявляться и в результате наличия естественных причин. Наибольшее значение при этом имеет изнашивание сборочных единиц.

Изнашивание – процесс постепенного изменения параметров объекта, обусловленный действием механических, тепловых и коррозионно-механических видов износа, определяемых режимами и условиями эксплуатации.

Изнашивание М.М. Хрущев подразделяет на ***механическое, молекулярно-механическое и коррозионно-механическое.***

Механическое изнашивание подразделяется на абразивное, пластическую деформацию, хрупкое разрушение.

Абразивное изнашивание происходит за счет отделения частиц материала под действием твердых абразивных частиц.

Пластическая деформация происходит в связи с изменением размеров и формы деталей под действием нагрузок, превышающих предел текучести материала.

Хрупкое разрушение состоит в разрушении поверхностного слоя материала, связанного с трением и наклепом, выходом на поверхность менее хрупкого материала

Молекулярно-механическое (адгезивное) изнашивание происходит в результате молекулярного сцепления трущихся поверхностей. Это приводит к задирам, заклиниванию и разрушению в результате местных контактов между трущимися поверхностями. Этому способствуют большие нагрузки и скорости, приводящие к разрыву масляной пленки и появлению сухого трения.

Коррозионно-механическое изнашивание появляется при сочетании механического изнашивания и действия окружающей среды за счет образования окисных пленок и последующего их разрушения.

Пластическая деформация связана с превышением нагрузок над пределом текучести. Проявляется вследствие нарушений технологии изготовления, недостатков расчета на прочность, снижения прочности.

Усталостные разрушения возникают в результате воздействия циклических и знакопеременных нагрузок (рессоры, кронштейны и др.).

Коррозия проявляется под воздействием агрессивной среды (кислоты почвы и воды, компоненты выхлопных газов, соли на дорогах). Часто проявляется во взаимодействии с другими видами износов – абразивным и другими.

Старение материалов проявляется под воздействием физико-химических и температурных изменений. Резинотехнические изделия теряют прочность и эластичность под действием температуры, топливосмазочных материалов, солнечной радиации, влажности и в результате окисления. Смазочные материалы накапливают продукты износа, изменяют вязкость и др.

Свойства деталей изменяются не только при работе, но и при хранении. При этом снижается прочность резинотехнических изделий, появляется коррозия материалов и т. д. В связи с этим организация хранения является задачей технической эксплуатации машин.

2.1.4 Определение предельных величин износа

Под предельной величиной износа принято понимать размеры изнашивающейся сборочной единицы или регулировочной величины до достижения которых узлы, сопряжения отвечают установленным требованиям технической документации. Эти величины определяют по следующим критериям: техническому, качественному, экономическому, критерию безопасности процессов и по их совокупности.

Технические критерии связаны с исправностью машин, которая зависит в первую очередь от степени износа её элементов и роста его интенсивности. Это могут быть зазоры, ослабление креплений, шумы, вибрации и др.

Качественные критерии связаны со снижением качества выполняемых работ в результате износа машин или нарушения регулировок.

Экономические критерии применимы в случаях, когда затраты на выполнение работ выходят за пределы нормативных или не окупаются. Среди них повышенный расход топлива, затраты на ремонты, снижение производительности машин и другие.

Критерий безопасности работ применим при состоянии техники, не обеспечивающем сохранность жизни и здоровья исполнителей работ и окружающих. К таким состояниям можно отнести высокую температуру охлаждающей жидкости, подтекание топлива через неплотности в системе и другие.

Технико-экономический критерий (совокупный) является наиболее общим. Здесь сочетаются состояние сборочных единиц машины, ее экономические показатели (повышенный расход топлива и снижение производительности).

Большой вред техническому состоянию машин приносят климатические условия, нарушения правил эксплуатации (перегрузки), качество топливо-смазочных материалов, несвоевременное и некачественное техническое обслуживание, нарушения правил обкатки и хранения машин, низкий уровень их ремонта и другие недостатки, приводящие к потерям работоспособности.

2.1.5 Пути обеспечения работоспособности машин

Работоспособность машин зависит от многих факторов. Для обеспечения целенаправленного воздействия на эти факторы их делят на группы по периодам создания и применения машин. К основным факторам относят конструктивные, технологические и эксплуатационные.

Конструктивные факторы связаны с выбором материалов для изготовления сборочных единиц, совершенствованием конструкции деталей (особенно трущихся) и систем смазки, повышением безотказности, долговечности и ремонтопригодности сборочных единиц и машины в целом. Эти факторы реализуются на этапе проектирования, испытания, доводки перед серийным производством.

Технологические зависят от качества изготовления сборочных единиц и ремонта машин. Основными мероприятиями по повышению надежности машин являются как технологические, так и конструкторские мероприятия.

Необходимая точность и качество изготовления деталей зависит от уровня станочного парка заводов-изготовителей и ремонтных предприятий и квалификации специалистов. Высокие геометрические характеристики сопрягаемых поверхностей деталей машин обеспечиваются путем использования современных технологий обработки изделий. К ним относятся шлифование, полирование, смятие материала, пластическое деформирование (обкатывание, раскатывание, виброобкатывание и др.), электрообработка (электромеханическая, электрохимческая) и другие способы обработки.

Термическая и химико-термическая обработки значительно повышают износостойкость деталей. Используют их при изготовлении наиболее ответственных деталей.

Нанесение коррозионно-стойких электролитических и химических покрытий (цинкование, никелерование, оксидирование, фосфатирование и др.) повышает коррозионную стойкость сборочных единиц, что весьма важно для машин, работающих в условиях агрессивных сред.

Армирование деталей, применение втулок, колец и других деталей из износостойких материалов позволяют повысить надежность и долговечность машин, сократить расходы на ТО и ремонты. В перспективе повышение работоспособности машин должно базироваться на применении новых материалов и технологий.

Для ремонтных предприятий пути обеспечения повышения работоспособности машин состоят в следующем:

– эффективная очистка и мойка деталей – удаление загрязнений, нагара, смолистых отложений при использовании современных моечных машин и препаратов;

– контроль размеров и геометрии рабочих поверхностей, точности их взаимного расположения, подбор (по массе и размерам) деталей одной группы (поршни, шатуны и др.);

– динамическая балансировка валов, маховиков и других вращающихся деталей;

– герметизация узлов и агрегатов с использованием современных материалов (сальников, прокладок, герметиков);

– обкатка узлов и машин на установленных режимах с соответствующей подготовкой и обслуживанием и другие пути.

Эксплуатационные мероприятия в обеспечении высокой работоспособности играют огромную роль. К ним относятся:

– эксплуатационная обкатка, от качества которой зависит ресурс машин, их безотказность и затраты на ремонт;

– техническое обслуживание машин, от качества которого зависит эффективность их использования, качество работ и затраты на ремонты;

– периодические технические осмотры обеспечивают качество и бесперебойность работ;

– оптимальный режим работы машин (без перегрузок) создает условия, исключающие появление случайных отказов и интенсивного износа;

– соблюдение правил хранения машин снижает старение их в нерабочий период под воздействием природных явлений и техногенных образований;

– разномарочность машин (чрезмерная) приводит к снижению уровня ТО и ремонтов, квалифицированного их применения и др.

Возможность проводить в полной мере указанные выше мероприятия и высокую эффективность использования техники обеспечивает высокая квалификация операторов и обслуживающего персонала.

Исследования в области оценки ремонта показывают, что затраты на ТО и ремонт изменяются от возраста машин (пробега) в 2–4 раза; от условий эксплуатации (климат, дороги) – в 1,5–2 раза.

Контрольные вопросы

1. Графическое изображение процесса изменения состояния изделий при использовании по назначению.
2. Требования, определяющие техническое состояние объекта (машины).
3. Характеристики отказов: внезапные и постепенные; независимые и зависимые; конструкционные, технологические, эксплуатационные.
4. Техническая эксплуатация машин как наука и как область практической деятельности.
5. Цели технической эксплуатации машин.
6. Надежность как свойство изделия, включающее безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость.
7. Основные причины изменения технического состояния машин.
8. Предельные величины износа. Критерии их определения: технические, качественные, экономические и др.
9. Пути обеспечения работоспособности машин: конструктивные, технологические и эксплуатационные.

2.2 Система технического обслуживания машин

2.2.1 Планово-предупредительная система технического обслуживания и ремонта

Техническое обслуживание (ТО) – комплекс операций или операция по поддержанию работоспособности или исправности изделия при использовании его по назначению, ожидании, хранении и транспортировании (ГОСТ 10150-2014).

Техническое обслуживание носит профилактический характер по поддержанию машин в исправном состоянии. Различают обслуживания с одной стороны при использовании, хранении и транспортировке, с другой – периодические, сезонные, регламентные и другие виды ТО.

Операции ТО включают очистку, мойку, проверку состояния элементов и системы в целом, смазку, крепление сборочных единиц, регулировку узлов и механизмов, другие работы.

Различают три основных стратегии технического обслуживания: по потребности, по регламентации и по техническому состоянию, установленному в результате диагностирования (регламентированного).

Обслуживание по потребности проводится при появлении отказа сборочных единиц или машины в целом. Такая стратегия имеет место на предприятиях, но она является порочной, так как обслуживания приходится проводить в периоды напряженных работ, а это связано с потерей времени, задержкой работ и т. д.

Регламентное обслуживание носит планово-предупредительный характер. Такое обслуживание предусмотрено в нормативно-технической документации в установленном объеме, независимо от состояния изделия в момент начала ТО.

Плановость системы заключается в том, что обслуживание проводится в плановом регламентном порядке, а ***предупредительность*** в том, что основные операции ТО выполняются предупредительно – без учета состояния обслуживаемых узлов и агрегатов.

Обслуживание по техническому состоянию проводится по результатам контроля (диагностирования) машин и сборочных единиц. Такое обслуживание осуществляется при периодическом и непрерывном контроле.

ТО с периодическим контролем предусматривает проведение контроля выполнять в соответствии с установленными нормативами, а объем других операций – по состоянию изделия на начало ТО (мощность двигателя, расход топлива и др.).

ТО с непрерывным контролем предусматривает выполнение работ по обслуживанию проводить по результатам непрерывного контроля технического состояния (давление в системе смазки двигателя, подзарядка аккумулятора и др.).

Практика показывает, что предпочтительным вариантом ТО является обслуживание по техническому состоянию. Наиболее отсталый вариант – об-

служивание по потребности. Последний вариант имеет место в связи с недостатком дешевых и надежных диагностических средств и технологий, отвечающих требованиям на данный момент.

Система ТО и ремонта – совокупность взаимосвязанных средств, документации, технического обслуживания, ремонта и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту систему (ГОСТ 10150-2014).

Системой ТО установлены виды обслуживания, их периодичность и цикличность.

Под ***видом ТО (ремонта)*** следует понимать ТО (ремонт), выделяемое (выделяемый) по одному из признаков: этапу существования изделия, периодичности выполнения операций, объему работ при обслуживании (ремонте), условиям эксплуатации машин, регламентации мероприятий и т. д.

Периодичность ТО – интервал наработки (времени) между данными видами ТО (ремонта) и последующим таким же видом или другим большей сложности.

Цикл ТО – наименьшие повторяющиеся интервалы наработки или времени, в течение которых выполняются в определенной последовательности в соответствии с требованиями нормативно-технической документации все установленные виды периодического ТО.

2.2.2 Виды и методы технического обслуживания

Под видом ТО (ремонта) следует понимать ТО (ремонт), выделяемое (выделяемый) по одному из признаков: этапу существования изделия, периодичности выполнения операций, объему работ при обслуживании (ремонте), условиям эксплуатации машин, регламентации мероприятий и т. д.

Виды технического обслуживания подразделяются (ГОСТ 10150-2014) по этапу эксплуатации, по периодичности выполнения и регламентации.

По этапу эксплуатации виды ТО подразделяются:

– на ТО при транспортировании, в том числе при подготовке к транспортированию, транспортировании и после его окончания;

– ТО при использовании, в том числе при подготовке к использованию, использовании и после окончания использования;

– ТО при хранении, в том числе при подготовке к хранению, хранении и при снятии с хранения.

По периодичности выполнения ТО за тракторными двигателями подразделяются:

– на периодические ТО – ежесменное ТО, ТО-1, ТО-2, ТО-3;

– сезонные ТО – при переходе с зимней эксплуатации на летнюю эксплуатацию (СТО-ВЛ) и при переходе с летней на зимнюю (СТО-ОЗ).

Методы технического обслуживания (признак классификации – организация выполнения).

По географическому положению методы подразделяются:

– на централизованный – ТО выполняются персоналом и средствами одного подразделения организации или предприятия;

– децентрализованный – метод выполнения ТО персоналом и средствами нескольких подразделений организации или предприятия.

По специализации выполнения методы подразделяются:

– на метод ТО эксплуатирующим персоналом – персоналом, работающим на данном изделии (машине) при использовании его (её) по назначению;

– метод ТО специализированным персоналом – обслуживание персоналом, специализированным на выполнении операций ТО.

По уровню проведения ТО методы подразделяются:

– на ТО эксплуатирующей организацией (АТП и др.);

– ТО специализированной организацией – станцией ТО автопрома или другой;

– ТО предприятием-изготовителем через собственные станции ТО.

По организации проведения ТО методы подразделяются:

– на поточный метод ТО: ТО выполняется на специализированных рабочих местах с определенными технологической последовательностью и ритмом;

– комплексный метод: операции по ТО проводятся на одном посту.

Выбор и обоснование того или другого метода должны осуществляться исходя из местных конкретных условий производства, размеров предприятия, его оснащенности и других особенностей. Каждый из указанных видов и методов ТО имеет свои достоинства и недостатки.

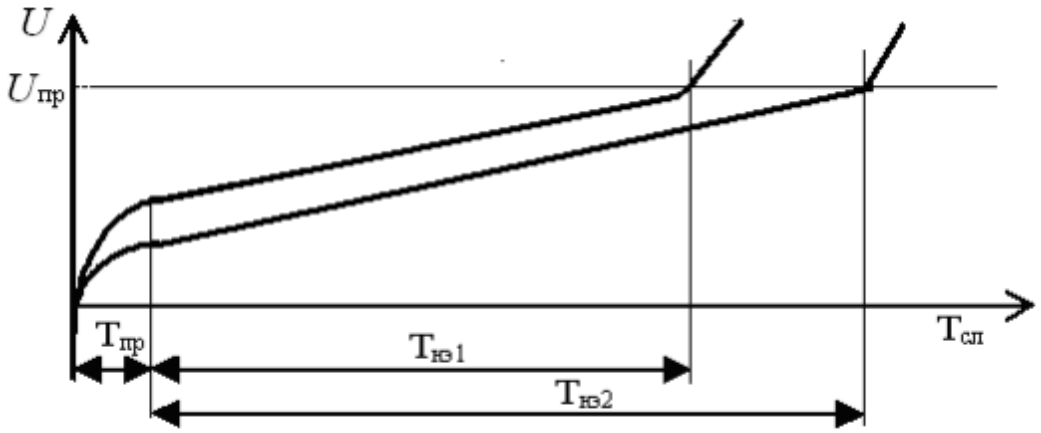
Развитие системы ТО должно увязываться с повышением качества и ресурса смазочных материалов, развитием технологий и средств диагностирования, использованием современных материалов для изготовления деталей машин (особенно для трущихся поверхностей), совершенствованием технологий и средств для проведения самих операций ТО в сторону снижения затрат труда, времени и средств.

2.2.3 Теоретические основы и правила эксплуатационной обкатки

При поступлении машины на предприятие с завода-изготовителя или ремонтного завода машина должна пройти эксплуатационную обкатку. Принимаемые машины должны пройти тщательный осмотр. При этом проверяются сохранность пломб, комплектность машины, наличие инструмента и запасных частей, состояние машины и её элементов. При обнаружении серьезных недостатков составляется акт для предъявления претензий заводу-изготовителю, предприятию по доставке или ремонтному предприятию.

После проведения осмотра машины, проверки и подтяжки креплений сборочных единиц, регулировки натяжения приводных ремней для двигателя, проверки уровня смазки и технических жидкостей, устранения выявленных недостатков и других мероприятий машина (двигатель) подвергается эксплуатационной обкатке.

Обкатка проводится с целью приработки трущихся поверхностей в сопряжениях для обеспечения минимального их износа. Износ зависит от нагрузки при обкатке, режима работы, качества обработки трущихся поверхностей перед сборкой и самой сборки, вида смазки и качества смазывающего материала.



$T_{пр}$ – период приработки; $T_{нэ1}$ и $T_{нэ2}$ – периоды нормальной эксплуатации без установленной обкатки и с обкаткой

Рисунок 2.2 – Зависимость износа (U) от результатов обкатки в функции срока службы ($T_{сл}$) сопрягаемых сборочных единиц

Минимальный коэффициент трения имеет место при жидкостном трении (трение между слоями смазки), далее идет полужидкостное, граничное и сухое трение.

В результате приработки устраняются шероховатость, волнистость и другие неровности, достигается увеличение площади контакта поверхностей – уменьшается удельное давление, улучшаются условия смазки. Снижение приработочного износа увеличивает срок службы машины. Это видно из кривой износа (рисунок 2.2).

Аналогичная зависимость имеет место при нарушениях взаимного расположения трущихся поверхностей в результате разборочно-сборочных работ.

При обезличенном ремонте происходит очередная приработка. При этом приработочный износ увеличивается в 1,5–2 раза. В связи с тем, что уровень станочного оборудования на ремонтных предприятиях ниже, чем на заводах-изготовителях, тщательность выполнения обкатки в этом случае приобретает большое значение.

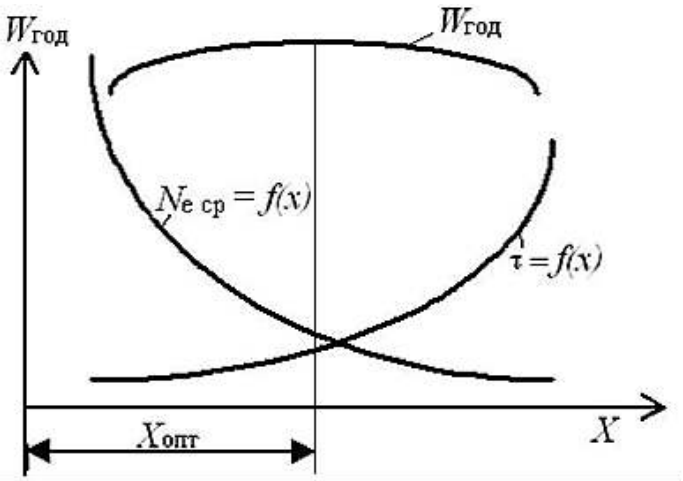
2.2.4 Установление периодичности технического обслуживания

Плановое техническое обслуживание выполняется при достижении определенной наработки. Наработка может быть принята в условных эталонных единицах (для машины в целом), в мото-часах ресурса, по пробегу автомобиля, по расходу топлива и др.

Все операции ТО условно разделяют на моечно-очистительные, проверочно-осмотровые, смазочные и регулировочные.

Правила выполнения ТО – типовой перечень обязательных операций, объединенных по принципу технологического однообразия. Периодичность выполнения операций устанавливают по какому-либо принятому оценочному параметру. В том числе по максимальному значению выработки машины, минимальным удельным издержкам, по сроку достижения предельных значений параметра (статистическим данным) и другим параметрам.

По выработке машины, которая снижается при увеличении периодичности из-за падения средней эффективной мощности двигателя и растет за счет увеличения коэффициента использования времени. Характер такой зависимости представлен на рисунке 2.3.



$N_{e\,ср}$ – среднее значение эффективной мощности, $\tau = T_р/T_{см}$ – коэффициент использования сменного времени за рассматриваемый период

Рисунок 2.3 – Зависимость выработки (годовой) от периодичности ТО и установление её оптимального значения

Данные рисунка показывают, что при увеличении периодичности средняя мощность двигателя уменьшается за счет нарушения регулировок, изнашивания сборочных единиц и других причин, но при этом увеличивается коэффициент использования времени смены за счет сокращения суммарного времени простоя на техническое обслуживание.

Выработка машины зависит от того и другого параметра и при определенных их значениях будет максимальной. Абсцисса для максимального значения выработки $W_{год(max)}$ даст оптимальное значение периодичности ТО.

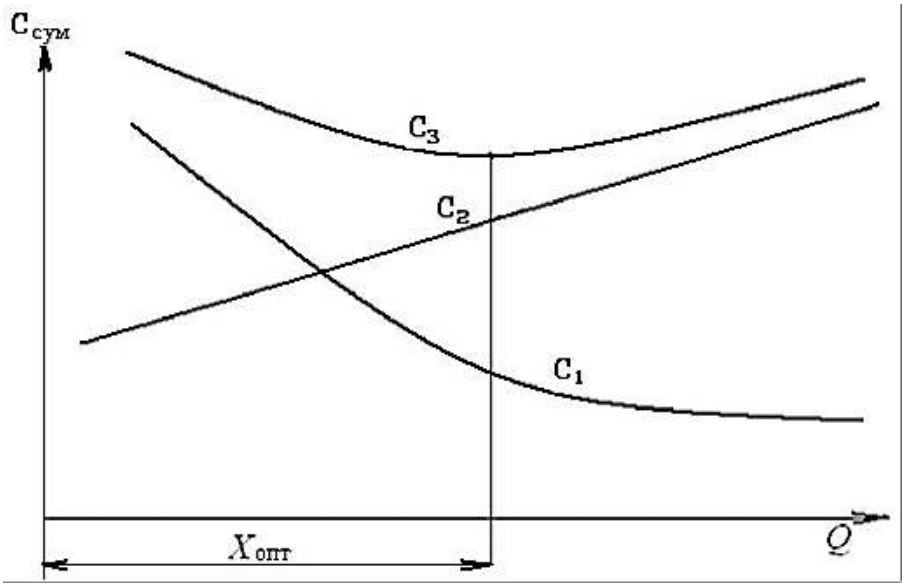
По минимальным удельным издержкам определение оптимальной периодичности позволяет учитывать рассеивание случайных значений параметров однотипных машин и устанавливать допускаемое значение параметра, которое зависит от периодичности обслуживания. Целевая функция издержек включает три составляющих:

$$S = S_о + S_{пв} + S_{ип} \longrightarrow \min, \qquad (2.1)$$

где $S_О$ – вероятные удельные издержки, связанные с устранением последствий отказа; $S_{ПВ}$ – то же на предупредительное восстановление параметра; $S_{ИП}$ – то же на измерение параметра.

Путем изменения периодичности и допусков находят минимальные издержки, которые соответствуют оптимальному значению периодичности и допуску на её значение.

Графическое изображение определения периодичности ТО технико-экономическим методом приведено на рисунке 2.4.



C_1 – затраты на ТО; C_2 – затраты на ремонт; C_3 – суммарные удельные затраты: $X_{опт}$ – оптимальная периодичность ТО

Рисунок 2.4 – Определение периодичности ТО технико-экономическим методом

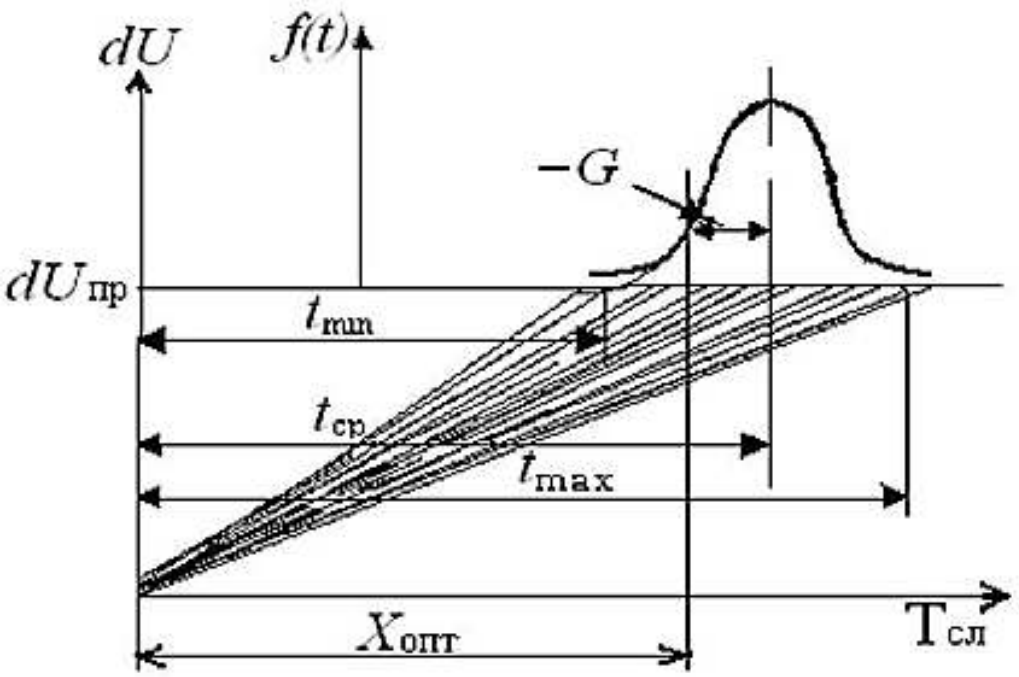
Технико-экономический метод определения периодичности ТО также является примером принятия решения в условиях определенности. В этой задаче элементом решения является оптимальная периодичность ТО, которая соответствует минимуму целевой функции, представляющей собой сумму затрат на ТО и ремонт.

По сроку достижения предельных значений параметра, в основе которого лежит закон распределения времени или наработки до предельно допустимого значения мощности, расхода топлива, производительности и др. На рисунке 2.5 приведена схема установления числовых характеристик статистических данных распределения наработок до предельного состояния.

Определив числовые характеристики распределения, можно найти значение наработки, при котором следует выполнить операцию обслуживания.

Для нормального распределения (Гаусса-Лапласа) периодичность принимают меньше математического ожидания (среднего значения) на величину среднеквадратического отклонения:

$$X_{опт} = t_{ср} - G. \qquad (2.2)$$



f(t) – плотность вероятности распределения; *G* – среднеквадратическое отклонение; t_{min}, $t_{ср}$, t_{max} – минимальное; среднее и максимальное значения наработки по параметру $dU_{пр}$; $T_{сл}$ – срок службы изделия

Рисунок 2.5 – Определение периодичности операции ТО по предельно допустимому ($dU_{пр}$) значению параметра с использованием статистических данных

При таком значении *X* только 15% изделий будут подвергаться выполнению операций ТО после достижения предельных значений параметра. Характер обслуживания можно считать предупредительным.

Уменьшение *X* до t_{min} приведет к лишнему необоснованному занижению периодичности, а с увеличением до t_{max} теряется предупредительный характер обслуживания.

2.2.5 Группирование операций и нормативы периодичности технических обслуживаний

Первоначальный проект правил ТО при подготовке машины к серийному производству создают на основе данных результатов заводских и государственных испытаний, опыта эксплуатации аналогичных изделий на других машинах и теоретических предпосылок.

Обобщение и анализ накопленных материалов в процессе эксплуатации позволяют создать достаточно обоснованную систему обслуживания. При этом предпочтительным является статистический материал, полученный по отдельным сборочным единицам. Операции технического обслуживания подразделяют на обязательные по периодичности и объему и выполняемые по результатам диагностических (проверочных) операций.

Для группирования операций выделяют основные по отношению времени простоя на выполнение операции или затрат средств на срок работы или службы:

$$K_1 = \frac{T_{пр}}{T_р}, \quad \text{или} \quad K_2 = \frac{З}{T_{сл}}, \tag{2.3}$$

где $T_{пр}$ – время простоя на выполнение операции ТО; $T_р$ – срок работы и $T_{сл}$ – срок службы обслуживаемой сборочной единицы; З – затраты на выполнение работ по обслуживанию сборочной единицы.

Основными операциями следует считать те, которые имеют указанные выше отношения выше средних значений по всем операциям.

При этом влияние окажут периодичность и время выполнения операции, стоимость заменяемых элементов и другие факторы. Операции с большими промежутками между обслуживаниями в систему не включают, так как при большом разбросе интервалов они будут выполняться или слишком рано, или слишком поздно. Такие операции выполняют по потребности - по результатам диагностики.

Контрольные вопросы

1. Задачи технического обслуживания машин.
2. Стратегии технического обслуживания машин.
3. Техническое обслуживание машин: виды, периодичность и цикличность.
4. Задачи эксплуатационной обкатки машин.
5. Зависимость износа трущихся поверхностей от результатов обкатки.
6. Установление периодичности технического обслуживания машин: по производительности (выработке); по минимальным удельным издержкам; по сроку достижения предельных значений параметра.
7. Группирование операций и нормативы периодичности технических обслуживаний машин.
8. Методы технического обслуживания машин.

2.3 Техническое обслуживание двигателей

2.3.1 Периодичность и содержание ТО автомобильных двигателей

Исправность машин достигается техническим обслуживанием и ремонтом путем реализации планово-предупредительной системы ТО. Обслуживание автотранспорта производится принудительно в плановом порядке (по пробегу), а ремонтные работы по потребности (после отказа или появления неисправности).

Положение о техническом обслуживании и ремонте регламентирует нормативы периодичности и трудоемкости, перечень операций по видам ТО и корректирование нормативов в зависимости от условий эксплуатации и другое.

Таблица 2.1 – Нормативы периодичности и трудоемкости ТО автомобилей

Модель автомобиля	Периодичность, км		Трудоемкость, чел-ч		
	ТО-1	ТО-2	ЕО	ТО-1	ТО-2
ГАЗ	3000	12000	0,42	2,2	9,1
ЗИЛ	3000	12000	0,45	2,5	10,8
МАЗ	4000	12000	0,3	3,4	13,8
КамАЗ	4000	12000	0,5	3,4	14,5

Ежедневное техническое обслуживание (ЕО) включает уборочно-моечные и контрольно-осмотровые работы, заправочные и другие операции. Проводятся они при подготовке машины к работе, по окончании смены, между сменами при многосменной работе.

Контрольно-осмотровые работы включают проверку комплектности и состояния машины, действия контрольно-измерительных приборов и систем, герметичности систем (смазки, охлаждения) и др. Контрольно-осмотровые и заправочные работы выполняет оператор (водитель). Уборочно-моечные работы выполняют рабочие соответствующих постов.

Технические обслуживания ТО-1 и ТО-2 включают операции ЕО и дополнительно крепежные, смазочные, регулировочные, контрольно-диагностические и другие. Эти обслуживания проводят по результатам нормативного пробега для первой категории условий. Нормативы для второй и последующих категорий эксплуатации рассчитывают с помощью коэффициентов, определяемых по соответствующим таблицам. Согласно положению, предусмотрены пять категорий условий эксплуатации – I, II, III, IV, V.

Сезонное техническое обслуживание (СО) проводится два раза в год при переходе с зимней эксплуатации на летнюю и с летней на зимнюю. Самостоятельное обслуживание (СО) планируется в районах холодного климата. В других условиях следует СО совмещать с периодическим – ТО-2.

2.3.2 Нормативы ТО и Р. Корректирование нормативов

Если условия эксплуатации отличаются от I категории, производится корректирование нормативов с учетом конкретных условий.

Ресурсное корректирование предназначено для создания в АТП сопоставимых условий работы (на общегосударственном, отраслевом и внутриотраслевом уровнях).

Оперативное корректирование предназначено для обеспечения эффективного использования на предприятиях трудовых и материальных ресурсов (на внутриотраслевом и хозяйственном уровнях).

Корректирование ведется в зависимости от условий эксплуатации с учетом условий движения транспортных средств (за городом, в городе с населением 100 тысяч жителей и более 100; вида дорожного покрытия от цементобетона до дорог без твердого покрытия (Д1–Д6); рельефа местности,

определяемого высотой над уровнем моря от категории (до 200 м) до уровня свыше 2000 м в диапазоне (Р1–Р5).

Корректированию подвергаются количественные значения нормативов технического обслуживания и ремонтов (пробег и другие), перечень операций ТО, соотношения между объемами работ ТО и ТР (в ТО включается часть операций текущего ремонта ТР, часто повторяющихся). Результаты корректирования для предприятий подлежат согласованию с вышестоящей организацией.

Корректирование нормативов в связи с учетом конкретных условий эксплуатации выполняется на основе результатов диагностирования технического состояния машин.

Таблица 2.2 – Коэффициенты корректирования нормативов ТО и КР (К1)*

Категория условий эксплуатации	Нормативы			
	Периодичность ТО	Удельная трудоемкость ТР	Пробег до КР	Расход запасных частей
I	1,0	1,0	1,0	1,0
II	0,9	1,1	0,9	1,10
III	0,8	1,2	0,8	1,25
IV	0,7	1,4	0,7	1,40
V	0,6	1,5	0,6	1,65

При корректировании нормы пробега до КР двигателя коэффициент К1 принимается равным 0,7 – для III категории условий эксплуатации; 0,6 – для IV и 0,5 – для V категории.

Коэффициент К1 корректирования норм расхода запасных частей для двигателя равен: 1,4 – для III категории условий эксплуатации; 1,65 – для IV; 2,0 – для V категории.

Корректирование нормативов на ТО и ремонт ведется по модификациям подвижного состава – К2; в зависимости от природно-климатических условий – К3; то же от пробега с начала эксплуатации – К4 и К4; то же от размеров АТП и количества технологически совместимых групп подвижного состава – К5.

Коэффициент корректирования, равный единице, принимается в качестве исходного для первой категории условий эксплуатации; базовых моделей автомобилей; умеренного климата и умеренной агрессивности окружающей среды; пробега подвижного состава 50–75% от начала эксплуатации до КР; для АТП с количеством обслуживаемых и ремонтируемых машин 200–300 единиц подвижного состава и при наличии трех технологически совместимых групп.

Значение коэффициента К2 корректирования нормативов принимается в зависимости от модификации подвижного состава и организации его работы.

Для расчета отдельных нормативов ТО и ремонта на общегосударственном и отраслевом уровнях допускается применение в качестве исходных усредненных условий эксплуатации с использованием коэффициентов корректирования, приведенных выше.

Результирующий коэффициент корректирования нормативов рассчитывается путем перемножения частных коэффициентов. В том числе:

– корректирующий периодичность ТО $К_{п\,то} = К1 \cdot К3;$ (2.4)

– то же, пробег до КР $К_{п\,кр} = К1 \cdot К2 \cdot К3;$ (2.5)

– то же, трудоемкость ТО $К_{т\,то} = К2 \cdot К5;$ (2.6)

– то же, трудоемкость ТР $К_{т\,тр} = К1 \cdot К2 \cdot К3 \cdot К4 \cdot К5;$ (2.7)

– то же, расход запасных частей $К_{р\,зч} = К1 \cdot К2 \cdot К3.$ (2.8)

Значения коэффициента К3 корректирования нормативов в зависимости от природно-климатических условий $К3 = К3^{1} \cdot К3^{11}$ различаются по категориям: умеренный климат, умеренно теплый, умеренно теплый влажный, теплый влажный, жаркий сухой (очень), умеренно холодный, холодный, очень холодный. Коэффициент $К3^{11}$ применяется при работе машин с высокой агрессивностью окружающей среды.

Нормативы корректируются для серийных моделей, в конструкции которых не учтены особенности работы в данных условиях. Агрессивность окружающей среды учитывается при постоянном использовании машин для перевозки химических грузов, вызывающих интенсивную коррозию.

Результирующие коэффициенты корректирования нормативов периодичности ТО и пробега до КР должны быть не менее 0,5.

Продолжительность простоя подвижного состава на техническом обслуживании и ремонте корректируется путем перемножения значений нормативов, приведенных выше, на коэффициент $К4^{1}$, зависящий от пробега с начала эксплуатации.

Значения коэффициента К4 – удельной трудоемкости ТР и $К4^{1}$ – продолжительности простоя на ТО в зависимости от пробега с начала эксплуатации определяются в соответствии с долями от нормативного пробега до КР (от 0,25 до 2,0).

Значение коэффициента К5 корректирования нормативов ТО и ТР в зависимости от количества обслуживаемых и ремонтируемых единиц подвижного состава на АТП (от 100 до 600 единиц) и от количества технологически совместимых групп машин – менее 3,3 и более 3.

Распределение подвижного состава по технологически совместимым группам при ТО и ТР приведено в приложении «Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автотранспорта». Количество машин в технологически совместимой группе должно быть не менее 25.

2.3.3 Повышение эффективности использования автомобильных двигателей

Основными путями повышения эффективности ДВС автомобилей в различных условиях эксплуатации являются: реализация установленных объективных норм (нормативов) и оптимизация их номинальных значений с учетом длительности эксплуатации; повышение надежности элементов и изделий в целом; улучшение (по возможности) условий эксплуатации; повышение приспособленности двигателя к условиям эксплуатации; системность подхода к решению проблемы.

Реализация объективных норм (нормативов) способствует оптимизации управления эксплуатацией автомобилей; повышает результативность работ; снижает затраты трудовых, материальных и топливно-энергетических ресурсов.

Нормы и нормативы устанавливают на расход топлива, периодичность ТО, трудоемкость ТО и ремонта, расход запасных частей, срок службы и др.

Автомобили (двигатели) разных марок и моделей имеют различный уровень надежности и приспособленности. В связи с этим требуется применение различных значений коэффициентов корректирования нормативов. Это одна из задач создателей машин.

Для заданных условий эксплуатации коэффициент корректирования определяется отношением

$$К_к = \frac{Y}{Y_б}, \tag{2.9}$$

где Y – значение параметра в заданных условиях эксплуатации; $Y_б$ – базовое значение параметра (значение Y в наиболее типичном интервале условий эксплуатации, для которого К = 1).

Норму для заданных условий следует определять согласно функции (в общем виде):

$$Y = f_1(Y_н, L, N, X, А), \tag{2.10}$$

где $Y_н$ – значение показателя для нормальных условий (номинальное значение); L – длительность эксплуатации; N – надежность автомобиля; X – условия эксплуатации; А – приспособленность машины к условиям.

Развертывание формулы позволяет получить зависимости, позволяющие повысить точность прогнозирования технического состояния машины.

Другой путь улучшения показателей эффективности машины – оптимизация номинальных значений параметра $У_н$. Задача состоит в том, чтобы при негативном влиянии длительности и условий эксплуатации реализуемые значения оставались на достаточно высоком уровне. Уравнение для расчета номинального значения параметра (в общем виде):

$$Yн = f_2(Y, L, N, X, A). \tag{2.11}$$

На величину параметра *Y* оказывает влияние как номинальное значение, так и разность между номинальным $\Gamma_н$ и оптимальным его значением $\Gamma_{опт}$, которая зависит от учета стандартных и реальных условий при создании и использовании ДВС и машины в целом.

Длительность эксплуатации снижает эффективность работы машины. В этом случае выход состоит в том, чтобы после определенного срока эксплуатации ДВС (машины) в тяжелых условиях переместить изделие в более легкие, где его показатели могут сохраняться еще длительное время, обеспечивая достаточный уровень надежности и безопасности.

Значение наработки ДВС (машины) в заданных условиях можно выразить так:

$$L = f_3(Y, Y_н, N, X, A). \quad (2.12)$$

Длительность эксплуатации должна быть определена исходя из минимальных значений удельных суммарных затрат на изготовление и эксплуатацию ДВС (машины). Повышение надежности – один из путей повышения эффективности рабочего процесса машины.

Из-за тяжелых природно-климатических и других условий заложенный уровень надежности может быть значительно снижен. Условием обеспечения эффективности работы изделия является поддержание эксплуатационной надежности, значение которой можно выразить функцией

$$N = f_4(Y, Y_н, L, X, A). \quad (2.13)$$

Установлено, что повышение надежности при создании техники (за счет конструкторско-технологических мероприятий) обходится народному хозяйству дешевле, чем обеспечение ее при эксплуатации.

Показатели эффективности использования ДВС зависят от условий эксплуатации. Особо это проявляется при значительном отличии рядовых условий от стандартных. Можно повысить эффективность работы в таких условиях за счет оптимизации методов и средств межсменного хранения машин при низких температурах; улучшения снабжения запасными частями; применения соответствующих ТСМ и др.

Определить условия эксплуатации, при которых эффективность использования ДВС машины с установленным уровнем приспособленности к данным условиям, определенной длительностью эксплуатации и надежностью можно через функцию

$$X = f_5(Y, Y_н, N, L, A). \quad (2.14)$$

Решение функции позволит получить параметр рационального использования машины в определенных условиях.

Повышение эффективности возможно и за счет приспособленности двигателя к условиям эксплуатации. Показатели приспособленности можно улучшить за счет конструктивных и эксплуатационных мероприятий. Среди

эксплуатационных мероприятий – использование теплых помещений для стоянки машин и средств для прогрева ДВС перед запуском, использование пусковых жидкостей и др. Среди конструктивных мероприятий – установка на ДВС индивидуальных подогревателей; рациональное сочетание зазоров трущихся поверхностей (пар) и используемых смазочных материалов; применение системы поддержания нормальной температуры ДВС.

Уровень приспособленности можно установить через функцию

$$A = f_6(Y, Y_н, N, X, L). \qquad (2.15)$$

Этот уровень определяется исходя из номинальных показателей эффективности использования ДВС машин; обеспечения заданных условий эксплуатации и реализуемых показателей для данных условий.

Объединительным (заключительным) направлением в повышении эффективности ДВС машин следует считать системность подхода с учетом рассмотренных выше направлений. Системный подход позволяет расширить возможности каждого из них за счет использования функциональных зависимостей составляющих параметров, входящих в приведенные выше зависимости. Для конкретных случаев следует находить критерий оптимизации и определять наивыгоднейшее значение его с учетом существующих ограничений.

Для целенаправленного управления реализуемыми показателями надежности служит нормирование показателей надежности и приспособленности, внесение их в нормативно-техническую и конструкторскую документацию.

Заводы-изготовители зачастую игнорируют установленные показатели приспособленности конструкции (в том числе к низким температурам) по расходу топлива, долговечности и др. Это приводит к излишней потере ресурсов при эксплуатации машин в северных районах. Там экономически выгоднее использовать более дорогие, но обладающие достаточной приспособленностью к этим условиям машины.

ГОСТ 20306-85 устанавливает требования к отражению в технической документации данных по расходу топлива для ДВС на автомобилях как контрольному значению, так и в связи с условиями (на дороге, в городе и др.) в зависимости от скоростного режима.

При наличии достаточного набора характеристик изделия легче найти потребителя, заинтересовать его и выгодно реализовать продукцию, организовать рекламу и выйти победителем в конкурентной борьбе среди отечественных и зарубежных создателей современных двигателей.

Вопросы к разделу

1. Техническое обслуживание тракторных ДВС при эксплуатационной обкатке (содержание).
2. Техническое обслуживание тракторных ДВС при использовании по назначению (схема и содержание).
3. Планирование технических обслуживаний тракторных ДВС.
4. Особенности ТО машин при низких температурах.
5. Сформулируйте цель ТО.
6. В чем суть ТО по потребности?
7. В чем суть регламентного ТО?
8. В чем заключается плановость и предупредительность ТО?
9. Цель и задачи эксплуатационной обкатки.
10. Основные параметры для установления периодичности ТО.
11. Какова периодичность ТО за автотранспортом?
12. Как рассчитать количество ТО по видам?
13. Содержание ТО при обкатке.
14. Содержание ТО при использовании автомашины.
15. Корректирование периодичности ТО автомобилей.

3 ДИАГНОСТИКА НЕИСПРАВНОСТЕЙ В СИСТЕМАХ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

3.1 Особенности диагностики автомобильных бензиновых двигателей при различных способах подачи воздуха и топлива

В диагностике современных бензиновых двигателей ведущее место занимает диагностика систем топливоподачи. Большое разнообразие данных систем за длительный период их существования было обусловлено стремлением ведущих фирм в конкурентной среде обеспечить оптимальную совокупность цены, надежности, качества и различных эксплуатационных показателей, приоритетных в конкретный период времени. Преимущества и недостатки той или иной системы питания всегда было принято оценивать с помощью целого комплекса показателей работы автомобильного двигателя в целом. Основными из них являются мощность, экономичность, токсичность, плавность переходных режимов и динамические качества. Степень совершенства систем топливоподачи определяется многими важными качествами, такими, как стабильность характеристик в производстве и в эксплуатации, минимальными удельными расходами топлива, низкой токсичностью ОГ и др., а также возможностью точного дозирования топлива, приближая реальные характеристики к идеальным, полученным по результатам стендовых регулировочных характеристик.

С середины 20-го века были известны два основных способа приготовления горючей смеси в камере сгорания бензинового двигателя. Первый способ предполагает создание гомогенной (однородной) смеси во впускном трубопроводе до впускного клапана двигателя (внешнее смесеобразование) и последующую транспортировку смеси в цилиндр на такте всасывания. Во втором способе весь процесс смесеобразования происходит в полости цилиндра при непосредственном впрыске топлива в камеру сгорания.

До начала 2000-х годов подавляющее большинство систем топливоподачи бензиновых двигателей представляли **системы с образованием рабочей смеси во впускном трубопроводе**. Конструкции этих систем прошли большой эволюционный путь развития от относительно простых карбюраторных систем до современных систем распределенного впрыска с электронным управлением. Создатели всех систем стремились организовать процесс предварительного перемешивания топлива и воздуха во впускном трубопроводе таким образом, чтобы обеспечить однородность смеси по всему объему камеры сгорания на всех режимах работы двигателя. Достичь этого на практике в полной мере, как правило, не удавалось, поэтому более правильно считать смесь, подготовленную системами с внешним смесеобразованием, условно гомогенной.

Ранее существовавшие системы с механическим непосредственным впрыском бензина не находили широкого распространения среди автомобильных двигателей, поскольку были весьма дороги, сложны в изготовлении и в обслуживании, ненадежны в эксплуатации. По этим потребительским ка-

чествам они уступали распространенным в то время карбюраторным системам и не могли с ними успешно конкурировать.

В карбюраторных системах питания дозирование топлива осуществляется за счет эжекции (т. е. подсоса топлива в воздушный поток, создаваемый двигателем на тактах всасывания) с последующим перемешиванием и получением готовой топливно-воздушной смеси сразу после дроссельной заслонки.

Эмульсионные карбюраторы представляют классический вариант системы с внешним смесеобразованием, в котором процесс испарения топлива начинается от распылителей в главном воздушном канале и продолжается по всей длине впускного трубопровода до впускных клапанов, способствуя созданию гомогенной смеси. Низкая стоимость, надежность, возможность достижения приемлемых показателей простыми средствами обусловили в свое время самое широкое распространение эмульсионных карбюраторов с вертикально падающим потоком.

С ужесточением нормативов по токсичности ОГ, а также с повышением требований к топливной экономичности двигателей в конструкции карбюраторов понадобилось внести несколько вспомогательных систем. Соответственно усложнилась диагностика и поиск неисправностей, поскольку количество факторов, воздействующих на формирование рабочей смеси, стало намного больше. Для контроля выбросов токсичных компонентов потребовалось использование газоанализаторов. На заключительном этапе модернизации карбюраторных систем питания стали активно внедряться различные электронные средства управления количеством и составом смеси. Наличие различных датчиков, включая λ-зонд, а также регуляторов холостого хода (РХХ), актуаторов, электроприводов дроссельной и воздушной заслонок и других исполнительных механизмов, потребовало применения электронного блока управления (ЭБУ). Для системной диагностики работы двигателя с такими карбюраторами необходимо использование измерительных средств, аналогичных средствам, применяемых в системах впрыска с электронным управлением.

Альтернативой довольно сложным конструкциям карбюраторов с электронным управлением явились системы центрального впрыска с подачей топлива под давлением около 0,1 кПа в воздушный тракт до дроссельной заслонки. Эти системы с одной топливоподающей форсункой были значительно проще и дешевле, чем системы распределенного впрыска и могли заменить карбюраторную систему без существенного изменения компоновки впускного тракта и головки блока двигателя. По сравнению с электронными карбюраторами диагностика работы систем центрального впрыска была менее трудоемкой, но имела свои особенности, связанные с подачей топлива под давлением. Однако вышеназванные системы не смогли успешно конкурировать с системами распределенного впрыска прежде всего из-за неравномерного распределения топлива по цилиндрам и цикловой нестабильности топливоподачи.

Некоторый период времени наряду с системами распределенного впрыска с электронным управлением сосуществовали гидромеханические

системы с непрерывной подачей топлива (K-Jetronic и KE- Jetronic), в которых форсунки не являлись дозаторами топлива, а выполняли функцию транспортировки бензина от сложного дозатора-распределителя к впускному трубопроводу. Диагностика дефектов данных систем весьма специфична и связана с необходимостью измерения давлений сразу в нескольких полостях и трубопроводах дозатора-распределителя.

Постепенно, с дальнейшим ужесточением требований по ограничению токсичности автомобильных двигателей и с расширением возможностей электронных средств управления, карбюраторные системы и системы центрального впрыска стали вытесняться разнообразными системами распределенного впрыска с внешним смесеобразованием. Большинство известных фирм производителей топливной аппаратуры пошли по пути совершенствования систем с электронным управлением цикловой подачей посредством использования электромагнитных форсунок.

Для анализа и контроля состава смеси на различных режимах работы двигателя нужно знать расход воздуха и расход топлива. В отличие от карбюраторных систем и систем центрального впрыска в системах распределенного впрыска с электронным управлением удобнее оперировать не значениями часовых расходов воздуха и топлива, а значениями цикловой массы воздуха $G_{Bц}$ и цикловой массы топлива $G_{Tц}$, поскольку значения $G_{Tц}$ рассчитываются в ЭБУ исходя из значений $G_{Bц}$. Цикловая подача топлива зависит от режима работы и теплового состояния двигателя и определяется известным выражением

$$G_{Tц} = \frac{G_{Bц}}{\alpha l_0}, \tag{3.1}$$

где $G_{Bц}$ – массовый заряд воздуха, поступающий в цилиндр за цикл;

α – коэффициент избытка воздуха (состав топливно-воздушной смеси);

l_0 – количество воздуха, теоретически необходимое для сгорания одного килограмма топлива.

Известно также, что величина $G_{Bц}$ определяется выражением

$$G_{Bц} = \frac{V_h}{i}\rho_0\eta_v, \tag{3.2}$$

где V_h – рабочий объем двигателя;

p_0 – плотность воздуха;

i – число цилиндров;

η_v – коэффициент наполнения.

В системах управления с датчиком массового расхода воздуха (ДМРВ) цикловая подача воздуха для четырехтактного двигателя рассчитывается по формуле

$$G_{Bц} = \frac{G_B}{30in}, \tag{3.3}$$

где G_B – часовой расход воздух, кг/ч;

i – число цилиндров;

n – частота вращения коленчатого вала, об/мин.

Если в качестве основного датчика в системе управления используется датчик абсолютного давления (ДАД), то значения $GB_{ц}$, зависящие от величин P_0, определяются опосредованно через функцию нескольких переменных:

$$G_{Вц} = F\,(Рк, n, P_0, T_в, T_ж), \tag{3.4}$$

где $P_К$ – абсолютное давление во впускном трубопроводе; n – частота вращения двигателя; P_0 – атмосферное давление; $T_В$ – температура воздуха на входе во впускной тракт; Тж – температура охлаждающей жидкости двигателя, определяющая его тепловое состояние.

Для последующего вычисления значения $G_{Тц}$ по формуле (3.1) нужно выбрать оптимальное для каждого конкретного режима значение α, зависящее от внешних условий и теплового состояния двигателя. Таким образом, цикловая подача топлива является сложной функцией ряда переменных, определяющей режимы и условия работы двигателя.

Дозирование топлива в системах впрыска с электронным управлением базируется на изменении времени открытого состояния клапана электромагнитной форсунки. Для реализации цикловой подачи топлива форсунками в ЭБУ формируются сигналы в виде управляющих прямоугольных импульсов тока различной продолжительности. Эти сигналы следуют один за другим с периодичностью, определяемой датчиком положения коленчатого вала (ДПКВ) и датчиком фаз (ДФ).

В первом приближении необходимая для конкретного значения $G_{Вц}$ длительность управляющего импульса τ выбирается, исходя из отношения

$$\tau = \frac{G_{Тц}}{q_0}\ , \tag{3.5}$$

где q_o – статическая производительность форсунки при открытом клапане, которую с определенными допущениями можно выразить формулой

$$q_0 = \mu_ф f_ф \sqrt{\frac{2}{\rho_т}\Delta p_ф}\ , \tag{3.6}$$

где $\mu_ф f_ф$ – эффективное сечение клапана форсунки; $p_т$ – плотность топлива; $\Delta p_ф$ – перепад давления топлива на клапане форсунки.

В идеальном случае время открытого состояния клапана форсунки должно быть равным продолжительности электрического управляющего импульса τ, поступающего на обмотку электромагнита. Однако в реальной форсунке клапан открывается и закрывается не одновременно с началом и окончанием управляющего импульса, а с запаздыванием. Поэтому стабильность управляющих импульсов τ, подаваемых на форсунки, еще не гарантирует повторяемости цикловых подач топлива из-за возможных технологических или эксплуатационных отклонений расходных характеристик форсунок. По-

скольку электромагнитные форсунки являются исполнительными дозирующими устройствами систем впрыска, для достижения высокой точности дозирования и равномерного распределения топлива по цилиндрам важно осуществлять периодическую проверку производительности форсунок на специальном диагностическом стенде. Разброс расходных характеристик комплекта форсунок, установленных на одном двигателе, приводит к излишнему обеднению или обогащению смеси в отдельных цилиндрах с существенным ухудшением экономических и мощностных показателей двигателя.

Помимо контроля цикловых подач воздуха и топлива для диагностики состояния системы управления целесообразно проводить анализ многих параметров, воздействующих на работу двигателя на различных скоростных и нагрузочных режимах. К числу наиболее важных параметров следует отнести угол опережения зажигания (УОЗ) φ, угол открытия дроссельной заслонки θ, давление $P_К$ или разрежение $\Delta P_К$ во впускном трубопроводе, температуру охлаждающей жидкости $T_Ж$, температуру воздуха на входе во впускной трубопровод $T_В$, напряжение λ-зондов $U_К$, показания газоанализатора.

Внедрение в конструкцию современных систем впрыска дополнительных устройств для снижения токсичности ОГ, таких, как система рециркуляции ОГ, система улавливания паров бензина, дополнительные нейтрализаторы с накопителем NO_X и ряд других систем, потребовало включить дополнительные мероприятия в диагностику систем управления и контроль за их правильной работой.

В целом можно предполагать дальнейшее развитие систем распределенного впрыска топлива во впускной трубопровод, связанное с внедрением новых способов автоматического регулирования процессов в двигателе с помощью электронных средств управления подобно электронной дроссельной заслонке и электронной педали газа. Усложнение конструкций потребует и новых методик в области диагностики возможных неисправностей.

Фундаментальные преобразования в области автомобильных технологий в конце 20-го века позволили по-новому оценить преимущества, которые могут дать ***системы с непосредственным впрыском***.

Во-первых, появилась возможность более полно реализовать давно известный ***принцип послойного распределения заряда топлива***, который позволяет эффективно сжигать небольшую массу топлива в большом объеме воздуха. При таком смесеобразовании в диапазоне небольших нагрузок впрыснутая масса топлива по сути является основным параметром, определяющим величину крутящего момента. Во-вторых, поток воздуха дросселируется в меньшей степени по сравнению с системами с внешним смесеобразованием, то есть даже при минимальных нагрузках обеспечивается режим работы двигателя с достаточно широко открытой дроссельной заслонкой, что в свою очередь снижает ***насосные потери на такте всасывания***. В-третьих, использование электромагнитных форсунок вместо механических в качестве высокоточных дозаторов бензина под высоким давлением позволяет гибко варьировать ***моментом подачи и количеством подаваемого топлива в зависимости от режима работы***.

Очевидно, что большие различия в способах подачи топлива и воздуха требуют разных подходов к диагностике многих параметров работы двигателя. Так, во всех системах с внешним смесеобразованием **дроссельная заслонка** по сути является **дозатором** количества условно гомогенной смеси, включая системы с распределенным впрыском, где формирование готовой смеси происходит во впускном трубопроводе у впускного клапана. Поэтому такие параметры, как давление во впускной трубе или угол открытия дроссельной заслонки определяют степень нагрузки двигателя. Соответственно считывание значений и характер изменения этих параметров занимают важное место в общем параметрическом анализе практически всех систем с внешним смесеобразованием.

В системах с непосредственным впрыском значения этих параметров не столь информативны, поскольку на режимах холостого хода и малых нагрузок заслонка не выполняет функцию дозатора количества смеси, а перепад давления до и после заслонки намного меньше, чем в системах с внешним смесеобразованием. На первый план здесь выходят параметры, связанные с количеством и моментом впрыска топлива в зависимости от условий смесеобразования.

На диаграмме, представленной на рисунке 3.1, показаны условные линии разграничения возможных режимов работы двигателя при использовании непосредственного впрыска в координатах M (крутящий момент) и n (частота вращения коленчатого вала). Всего на рисунке 3.1 выделены пять зон с различными условиями смесеобразования, которые могут использоваться при непосредственном впрыске. При послойном смесеобразовании (зона С на рисунке 3.1) смесь, если рассматривать все пространство камеры сгорания, является сильно обедненной. На холостом ходу и небольших нагрузках работа двигателя осуществляется с подачей топлива только на такте сжатия. Причем поданная масса топлива является основным параметром, определяющим величину крутящего момента. Однако эти условия смесеобразования возможны лишь при ограничении значений n до определенной величины (не более 3000 об/мин), поскольку с увеличением n возрастает турбулентность потока в камере сгорания, препятствующая расслоению заряда, а также значительно сокращается время на подготовку, воспламенение и сгорание смеси. С другой стороны значительное увеличение цикловой подачи топлива на такте сжатия приводит к возникновению локальных зон с переобогащенной смесью и образованию сажи в районе свечи зажигания. Поэтому зона С на рисунке 3.1 имеет вполне определенные ограничения по параметрам M и n.

С увеличением нагрузки при небольшом значении n непосредственный впрыск топлива дает возможность использовать условия гомогенно-послойного распределения смеси (зона D) с двойным впрыскиванием топлива. При гомогенно-послойном распределении смеси вся камера сгорания заполняется гомогенно-обедненной рабочей смесью за счет впрыскивания определенного количества топлива на такте впуска. Затем, при движении поршня вверх во время такта сжатия производится второе впрыскивание, за счет которого образуется обогащенная зона топливно-воздушной смеси возле

свечи зажигания. Этот заряд смеси легко воспламеняется от свечи и по типу факельного зажигания воспламеняет гомогенно-обедненную смесь, находящуюся в остальном пространстве камеры сгорания. Применение гомогенно-послойного распределения смеси с двойным впрыскиванием топлива позволяет осуществить плавный переход от послойного к гомогенному распределению смеси. Таким способом при плавном увеличении цикловой подачи топлива происходит постепенное возрастание *M* и *n* двигателя.

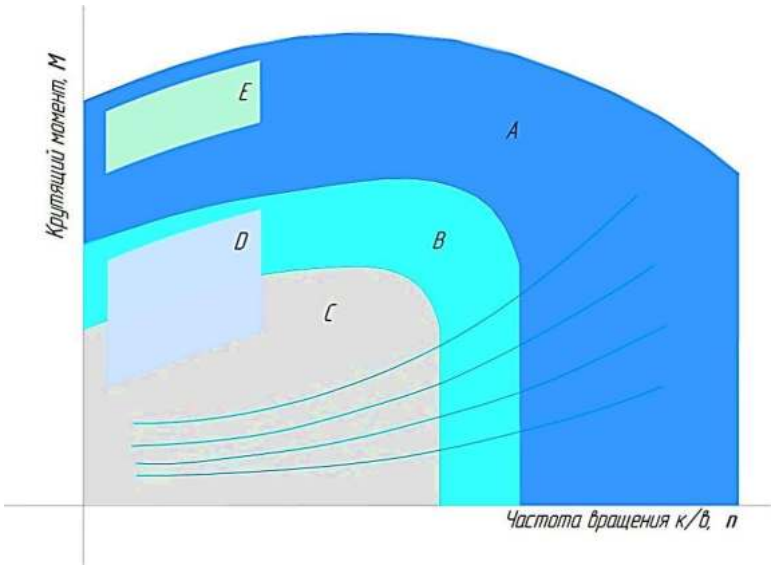


Рисунок 3.1 – Характеристики работы двигателя
с непосредственным впрыском топлива
в зависимости от вида распределения смеси в камере сгорания

В зоне B (рисунок 3.1) осуществляется работа двигателя на гомогенно-обедненной смеси. Степень обеднения смеси здесь значительно меньше, чем в зоне D, что позволяет надежно воспламенять смесь и в то же время создавать условия для наиболее экономичной работы двигателя на частичных нагрузках. Следует отметить, что границы между зонами B, C и D весьма условны, поэтому пограничные значения *M* и *n* могут быть получены на режимах с различным распределением смеси. При дальнейшем увеличении нагрузки и оборотов (зона A) двигатель продолжает работать на гомогенной смеси с подачей топлива только на такте всасывания. Состав смеси может варьироваться от несколько обедненного ($\alpha > 1$) до обогащенного ($\alpha < 1$) в зависимости от требований, предъявляемых к характеристикам двигателя, в диапазоне высоких значений *M* и *n*. Верхняя линия зоны A соответствует значениям *M* по внешней скоростной характеристике.

Возможности двойного впрыскивания топлива в системах с непосредственным впрыском используются еще при работе двигателя на полной нагрузке, с низкими значениями *n* (зона E на рисунке 3.1). На этом режиме велика вероятность возникновения детонации, если специально не занижать углы опережения зажигания (УОЗ). Послойно-гомогенное распределение смеси с подачей части топливного заряда на такте сжатия позволяет избежать

детонации при оптимальном значении УОЗ и получить более высокие значения *M*. Еще один вид двойного впрыскивания топлива позволяет получить быстрый нагрев системы выпуска ОГ и каталитического нейтрализатора на режиме прогрева двигателя. В условиях послойного распределения смеси первое впрыскивание осуществляется на такте сжатия и после воспламенения смеси второе впрыскивание производится после прохождения поршнем верхней мертвой точки (ВМТ). Вторая часть топлива сгорает с большой задержкой, быстро нагревая систему выпуска до очень высоких температур и ускоряя процесс каталитических реакций в нейтрализаторе.

В режимах работы двигателя с послойным и гомогенно-послойным смесеобразованием важным параметром является не только величина цикловой подачи топлива, но и время начала подачи на такте сжатия. Величина цикловой подачи определяется длительностью управляющего импульса τ и давлением впрыска *P*, которое в системах непосредственного впрыска также является переменной и регулируемой величиной. Оптимальный момент начала впрыска топлива выбирается исходя из значения *n* и величины цикловой подачи $G_{тц}$. Учитывая очень малое время, отведенное для впрыска и испарения топлива перед воспламенением смеси (такт сжатия двигателя при $n = 3000$ об/мин длится всего 10 мс), ясно, что чем выше *n* и больше величина циклового заряда, тем раньше по углу поворота коленчатого вала должен производиться впрыск топлива. Если, например, при увеличении *n* возрастает УОЗ, то соответственно этому должен возрастать и угол опережения впрыска топлива (УОВТ).

В зависимости от конструктивных особенностей рабочих форсунок длительность впрыска топлива в режимах холостого хода и малых нагрузок при послойном смесеобразовании находится в диапазоне 0,4–2,0 мс при давлении впрыска 4–5 мПа. Дальнейшее увеличение цикловой подачи происходит уже на такте всасывания в условиях послойно-гомогенного и гомогенного смесеобразования. С увеличением значения *n* до 6000 об/мин сокращается время, отведенное для подачи топлива на такте всасывания до 5 мс и менее. С тем, чтобы уложиться в заданное время, давление впрыска может подниматься до 12 мПа.

Увеличение давления в три раза позволяет сократить время впрыска примерно в 1,7 раза для той же массы циклового заряда. Изменение давления от минимального значения на холостом ходу до максимального при больших нагрузках происходит с помощью специального клапана регулировки давления.

Сопоставление работы систем впрыска во впускной трубопровод и непосредственного впрыска позволяет выделить главные различия этих систем, которые следует учесть при детальной диагностике и параметрическом анализе работы двигателя. Наличие в системах непосредственного впрыска контура высокого давления предусматривает использование соответствующего оборудования и оснастки для проверки форсунок высокого давления, насоса высокого давления, а также набора специальных манометров, регистрирующих величину давлений топлива в топливных магистралях. Много-

образие возможных режимов работы двигателя с непосредственным впрыском и послойным смесеобразованием требует значительно большего объема испытаний и диагностических операций с определением цикловых зарядов воздуха и топлива, состава смеси, сигналов напряжений λ-зондов, а также значений УОЗ и УОВТ.

3.2 Диагностика характерных неисправностей работы автомобильных бензиновых двигателей в процессе эксплуатации

Существует большое количество дефектов автомобильного бензинового двигателя, имеющих различную природу происхождения, большинство из которых можно свести к следующим:

– неисправности, связанные с повреждением или износом механической части двигателя;

– неисправности, связанные с работой двигателя на холостом ходу;

– повышенный расход топлива;

– повышенная токсичность и дымление двигателя;

– недостаточно развиваемая мощность;

– плохой запуск в условиях низких и высоких температур;

– детонационные стуки и калильное зажигание;

– неудовлетворительные ездовые свойства автомобиля;

– перегрев или недостаточный прогрев двигателя.

3.2.1 Диагностика неисправностей механической части двигателя

В процессе проведения диагностики неисправностей важно разделить дефекты, связанные с выходом из строя механической части двигателя, от дефектов, возникших из-за сбоя в системах управления двигателем. Поэтому в случаях появления посторонних стуков, утечек рабочих жидкостей, неустойчивой и шумной работы двигателя и других подобных дефектов необходимо в первую очередь произвести проверку работоспособности непосредственно самого двигателя.

Существует определенный перечень дефектов, которые можно определить с помощью **диагностики по внешним признакам**.

Например, внешние проявления неисправностей в виде различных стуков, дымности выхлопных газов, утечек масла и охлаждающей жидкости свидетельствуют о серьезных неполадках в двигателе, которые могут привести к падению мощности, повышенному расходу топлива и масла, затрудненному запуску холодного и горячего двигателя и другим последствиям вплоть до полного выхода из строя. Объективную картину состояния двигателя можно дополнить результатами измерений компрессии в отдельных цилиндрах, давления картерных газов, визуальным осмотром элементов впускной и выпускной систем.

Однако следует иметь в виду, что механические неисправности могут иметь скрытый характер и отражаться на работе систем управления двигате-

лем (СУД). Органы СУД могут реагировать на появление дефектов механической части двигателя в виде возникновения различных ошибок, фиксируемых ЭБУ, повышения значений *n* в режиме холостого хода, снижения эффективности работы нейтрализатора отработавших газов (ОГ) и др.

Эти ошибки и явления могут быть следствием неудовлетворительного состояния самого двигателя. Воздействие механических дефектов на работу элементов СУД порой оказывается значительным и не позволяет установить истинную причину неисправности только с помощью электронных средств диагностики. Например, ошибка «пропуски зажигания в таком-то цилиндре» может быть вызвана не отсутствием стабильного искрового разряда или отсутствием подачи необходимой цикловой массы топлива, а утечкой заряда из-за пониженной компрессии в указанном цилиндре.

Существует понятие «**предельного состояния» износа деталей двигателя**, при достижении которого дальнейшая эксплуатация сопряжена с целым рядом неисправностей, возникающих из-за неудовлетворительного состояния механической части двигателя. ***Для деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ) признаками предельного состояния износа принято считать:***

1) расход масла, превышающий 1,0–1,5 л на 1000 км пробега автомобиля;
2) наличие давления в картере двигателя, с которым не справляются системы отвода и вентиляции картерных газов;
3) большая потеря компрессии, вызванная разрушением поршневых колец и перемычек поршня;
4) быстрое замасливание свечей зажигания и выход их из строя;
5) наличие масла во впускном тракте и в выпускном коллекторе.

В описанных случаях следует прежде всего устранить дефект непосредственно самого двигателя, поскольку последующие сбои и пропуски рабочих циклов непременно скажутся и на работе СУД. При диагностике дефектов механической части двигателя необходимо придерживаться определенного порядка проведения проверок, постепенно исключающих все неисправности, не характерные для данного случая, и сужающих круг поиска.

Определение неисправности неработающего двигателя представляет собой отдельную и нередко весьма трудную задачу по сравнению с диагностикой работающего двигателя. При проведении диагностики неработающего двигателя вначале необходимо определить причину невозможности запуска. Она может быть связана либо с поломкой механической части и навесных агрегатов двигателя, либо с неисправностью СУД. Ошибка на данном этапе проверки ведет к неоправданным затратам времени и средств на проведение ненужных работ.

По **внешним признакам** ***неработающего двигателя неисправности могут быть условно разделены на две основные группы: к первой группе следует отнести неисправности, при которых двигатель вращается достаточно легко (стартером, специальным ключом и т.п.), к другой – когда двигатель проворачивается с большим усилием, либо не вращается совсем.***

Если двигатель легко вращается, но не заводится, то в первую очередь следует обратить внимание на сохранность ремня или цепи привода ГРМ. Предшествующая внезапная остановка двигателя может свидетельствовать об обрыве или перескакивании этих деталей на шкивах коленчатого и распределительного валов. На определенных моделях двигателей эта поломка влечет за собой потерю компрессии вследствие нарушения герметичности прилегания тарельчатых клапанов из-за их «встречи» с днищем поршня. На моделях двигателей, где предусмотрены конструктивные решения, препятствующие такой «встрече», для возобновления рабочего состояния двигателя достаточно просто заменить ремень или цепь.

Внезапная остановка двигателя также может быть вызвана отсутствием искрового разряда на свече в результате дефекта какого-либо элемента, входящего в систему зажигания или выходом из строя ДПКВ. Что касается невозможности запуска двигателя по причинам, связанным с отсутствием топливоподачи, то детальный разбор этих причин представлен в последующих разделах данного пособия.

Если коленчатый вал не вращается или проворачивается с большим трудом, то причины неисправности заключены, как правило, в механике самого двигателя. Чтобы облегчить диагностику и сделать правильные выводы, важно знать, что предшествовало такому состоянию двигателя, например, перегрев, отсутствие давления масла, обрыв ремня ГРМ и т. п. В любом случае механическое повреждение может быть устранено только после частичной или полной разборки двигателя либо его узлов.

Широко распространенным способом диагностирования состояния двигателя без разборки является измерение компрессии в цилиндрах. Обычно величина компрессии у современных двигателей находится в пределах 1,1–1,5 МПа и зависит от степени сжатия и особенностей конструкции газораспределительного механизма. В отличие от степени сжатия компрессия является физической величиной, показывающей максимальное давление в камере сгорания при прокрутке двигателя.

Существуют непосредственный способ измерения давления в отдельных цилиндрах при помощи компрессометра и относительный способ измерения давления путем сравнения амплитуды потребляемого тока стартером при прокрутке двигателя.

Компрессометр представляет собой манометр с обратным клапаном, на конце которого располагается либо насадка с уплотнительным резиновым конусом, либо, что более удобно, резьбовая часть для наворачивания прибора в отверстие вместо свечи зажигания. Простота и доступность использования этого прибора сделали его универсальным средством первичной диагностики дефектов механической части двигателя.

Однако далеко не всегда полученные результаты компрессии в цилиндрах двигателя следует трактовать однозначно. Большое число факторов может повлиять на максимальное давление в цилиндре и существенно изменить выводы в результате испытаний. У двигателей с большим износом ЦПГ характерны случаи, когда большой расход масла (1,0 л и более на 1000 км про-

бега) сопровождается явлением «псевдокомпрессии», то есть компрессии несколько завышенной по сравнению с номинальной величиной из-за дополнительного уплотнения компрессионных колец масляной пленкой и попадания масла в камеру сгорания. С другой стороны, небольшая потеря компрессии (0,1–0,2 МПа) может оказаться временной и вызвана, например, попаданием частиц нагара на фаску тарелки клапана. Разброс в показаниях компрессии по результатам нескольких замеров на одном и том же цилиндре может свидетельствовать об износе направляющих втулок клапанов, так как плотность прилегания фасок клапанов к седлам в этом случае может быть различной. Уменьшение зазоров в механизме привода клапанов меньше допустимых или неисправные гидротолкатели ГРМ способны значительно снизить компрессию.

Помимо указанных эксплуатационных факторов на величину компрессии влияют факторы, связанные с условиями и методикой измерений. Поэтому при измерении компрессии следует соблюдать следующие правила:

– двигатель должен быть прогретым;

– подачу топлива следует отключить;

– вывернуть свечи во всех цилиндрах;

– частота оборотов при прокрутке стартером должна быть обеспечена не менее 120 об/мин;

– дроссельная заслонка не должна быть полностью закрытой.

При измерениях следует учитывать динамику нарастания давления. Так, если на первом такте сжатия величина давления низкая (0,3–0,4 МПа), а при последующих тактах возрастает, то это, как правило, свидетельствует об износе поршневых колец. Напротив, если на первом такте достигается умеренное давление (0,7–0,9 МПа), а при последующих тактах эта величина практически не растет – это косвенно свидетельствует о наличии утечек через клапан или трещины в прокладке и в головке блока.

В период эксплуатации случается, что компрессия в каком-либо цилиндре минимальная или вообще отсутствует, цилиндр не работает, а свеча зажигания при этом остается чистой. Здесь почти наверняка можно утверждать, что прогорел клапан или образовалась значительная трещина на тарелке клапана. Низкая компрессия или ее отсутствие у двух смежных цилиндров указывает на вероятный прогар перемычки прокладки головки блока.

Из анализа приведенных примеров следует, что во многих случаях полученные результаты измерения компрессии можно рассматривать как относительные, направленные на поиск неисправностей в конкретных цилиндрах. При этом абсолютные значения компрессии имеют второстепенное значение.

Быстро и эффективно произвести проверку относительной компрессии в отдельных цилиндрах можно иным способом, например, с помощью осциллоскопа универсального диагностического комплекса FSA-740, предназначенного для моторной диагностики двигателя. С помощью токоизмерительной цанги комплекса измеряется характер пульсаций тока, потребляемого стартером при прокрутке коленчатого вала, показанный на рисунке 3.2 справа.

В результате получаются гистограммы амплитуды тока стартера в последовательности тактов сжатия отдельных цилиндров (рисунок 3.2 слева). Чем больше сопротивление, оказываемое на такте сжатия какого-либо цилиндра, тем больше требуется ток и, следовательно, выше компрессия.

Представленные на рисунке 3.2 идеальные гистограммы свидетельствуют об одинаковом значении компрессии во всех цилиндрах, что характерно для исправного двигателя. В двигателях с предполагаемыми дефектами нужно провести сравнительный анализ полученных минимальных и максимальных значений тока. Если разница между этими значениями составляет величину более 15–20%, то цилиндры с пониженной компрессией следует подвергнуть дальнейшей проверке.

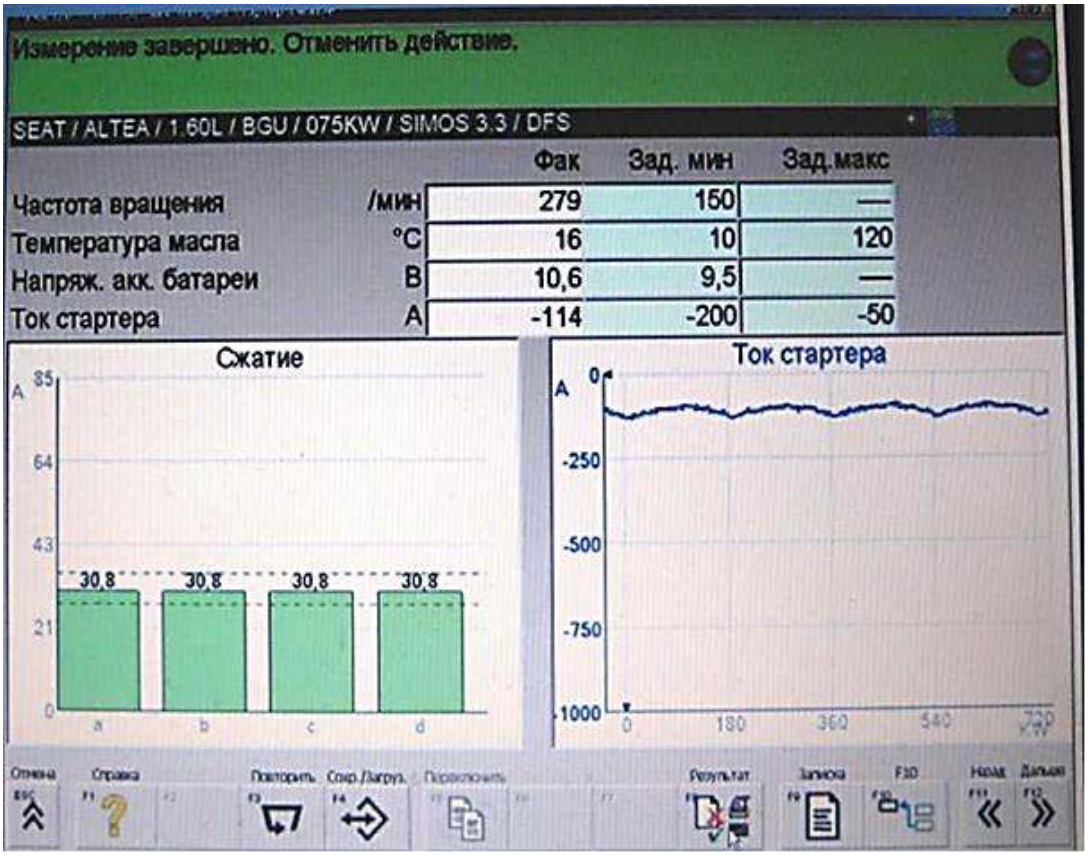


Рисунок 3.2 – Гистограммы относительной компрессии
в отдельных цилиндрах двигателя

Преимуществами данного метода являются быстрота и малая трудоемкость получения относительных значений компрессии по всем цилиндрам за один цикл (5–10 с прокрутки стартером), что особенно удобно при диагностике многоцилиндровых двигателей.

Кроме того, описанный способ позволяет выявить дефектный цилиндр или несколько цилиндров без необходимости выкручивания свечей, что особенно важно при их неудобном расположении.

Недостатком метода является получение результатов в виде значений относительной компрессии. Чтобы получить представление об абсолютных

значениях компрессии, нужно с помощью обычного компрессометра измерить её величину хотя бы в одном цилиндре и далее путем сравнения гистограмм определить величину компрессии в каждом из цилиндров.

Если возникают сомнения в правильности постановки диагноза только по результатам измерения компрессии, целесообразно воспользоваться еще одним способом первичной диагностики состояния двигателя, а именно, измерением **давления картерных газов**. Практически каждый из проверяемых двигателей оборудован системой вентиляции или системой отбора картерных газов из полости картера во впускной трубопровод. Часть этих газов отводится за дроссельную заслонку через небольшое отверстие в зону высоких разрежений на режимах холостого хода и малых нагрузок, другая основная часть газов выводится в воздушный тракт до дроссельной заслонки.

Суммарно на всех режимах работы исправного двигателя система отвода картерных газов должна обеспечивать небольшое разрежение в полости картера (50–200 Па). С возрастанием износа деталей ЦПГ в связи с прорывом газов в картер система отбора картерных газов не справляется с возрастанием давления в картере, из-за чего в картере создается постоянное давление. При критическом износе деталей ЦПГ происходит дальнейшее возрастание давления в картере и увеличивается расход масла. Кроме того, начинают течь сальники и прокладки, возрастает количество масляных паров в картерных газах, которые участвуют в газообменных процессах, выводя из строя элементы систем топливоподачи.

Указанные признаки работы характерны для «предельного состояния» ЦПГ двигателя, которое влечет за собой высокую вероятность возникновения новых неисправностей. Диагностика такого двигателя только по результатам измерения компрессии не всегда дает однозначный ответ относительно степени износа, поскольку компрессия во всех цилиндрах может быть равномерной и достаточно высокой (псевдокомпрессия). К тому же расход масла может быть обусловлен не только износом ЦПГ, но и износом маслосъемных колпачков и направляющих втулок газораспределительного механизма. Дополнительная диагностика с измерением давления картерных газов помогает произвести оценку состояния ЦПГ более объективно.

Для измерений наиболее удобно воспользоваться отверстием под масляный щуп для контроля уровня масла в картере и плотно соединить его с манометром, позволяющим измерять давление и разрежение с высокой разрешающей способностью. Манометр для измерений должен быть чувствительным и иметь цену деления порядка 10–20 Па.

Во избежание искажений результатов диагностики перед измерением следует проверить наличие свободных от отложений отверстий и проходов для отбора картерных газов. Если воздушный фильтр сильно загрязнен, то его следует заменить. Сначала следует измерить давление на минимальных оборотах холостого хода. На этом режиме допустимо небольшое давление (10–30 Па) картерных газов, поскольку эффективность отбора газов невелика.

Далее, если при увеличении оборотов двигателя давление постепенно переходит в зону разрежения, то можно предположить небольшой износ де-

талей ЦПГ. Дальнейшее же возрастание давления будет свидетельствовать о серьезном износе деталей ЦПГ. Если результаты диагностики по замеру давления (разрежения) в картере хорошо согласуются с результатами по замеру компрессии, то вероятность постановки правильного диагноза существенно возрастает.

3.2.2 Диагностика неисправностей, влияющих на работу двигателя на холостом ходу

Режим холостого хода (ХХ) занимает видное место в общем объеме эксплуатационных режимов работы двигателя. При испытании автомобилей по стандартным ездовым циклам Европы, Японии, и США значительную долю времени (25–30%) двигатель работает на ХХ. От правильной работы двигателя в этом режиме во многом зависят эксплуатационный расход топлива, экологические показатели, комфортность автомобиля.

Неисправности, связанные с работой двигателя на ХХ, могут проявляться в виде:

– полного отсутствия ХХ;

– периодического заглохания;

– неустойчивой работы;

– повышенной частоты вращения.

Условия работы двигателя в режиме ХХ различны для систем с внешним смесеобразованием и систем с непосредственным впрыском топлива. В системах с внешним гомогенным смесеобразованием регулировка холостого хода производится как изменением **количества смеси**, так и изменением её **качественного состава**. В системах с непосредственным впрыском и послойным смесеобразованием регулирование осуществляется за счет изменения массы впрыскиваемого топлива.

Независимо от типа системы топливоподачи, режим работы двигателя с внешним смесеобразованием на ХХ характеризуется весьма малыми величинами расхода смеси и большим перепадом давлений до и после дроссельной заслонки.

Например, для обеспечения работы на ХХ при n = 700÷800 об/мин двигателю с рабочим объемом Vh = 1500÷1800 см^3 в среднем требуется смесь с расходом воздуха Gв = 8÷12 кг/ч и расходом топлива Gт = 0,6÷0,9 кг/ч. Значения расходов компонентов смеси варьируются в ту или иную сторону в зависимости от рабочего объема двигателя, системы питания и состава смеси. Также отличительной особенностью режима ХХ для двигателей с внешним смесеобразованием является критический перепад давлений (ΔРк = 60–70 кПа) до и после дроссельной заслонки, при котором достигается практически максимум расхода воздуха для конкретного положения дроссельной заслонки (так называемый эффект запирания воздушного потока).

Эти особенности создают предпосылки для значительного спектра возможных нарушений работы двигателя именно в режимах ХХ. Сравнительно небольшие отклонения в расходах топлива и воздуха в абсолютных значени-

ях вызывают существенное изменение состава смеси, которое приводит к неустойчивой работе, повышенному содержанию вредных веществ в ОГ и даже к заглоханию двигателя.

В ранее разработанных карбюраторных системах и системах впрыска количественная регулировка ХХ производится изменением положения заслонки либо за счет изменения сечения специального обводного (байпасного) канала, вход и выход которого расположены до и после дроссельной заслонки соответственно. Первый вариант регулирования применяется в большинстве конструкций карбюраторов более старых моделей и регулировка производится с помощью так называемого винта упора. Позже, с внедрением электронных средств управления появляются электронно-регулируемые дроссельные заслонки в ограниченном диапазоне малых угловых перемещений, в которых совмещаются функции регулирования и стабилизации значений *n* как в режиме ХХ, так и на пусковых режимах работы двигателя. Примером таких конструкций являются карбюратор Bosch Ecotronic или система центрального впрыска Mono-Jetronic.

В качестве примеров второго варианта регулирования могут служить карбюраторные системы (К-151, ВАЗ-2107) с автономной системой холостого хода (АСХХ) и целый ряд систем впрыска (L-Jetronic, LH-Jetronic и др.), где количество смеси или воздуха регулируется вручную специальным винтом.

В более поздних вариантах систем впрыска в качестве автоматических регуляторов холостого хода (РХХ) используются автономные электронно-управляемые устройства, которые помимо своей основной функции по регулировке и стабилизации режима холостого хода несут дополнительную функцию по обеспечению режимов холодного пуска и прогрева. В двигателях значительного рабочего объема используются РХХ золотникового типа с реверсным электродвигателем (рисунок 3.3), а в двигателях меньшего объема (до 1800 см^3) часто используются регуляторы в виде прямолинейно перемещающегося конуса с шаговым электродвигателем (рисунок 3.4).

Во всех вышеперечисленных системах все нагрузочные режимы работы двигателя, определяемые степенью открытия дроссельной заслонки с помощью механического привода, остаются под контролем водителя.

Дальнейшее стремление к автоматизации процесса управления как двигателем, так и автомобилем в целом, способствовало появлению так называемого «электронного дросселя», используемого в настоящее время в большинстве современных конструкций.

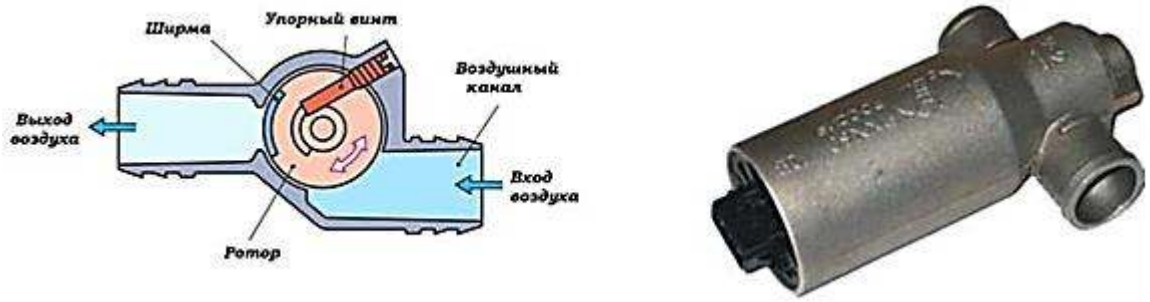


Рисунок 3.3 – РХХ золотникового типа с реверсным электродвигателем

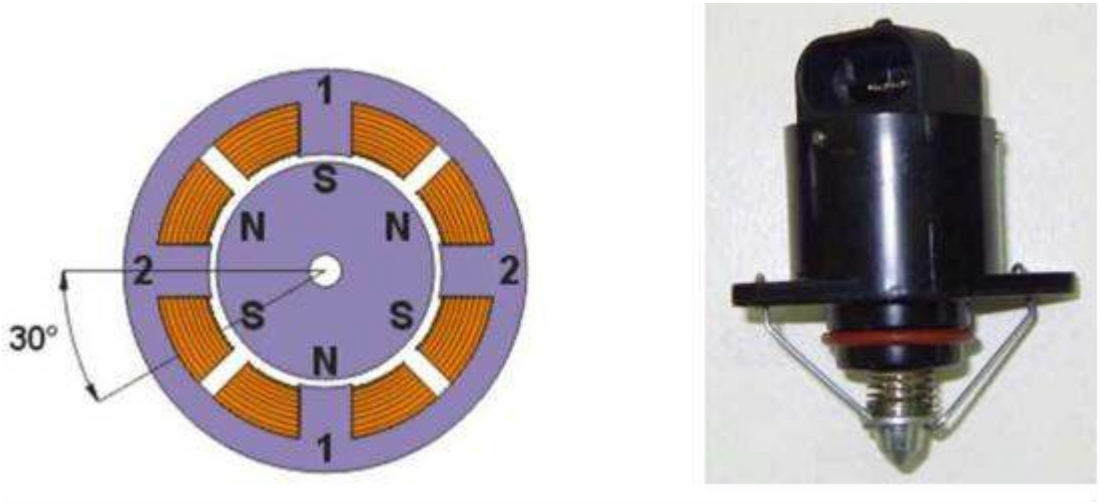


Рисунок 3.4 – РХХ с шаговым электродвигателем

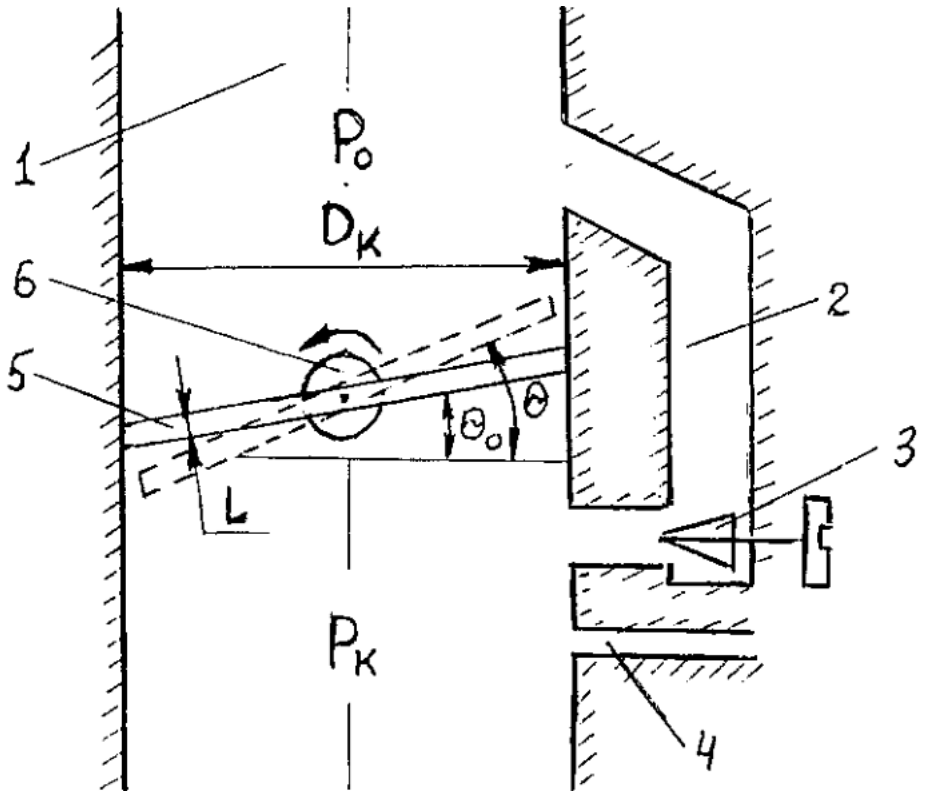
Управляемая электродвигателем дроссельная заслонка во всем диапазоне угловых перемещений выполняет функции, которые раньше возлагались на водителя. Манипулируя «электронной» педалью газа с двумя потенциометрическими дорожками, водитель только обозначает желание ускориться, двигаться с постоянной скоростью или перейти в режимы торможения двигателем или холостого хода. Все угловые перемещения дроссельной заслонки выполняются по командному сигналу от ЭБУ.

Таким образом, следует отметить неоспоримый факт, что поворотная пластинчатая заслонка в канале круглого сечения нашла применение в качестве основного дозатора воздуха или топливно-воздушной смеси в подавляющем большинстве конструкций систем питания бензиновых двигателей. В связи с тем, что многие нарушения работы двигателя в режиме ХХ вызваны как раз отклонениями в подаче воздуха, влияние параметров узла дросселирования на расход воздуха следует рассмотреть подробнее. На рисунке 3.5 изображена типовая схема расположения элементов дроссельной заслонки (ДЗ) и обводного канала (при его наличии) в воздушном канале, с помощью которой можно определить составляющие суммарного количества воздуха при его малых расходах.

В зависимости от вида системы питания и особенностей конструкций суммарный расход воздуха G_{Bxx} в режиме ХХ складывается из следующих величин:

$$G_{Bxx} = G_{Bк} + G_{Bп} + G_{Bкг} + G_{Bок} + G_{Bэ}, \quad (3.7)$$

где $G_{BК}$ – расход воздуха через воздушный канал при открытии заслонки на текущий угол θ; $G_{BП}$ – расход воздуха (перетечки) через неплотное прилегание кромок заслонки к стенке воздушного канала и через технологический зазор в оси заслонки; $G_{Bкг}$ – расход воздуха, который поступает вместе с картерными газами через отверстие для отбора картерных газов; $G_{Bок}$ – расход воздуха, поступающего через обводной канал; $G_{Bэ}$ – расход воздуха через эмульсионный канал СХХ (только для карбюраторов).



1 – главный воздушный канал; 2 – обводной (байпасный) канал;
3 – винт регулировки воздуха (смеси) через обводной канал;
4 – канал для отвода картерных газов; 5 – ДЗ; 6 – ось ДЗ
Рисунок 3.5 – Схема расположения элементов узла ДЗ

В системах, где отсутствует обводной (байпасный) канал, регулировка расхода воздуха $GB_К$ для обеспечения ХХ производится только за счет углового перемещения ДЗ. Текущий угол открытия заслонки θ следует отсчитывать от установочного положения ДЗ с углом θ_o, регулируемого с помощью технологического винта упора для предотвращения заедания в начальный момент открытия. Величина расхода $GB_П$ на холостом ходу в основном обусловлена неплотным прилеганием заслонки в положении 0о и обычно находится в пределах 1–2 кг/ч.

Значительный износ оси дроссельной заслонки может внести существенные коррективы в значение $GB_П$ и нарушить баланс составляющих суммарный расход воздуха $GB_{ХХ}$. Расход воздуха $GB_{КГ}$, который поступает вместе с картерными газами через отверстие диаметром 1–1,5 мм, обычно не превышает значения 1 кг/ч. Следует учитывать, что на изношенных двигателях высока вероятность засорения этого отверстия зольными отложениями.

При наличии обводного канала регулировка режима ХХ осуществляется с помощью изменения расхода воздуха через обводной канал Gвок. За исключением аварийных режимов эта штатная регулировка не предусматривает дублирование регулировки ХХ за счет изменения значения $GB_К$. Небольшой расход воздуха $Gв_э$ (не более 1 кг/ч) через выходной эмульсионный канал

СХХ в уравнении (3.7) учитывается только для карбюраторных систем питания.

Для более детального изучения факторов, влияющих на нарушения работы двигателя в режиме ХХ, необходимо установить количественное соотношение слагаемых в уравнении (3.7).

Если регулирование или поддержание постоянства *n* на ХХ осуществляется изменением положения ДЗ, то при критическом перепаде давлений до и после ДЗ, характерном для режима ХХ, расход воздуха можно приближенно вычислить по формуле

$$G_{Bк} = \mu_{вк} \cdot F_к \sqrt{æ_к \cdot P_0 \cdot \rho_в}, \tag{3.8}$$

где $F_К$ – площадь проходного сечения (сечения в свету) открытой части воздушного канала; $æ_к$ – газогидравлическая постоянная, характеризующая условия запирания в узле дросселирования; $\mu_{вк}$ – коэффициент расхода через проходное сечение воздушного канала; P_0 – давление до дроссельной заслонки; $p_в$ – плотность воздуха. Для практических расчетов величины $æ_к$ и $\mu_{вк}$ можно считать постоянными для минимальных углов открытия дроссельной заслонки и равными 0,47 и 0,9 соответственно.

Во многих случаях толщина дроссельной заслонки L сопоставима с диаметром воздушного канала $D_К$. Поэтому при малых углах открытия для более точных расчетов открытого сечения дроссельного узла $F_К$, состоящего по сути из двух серповидных щелей между заслонкой и стенкой воздушного канала, целесообразно использовать следующее выражение:

$$F_к = \frac{\pi D_к^2}{4}\left[1 - \frac{\cos\theta}{\cos\theta_0} - \frac{L}{D_к}\frac{\sin(\theta-\theta_0)}{\cos\theta_0}\right], \tag{3.9}$$

где $\theta_о$ – установочный угол закрытой дроссельной заслонки; θ – текущий угол открытия дроссельной заслонки.

При наличии обводного канала все регулировочные операции на ХХ осуществляются при закрытой дроссельной заслонке за счет изменения площади проходного сечения канала. Расход воздуха через обводной канал $Gв_{ок}$ можно приближенно рассчитать по формуле, подобной формуле (3.8) для критического перепада давлений до и после:

$$G_{Bок} = \mu_{вок} F_{ок} \sqrt{æ_{ок} P_0 \rho_в}, \tag{3.10}$$

где $\mu_{вок}F_{ок}$ – эффективное проходное сечение открытой части обводного канала; œок – газогидравлическая постоянная, зависящая от формы сечения $F_{ок}$ в условиях критического перепада давлений.

Таким образом, в уравнении баланса суммарного расхода воздуха (3.7) для систем впрыска следует учитывать либо значение $Gв_К$, либо значение $Gв_{ок}$ (при наличии обводного канала). Эти составляющие в основном обеспечивают массу воздуха, необходимую для работы двигателя на ХХ. Некоторое

влияние на режим ХХ оказывают $GB_{П}$ и $GB_{КГ}$, которые в абсолютных величинах не должны превышать значений 2,0 кг/ч и 1,0 кг/ч соответственно. Так называемые перетечки через закрытую дроссельную заслонку и ось заслонки, в сумме составляющие величину $GB_{П}$, прибавляются к $GB_{ОК}$ либо к $GB_{К}$ в зависимости от конструктивных особенностей системы питания и учитываются расходомером воздуха при расчете длительности управляющего импульса на форсунки. Воздух, поступающий вместе с картерными газами через отверстие 4 (рисунок 3.5), следует учитывать в общем расходе воздуха на ХХ $GB_{ХХ}$, поскольку его расход (около 1 кг/ч) оказывает определенное влияние на состав смеси.

Приведенный анализ составляющих расхода воздуха позволяет облегчить поиск неисправностей при нарушении режимов работы на ХХ в двигателях с внешним смесеобразованием. Из этого анализа следует вывод, что небольшие отклонения в подаче воздуха могут сильно сказаться на соотношении топлива и воздуха, поскольку общее количество этой смеси в режимах ХХ невелико.

От количества подаваемого воздуха, а следовательно, и смеси в первую очередь зависит значение n на ХХ. Если по какой-либо причине $GB_{ХХ}$ значительно превышает оптимальное значение, необходимое для обеспечения минимальных оборотов двигателя n_{min}, то отрегулировать устойчивую работу двигателя на ХХ с n_{min} будет невозможно из-за чрезмерного обеднения смеси. В этом случае увеличение массы подаваемого топлива приведет только к возрастанию оборотов двигателя, что и происходит в случае заедания ДЗ или регулятора ХХ (РХХ) в открытом положении.

Повышенные обороты ХХ также могут быть вызваны СУД специально в случае перехода на аварийный режим работы двигателя. Например, при выходе из строя ДМРВ или ДПДЗ, ЭБУ выдает команду на РХХ и двигатель начинает работать с повышенными оборотами на ХХ. То же самое происходит в системах с электронно-управляемой ДЗ.

Одной из самых распространенных причин неудовлетворительной работы двигателя на ХХ является неконтролируемый подсос воздуха в различные участки впускного тракта. Наиболее неприятные последствия вызывает подсос воздуха в задроссельное пространство впускного тракта, где наблюдается критический перепад давлений. При таком перепаде давлений подсос воздуха через отверстие с сечением, равновеликим отверстию с диаметром 2–3 мм, составит величину порядка 1,5–3 кг/ч, сопоставимую с величиной $Gв_{хх}$. На практике случается, что в результате разгерметизации впускного тракта из-за неплотного прилегания прокладок, разрыва или повреждения вакуумных шлангов, выпадения заглушек и других дефектов, смесь обедняется настолько, что отрегулировать устойчивую работу двигателя на nmin становится практически невозможно. В этом случае обязательно нужно найти место подсоса и устранить его, прежде чем предпринимать какие-либо другие меры для исправления дефекта.

При отсутствии специального диагностического оборудования факт подсоса воздуха помогает определить измерение разрежения обычным ваку-

умметром. При устойчивой работе двигателя на n_{min} разрежение во впускном трубопроводе составляет величину порядка 60–65 кПа. Уменьшение разрежения на 10–15 кПа обычно сопровождается неустойчивой работой и позволяет с большой долей вероятности предположить наличие подсоса воздуха.

Большое значение имеет место подсоса воздуха относительно геометрии впускного трубопровода. Если подсос происходит до разветвления впускного трубопровода, смесь обедняется равномерно во всех цилиндрах. При подсосе воздуха в одну из секций трубопровода, например, через шланг вакуумного усилителя тормозов, происходит перераспределение воздушного потока и связанное с ним обеднение смеси в одном или двух цилиндрах. В результате этого в режиме ХХ в этом цилиндре (цилиндрах) наблюдаются пропуски воспламенения смеси, а в некоторых случаях полное выключение его из работы. Определить визуально, в каком цилиндре происходит это явление, помогает последовательное отключение зажигания в цилиндрах при работе двигателя на ХХ. Если при отключении какого-либо цилиндра характер работы двигателя не меняется или меняется незначительно, то, следовательно, в этот цилиндр попадает лишний воздух.

В современных СУД программа обнаружения ошибок информирует конкретно, в каком цилиндре (цилиндрах) наблюдаются пропуски воспламенения, не указывая при этом, чем они были вызваны. Пропуски воспламенения могут быть вызваны и другими причинами, например, потерей компрессии, неисправностью форсунки, перебоями в системе зажигания. Поэтому, если есть сомнение в правильности диагноза, необходимо проводить комплексную диагностику для выявления истинной причины пропусков воспламенения в отдельных цилиндрах.

В системах впрыска подсос воздуха снаружи на участке впускного тракта от расходомера воздуха до ДЗ практически не оказывает влияния на суммарный расход воздуха на ХХ. Однако он оказывает влияние на формирование длительности импульса на форсунку, поскольку уменьшает поток воздуха от воздушного фильтра к расходомеру. Чем больше воздуха подается в эту зону, тем больше обедняется смесь на ХХ. При разрыве или отсоединения этого участка двигатель вообще может заглохнуть. Если в этом случае отключить расходомер воздуха, то двигатель будет работать в аварийном режиме по сигналу ДПДЗ.

Эффект влияния перетечек воздуха помимо расходомера воздуха используется при регулировке состава смеси на ХХ с n_{min} в старых системах впрыска с регулируемым байпасным каналом, в котором входное отверстие располагается до расходомера, а выходное за расходомером.

Приведенные примеры показывают, что появление неконтролируемого подсоса воздуха, в зависимости от его количества и места, во всех системах с внешним смесеобразованием вызывают существенные дефекты, которые выражаются в повышенных оборотах ХХ, неустойчивой работе и заглоханию двигателя на ХХ. Как правило, эти дефекты не удается полностью компенсировать за счет других регулировок и мероприятий без устранения причин их возникновения.

На двигателях с непосредственным впрыском аналогичный небольшой подсос воздуха во впускной тракт за дроссельной заслонкой не вызывает столь значительных нарушений в работе, поскольку перепад давления до и после дроссельной заслонки в несколько раз меньше и количество подсасываемого воздуха, соответственно, намного меньше. Кроме того, небольшое увеличение количества воздуха в камере сгорания практически не влияет на сам процесс сгорания при послойном распределении смеси на ХХ.

Диагностика дефектов, вызванных подсосом воздуха в задроссельное пространство, как было показано выше, практически идентична для всех систем питания с внешним смесеобразованием. Однако причин дефектов, обозначенных в начале раздела, на самом деле гораздо больше. Причем эти причины могут иметь общий характер, а могут быть характерны только для конкретных систем питания. Следует отметить, что речь идет о дефектах, связанных в основном с режимом ХХ и в некоторой степени оказывающих влияние на режимы малых нагрузок.

Полное отсутствие режима ХХ с n_{min} при удовлетворительном протекании других рабочих режимов работы двигателя, как правило, вызвано либо недостаточным количеством смеси, либо составом смеси, выходящим за пределы воспламеняемости. В большинстве конструкций карбюраторов и в системах впрыска без λ-зонда имеется возможность ручной регулировки количества и состава смеси. Неправильное положение регулировочных винтов, при котором нормальный режим ХХ не воспроизводится, нельзя считать дефектом. Здесь просто требуется квалифицированная помощь по настройке оптимального режима ХХ при n_{min}. При этом желательно использование газоанализатора с возможностью измерения CO и CH или, по крайней мере CO, как компонента, однозначно зависящего от состава смеси.

В карбюраторных системах самой распространенной причиной отсутствия режима ХХ с n_{min} является **засорение топливного жиклера ХХ (ТЖХХ)**, который присутствует во всех карбюраторах эмульсионного типа. Как известно, для обеспечения режима ХХ с n_{min} требуется минимальный расход топлива, который определяется как

$$G_{Тхх} = \mu_ж f_ж \sqrt{2\Delta P_ж \rho_т}, \qquad (3.11)$$

где $G_{ТХХ}$ – расход топлива через ТЖХХ; $\mu_ж f_ж$ – эффективное проходное сечение ТЖХХ; $\Delta P_ж$ – перепад давления на жиклере; $p_т$ – плотность топлива.

Чтобы избежать побочных факторов влияния на процесс истечения топлива через ТЖХХ, нужно создать перепад давлений ΔРж не меньше, чем 200–300 Па. Поэтому для обеспечения режима с n_{min} в системах ХХ приходится выбирать ТЖХХ очень малого диаметра, порядка 0,35–0,55 мм. Вероятность перекрытия мелкими частицами различного происхождения калибровочной части таких жиклеров во много раз выше, чем главных топливных жиклеров. Частичное засорение ТЖХХ может приводить к неустойчивой работе, а полное, соответственно, просто к отсутствию ХХ.

В связи с распространенностью данного дефекта во многих конструкциях предусмотрен облегченный доступ к ТЖХХ с возможностью его извлечения и очистки без предварительной трудоемкой разборки. Существуют модели карбюраторов с компоновкой дозирующих элементов, способствующей засорению жиклеров по сравнению с традиционными компоновками. Примером такой модели может служить карбюратор ДААЗ-2108, у которого главные топливные жиклеры установлены почти на дно поплавковой камеры, в узкий канал, соединяющий обе секции поплавковой камеры. Вероятность засорения ТЖХХ и даже главного топливного жиклера в такой конструкции намного выше, чем в карбюраторах, где главные топливные жиклеры приподняты над дном поплавковой камеры.

Также к отсутствию ХХ приводит подсос воздуха в каналы СХХ, обедняя смесь до значений, при которых воспламенение невозможно. Этот дефект может быть вызван разрывом прокладки или просто неплотным соединением сопрягаемых корпусных деталей по длине воздушного или эмульсионного каналов СХХ карбюратора.

Если неустойчивая работа или заглохание двигателя на режиме ХХ происходит по причинам, связанным с очень сильным обогащением смеси, то такие нарушения сопровождаются повышенным расходом топлива, значительным увеличением выбросов токсичных компонентов CO и CH, выходом из строя свечей зажигания и другими дефектами, связанными с отложениями нагара.

Негерметичность запорной иглы поплавкового механизма или неправильно отрегулированный уровень топлива приводит к переполнению поплавковой камеры и переливу топлива через распылитель малого диффузора в главный воздушный канал карбюратора. Происходит переобогащение смеси на ХХ, которое вызывает вышеназванные дефекты. Превышение оптимального количества топлива GT_{xx} в 2–3 раза приводит к заглоханию двигателя и последующему затрудненному запуску.

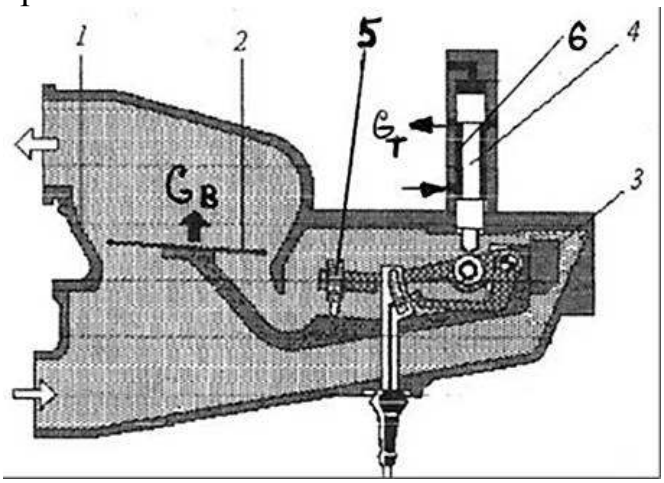
Подобные нарушения работы двигателя, связанные с переобогащением смеси на ХХ, возникают, например, **при негерметичном уплотнении ТЖХХ по кромке топливного канала или повреждении мембраны экономайзера мощностных режимов**, разделяющей емкость, заполненную топливом, от камеры с высоким разрежением.

Кроме перечисленных типовых дефектов, вызывающих серьезные нарушения работы на ХХ, существует довольно значительное количество не типовых дефектов, свойственных конкретным моделям карбюраторов, в той или иной мере влияющих на режим ХХ. Однако анализ этих дефектов выходит за рамки данного пособия.

Специфика работы систем гидромеханического впрыска K-Jetronic и KE-Jetronic накладывает весьма жесткие ограничения на процесс регулирования состава смеси при работе двигателя на ХХ. Процесс дозирования топлива в этих системах осуществляется через калиброванные дозировочные каналы 6 (рисунок 3.6) в виде щели длиной 5 мм и шириной всего 0,2 мм. Подача и расход топлива в каждый цилиндр определяется величиной открытого сече-

ния дозировочного канала, управляемого кромкой управляющего поршня 4 и перепадом давления в дифференциальных клапанах. Полное открытие дозировочного канала 6 соответствует режиму полной мощности, а минимальное – режиму ХХ с n_{min}. При этом часовой расход топлива на режиме полной мощности примерно в 18–20 раз превосходит расход на ХХ. Следовательно, для обеспечения работы двигателя на ХХ с n_{min} нужно приоткрыть дозировочный канал всего на величину 0,25–0,30 мм. Регулировка состава смеси на ХХ в вышеуказанных системах достигается путем изменения положения управляющей кромки управляющего поршня относительно напорной шайбы 2 расходомера воздуха 1. Изменение этого положения производится с помощью специального винта регулировки состава смеси 5. Перемещение управляющего поршня указанным винтом даже на 0,1 мм вверх или вниз способно кардинально изменить состав смеси и характер работы двигателя на ХХ. Из-за такой чувствительности системы в эксплуатации часто возникает нестабильность работы на ХХ, которая требует частой дополнительной регулировки состава смеси, желательно с использованием газоанализатора.

В системах впрыска с электронным управлением при наличии обводного канала, управляемого РХХ, нарушения на ХХ часто связаны с рассогласованием положения ДПДЗ и положения управляющего элемента РХХ. Если угловое положение ДПДЗ при закрытой ДЗ превышает 1°, то двигатель переходит на режим повышенных оборотов на ХХ за счет большего открытия клапана РХХ. Этого недостатка лишены системы с электронной ДЗ, поскольку роль регулятора режима на ХХ выполняет сама заслонка.



1 – расходомер воздуха; 2 – напорная шайба расходомера воздуха;
3 – рычаг взаимодействия; 4 – управляющий поршень;
5 – винт регулировки состава смеси на ХХ; 6 – дозировочный канал
Рисунок 3.6 – Схема взаимодействия расходомера воздуха
и управляющего поршня системы впрыска KE-Jetronic

На двигателях со значительной наработкой часты случаи заклинивания регулирующего элемента РХХ в открытом или закрытом положении, вызывающие либо повышенные обороты ХХ, либо заглохание двигателя. При использовании электронной ДЗ возможны случаи заедания кромки ДЗ в воздушном канале при малых углах открытия, которые также приводят к повы-

шенным оборотам или к заглоханию двигателя на ХХ. Причинами этих дефектов являются механический износ подвижных деталей, а также твердые отложения, образованные потоком картерных газов и препятствующие свободному перемещению управляемых элементов исполнительных устройств.

Использование λ-зонда в качестве регулятора состава смеси позволяет сократить количество дефектов, включая дефекты на ХХ, связанных с возможными отклонениями состава смеси. Эти отклонения могут быть вызваны, например, ошибочным значением сигнала от ДМРВ или ДАД. С помощью λ-управления состав смеси корректируется и система управления адаптируется к внешним изменениям. Если в результате какого-либо дефекта происходит значительное (более 20%) обеднение или обогащение состава смеси на ХХ, то полной адаптации не получается.

Неисправность самого управляющего λ-зонда до нейтрализатора может спровоцировать значительные дефекты в работе двигателя, включая режимы ХХ. Если рассматривать ранние модели систем впрыска, то при выходе из строя λ-зонда его постоянный низкий уровень сигнала напряжения воспринимается СУД как показатель обедненной смеси. На основании этой информации в СУД формируется сигнал управляющего импульса на форсунки значительно больше оптимального. В результате этого двигатель на всех режимах, включая ХХ, начинает работать на обогащенном составе смеси. В современных системах впрыска при выходе из строя управляющего λ-зонда СУД переводит работу двигателя в аварийный режим с осредненными значениями длительности управляющего импульса на форсунки.

3.2.3 Диагностика неисправностей, влияющих на топливную экономичность и выбросы токсичных компонентов с отработавшими газами

В качестве основного критерия экономичности работы двигателя на нагрузочных режимах принято считать минимальный удельный расход *ge* min, то есть массовый расход топлива за единицу времени, отнесенному к развиваемой на этих режимах эффективной мощности, обычно измеряемый в г/(кВтч). В режиме ХХ экономичность работы двигателя определяется по часовому расходу топлива в единицах кг/ч или л/ч. Величина *ge* min для конкретного режима работы рассматриваемого двигателя зависит от большого количества конструктивных и эксплуатационных факторов. Поэтому для проверки серийно выпускаемых двигателей, а также двигателей с определенным периодом эксплуатации предусмотрены несколько важных режимов работы двигателей, при которых сравниваются показатели *ge* min реальных двигателей со значениями, указанными в технических условиях.

Однако при эксплуатации автомобильных двигателей способы оценки экономичности по значениям *ge* min практически не применимы, так как они предусматривают демонтаж и проверку двигателей только в стендовых условиях. В условиях эксплуатации более приемлемой оказывается оценка топливной экономичности автомобильных двигателей по результатам сравни-

тельных дорожных испытаний и испытаний автомобиля по стандартным ездовым циклам. Первоначально стандартные ездовые циклы были разработаны для контроля предельно допустимой токсичности ОГ. На их основе Европейским союзом (ЕС) были введены в действие стандарты на предельную токсичность ОГ, начиная с норм Евро 1 по действующие в настоящее время нормы от Евро 4 до Евро 6.

В большинстве стран ЕС и в России существуют ездовые циклы, разработанные для городского и загородного движения, а также смешанные циклы, объединяющие режимы движения в городских и загородных условиях, примером которых служит ездовой цикл, изображенный на рисунке 3.7. Этот цикл разделен на 2 части: **городской ездовой цикл и загородный ездовой цикл**. Городской цикл состоит из четырех стадий, выполняемых без перерывов. Общая длительность городского цикла составляет 780 с, а путь, пройденный автомобилем за этот цикл, равен 4,05 км. Средняя скорость движения составляет 18,7 км/ч при максимальной скорости, равной 50 км/ч. После завершения испытаний по городскому ездовому циклу начинает выполняться загородный цикл (правая часть на рисунке 3.7), включая скорость 120 км/ч. Эта часть цикла продолжается 400 с, а пройденный путь составляет почти 7 км. До начала проверки на нормы токсичности ОГ автомобиль должен находиться при определенной температуре как минимум 6 часов.

В США и Японии введены свои нормы предельно допустимой токсичности, проверяемые по своим стандартным ездовым циклам.

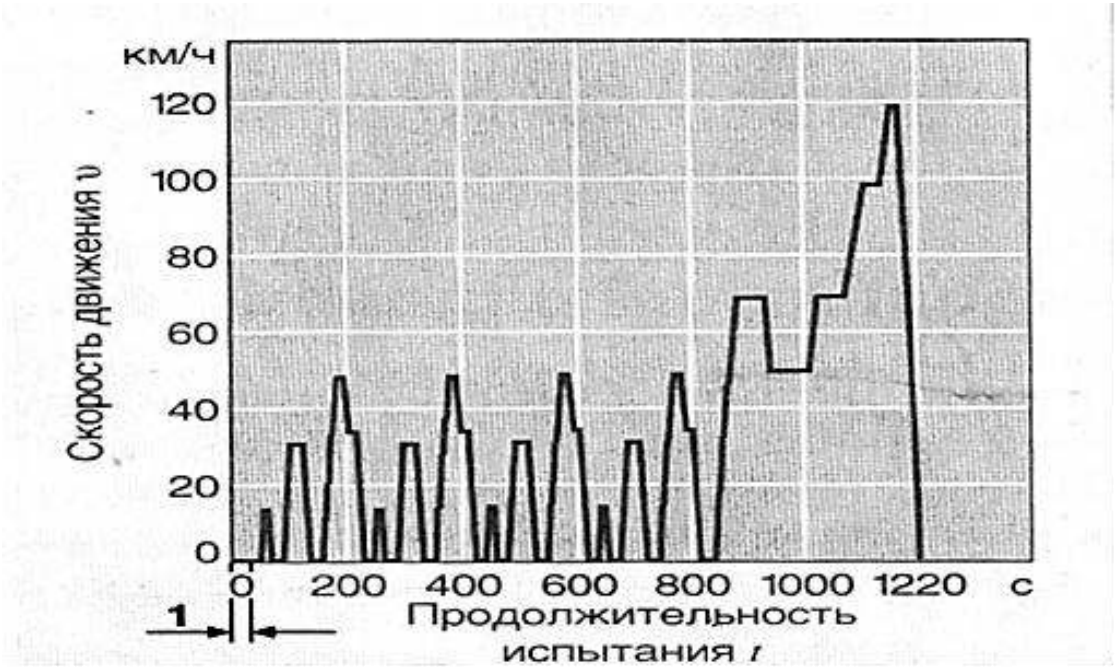


Рисунок 3.7 – Европейский ездовой цикл ЕС/ЕЭК

Для оценки топливной экономичности испытания по определению расхода топлива проводятся по аналогичным ездовым циклам. Измерения производятся по сумме нескольких таких циклов либо с помощью расходомера топлива, либо на основе массового содержания углерода, содержащегося в

собранном объеме ОГ. Обычно такие измерения проводятся на стенде с беговыми барабанами, но для определения расхода топлива допускаются и дорожные испытания.

Кроме того, топливную экономичность во многих европейских странах и в России оценивают при движении автомобиля с постоянной скоростью (90 км/ч и 120 км/ч). На основании статистической обработки полученных результатов испытаний определяются базисные данные о расходе топлива автомобиля (в л/100 км) с соответствующим двигателем в городских и загородных условиях эксплуатации. Эти данные заносятся в технические характеристики автомобиля с поставляемым двигателем и служат важным ориентиром для потребителя.

К оценке топливной экономичности двигателя и автомобиля самими потребителями следует относиться осторожно, поскольку субъективная оценка расхода топлива в тех или иных условиях эксплуатации часто не совпадает с объективной. Объективная оценка формируется только на основании данных, полученных в результате стендовых или дорожных испытаний квалифицированным персоналом специализированных лабораторий. Потребитель, как правило, выражает свое субъективное мнение о расходе топлива за какой-либо период эксплуатации или за пройденный маршрут. Для одних и тех же исправных моделей автомобилей расход топлива за определенный маршрут может различаться на 50% и более в зависимости от времени года, времени суток, манеры вождения и других факторов. Например, если на протяжении относительно короткого маршрута в городском движении легковой автомобиль среднего класса целый час простоял в пробках, то, как минимум, один литр топлива следует вычесть из среднего расхода топлива, чтобы более объективно оценить экономичность автомобиля на этом маршруте.

Для анализа влияния различных неисправностей и факторов на показатели экономичности и токсичности работы двигателя их удобно разделить на две группы. Первая группа связана с дефектами механической части двигателя, а вторая обусловлена неисправностями СУД, в первую очередь, систем топливоподачи и зажигания.

К первой группе в основном следует отнести износ деталей ЦПГ, КШМ и ГРМ. Естественно, что степень влияния износа на показатели экономичности и токсичности зависит от степени износа указанных узлов двигателя. Кроме того, в определенных случаях дефекты механической части двигателя способствуют выходу из строя элементов СУД, которые в свою очередь также влияют на экономические и токсические показатели.

При приближении ЦПГ к «предельному состоянию» значительно снижается термодинамический КПД в силу нескольких причин. Во-первых, на такте сжатия происходит утечка заряда смеси через изношенные поршневые кольца. Во-вторых, процесс сгорания смеси сопровождается дополнительными тепловыми потерями за счет увода теплового потока в цилиндр и картер двигателя. В-третьих, наличие масляных паров, остаточных газов и увеличенное количество картерных газов ухудшает процесс сгорания топлива. Помимо всего, продукты сгорания масла частично оседают на рабочих поверх-

ностях нейтрализаторов ОГ и λ-зонда, выводя их из строя, а также в виде тяжелых углеводородов выбрасываются с ОГ.

Износ деталей ГРМ также оказывает негативное влияние на показатели экономичности и токсичности ОГ. Недостаточно плотное прилегание тарельчатых клапанов к седлам снижает компрессию и способствуют увеличению содержания остаточных газов в камере сгорания, из-за чего понижается термодинамический КПД двигателя и повышается расход топлива. Снижение компрессии даже на 200–300 кПа в одном из цилиндров вызывает пропуски воспламенения в этом цилиндре на режимах ХХ и малых нагрузок, увеличивая расход топлива и выбросы СН.

Также при большом износе ЦПГ и КШМ значительно возрастают силы трения как в сопряжении поршней с цилиндрами, так и в подшипниках коленчатого вала из-за утери масляного гидродинамического клина. Эти факторы способствуют увеличению мощности механических потерь и, следовательно, повышению эксплуатационного расхода топлива.

Исходя из приближенной оценки опыта эксплуатации автомобильных двигателей, считается обычным факт повышения расхода топлива на 10–15% у автомобиля с пробегом порядка 200 тыс. км только из-за механического износа двигателя. Стоит отметить, что неисправное состояние узлов механической части может быть первопричиной выхода из строя системы снижения токсичности ОГ и способствовать появлению дополнительных дефектов, повышающих расход топлива.

Вторая группа неисправностей и факторов, оказывающих заметное влияние на расход топлива и выбросы токсичных компонентов, в большой степени связана с дефектами систем питания и зажигания, возникающими на протяжении всего срока эксплуатации двигателя.

Неисправности и факторы этой группы целесообразно подразделить на два типа.

К первому типу дефектов следует отнести дефекты, вызывающие резкое, порой в несколько раз, увеличение эксплуатационного расхода топлива. Как правило, такие дефекты сопровождаются появлением копоти из выхлопной системы с запредельным выделением СО и СН из-за переобогащения смеси. Электроды свечей покрываются токопроводящим черным нагаром и шунтируются, в камере сгорания также образуется черный нагар из несгоревшего углерода. Нейтрализатор не справляется с таким обилием токсичных компонентов, а длительная эксплуатация двигателя с подобными дефектами приводит к «отравлению» λ-зонда и выходу из строя нейтрализатора.

Дефекты второго типа вызывают вполне умеренное увеличение расхода с менее значительным повышением выбросов токсичных компонентов.

Дефекты первого типа встречаются практически у всех видов систем топливоподачи. Существует немало дефектов, характерных только для конкретного вида системы питания. Однако значительная доля дефектов может быть обобщена для целых групп систем питания, поскольку элементы этих систем имеют идентичную конструкцию.

В карбюраторах с поплавковыми камерами распространенным дефектом первого типа считается негерметичность запорного клапана, которая вызывает **неконтролируемое повышение уровня топлива в поплавковой камере** с «переливанием» топлива через распылители малых диффузоров в главный воздушный тракт. Данный дефект может быть вызван износом конусной части иглы и седла запорного клапана, заеданием поплавка в камере, повышенным давлением топлива на входе в карбюратор и другими причинами. Диагностировать явление «переливания» топлива во многих конструкциях карбюраторов можно путем визуального наблюдения за истечением топлива во время работы на ХХ, сразу после остановки или самопроизвольного заглохания двигателя. Повторный запуск двигателя сопряжен с большими трудностями и возможен только после продувки при значительном открытии дроссельной заслонки. Для повышения надежности и стабильности уровня топлива в поплавковой камере рекомендуется использовать игольчатые клапаны с обрезиненным конусом запорной части иглы.

Также типичным дефектом карбюраторов первого типа, вызывающим огромный перерасход топлива при малых углах открытия дроссельной заслонки, является ранее упомянутая **негерметичность уплотнения ТЖХХ** по кромке топливного канала. Причинами возникновения этого дефекта могут быть ослабление крепления электромагнитного клапана с ТЖХХ, небрежность при завинчивании ТЖХХ или перекос кромки ТЖХХ относительно оси канала. В этом случае под действием высокого разрежения за дроссельной заслонкой в СХХ начинает поступать дополнительное количество топлива через приоткрытый топливный канал, переобогащая смесь на режимах ХХ и малых нагрузок. С повышением давления во впускном трубопроводе влияние СХХ на характеристику дозирования уменьшается и на больших нагрузках влияние этого дефекта на расходе топлива почти не отражается.

Для двухкамерных карбюраторов существует часто встречающийся дефект, связанный с неполным закрытием дроссельной заслонки вторичной (дополнительной) камеры. Причинами неполного закрытия чаще всего являются затвердевшие отложения на стенке главного канала вторичной камеры и поломка (или ослабление) возвратной пружины. Отложения могут накапливаться в течение некоторого времени и чем реже открывается вторичная камера, тем больше вероятность заедания заслонки при её закрытии. При переходе от работы двигателя на нагрузочных режимах к режиму ХХ через приоткрытую щель главного канала вторичной камеры в результате заедания заслонки проходит дополнительный воздух, вызывая увеличение оборотов двигателя. Но главная неприятность заключается в том, что за счет высокого разрежения в режиме ХХ из переходных отверстий вторичной камеры подается такое большое количество лишнего топлива, которое не компенсируется расходом воздуха через приоткрытую дроссельную заслонку. В результате на ХХ двигатель работает на повышенных оборотах с сильно обогащенным составом смеси. Последствия такой работы примерно такие же, как и при работе двигателя с предыдущими дефектами.

Во многих системах топливоподачи присутствуют элементы и узлы с мембранами, работающими под большим перепадом давлений. Если мембраны разделяют полости с топливом с одной стороны, а с другой стороны – с задроссельным пространством, то, даже при небольшой негерметичности мембраны, топливо под действием разрежения интенсивно начинает перетекать во впускной трубопровод, сильно обогащая смесь. Такой дефект наблюдается в карбюраторах **при износе или разрыве мембран экономайзера мощностных режимов** и реже в некоторых системах ускорительного насоса. Подобные нарушения можно диагностировать по различным признакам: неустойчивой работе двигателя на ХХ, выбросу сажи в выхлопную систему, черному нагару на свечах, запредельному содержанию CO и CH.

В системах распределенного впрыска **повреждение мембраны регулятора давления топлива** (рисунок 3.8) с вакуумной балансировкой через штуцер для подключения к впускному коллектору приводит к похожим негативным последствиям. В системах, где перепад давлений на мембране составляет величину от 3-х до 4-х бар, при значительном повреждении мембраны двигатель может просто залить топливом после попытки его завести.

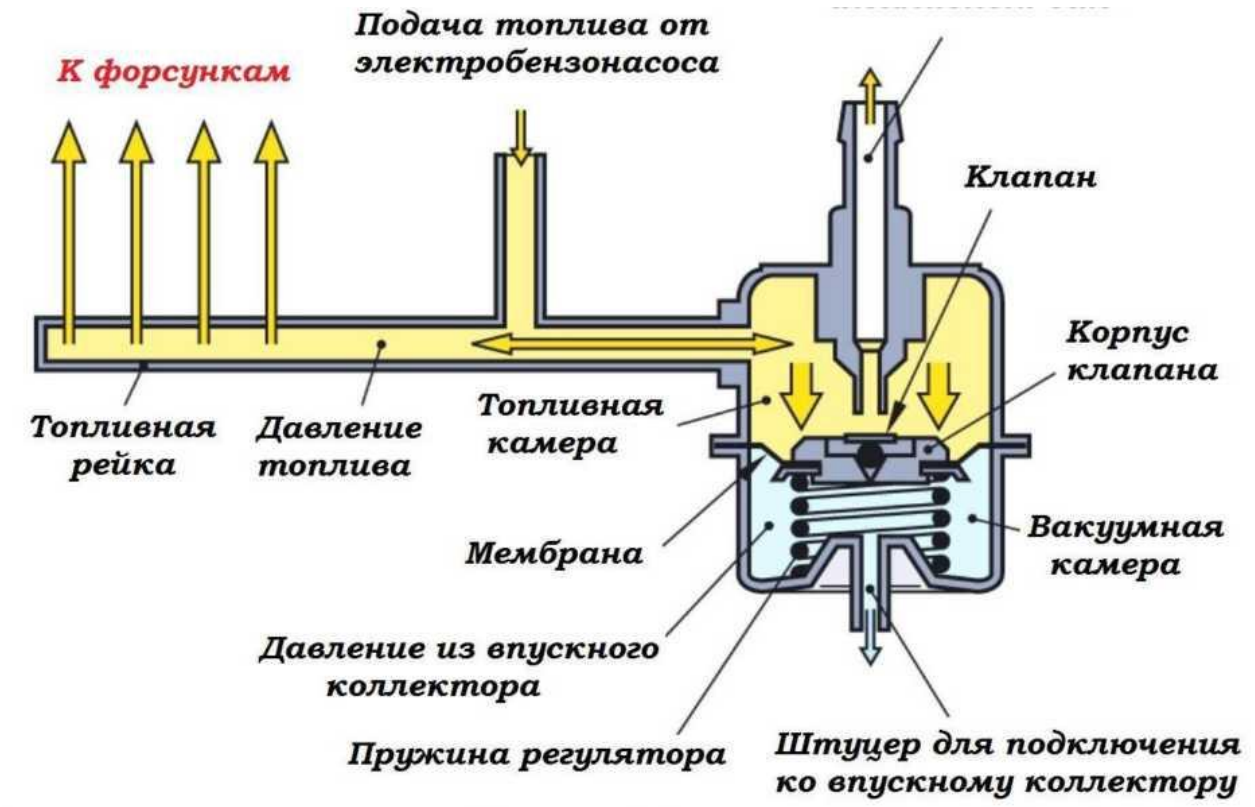


Рисунок 3.8 – Схема подключения регулятора давления топлива к магистралям

Еще один возможный дефект, вызывающий резкое обогащение состава смеси, связан с неправильной работой регулятора давления топлива (РДТ) в системах впрыска топлива. Обычно допустимое отклонение РДТ по давлению составляет величину порядка 2–3% по отношению к номинальному. Изменение давления в этих пределах практически не сказывается на расходе топлива.

Если по какой-либо причине давление начинает возрастать, то в соответствии с формулой (3.6) возрастает и расход топлива через форсунки пропорционально квадратному корню из величины давления. Например, при повышении давления топлива в 2 раза относительно номинальной величины расход топлива через форсунки увеличится примерно в 1,4 раза. Увеличение давления топлива в несколько раз вполне возможно при выходе из строя клапана РДТ (рисунок 3.8), перепускающего топливо в магистраль обратного слива топлива в бак. При этом признаки сильного обогащения состава смеси примерно такие же, как в ранее упомянутых неисправностях первого типа.

Диагностировать данный дефект достаточно легко, подключив манометр с нужной шкалой измерений к трубопроводу подачи топлива от насоса или к топливной рейке в зависимости от удобства подсоединения. Следует иметь в виду, что пониженное давление топлива за счет неправильной работы РДТ также может вызвать некоторый перерасход топлива, вызванный переобеднением смеси. В этом случае перерасход топлива сопровождается еще снижением мощности двигателя и ухудшением динамики разгона автомобиля.

В известных системах механического впрыска с непрерывной подачей топлива (KE-Jetronic) небольшое повышение давления относительно номинального значения не сказывается на расходе топлива, поскольку форсунки не являются дозаторами топлива, а выполняют функцию доставки уже отмеренного количества топлива через дозировочные каналы. Значительное повышение давления топлива за счет неправильной работы РДТ может разбалансировать работу дифференциальных клапанов распределителя топлива и оказывает влияние на расход топлива, но не столь значительное, как в системах впрыска с электронным регулированием.

Конструкции современных датчиков абсолютного давления (ДАД) достаточно надежны с точки зрения сохранения стабильности их характеристик в эксплуатации. Однако в системах впрыска с ДАД присутствует опасность искажения показаний датчика за счет подсоса воздуха либо через шланг, соединяющий датчик с полостью впускного трубопровода, либо через уплотнительное кольцо при установке датчика непосредственно на трубопровод. Поскольку по показаниям этого датчика рассчитываются базовые значения расхода воздуха, а следовательно, и топлива, искажение истинного значения давления в сторону увеличения приводит к переобогащению смеси и к перерасходу топлива, особенно на режимах XX и малых нагрузок. При появлении признаков несоразмерного обогащения смеси следует провести диагностику показаний давления по сканирующему устройству и сверить эти показания со значением давления во впускном трубопроводе, полученным путем непосредственного измерения манометром.

При значительном расхождении данных с помощью визуального контроля или других манипуляций можно найти утечку воздуха и распознать причину этого дефекта.

К дефектам первого типа, вызывающим большой перерасход топлива, можно отнести и некоторые неисправности, связанные с управлением составом смеси с помощью λ-зондов. В системах центрального впрыска и в карбюраторах с электронным управлением используются СУД с одноконтактными λ-зондами первого поколения. В этих системах с обратной связью программа СУД построена так, что при отсутствии или очень малом значении сигнала напряжения от неисправного λ-зонда ЭБУ выдает сигнал на увеличение цикловой подачи топлива, чтобы вынудить зонд выдавать более высокое напряжение. Но поскольку λ-зонд не реагирует на изменение состава смеси, происходит бесконтрольная добавка топлива, которая приводит к перерасходу топлива и большому выбросу CO и CH, характерному для дефектов первого типа. Диагностика этого дефекта в основном сводится к проверке сигнала напряжения λ-зонда с помощью мотор-тестера или простого мультиметра. В определенных случаях простое отключение разъема λ-зонда позволяет избежать чрезмерного обогащения смеси. Однако для восстановления оптимальной работы двигателя неисправный датчик следует заменить.

Подводя итоги обзора неисправностей первого типа, следует отметить, что возможны и другие, более редко встречающиеся дефекты, трудно прогнозируемые, но приводящие к большому перерасходу топлива и высокому выбросу токсичных составляющих CO и CH. Часто они вызваны неквалифицированными действиями при обслуживании и обусловлены влиянием человеческого фактора.

Большинство неисправностей и эксплуатационных факторов второго типа, в умеренной степени влияющих на экономические показатели и токсичность ОГ, связано с отклонениями состава смеси от оптимального значения. Чаще это происходит в результате отклонений состава смеси в сторону обогащения и реже в случае чрезмерного обеднения смеси. Обзор данных неисправностей представлен ниже.

В карбюраторах за время эксплуатации влияние изменения пропускной способности жиклеров на протекание характеристик незначительно. Поэтому менять жиклеры даже для профилактики нецелесообразно. Исключение составляют воздушные жиклеры холостого хода (ВЖХХ), сечение которых может существенно сузиться из-за зольных отложений, вызванных потоком картерных газов на изношенных двигателях. Уменьшение пропускной способности ВЖХХ может вызвать существенный перерасход топлива в режимах ХХ и малых нагрузок, то есть в условиях городского движения. Этот эксплуатационный дефект легко устраним прочисткой ВЖХХ с помощью зубочистки или сверла чуть меньшего диаметра, чем диаметр жиклера.

Принято считать, что повышение уровня топлива в поплавковой камере существенно влияет на эксплуатационный расход топлива. Действительно, обратив внимание на формулу (3.12) определения расхода топлива через главный топливный жиклер От, видно, что величина Δh, то есть разность

между уровнем топлива и нижним срезом распылителя главной системы играет важную роль. При малых расходах воздуха величина Δh сопоставима с разрежением в диффузоре у распылителя ΔРд и поэтому при повышении уровня топлива значение От возрастает существенно. С повышением расхода воздуха величина Δh оказывает все меньшее влияние на расход топлива и к средним нагрузкам полностью нивелируется.

$$G_T = \mu_{тж} f_{тж} \sqrt{2\left(\Delta P_Д - \Delta h \rho_т g\right)\rho_т}, \qquad (3.12)$$

где $\mu_{тж} f_{тж}$ – эффективное проходное сечение ГТЖ; $p_т$ – плотность топлива.

На практике заметное повышение расхода топлива в городских условиях движения наблюдается при превышении уровня топлива свыше 3 мм по сравнению с оптимальным значением. Оптимальное значение уровня топлива устанавливается техническими условиями завода-изготовителя с обычным допуском ± 1 мм.

Неполное открытие воздушной заслонки, предназначенной для холодного запуска, на прогретом двигателе оказывает дополнительное влияние на величину ΔРд в формуле (3.12) и тем больше, чем больше прикрыта заслонка. В соответствии с повышением ΔРд растет расход топлива, причем практически во всем диапазоне характеристик дозирования Gт = F(Gв/Gт). Причинами неполного открытия заслонки могут быть заедание троса «подсоса», либо другое механическое препятствие при использовании ручного привода управления заслонкой. В полуавтоматических и автоматических пусковых системах препятствием для полного открытия воздушной заслонки может также являться механическая проблема или недостаточная температура охлаждающей жидкости, омывающей камеру с приводом управления воздушной заслонкой. В карбюраторах с пусковыми системами золотникового типа причиной перерасхода топлива может быть заедание золотника в положении для непрогретого двигателя.

Недостаточный прогрев двигателя часто становится причиной перерасхода топлива как карбюраторных двигателей, так и всех двигателей, оснащенных системами впрыска топлива.

Во-первых, следует отметить тот факт, что при пониженной температуре охлаждающей жидкости в рубашке охлаждения снижается термодинамический КПД за счет увеличения теплоотдачи в стенки цилиндра. В системах впрыска следует учитывать, что если по какой-либо причине температура в зоне нахождения ДТОЖ долго не достигает оптимальных значений, например, в случае нечеткой работы термостата, то значение τ оказывается завышенным и расход топлива возрастает.

Во-вторых, поскольку в ЭБУ для систем впрыска заложена программа зависимости длительности управляющего импульса τ от значений сигнала напряжения ДТОЖ, то неисправности, связанные с этим датчиком, часто приводят к перерасходу топлива. Обычно при рабочей температуре полностью прогретого двигателя сопротивление ДТОЖ составляет 100–300 Ом. В неисправных ДТОЖ характеристика зависимости сопротивления датчика

от температуры может быть искажена. Поэтому в случае повышенного сопротивления ДТОЖ при полностью прогретом двигателе расход топлива возрастает из-за завышенных значений τ.

В системах впрыска, как было сказано ранее, превышение давления топлива в топливной рампе свыше номинального значения, поддерживаемого РДТ, также оказывает влияние на расход топлива. Однако некоторое повышение расхода топлива за счет изменения перепада давления на форсунке может происходить и при исправном РДТ. В системах распределенного впрыска во впускной трубопровод со сливной магистралью (рисунок 3.8) одна из полостей РДТ с помощью вакуумной трубки подключена к задроссельному пространству для стабилизации перепада давлений ΔРф на форсунках. Соответственно, величина τ на всех режимах работы двигателя рассчитывается ЭБУ исходя из постоянства величины ΔРф, определяемой РДТ. В случае разрыва вакуумной трубки или негерметичности ее подсоединения к РДТ величина ΔРф увеличится на величину ΔРк и расход топлива при малых углах открытия ДЗ несколько возрастет.

Неравномерность производительности рабочих форсунок также может отразиться на общем расходе топлива. Например, достаточно иметь одну форсунку с пониженной производительностью, чтобы несколько нарушить режим работы системы впрыска с использованием λ-регулирования. Поскольку длительность управляющего импульса τ одинакова для всех форсунок, за счет меньшей подачи топлива дефектной форсункой обедняется общий состав смеси, после чего λ-зонд подает сигнал в ЭБУ на увеличение значений τ для сохранения среднего стехиометрического состава смеси, что и приводит к перерасходу топлива.

Существует еще возможная причина повышенного расхода топлива, косвенно связанная с λ-управлением. Она возникает в случае негерметичности выхлопной системы между выхлопным коллектором и управляющим λ-зондом. При этом происходит подсос дополнительного воздуха в рабочую зону λ-зонда, который оказывает влияние на его показания. Поскольку реальное количество O_2 у λ-зонда увеличивается, то происходит вынужденная коррекция состава смеси в сторону обогащения до той степени, пока сигнал λ-зонда не стабилизируется на новом уровне. Однако произойдет это уже при обогащенном составе смеси. Если подсос воздуха значительный, то и расход топлива возрастет заметно.

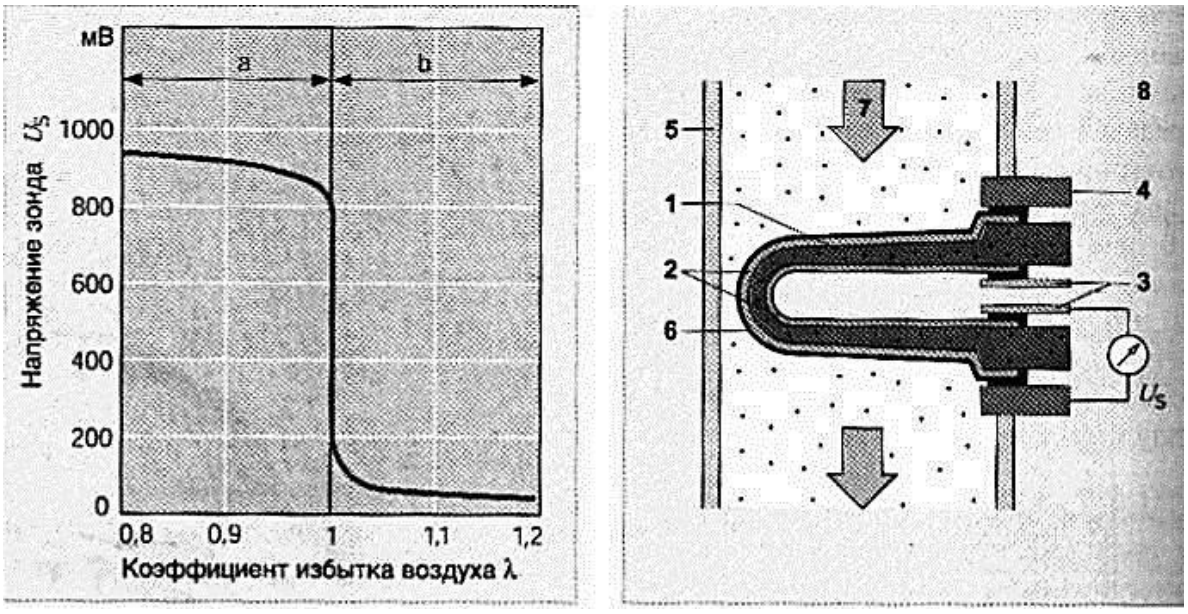
Подводя итоги обзора неисправностей, влияющих на расход топлива, следует отметить, что наибольшие неприятности приносят вышеуказанные дефекты первого типа, которые вызывают не только огромный перерасход топлива, порчу свечей зажигания и т. п. Эти неисправности сопровождаются запредельными выбросами CO и CH, с которыми не могут справиться все имеющиеся средства нейтрализации. Кроме того, длительная работа двигателя с подобными дефектами крайне нежелательна в связи с опасностью быстрого выхода из строя каталитических нейтрализаторов и λ-зондов.

Хорошо известно, что выбросы токсичных компонентов в большой степени зависят от состава смеси. Если максимальное содержание компонен-

тов CO и CH сосредоточено в области очень богатых смесей и сопровождается большим расходом топлива, то наибольшее содержание NOx, наоборот, наблюдается в диапазоне значений α = 1,05–1,10, при котором достигается наиболее экономичная работа двигателя.

Для снижения выбросов CO и CH в системах выпуска ОГ ранее применялись двухкомпонентные окислительные нейтрализаторы, давно вышедшие из употребления, а для снижения содержания NOx использовались системы рециркуляции ОГ, усовершенствованные модификации которых активно применяются и в современных двигателях.

В настоящее время широко распространены трехкомпонентные нейтрализаторы, которые позволяют до минимума сократить выбросы вредных компонентов в ОГ автомобильных двигателей благодаря компромиссному решению использовать стехиометрический состав смеси (α = 1) на всех режимах работы двигателя, кроме мощностных. При соблюдении этого важного условия окислительно-восстановительные реакции в нейтрализаторе протекают наиболее благоприятно и эффективно. В качестве датчика, управляющего процессом стабилизации состава смеси при α = 1, очень удачно подошел λ-зонд или, иначе говоря, двухступенчатый датчик кислорода (ДК) в системе выхлопа, который скачкообразно изменяет выходной сигнал напряжения в очень узком диапазоне значений состава смеси относительно α = 1 (рисунок 3.9). Благодаря совместной работе нейтрализатора и ДК в двигателях со смесеобразованием во впускном трубопроводе удается минимизировать выбросы трех токсичных компонентов до норм, по меньшей мере соответствующим нормам Евро-4.



1 – керамический элемент зонда; 2 – электроды; 3 – контакты;
4 – контакт корпуса; 5 – выхлопная труба; 6 – керамический защитный слой;
7 – отработавшие газы; 8 – атмосферный воздух; U_s – напряжение ДК

Рисунок 3.9 – Характеристическая кривая напряжения (слева)
и расположение двухступенчатого ДК (Х-зонда) в выхлопной трубе (справа)

В двигателях с непосредственным впрыском топлива на большинстве режимов работы двигателя превалирует обедненный состав смеси, способствующий повышенному выбросу NOx. В этих двигателях использование только трехкомпонентного нейтрализатора для выполнения предельных норм токсичности оказывается недостаточным. В дополнение к нему обычно устанавливается нейтрализатор с накопителем NOx и эффективная система рециркуляции ОГ, способствующая снижению максимальной температуры сгорания обедненной смеси. Состав смеси в таких системах управляется и контролируется широкополосным ДК.

Все неисправности, нарушающие рабочий процесс и связанные как с механическими повреждениями двигателя, так и с дефектами систем топливоподачи и зажигания, оказывают влияние преимущественно на выбросы CO и CH. **Повышенное содержание NOx** возникает при наиболее экономичной и эффективной работе двигателя, а нарушения рабочего процесса, отклонения состава смеси, снижение компрессии в отдельных цилиндрах и другие факторы, которые способствуют снижению содержания NOx. Поэтому повышенные выбросы NOx в основном определяются неисправностями, снижающими эффективность работы каталитического нейтрализатора с накопителем NOx и системы рециркуляции ОГ.

В условиях эксплуатации для подтверждения соответствия тому или иному экологическому классу автомобили периодически подвергаются испытаниям, включающим ранее упомянутый стандартный ездовой цикл. Европейский ездовой цикл (NMEFZ), принятый в большинстве Европейских стран, включая Российскую Федерацию, с максимальным приближением моделирует условия движения в городе и частично в загородном режиме (рисунок 3.7). Существует целый ряд факторов, связанных с характерными неисправностям и режимами работы двигателя во время испытаний, воздействие которых может препятствовать выполнению существующих норм по предельным выбросам CO и CH для автомобиля по заявленному экологическому классу.

К наиболее неблагоприятным режимам работы бензинового двигателя, затрудняющим выполнение заявленных норм токсичности по ездовому циклу, следует отнести режимы холодного пуска и прогрева, а также часто повторяющиеся режимы ускорения и торможения автомобиля на низших передачах. Вынужденное использование обогащенного состава смеси для надежного пуска и последующей работы непрогретого двигателя снижает эффективность окислительных реакций в нейтрализаторе в условиях дефицита кислорода, что приводит к резкому увеличению выбросов CO и CH.

Приходится учитывать, что активное преобразование вредных веществ в нейтрализаторе начинается только при достижении рабочей температуры свыше 300 °C. Таким образом, при запуске холодного двигателя требуется определенное время для прогрева нейтрализатора и управляющего ДК до достижения рабочих температур, при которых осуществляется эффективная нейтрализация вредных компонентов ОГ. Поскольку проверка автомобиля на соответствие заявленному экологическому классу по нормам Евро-3 и выше

начинается с отбора ОГ непосредственно после пуска холодного двигателя, любая задержка включения в активную работу нейтрализатора, вызванная какими-либо неполадками в условиях непрогретого двигателя, сказывается на эффективности очистки ОГ от СН и СО. Известно также, что на переходных режимах работы двигателя, связанных с ускорением и торможением автомобиля при испытаниях по Европейскому ездовому циклу, максимум выбросов СО и СН намного выше, чем на установившихся режимах работы.

К числу неисправностей, наиболее неблагоприятно влияющих на количество вредных выбросов в период эксплуатации двигателя, в первую очередь следует отнести пропуски воспламенения рабочей смеси в отдельных цилиндрах двигателя, вызванные перебоями в системах зажигания и топливоподачи, а также выход из строя управляющего ДК. Любой из перечисленных дефектов работы двигателя может вызвать превышение заявленных норм токсичности автомобиля.

В условиях эксплуатации всесторонняя проверка автомобилей на предмет соответствия заявленному экологическому классу является весьма дорогостоящим и малодоступным мероприятием, поскольку для полного воспроизведения ездового цикла необходимо наличие специализированного стенда с беговыми барабанами и дополнительным оборудованием.

С учетом этого обстоятельства можно предложить упрощенный способ оценки влияния вышеупомянутых эксплуатационных факторов на количество токсичных выбросов СН и СО с целью диагностики возможностей штатного трехкомпонентного нейтрализатора минимизировать эти выбросы. Предлагаемый способ позволяет оценивать эффективность работы нейтрализатора путем сравнения экспериментальных данных по выбросам указанных токсичных компонентов в системе выхлопа ОГ до и после нейтрализатора.

Для получения экспериментальных данных использовался автомобиль марки Shevrolet Cruze, оснащенный четырехцилиндровым 16-клапанным двигателем рабочим объемом 1600 см с распределенным впрыском бензина во впускной трубопровод и штатным трехкомпонентным нейтрализатором. Сравнительные испытания проводились с помощью диагностического комплекса FSA-740 фирмы Bosch, укомплектованным газоанализатором BEA-050 с программным обеспечением ESA, позволяющим быстро регистрировать значения упомянутых токсичных компонентов СН (в единицах ppm) и СО (в % по объему), свободного кислорода O_2 и углекислого газа CO_2 (в % по объему), а также производить вычисления значений состава смеси по газовому анализу. Регистрация этих значений проводилась с помощью фото и видео фиксации, фрагмент которой показан на рисунке 3.10. Диагностическая программа ESI[tronic] 2.0 позволяла оперативно фиксировать значения температуры рабочих жидкостей, частоты вращения коленчатого вала (n), угла опережения зажигания (УОЗ) и других параметров работы двигателя, а также вести наблюдения за характером изменения напряжения управляющего ДК.

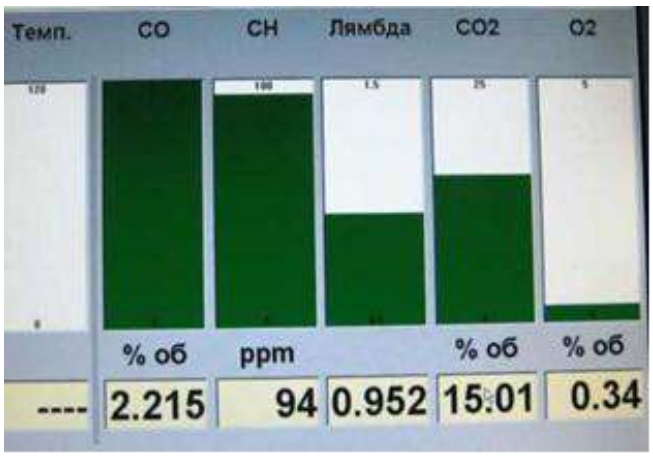


Рисунок 3.10 – Фрагмент значений газового анализа и состава смеси (лямбда), полученных с помощью программы ESA

Весь объем испытаний был разделен на два цикла. В 1-м цикле проводились испытания на режимах холодного пуска и прогрева двигателя, а во 2-м цикле все испытания проходили при полностью прогретом двигателе в режимах ХХ и переходных режимах с небольшими значениями n.

Испытания в 1-м цикле проводились в боксе при начальной температуре 15 °С и состояли из трех стадий. Первая стадия проходила в штатных условиях без имитации каких-либо неисправностей в СУД с отбором ОГ из выхлопной трубы. На второй стадии испытаний управляющий ДК был отключен и двигатель работал по разомкнутому контуру без обратной связи от ДК к ЭБУ с имитацией неисправности в электропроводке, связывающей ДК с ЭБУ. На третьей стадии испытаний вместо штатного ДК был установлен штуцер и отбор ОГ производился из системы выпуска ОГ до нейтрализатора.

Для идентичности условий испытаний каждая стадия проводилась в разные дни, чтобы двигатель успел полностью остыть до 15 °С. Длительность каждой стадии испытаний составляла 300 с и фиксировалась с помощью секундомера. Замеры данных производились сначала через 10 с, 30 с, а затем через каждые 30 с после пуска двигателя. При этом диапазон изменения температуры охлаждающей жидкости находился в пределах от 15 °С перед запуском до 75 °С в конце испытаний. По мере прогрева двигателя значение n постепенно снижалось от 1100 об/мин до 800 об/мин, а УОЗ находился в пределах 2–4°.

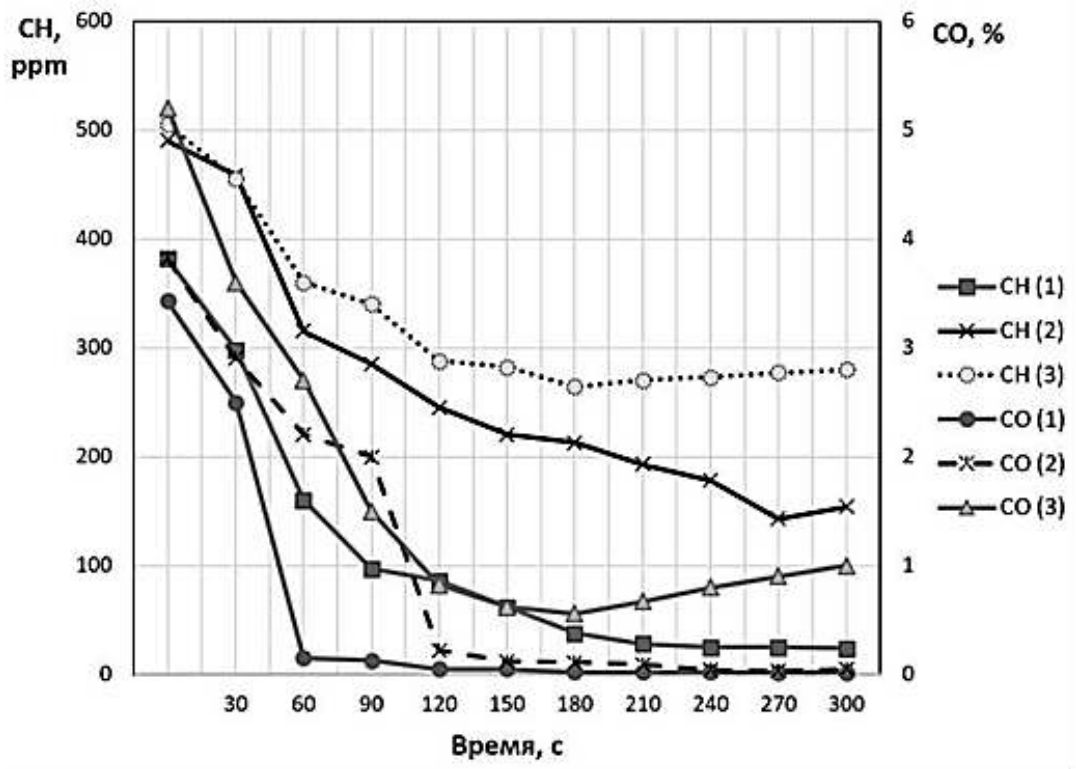
Наиболее важные результаты испытаний представлены на рисунке 3.11, где показаны зависимости эмиссии CH и CO от времени работы холодного двигателя с начала запуска.

Анализ представленных зависимостей показывает, что содержание CH и CO в первые секунды (10–30 с) после пуска двигателя было достаточно велико независимо от способа отбора ОГ. Тем не менее, на первой стадии испытаний в штатных условиях отбора ОГ содержание CH и CO несколько меньше, чем содержание тех же компонентов до нейтрализатора. Этот факт означает, что окислительные реакции в нейтрализаторе начинались спустя непродолжительное время после запуска холодного двигателя. Значительно

быстрее было снижение этих компонентов спустя 60 с после запуска, что обусловлено началом подачи активного сигнала от управляющего ДК (по данным программы ESI[tronic] 2.0) и постепенному переходу к составу смеси, близкому к стехиометрическому.

В дальнейшем значения CH постепенно снижались, но оставались несколько завышенными (25–90 ppm), несмотря на достижение нейтрализатором рабочей температуры порядка 550 °C. При этом следует отметить, что на протяжении всей стадии испытаний содержание O_2 в ОГ было близко к нулю и, видимо, его не хватало для полного окисления CH.

На второй стадии испытаний при отсутствии управляющего напряжения ДК содержание CH после нейтрализатора значительно возросло из-за подачи более богатой смеси и, соответственно, меньшего содержания O_2 в ОГ.



CH (1) и CO (1) – значения на первой стадии испытаний в штатных условиях; CH (2) и CO (2) – значения на второй стадии без ДК; CH (3) и CO (3) – значения на третьей стадии без ДК и с отбором ОГ до нейтрализатора

Рисунок 3.11 – Зависимости эмиссии CH и CO от времени работы холодного двигателя после запуска при различных условиях

На третьей стадии испытаний при отборе ОГ до нейтрализатора содержание CH и CO возросло еще больше. Сравнивая результаты испытаний на второй и третьей стадиях видно, что даже в отсутствие управляющего напряжения ДК нейтрализатор способен существенно уменьшать выбросы CH и CO на режиме прогрева двигателя. Однако для этого необходимо иметь большее количество O_2 в ОГ, что на режимах холодного пуска и прогрева практически недостижимо без использования системы дополнительной подачи воздуха.

Во 2-м цикле испытаний для оценки влияния других факторов были выбраны 4 режима работы двигателя в исправном состоянии и 4 режима работы с имитацией распространенных дефектов, возникающих при эксплуатации. Первые 4 режима включали холостой ход (ХХ) при постоянных значениях n = 1000 об/мин и n = 3000 об/мин, переходный режим разгона двигателя от 1000 об/мин до 3000 об/мин, при открытии педали переходные режимы работы двигателя при движении автомобиля по Европейскому ездовому циклу на 1-й и 2-й передачах. Остальные 4 режима проводились только на установившихся режимах ХХ при тех же значениях n, но с отключением работы одного цилиндра двумя разными способами. Сначала отключалась одна форсунка, имитируя неисправность в системе топливоподачи, а затем, отключение цилиндра производилось путем установки заведомо неисправной свечи, имитируя дефект в системе зажигания.

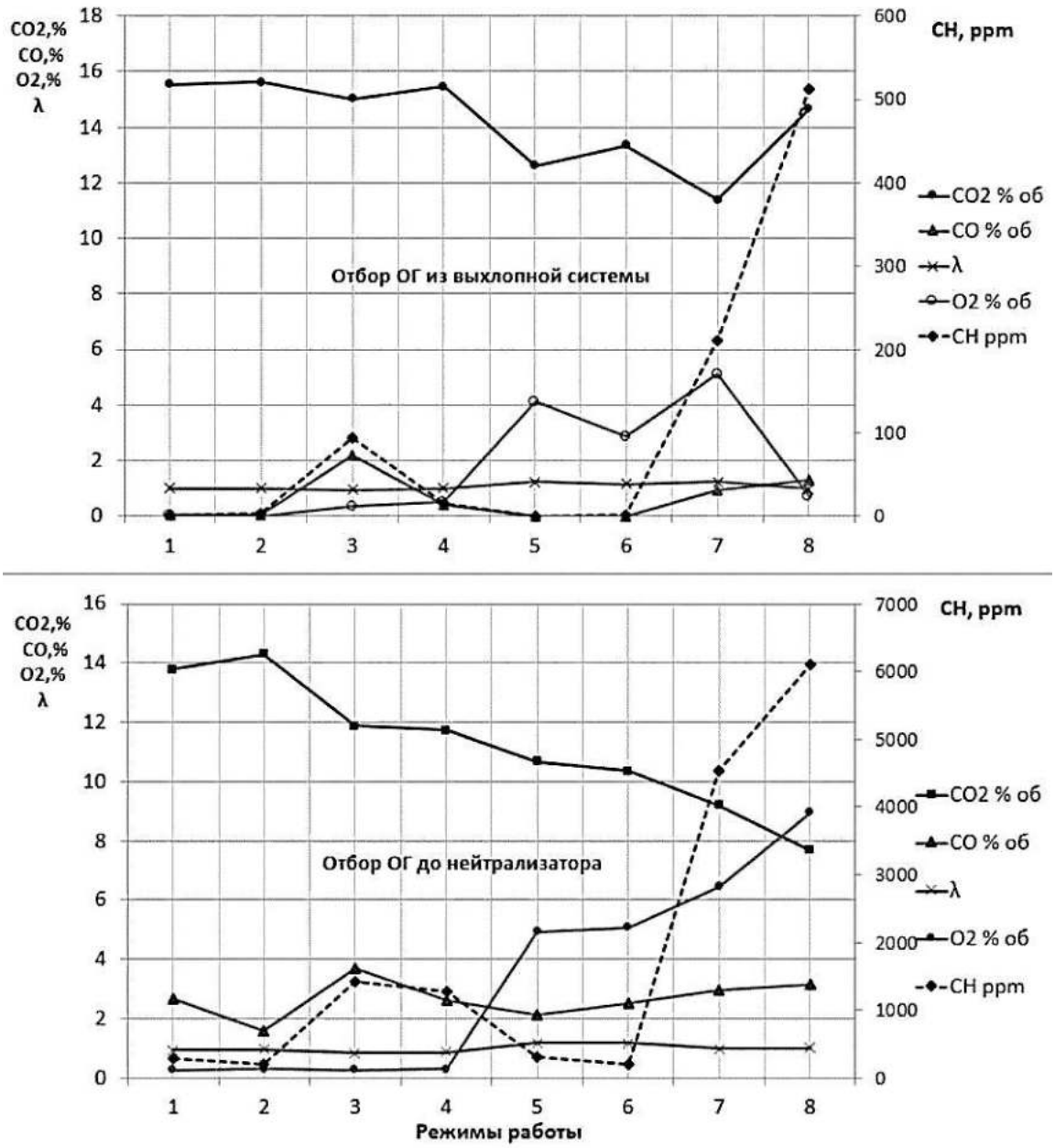
Результаты испытаний представлены на рисунке 3.12, где показаны значения содержания отдельных компонентов в ОГ и вычисленный по данным газового анализа приблизительный состав смеси (А) на вышеперечисленных режимах работы.

На переходных режимах значения всех компонентов зафиксированы в момент максимальных значений СН и СО.

Для оценки эффективности работы нейтрализатора на различных режимах работы, включая режимы с неисправностями, отбор ОГ производился из разных мест. На первой стадии испытаний, результаты которых представлены в верхней части рисунка 3.12, отбор ОГ осуществлялся обычным способом из штатной выхлопной системы.

На второй стадии испытаний, результаты которых представлены в нижней части рисунка 3.12, отбор ОГ производился из штуцера, установленного до нейтрализатора на месте крепления управляющего ДК. При этом разъем управляющего ДК был отключен и, следовательно, система управления двигателя работала по разомкнутому контуру, несколько обогащая рабочую смесь.

Из анализа представленных на рисунке 3.12 результатов испытаний следует, что при отборе ОГ из штатной выхлопной системы и наличии трехкомпонентного каталитического нейтрализатора в рабочем состоянии выбросы СН и СО на установившихся режимах близки к нулевым значениям. Наблюдается некоторый всплеск значений этих компонентов на переходном режиме (режим 3), обусловленный кратковременным обогащением состава смеси. Тем не менее, выбросы СН на рассматриваемых переходных режимах после нейтрализации сокращаются на порядок по сравнению с выбросами до нейтрализатора. Выключение одного цилиндра из рабочего процесса двигателя путем отключения форсунки (режимы 5 и 6) не вызывает ощутимого повышения выбросов СН и СО по сравнению с выбросами исправного двигателя при отборе ОГ из штатной выхлопной системы благодаря избыточному содержанию O_2 в ОГ. В этом случае кратковременное выключение из работы цилиндра не представляет опасности для нормальной работы нейтрализатора.



1 – ХХ при n = 1000 об/мин; 2 – ХХ при n = 3000 об/мин;
3 – режим ускорения от n = 1000 об/мин до n = 3000об/мин;
4 – режим торможения от n = 3000 об/мин до n = 1000 об/мин;
5 – ХХ при n = 1000 об/мин с отключением форсунки;
6 – ХХ при n = 3000 об/мин с отключением форсунки;
7 – ХХ при n = 1000 об/мин с неисправной свечой;
8 – ХХ при n = 3000 об/мин с неисправной свечой

Рисунок 3.12 – Значения содержания отдельных компонентов в выхлопных газах и состав смеси Х Х на различных режимах работы двигателя

Иная картина наблюдается в случае выключения из работы цилиндра вследствие отсутствия рабочей искры при исправной форсунке (режимы 7 и 8). Такой дефект сразу многократно увеличивает выбросы СН по сравнению с выбросами исправного двигателя. Хотя и в этом случае выброс СН при отборе ОГ после нейтрализатора на порядок меньше, чем до нейтрализатора,

что свидетельствует об эффективности его работы. Однако даже кратковременная работа с таким дефектом опасна, поскольку значительная часть топлива догорает в элементах нейтрализатора, разогревая его до недопустимых температур и разрушая его структуру.

Приведенный пример показывает, что даже отдельные пропуски рабочих циклов, вызванные дефектами в системе зажигания, крайне нежелательны из-за резкого повышения выбросов CH и опасности выхода из строя нейтрализатора. Поэтому в большинстве современных автомобилей система управления, распознав данный дефект, выключает форсунку в цилиндре, где происходят пропуски воспламенения рабочей смеси.

В итоге проделанной работы можно представить, в какой степени отдельные неисправности и эксплуатационные факторы влияют на содержание CH и CO в ОГ с отбором газов до и после трехкомпонентного нейтрализатора, то есть при его наличии или отсутствии.

Анализ результатов 1-го цикла испытаний (рисунок 3.11) показывает, что исправный штатный нейтрализатор при включении в работу управляющего ДК способен практически на порядок снизить содержание CH и CO в ОГ на режимах холодного пуска и прогрева. Вследствие нехватки O_2 для более эффективных окислительных реакций, имеется определенный резерв для дальнейшего снижения CH (30–100 ppm), который может быть реализован за счет сокращения времени подогрева ДК и установки системы дополнительной подачи воздуха на входе в нейтрализатор.

Из анализа результатов 2-го цикла испытаний (рисунок 3.12) следует, что при полностью прогретом двигателе и исправном контуре управления от ДК, нейтрализатор эффективно снижает выбросы CH и CO до минимальных значений на всех проверяемых режимах с малыми расходами смеси. Существенный ресурс по снижению выбросов CH появляется при возникновении эксплуатационных дефектов, вызывающих пропуски рабочих циклов из-за неисправностей в системе зажигания.

Практическое значение представленного способа диагностики и оценки влияния эксплуатационных факторов заключается в возможности использования результатов испытаний для определения резервов по снижению токсичных компонентов в ОГ автомобиля в случаях превышения установленных норм.

Эффективность работы каталитического нейтрализатора во многом зависит от условий эксплуатации на протяжении его срока службы. Температура каталитического нейтрализатора играет важную роль в обеспечении эффективности очистки ОГ от вредных веществ. Активное преобразование вредных веществ в трехкомпонентном каталитическом нейтрализаторе начинается лишь при рабочей температуре свыше 300 °C. Оптимальные условия работы предусматривают использование неэтилированного бензина с минимальным содержанием серы, протекание каталитических реакций в диапазоне температур 400–800 °C, отсутствие нарушений в работе двигателя, вызванных перебоями в системах зажигания.

В диапазоне температур 800–1000 °С, сильно возрастает термическое старение за счет спекания благородных металлов и слоя оксида алюминия, что приводит к уменьшению активной поверхности нейтрализатора. При этом большое влияние оказывает также продолжительность работы в этом температурном диапазоне. Свыше 1000 °С термическое старение сильно возрастает, что приводит к полной утрате эффективности нейтрализатора.

При возникновении частых пропусков рабочих циклов двигателя вследствие упомянутых неисправностей в системах зажигания, температура в каталитическом нейтрализаторе может подняться до 1400 °С. Такие температуры приводят к полному разрушению нейтрализатора за счет плавления материала носителя-подложки. В результате может возникнуть частичное или полное перекрытие проходного сечения нейтрализатора и потеря мощности вплоть до заглохания двигателя.

Диагностика работоспособности нейтрализатора осуществляется с помощью сканера, способного воспроизводить сигналы выходных напряжений управляющего и контролирующего ДК (рисунок 3.13).

При исправном состоянии нейтрализатора амплитуда изменения выходного напряжения контролирующего ДК незначительна либо вообще отсутствует.

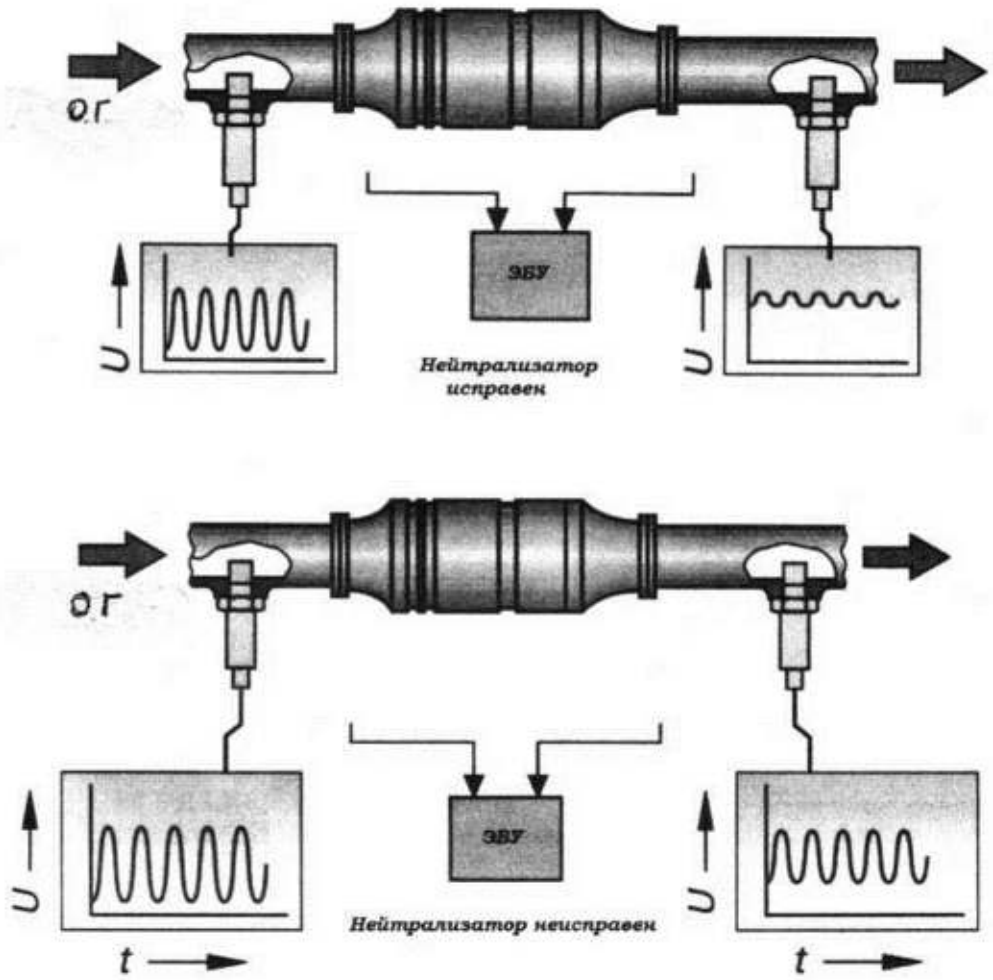


Рисунок 3.13 – Выходные сигналы управляющего и контролирующего ДК при исправном (вверху) и неисправном (внизу) состоянии нейтрализатора

Если сигнал контролирующего ДК с некоторым запаздыванием полностью повторяет сигнал управляющего ДК, то это свидетельствует о полной потере работоспособности проверяемого нейтрализатора. Диагностику работоспособности нейтрализатора целесообразно проводить на установившихся режимах работы двигателя, так как на переходных режимах синусоидальный характер сигналов напряжения обоих ДК изменяется и сравнительный анализ затрудняется.

3.2.4 Диагностика неисправностей, влияющих на мощностные показатели работы двигателя

Мощностные параметры работы двигателя обычно оцениваются и сравниваются по таким показателям, как максимальная эффективная мощность при номинальной частоте вращения ($Ne_{ном}$) и максимальный крутящий момент (Мкр max) при определенном текущем значении *n*. Значения этих показателей, как правило, записаны в технических условиях автомобильного двигателя. Кроме того, важными показателями мощностных свойств двигателя, определяющих динамику разгона автомобиля, являются значения эффективной мощности (Ne) и крутящего момента (Мкр) по внешней скоростной характеристике во всем диапазоне значений n.

Для достижения исправным двигателем указанных показателей нужно как минимум обеспечить:

1) максимально возможное цикловое наполнение цилиндров свежим зарядом топливно-воздушной смеси;

2) состав смеси, оптимальный для данного вида системы топливоподачи, при котором реализуются Nmax и Mmax;

3) равномерное распределение состава смеси по цилиндрам двигателя;

4) оптимальный угол опережения зажигания в рассматриваемом диапазоне частот вращения двигателя.

Цикловое наполнение цилиндров двигателя определяется коэффициентом наполнения ηv, максимальные значения которых во многом зависят от используемой системы питания и конструкции впускного тракта. Для двигателей без наддува максимальные значения ηv определяют величины Мкр в широком диапазоне по внешней скоростной характеристике и, за некоторым исключением, находятся в пределах 0,8–0,95.

Однако на практике в условиях эксплуатации существует целый ряд причин, препятствующих нормальному процессу наполнения двигателя свежим зарядом.

К числу самых распространенных причин следует отнести:

– неполное открытие дроссельной заслонки (заслонок);

– повышенное гидродинамическое сопротивление воздушного тракта;

– неоптимальное использование системы подогрева воздуха.

Неполное открытие дроссельной заслонки (заслонок) часто встречается при замене деталей впускного тракта или при значительном износе тяг и кинематических приводов от педали газа к рычагу управления дроссельной

заслонкой (ДЗ). Порой просто небрежность, допущенная при сборке, или лишний коврик, подложенный под педаль газа, не позволяет открыть ДЗ полностью, поскольку ход педали газа становится слишком маленьким. Провисание тросика привода ДЗ увеличивает свободный ход педали газа, из-за чего хода педали не хватает для полного открытия ДЗ. Проверка на полноту открытия ДЗ от педали газа осуществляется после полного нажатия и удерживания педали в этом положении, после чего вручную делается попытка довернуть ДЗ в сторону дальнейшего открытия. Если ДЗ дополнительно поворачивается, то следует так отрегулировать кинематическую связь между педалью газа и приводом ДЗ, чтобы рычаг ДЗ упирался в ограничитель поворота, положение которого будет соответствовать полному открытию ДЗ.

Сложнее осуществить проверку полноты открытия электронно-управляемой ДЗ, поскольку степень ее открытия зависит от положения электронной педали газа и значения *n*. На двигателях с функцией ограничения значений *n* и механической коробкой передач такую проверку можно провести непосредственно на автомобиле с помощью сканирующего устройства, подключенного к ЭБУ и считывающего значения перемещения педали газа и угла поворота дроссельной заслонки. Для диагностики величины открытия ДЗ важно, чтобы электронная педаль газа не имела каких-либо дефектов и её ход не был ограничен. На заведенном двигателе при резком нажатии педали газа до упора и достижении номинального значения *n* степень открытия ДЗ должна достигнуть величины не менее 80–90%.

В большинстве конструкций карбюраторов и в некоторых системах впрыска для улучшения наполнения цилиндров свежей смесью или воздухом используются две последовательно открывающиеся камеры. Проверка открытия ДЗ 2-й камеры с кинематическим приводом от ДЗ 1-й камеры производится по аналогии с проверкой однокамерных конструкций.

Поскольку в карбюраторах 2-я камера часто открывается с помощью пневмопривода (например, в карбюраторах модельного ряда 2107-1107010 типа «Озон»), то сначала нужно проверить, полностью ли открывается ДЗ 1-й камеры, открывая нужный зазор для перемещения рычага привода ДЗ 2-й камеры. Затем при открытой 1-й камере нужно проверить, свободно ли перемещается шток привода ДЗ 2-й камеры. Во многих конструкциях оценить работоспособность самого пневмопривода можно при заведенном двигателе в стационарных условиях. Для этого нужно резко кратковременно полностью открыть ДЗ 1-й камеры и следить за перемещением штока пневмопривода. При приближении *n* к номинальному значению шток, как правило, слегка приподнимется, что будет свидетельствовать об исправности пневмопривода. При этом следует соблюдать осторожность, чтобы не перекрутить двигатель. В иных случаях для проверки работоспособности пневмопривода требуется специальное оборудование, например, вакуумная установка.

Повышенное гидродинамическое сопротивление воздушного тракта может существенно снизить наполнение цилиндров двигателя свежим зарядом, несмотря на отсутствие дефектов узла ДЗ.

Прежде всего это может быть связано с засорением воздушного фильтра. При сильном загрязнении перепад давлений в воздушном тракте до и после воздушного фильтра может достигать величины порядка 1 кПа. Кроме того, после небрежной сборки, вследствие нестыковок фланцев и прокладок в воздушном тракте могут находиться участки со ступеньками, выходящими в просвет воздушного канала. Эти переходные участки вызывают дополнительные вихревые зоны в воздушном тракте, которые являются дополнительным сопротивлением для оптимального наполнения двигателя свежим зарядом.

Использование системы подогрева воздуха, подаваемого в воздушный тракт двигателя, в первую очередь обусловлено необходимостью предотвратить обмерзание участков воздушного тракта определенных систем питания. **Неоптимальное использование системы подогрева воздуха** в одних случаях приводит к ограничению наполнения двигателя свежим зарядом, а в других может вызвать обмерзание участков впускного тракта с неприятными последствиями.

Природа возникновения обмерзания заключается в том, что во время распыливания топлива в воздушном канале происходит его активное адиабатическое испарение с поглощением тепла вблизи этих зон распыливания за счет скрытой теплоты парообразования. В результате температура элементов, прилегающих к указанным зонам, может понизиться на 10–18 °С. Получается, что при подаче воздуха с температурой порядка 10 °С и ниже, возможно понижение температуры элементов впускного тракта до отрицательных значений.

В карбюраторах и в системах центрального впрыска топливо начинает интенсивно испаряться в воздушном канале, не доходя до задроссельного пространства. В таких зонах воздушного тракта, как малый диффузор карбюратора или щелевое отверстие между заслонкой и каналом наблюдаются наибольшие скорости воздушного потока и интенсивное распыливание топлива. Если в потоке холодного воздуха содержится много влаги, то постепенно на поверхности малого диффузора карбюратора и реже на поверхности дроссельной заслонки появляются отложения в виде рыхлого снега или льда, которые частично перекрывают площадь сечения воздушного канала. В отсутствие подогрева наилучшие условия для обмерзания возникают при температуре воздуха около 0 °С, моросящем дожде или снеге, т.е. при 100% влажности. При определенных условиях, например, в густом тумане, это явление может происходить и при более высокой температуре (порядка 10 °С). В подобных условиях эксплуатации самым неблагоприятным режимом является движение автомобиля с постоянной высокой скоростью, поскольку тепловой поток от двигателя практически отсутствует. В карбюраторах происходит сужение и даже полное перекрытие сечения малого диффузора отложениями из льда и снега, которое сопровождается не только ощутимой потерей мощности вплоть до заглохания, но и огромным расходом топлива вследствие повышения разрежения у распылителя главного воздушного канала. Эффект от развития этого процесса бывает столь неожиданным и непредска-

зуемым, что ставит в тупик даже опытных водителей и заставляет их заниматься лишними манипуляциями для устранения мнимого дефекта. Однако, если просто остановиться на 5–10 мин, то лед тает под воздействием теплового потока от двигателя и его работоспособность полностью восстанавливается. Этот факт объясняет, почему в условиях плотного городского движения с переменными режимами работы двигателя и частыми остановками явление обмерзания происходит крайне редко даже без подогрева воздуха.

Существуют конструкции карбюраторов, более и менее склонных к обмерзанию в зависимости от конструктивных особенностей. Например, карбюраторы модельного ряда 2107-1107010 типа «Озон» более склонны к обмерзанию, чем модельного ряда 2108-1107010 типа «Солекс» благодаря более интенсивному распыливанию и испарению топлива в малом диффузоре главного канала. Обмерзание поверхностей, прилегающих к узлу ДЗ, не столь критично для работы двигателя, как обмерзание диффузоров карбюраторов, и наблюдается это явление в основном на режимах малых нагрузок и ХХ при недостаточном прогреве двигателя. Для предотвращения риска обмерзания дроссельной заслонки во многих конструкциях применяется обогрев дроссельного узла охлаждающей жидкостью, причем не только карбюраторных систем и систем центрального впрыска, но даже и систем распределенного впрыска.

С учетом вышеприведенных последствий обмерзания становится очевидной необходимость использования дополнительного подогрева воздуха в условиях холодного и влажного климата практически для всех видов карбюраторов и систем центрального впрыска. Все системы для подачи подогретого воздуха используют тепловой поток из небольшого ресивера на выхлопном коллекторе через дополнительный патрубок и имеют систему переключения в виде заслонки для отбора подогретого или наружного воздуха из атмосферы.

В более ранних карбюраторных системах применяется ручная система переключения на теплый и холодный воздух, так называемая система «зима – лето». Недостатки такой системы вполне очевидны, поскольку постоянная подача теплого воздуха приводит к ограничению наполнения двигателя свежим зарядом и снижению мощности. В то же время подача только холодного и влажного воздуха увеличивает риск обмерзания с тем же результатом.

Впоследствии системы переключения модернизировались и стали автоматическими, то есть с заслонкой, управляемой либо пневмоприводом в зависимости от разрежения за дроссельной заслонкой, либо термосиловым датчиком в зависимости от температуры входящего воздуха. В первом варианте было найдено компромиссное решение, при котором подогрев воздуха осуществляется только в режимах ХХ и частичных нагрузках, а на режимах с полным открытием дроссельной заслонки подается наружный воздух. Во втором варианте при низкой температуре наружного воздуха на входе поддерживается примерно постоянная температура не ниже 15 °С за счет плавного изменения положения заслонки термосиловым датчиком.

Оптимальный состав смеси также является важным условием достижения максимальных мощностных показателей двигателя. Существует распространенное понятие «мощностного» состава смеси, при котором реализуются максимальные значения Мкр и Ne по внешней скоростной характеристике. Этот состав смеси определяется по результатам стендовых испытаний и может колебаться в пределах α = 0,8–0,95 в зависимости от используемой системы питания. Нижний предел α наблюдается преимущественно у ряда карбюраторных систем и систем центрального впрыска, имеющих разветвленный впускной коллектор с неравномерным распределением топлива по цилиндрам. Верхний предел α достижим только в системах распределенного впрыска топлива и возможен только при идеальных условиях смесеобразования.

Большое количество неисправностей, не позволяющих двигателю развить требуемую мощность, в той или иной степени связано с нарушениями в подаче топливно-воздушной смеси нужного состава. В конечном итоге избыток или недостаток топлива, приводящий даже к заглоханию двигателя из-за выхода состава смеси за пределы воспламенения при попытке развить требуемую мощность, можно считать нарушением состава смеси.

Если в результате какой-либо неисправности двигатель на полном дросселе не развивает мощность из-за слишком богатой смеси, то последствия такой неисправности более наглядно, как правило, проявляются и на частичных нагрузках. Связано это с экстремальными случаями возникновения неисправностей.

Гораздо чаще случаются неисправности, при которых двигатель не развивает заявленную мощность по причине **недостатка топлива для формирования мощностного состава смеси**. Среди этих неисправностей, пожалуй, самыми распространенными являются нарушения подачи необходимого количества топлива, связанные с работой топливных насосов и дефектами элементов топливных магистралей. Причем эта распространенность касается систем топливоподачи всех видов. Каждый вид насосов имеет характерные параметры, которые необходимо диагностировать для выявления дефектов.

Карбюраторные системы с поплавковыми камерами снабжаются топливом насосами преимущественно мембранного типа, создающими рабочее давление в пределах 0,25–0,5 бар. В некоторых японских моделях для подачи топлива в карбюраторы используются насосы с электрическим приводом, создающие примерно те же значения давлений. Превышение верхнего порога давления нежелательно, поскольку может нарушить герметичность запорной иглы карбюратора и вызвать превышение уровня топлива в поплавковой камере и даже её переполнение со всеми вытекающими последствиями. Понижение давления менее значения 0,25 бар чревато недопустимым снижением уровня топлива в поплавковой камере при максимальном расходе, необходимом для обеспечения максимальной мощности. Давление достаточно несложно проверить при работе двигателя на ХХ путем подключения обычного манометра в магистраль топливоподачи от насоса к карбюратору через тройник по схеме, изображенной на рисунке 3.14.

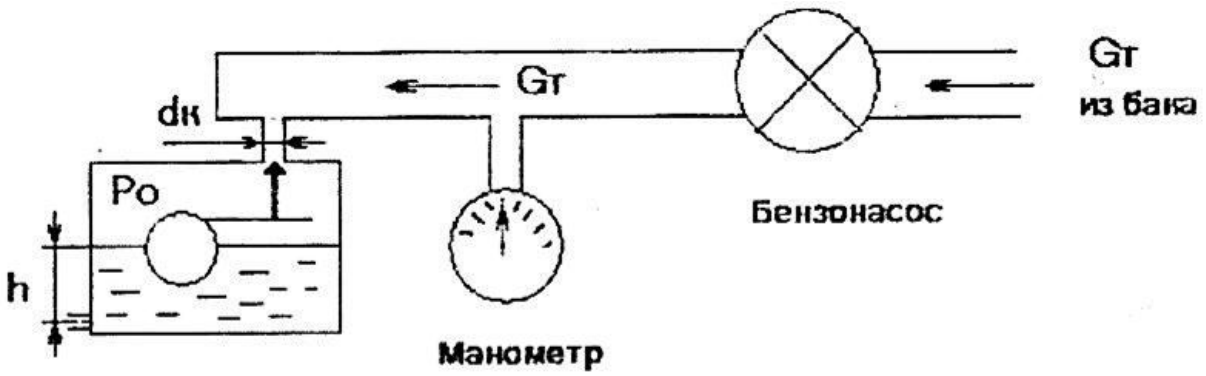


Рисунок 3.14 – Схема подключения манометра
для измерения давления топлива в магистрали от бензонасоса к карбюратору

При выходе давления за указанные пределы следует воспользоваться возможностью отрегулировать давление путем регулировки хода мембраны насоса за счет изменения хода штока или толщины уплотнительных прокладок. Если давление, несмотря на регулировку, не достигает значения 0,25 бар, то насос лучше заменить. Регуляторы давления в карбюраторных двигателях не применяются, поскольку создаваемое давление нужно только для наполнения поплавковой камеры карбюратора и не является параметром дозирования топлива.

Однако важно, чтобы при большом расходе топлива Gт (рисунок 3.14) поплавковая камера стабильно наполнялась без понижения уровня топлива h более чем на 5 мм от номинального значения. Для этого необходимо обеспечить достаточную пропускную способность запорного клапана с диаметром dк, ход иглы которого должен быть не менее 2,0–2,5 мм. Иначе возникает опасность оголения топливных жиклеров при большом расходе топлива через карбюратор.

В условиях эксплуатации бывает недостаточно проверить только **давление топлива**, создаваемое насосом для обеспечения стабильного наполнения поплавковой камеры при больших расходах топлива. Например, при возможном засорении топливного фильтра или частичном перекрытии сечения топливной магистрали значение давления может оказаться в норме при небольшом расходе топлива двигателем. Однако с увеличением расхода это давление начинает падать вследствие повышенного гидравлического сопротивления в топливной магистрали, что в конечном итоге может привести к почти полному прекращению подачи топлива. **Поэтому производительность насоса, включенного в топливную магистраль, наряду с показанием давления, является важным параметром, характеризующим работоспособность системы топливоподачи.**

Проверку требуемой производительности насоса карбюраторного двигателя можно провести упрощенным способом. Для этого в тройнике вместо манометра (рисунок 3.14) для измерения давления, следует подключить шланг с жиклером на конце диаметром 1,8–2,0 мм, в соответствии с диаметром седла игольчатого клапана dк. Затем опустить шланг в мерную емкость и завести двигатель на холостом ходу на 1 мин. Критерием оценки необходи-

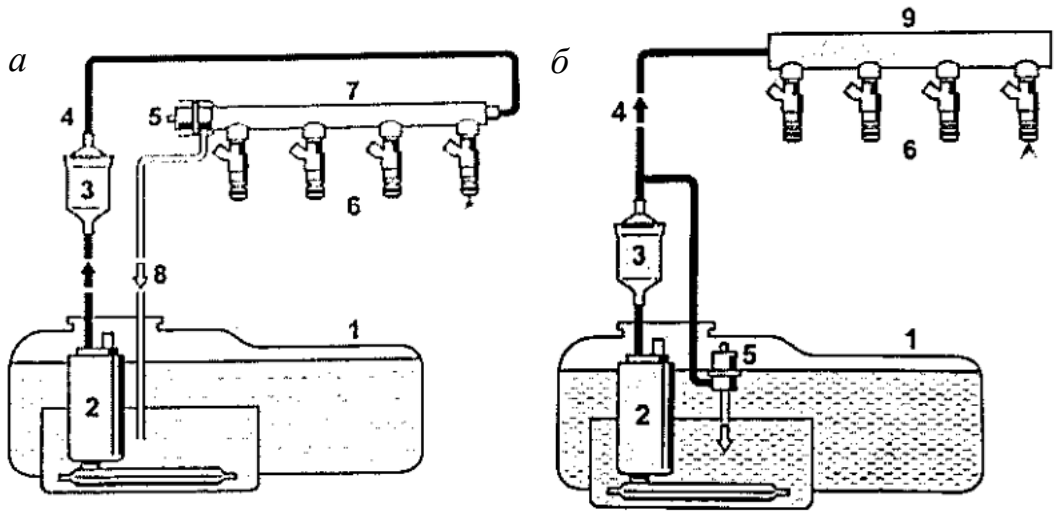
мой производительности насоса будет объем слитого топлива, который должен быть не менее чем в 1,5 раза больше расхода топлива для обеспечения максимальной мощности. Для двигателей рабочим объемом 1,5–2,0 л минимально допустимая производительность насоса, измеренная данным способом, составляет 0,8 л/мин.

В системах впрыска давление является одним из ключевых параметров, определяющих расход топлива через форсунки. Исключение составляют системы гидромеханического впрыска с непрерывной подачей топлива, например, системы K-Jetronic и KE-Jetronic, где форсунки являются исполнительными органами, открывающимися под действием порогового значения давления порядка 3,5 бар.

Практически все системы электронного впрыска во впускной трубопровод оснащены регулятором давления топлива (РДТ), поддерживающим **постоянное давление в топливной магистрали** перед форсунками. В системах центрального впрыска это давление составляет около 1,0 бар, в системах распределенного впрыска с электромагнитными форсунками от 2,5 бар на старых моделях до 4,0 бар на моделях без сливной магистрали и от 5,0 до 6,0 бар в упомянутых системах гидромеханического впрыска. Особняком значатся системы с непосредственным впрыском топлива, в которых давление впрыска составляет 50–120 бар за счет включения в работу насоса высокого давления.

Диагностика работоспособности насосов во многом зависит от конструктивных особенностей элементов, составляющих гидравлическую систему топливоподачи. Различные типы применяемых насосов достаточно подробно представлены в обзоре элементов систем управления. В системах распределенного впрыска с рециркуляцией топлива, которые применялись до введения норм токсичности Евро-4 (рисунок 3.15 *а*), излишки топлива через РДТ отводятся в топливный бак 1 через сливную магистраль 8 для поддержания постоянного перепада давления на форсунках в топливной рейке 7. В более поздних системах, то есть без рециркуляции топлива (рисунок 3.15 *б*), РДТ, встроенный в бак в виде модуля, поддерживает постоянное давление топлива на входе в форсунки.

В некоторых литературных источниках в качестве основного критерия, характеризующего исправность топливного насоса, приводится стабильность давления, поддерживаемого РДТ. Обычно проверка давления производится при включенном насосе с помощью манометра на магистрали 4 (рисунок 3.15) при нулевом или очень небольшом расходе топлива. Для этого необходимо подсоединить манометр к специальному штуцеру (при его наличии), либо с помощью тройникового устройства подсоединиться непосредственно к магистрали 4. Однако осуществить проверку давления при большом расходе топлива удобно только в стендовых условиях, а в условиях эксплуатации автомобиля это сделать затруднительно.



а – система с рециркуляцией топлива; *б* – система без рециркуляции топлива; 1 – топливный бак; 2 – топливный насос с электроприводом; 3 – топливный фильтр; 4 – нагнетательная магистраль; 5 – регулятор давления; 6 – форсунки; 7 – топливная рейка (с рециркуляцией); 8 – сливная магистраль; 9 – топливная рейка (без рециркуляции)

Рисунок 3.15 – Схемы систем топливоподачи с распределенным впрыском

Стабильность значений давления в упомянутой магистрали при работе двигателя при малом расходе топлива указывает на исправность РДТ, но не на исправность бензонасоса и топливной магистрали в целом. При максимальном расходе топлива может оказаться, что нужное давление не обеспечивается из-за недостаточной производительности, обусловленной снижением мощности насоса или засорением фильтра и топливной магистрали в целом. Поэтому наряду с давлением топлива, вторым критерием, обеспечивающим двигателю необходимые мощностные параметры и динамические качества, следует признать производительность насоса. Производительность насоса должна быть равна расходу топлива на режиме максимальной мощности с запасом 20–40%. Запас производительности необходим для компенсации падения производительности из-за падения бортового напряжения или частичного засорения топливного фильтра 3 (рисунок 3.15).

Расчёт производительности Qн насоса для систем распределенного впрыска производится по максимальному расходу топлива двигателя.

$$Q_H = K\left(iQ_{ц\,max}\frac{n_{max}}{2}60\cdot 10^{-3} + Q_{доп}\right), \qquad (3.13)$$

где К = 1,2–1,4 – коэффициент запаса производительности; i – число цилиндров двигателя; $Q_{ц\ max}$ – максимальная цикловая подача при максимальной частоте вращения двигателя; n_{max} – максимальная частота вращения коленчатого вала двигателя; $Q_{доп} = 0{,}15Q_н$ – дополнительный расход через регулятор давления, при котором устойчиво поддерживается постоянное давление топлива в системе. Обычно в зависимости от рабочего объёма двигателя легко-

вого автомобиля необходимая производительность насоса составляет 1–2 л/мин.

При проверке производительности важно, чтобы необходимый расход $Q_н$ обеспечивался при рабочем противодавлении, создаваемом РДТ. Чем больше противодавление (т. е. значение давления РДТ), тем мощнее должен быть насос, чтобы обеспечить двигатель нужным количеством топлива для достижения максимальной мощности. Поэтому для правильной проверки необходимой производительности насоса следует отсоединить сливную магистраль 8 (рисунок 3.15 *а*) и опустить в мерную ёмкость шланг или сливную трубку. Затем включить насос через контакты реле включения насоса и произвести замер слитого топлива за 1 мин. Допускается вместо включения реле завести двигатель на холостом ходу и, соблюдая меры предосторожности, произвести замер на работающем двигателе.

Данный метод оценки производительности насоса годится для всех систем впрыска, имеющих сливную магистраль с рециркуляцией топлива. Как показывает практика, если количество слитого топлива будет равно или больше значения $Q_н$ в формуле (3.13), то можно считать насос и все элементы топливной магистрали исправными.

В случае использования системы впрыска без рециркуляции (рисунок 3.15 *б*) замер производительности насоса по вышеуказанному способу проводить намного сложнее, так как для этого нужно извлечь из бака РДТ и через сливной штуцер регулятора измерить $Q_н$. Если имеется подозрение на неисправность насоса (двигатель не развивает номинальную мощность), то можно рекомендовать произвести условную проверку работоспособности насоса косвенным методом. Для этого следует подсоединить манометр к проверочному выходному штуцеру (при наличии) топливной рейки 9 или к нагнетательной магистрали 4, затем завести двигатель на холостом ходу и резко несколько раз нажать и отпустить педаль газа, увеличивая расход топлива. Если стрелка манометра при этом заметно падает, то это означает, что насос может быть неисправен из-за недостаточной производительности. В таком случае выгоднее сначала заменить топливный фильтр 3 и произвести повторную проверку. Если негативный результат повторится, то насос следует заменить.

Отсутствие необходимого количества топлива для формирования мощностного состава смеси вследствие снижения давления из-за низкой производительности насоса является распространенным, но далеко не единственным дефектом, не позволяющим обеспечить двигателю заявленные мощностные показатели.

В карбюраторных системах для обеспечения мощностного состава смеси на полном дросселе часто используются такие системы, как экономайзер мощностных режимов (ЭМР) и эконостат. Дополнительное количество топлива через жиклер ЭМР обычно подается в главную дозирующую систему первой камеры. Поэтому система ЭМР обогащает смесь не только на режимах полных нагрузок, но и охватывает режимы частичных нагрузок, если перепад давлений на ДЗ сравнительно небольшой. В большинстве конструкций управление подачей топлива в ЭМР происходит с помощью мембранного

устройства с клапаном, открывающим сечение дополнительного жиклера малого диаметра, сопоставимого с диаметром ТЖХХ. Столь малый диаметр создает предпосылки для его засорения в случае попадания в него каких-либо частиц с последующим обеднением смеси. Продувка снаружи часто не помогает, поэтому приходится этот жиклер извлекать и прочищать его сверлом диаметром чуть меньше диаметра жиклера ЭМР.

Системы эконостата несколько проще систем ЭМР по конструкции, так как не содержат никаких движущихся элементов, а состоят из комбинации топливного и воздушного жиклеров с выходным калиброванным отверстием в главный воздушный канал обычно вторичной камеры карбюратора.

Эконостат выполняет функцию обеспечения небольшой добавки топлива для формирования мощностного состава смеси по внешней скоростной характеристике при высоких оборотах двигателя. Дополнительное топливо подается за счет разрежения, создаваемого потоком воздуха, проходящим через главный воздушный канал. Засорение жиклеров эконостата случается достаточно редко, поскольку режимы полных нагрузок занимают минимум времени в эксплуатации. Поскольку жиклеры и трубки эконостата обычно запрессованы, изредка происходит их выпадение с нарушением выполнения их функций.

Система ускорительного насоса (УН) присутствует в большинстве конструкций эмульсионных карбюраторов с вертикально падающим потоком. Исключение составляют карбюраторы, имеющие электронно-управляемую воздушную заслонку, например, Пирбург 2EE. Системы УН по конструкции в основном подразделяются на 2 вида: поршневого и диафрагменного типа.

Хотя УН не входит в число систем, существенно влияющих на протекание внешней скоростной характеристики в стационарных условиях, но хорошо известно, что переходные процессы, происходящие в двигателе при разгоне автомобиля, требуют дополнительной подачи топлива при резком открытии дроссельной заслонки.

Например, при переключении передач каждое резкое открытие дроссельной заслонки сопровождается подачей дополнительного количества топлива через распылитель (распылители), объем которого в зависимости от рабочего объема двигателя, конструкции впускного тракта и других факторов составляет от 0,4 до 1,0 мл. Это количество топлива компенсирует запаздывание подачи топлива из ГДС по отношению к подаче воздуха при резком открытии ДЗ и позволяет избежать так называемых «провалов» крутящего момента в работе двигателя.

Проверку производительности УН следует проводить при снятом карбюраторе с наполненной поплавковой камерой. Проверяемая модель карбюратора устанавливается на подставку с ванночкой посередине, затем производятся 10 полных открытий ДЗ с небольшой паузой, давая возможность каждый раз заполниться емкостям УН. Далее полученный объем топлива, характеризующий производительность УН, сливается в мензурку и сравнивается с объемом, указанным в технических условиях на данную модель карбюратора. Обычно производительность УН в зависимости от модели карбюра-

тора колеблется в пределах 4–10 мл за 10 полных открытий ДЗ. Подача топлива из форсунки УН должна начинаться с самого начала открытия ДЗ во избежание «провалов» на частичных нагрузках и при начале движения автомобиля с места.

В системах впрыска формирование мощностного состава смеси происходит преимущественно на режимах с полным или почти полным открытием ДЗ. В большинстве конструкций с механическим приводом открытия ДЗ в качестве управляющего сигнала, подаваемого в ЭБУ для формирования длительности импульса на форсунки, используется сигнал напряжения от датчика положения дроссельной заслонки (ДПДЗ).

ДПДЗ с двумя резистивными измерительными дорожками изображен на рисунке 3.16. Одна из дорожек предназначена для более точного определения углового положения ДЗ при малых углах открытия, а другая (основная) определяет положение ДЗ во всем диапазоне положений ДЗ. Один из выводов каждой из дорожек соединен с опорным напряжением (5 В) ЭБУ, а второй – с «массой» ЭБУ. Третий провод соединяет подвижный контакт ДПДЗ с ЭБУ, что позволяет ЭБУ определять положение ДЗ по напряжению выходного сигнала ДПДЗ. При открытии ДЗ выходной сигнал напряжения возрастает. Если ДПДЗ по сигналу напряжения определяет положение ДЗ как полностью открытое, ЭБУ увеличивает τ, увеличивая подачу топлива до мощностного состава смеси. Одновременно ЭБУ переводит работу двигателя на разомкнутый контур без λ-управления. При полностью открытой ДЗ выходное напряжение выходного сигнала основной дорожки должно быть выше 4 В.

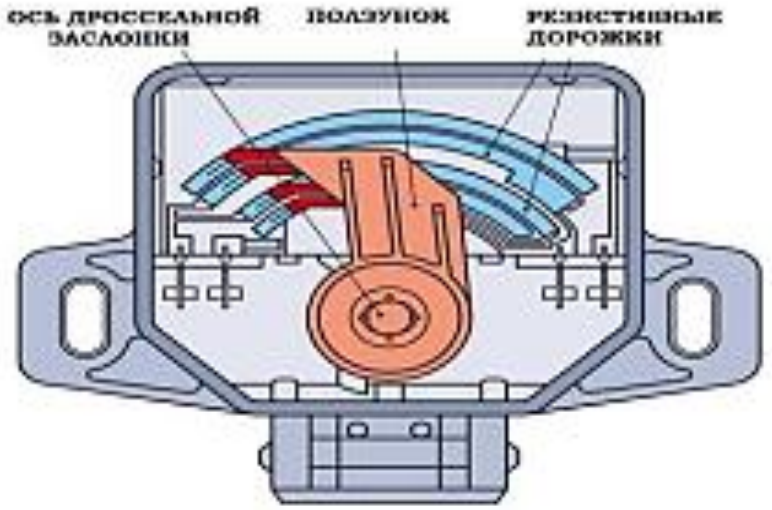


Рисунок 3.16 – ДПДЗ с двумя резистивными измерительными дорожками

Помимо функции обогащения смеси на режимах при полном открытии ДЗ ДПДЗ выполняет функцию датчика, по сигналу которого смесь обогащается при каждом резком открытии ДЗ. Быстрое изменение напряжения от ДПДЗ воспринимается ЭБУ как переходный режим, когда параметры каждого последующего цикла значительно отличаются от предыдущего. В этом случае в ЭБУ формируются управляющие импульсы τ увеличенной длительности для

компенсации рассогласования в цикловой подаче воздуха и топлива. Кратковременное приращение цикловой подачи и количество циклов с увеличенной подачей топлива зависит от скорости и углового перемещения ДЗ.

Выход из строя ДПДЗ сопровождается «провалами» на переходных режимах работы двигателя и приводит к недостаточной мощности. Проверка исправности ДПДЗ заключается в контроле выходного сигнала напряжения при закрытом и открытом положениях ДЗ по справочным данным. Дефектные ДПДЗ обычно не ремонтируются и подлежат замене.

В системах с электронной ДЗ (ЭДЗ) функции обогащения смеси на вышеупомянутых режимах разделены между электронной педалью газа и ЭДЗ, поскольку полное перемещение педали газа до упора не всегда соответствует полному открытию ЭДЗ. Электронная педаль газа и ЭДЗ, изображенные на рисунке 3.17, снабжены двумя потенциометрическими дорожками, сигналы напряжения от которых передаются в ЭБУ. При полностью нажатой педали газа сигнал на обогащение состава смеси подается именно от педали газа с одновременным отключением λ-управления. На переходных режимах работы при быстром угловом перемещении ЭДЗ кратковременное обогащение смеси согласуется со скоростью и величиной углового перемещения.

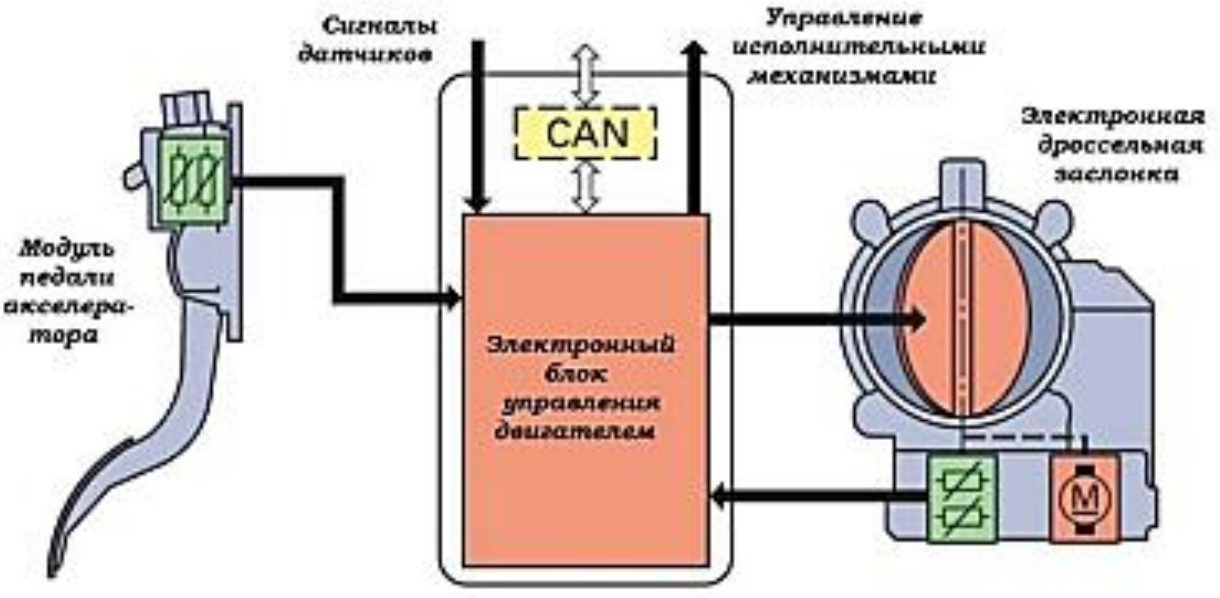


Рисунок 3.17 – Взаимодействие электронной педали газа с ЭДЗ

Электронная педаль газа является весьма ответственным узлом с точки зрения обеспечения безопасности движения автомобиля. Датчик, установленный на педали газа, имеет основную и резервную потенциометрические дорожки. При возникновении неисправности основной дорожки, функцию управления ЭДЗ берет на себя резервная дорожка, которая управляет углом открытия ЭДЗ в ограниченном диапазоне, позволяющем двигаться автомобилю в аварийном режиме с невысокой скоростью.

Большое влияние на отклонения состава смеси от оптимального, включая режимы с полной нагрузкой, оказывает нестабильность сигналов от датчиков массового расхода воздуха (ДМРВ). В часто применяемых ДМРВ термоанемометрического типа массовый расход воздуха определяется путем измерения электрической мощности, необходимой для поддержания заданного перепада температуры нагреваемых элементов и температуры окружающего воздуха. В зависимости от типа ДМРВ в ЭБУ поступают сигналы напряжения или частотные выходные сигналы.

В период эксплуатации возможны нарушения работы чувствительных элементов, ответственных за точность измерений расхода воздуха. Если сигналы поступают в ЭБУ с отклонением от истинных значений расхода воздуха в ту или иную сторону, то это чревато либо снижением мощностных показателей, либо повышением расхода топлива. Причем эти отклонения часто не распознаются системой определения ошибок. В таких случаях приходится по косвенным признакам определять данную неисправность. При существенном уменьшении вычисленного по сигналу ДМРВ значения расхода воздуха относительно истинного значения происходит значительное обеднение смеси, поскольку именно по вычисленному значению определяется расход топлива. Следствием этого обеднения смеси являются снижение мощностных показателей двигателя и ухудшение ездовых качеств автомобиля. Поскольку обеднение состава смеси происходит практически на всех режимах работы двигателя, его можно распознать по неустойчивой работе двигателя и по падению разрежения во впускном трубопроводе при открытии ДЗ.

В период эксплуатации обеднение смеси бывает столь значительным, что выгоднее на время отключить разъем ДМРВ от ЭБУ с переводом двигателя на аварийный режим работы по сигналам ДПДЗ, а ДМРВ в дальнейшем заменить.

Применяемые в СУД датчики абсолютного давления (ДАД) в качестве основного датчика, определяющего базовые значения топливоподачи, как правило, более надежны в период эксплуатации двигателя, чем ДМРВ. Выходной сигнал с датчика формируется и поступает в ЭБУ в виде напряжения в зависимости от давления (разрежениия) во впускном трубопроводе. При малых расходах воздуха с прикрытой ДЗ сигнал колеблется от 1,0 до 1,5 В. На режимах с полным открытием ДЗ сигнал напряжения составляет 4,0–4,5 В.

Равномерное распределение топлива (состава смеси) является важным фактором достижения максимально возможных мощностных показателей двигателя. Однако на практике добиться идеально равномерного распределения весьма затруднительно. Во многих системах топливоподачи неравномерность распределения топлива часто предопределена конструктивными особенностями, свойственными той или иной системе.

Наличие впускного разветвленного коллектора приводит к неравномерному распределению топлива по отдельным цилиндрам двигателя у большинства моделей карбюраторов и систем центрального впрыска. Степень неравномерности при работе на полном дросселе зависит от конфигурации впускного коллектора и частоты вращения двигателя. Чтобы избежать

подачи обедненной смеси в отдельные цилиндры по внешней скоростной характеристике, приходится несколько обогащать общий состав смеси. Так, например, если наибольшая мощность в одном конкретном цилиндре двигателя реализуется при $\alpha = 0{,}90$, то при 10%-й неравномерности по отдельным цилиндрам общий состав смеси должен быть в районе $\alpha = 0{,}80–0{,}85$.

В системах распределенного впрыска неравномерность распределения топлива по цилиндрам в большинстве случаев вызвана разбросом производительности форсунок. В экстремальных случаях из-за переобеднения смеси в отдельных цилиндрах могут возникнуть условия для детонационного сгорания с последующим разрушением поршневых колец.

Также неравномерность может наблюдаться при использовании нефазированного способа впрыска топлива форсунками, но в гораздо меньшей степени. Если разброс по производительности форсунок практически отсутствует, то при хорошем смесеобразовании и равномерности цикловых подач мощностной состав смеси может приблизиться к значению $\alpha = 0,\ 95$.

Для бензинового двигателя важность получения оптимальных углов опережения (УОЗ) на всех режимах работы двигателя не вызывает сомнений. Более подробно эта тема рассмотрена в п. 3 данного пособия. Что касается режимов работы, обеспечивающих двигателю основные мощностные параметры, то есть режимов с полным открытием дроссельной заслонки, выбор УОЗ обычно определяется двумя граничными условиями.

Во-первых, УОЗ во всем диапазоне частот вращения двигателя не должен превышать значений, при которых начинается детонация. Во-вторых, УОЗ должны находиться в границах, при которых мощностные параметры N и $M_{кр}$ по внешней скоростной характеристике снижаются не более, чем на 2–3% относительно максимальных значений.

3.2.5 Диагностика режимов пуска и прогрева двигателя в условиях низких температур

Успешность запуска бензинового двигателя зависит от многих факторов: температуры и влажности окружающей среды, теплового состояния двигателя, применяемой системы топливоподачи, особенностей пускового устройства, исправности элементов системы зажигания, фракционного состава бензина, компрессии в отдельных цилиндрах, пусковых оборотов двигателя от стартера и некоторых других факторов, характерных для конкретного двигателя и используемой системы топливоподачи. При низкой температуре после запуска не менее важно поддерживать оптимальный режим прогрева холодного двигателя, на который приходится львиная доля выбросов токсичных компонентов при испытаниях автомобиля на соответствие определенному экологическому классу.

Независимо от применяемой системы топливоподачи для надежного запуска двигателя в условиях низких температур необходимо соблюдение двух основных условий.

Во-первых, в предпусковом состоянии холодного двигателя с внешним смесеобразованием необходимо обеспечить увеличение площади открытого сечения элементов впускного тракта для подачи дополнительного количества воздуха. Эта площадь сечения должна быть в 3–4 раза больше сечения для прохода количества воздуха, достаточного для работы прогретого двигателя на ХХ. Тем самым дополнительный воздух, смешиваясь с парами топлива при прокрутке двигателя стартером, обеспечивает увеличение цикловых зарядов, создающих необходимую мощность для самостоятельной работы двигателя в первые секунды после воспламенения смеси. Дополнительный воздух может подаваться либо путем открытия ДЗ, либо через специальный обводной (байпасный) канал с обходом ДЗ (см. рисунок 3.5).

Вторым важным условием успешного запуска холодного двигателя является необходимость обогащения состава смеси (α), формируемого с начала пусковых оборотов двигателя. С первых тактов запуска α может на порядок и более отличаться от значений, характерных для прогретого двигателя. Как известно, существуют довольно широкие пределы воспламеняемости рабочей смеси, которые на прогретом двигателе для бензина в среднем составляют значения α от 0,3 до 1,4. При этом следует учитывать, что воспламенение смеси возможно только в паровой фазе. С изменением условий испарения при запуске холодного двигателя пределы воспламеняемости перемещаются в сторону более богатых смесей. Чем ниже температура, тем хуже условия для испарения и воспламенения смеси в начальный период запуска холодного двигателя. При очень низкой температуре (- 20 °С и ниже) в период пуска двигателя может испариться не более 10% бензина обычного фракционного состава. В этом случае на первых тактах запуска двигателя системой топливоподачи желательно обеспечить топливно-воздушную смесь с α = 0,05–0,10, чтобы создать паровую фазу в пределах воспламеняемости.

В системах со смесеобразованием во впускном трубопроводе обдув жидкой фазы бензина на протяжении всей длины трубопровода способствует улучшению испарения. Поэтому при очень низкой температуре пусковые качества двигателя, оснащенного карбюраторными системами или системами центрального впрыска, иногда оказываются лучше, чем у систем распределенного впрыска.

Чем выше компрессия в момент пуска двигателя, тем выше температура заряда в конце такта сжатия, лучше условия для испарения топлива и меньше утечка заряда. В период эксплуатации двигателя с изношенной ЦПГ пусковые свойства значительно ухудшаются из-за частичной потери заряда вследствие снижения компрессии.

Пусковые обороты двигателя от стартера должны быть не менее 80 об/мин. Иначе происходит значительная утечка заряда в цилиндрах во время тактов всасывания и сжатия. Также следует учитывать значительное падение напряжения аккумуляторной батареи при прокрутке двигателя стартером. Если напряжение падает ниже 10 В, то весьма вероятно, что искра на свечах будет либо очень слабой, либо будет отсутствовать вообще. Кроме то-

го существует пороговое значение напряжения, при уменьшении которого ЭБУ не выполняет свои функции.

Конструкции систем пуска и алгоритмы работы систем топливоподачи и зажигания в период пуска и прогрева весьма разнообразны. Поэтому диагностика неисправностей, хотя и базируется на общих принципах поведения двигателя на этих режимах, но, безусловно, имеет свою специфику, обусловленную техническими особенностями каждой из систем.

В большинстве конструкций карбюраторов в качестве основного элемента системы пуска и прогрева используется воздушная (пусковая) заслонка, установленная в главном канале карбюратора. При закрытии заслонки в диффузоре ГДС создается дополнительное разрежение, способствующее увеличению подачи топлива из ГДС в несколько раз. Чем больше прикрыта заслонка, тем больше степень обогащения смеси. Как было сказано ранее, подаваемую при холодном пуске смесь следует не только обогатить, но и увеличить её количество за счет увеличения количества подаваемого воздуха. Поэтому одновременно с закрытием воздушной заслонки через кинематическую связь приоткрывается дроссельная заслонка, увеличивая проходное сечение для подачи большего количества смеси. Именно фактор количества обогащенной смеси, наряду с фактором степени обогащения, будет определять величину цикловых зарядов для успешного запуска.

Воздушная заслонка может закрываться либо вручную с помощью тросика так называемого «подсоса», либо автоматически под действием биметаллической спирали или пружины. Системы, которые требуют предварительного нажатия на педаль газа для взведения заслонок в положение для холодного пуска, а затем периодического кратковременного нажатия по мере прогрева двигателя, считаются полуавтоматическими. А такие системы, в которых весь процесс пуска и прогрева двигателя от стартерного режима до выхода на режим ХХ проходит без участия водителя, называются автоматами пуска и прогрева.

Для надежного запуска холодного двигателя необходимо, чтобы подпружиненная воздушная заслонка была полностью закрыта. В стартерном режиме она приоткрывается за счет образующегося перепада давлений, давая возможность воздуху проникнуть в главный канал для образования обогащенной горючей смеси. Важно проверить, чтобы заслонка не заедала перед запуском двигателя и свободно перемещалась при легком нажатии на нее пальцем, давая возможность проникнуть воздуху в период пуска. В случае заедания заслонки количество воздуха оказывается недостаточным для пуска двигателя из-за уменьшения цикловых зарядов и переобогащения смеси.

Если после двух-трех попыток прокрутки стартером в течение 3–5 с двигатель не завелся, то вполне вероятно, что возник переизбыток жидкой фазы топлива с последующим «заливанием» свечей зажигания. В таком случае рекомендуется провести так называемую продувку камеры сгорания двигателя, для чего следует приоткрыть воздушную заслонку, нажать на педаль газа полностью и прокрутить двигатель стартером. Для продувки в карбюраторах с автоматическими системами пуска и прогрева при полном нажатии на

педаль газа предусмотрено принудительное открытие воздушной заслонки. Затем можно снова повторить попытку запуска при обычном или чуть приоткрытом положении педали газа. Процесс запуска двигателя можно считать состоявшимся, если двигатель начал работать устойчиво в течение 3–5 с.

Далее, после успешного запуска нужно обеспечить двигателю оптимальные значения *n* и состав смеси на режиме прогрева, для чего необходимо зафиксировать определенную величину открытия воздушной заслонки. Величина открытия обычно обеспечивается специальным устройством с пневматической камерой, соединенной с задроссельным пространством, и мембраной, ход которой регулируется специальным винтом. Сразу после успешного запуска двигателя заслонка за счет перемещения мембраны под действием разрежения открывается на заданную величину.

На режиме прогрева возможны два варианта неблагоприятного развития событий, приводящих к заглоханию двигателя. В первом варианте заглохание происходит из-за переобогащения смеси, вызванного недостатком воздуха. В большинстве случаев это происходит по причине неправильной настройки величины открытия пусковой заслонки или в результате разрыва мембраны, приводящей в действие тягу или рычажок заслонки. Во втором варианте слишком большое открытие заслонки приводит к обеднению смеси до состава, при котором только что заведенный двигатель глохнет.

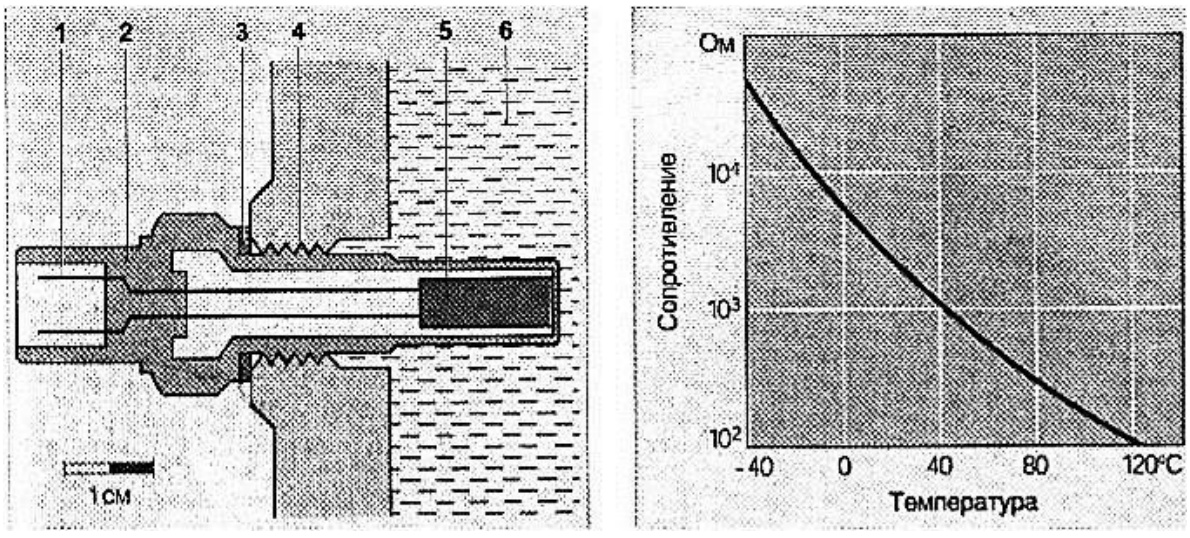
По мере прогрева двигателя и возрастания температуры охлаждающей жидкости воздушная заслонка постепенно открывается в зависимости от применяемой системы либо вручную (тросиком подсоса), либо автоматически под действием биметаллической спирали или штока термосилового механизма. Корпусы с биметаллической спиралью имеют полости для жидкостного обогрева из системы охлаждения двигателя или снабжены электроподогревом. Довольно часто применяются комбинированные системы обогрева. Корпусы с термосиловым механизмом, содержащим термопластичный материал, обычно имеют жидкостный обогрев. Одновременно с открытием пусковой заслонки через тягу или рычаг взаимосвязи должна закрываться дроссельная заслонка либо постепенно, либо ступенчато в зависимости от конструктивного исполнения.

При достижении температуры охлаждающей жидкости порядка 70–80 °С необходимость в несколько завышенных значениях *n* отпадает и при отсутствии неисправностей двигатель переходит в режим ХХ, соответствующий полному прогреву. Если процесс прогрева затягивается, например, не падают значения *n*, то это свидетельствует об определенных неисправностях, возникающих в процессе эксплуатации карбюраторов. К наиболее распространенным дефектам следует отнести заедания в кинематических приводах пусковой и дроссельных заслонок, нарушения работы биметаллических спиралей или термосиловых элементов, а также нарушения в работе систем, регулирующих тепловое состояние двигателя. Как пример можно привести ситуацию, когда в результате дефекта работы термостата обогрев корпуса теплового регулятора оказывается недостаточным и пусковая заслонка открывается не

полностью. Соответственно ДЗ не становится в положение режима ХХ и значение *n* не стабилизируется.

С появлением электронных средств управления и внедрением ЭБУ процесс пуска и прогрева в карбюраторах претерпел существенные изменения. По аналогии с системами впрыска в качестве основного датчика, регулирующего данный процесс, используется датчик температуры охлаждающей жидкости (ДТОЖ), по сигналам которого ЭБУ формирует выходные сигналы для управления исполнительными устройствами. В качестве исполнительных устройств используются электроприводы, воздействующие на положение воздушной и дроссельной заслонок, как, например, у модели Пирбург 2ЕЕ.

ДТОЖ (рисунок 3.18) представляет собой термистор, т.е. резистор, электрическое сопротивление которого изменяется в зависимости от температуры. Датчик обычно установлен в потоке охлаждающей жидкости на головке блока цилиндров двигателя. Термистор, расположенный внутри датчика, имеет отрицательный температурный коэффициент сопротивления, то есть при нагреве его сопротивление уменьшается (рисунок 3.18). Температуру охлаждающей жидкости ЭБУ рассчитывает по падению напряжения на ДТОЖ в соответствии с уменьшением сопротивления. Диагностировать исправность ДТОЖ можно по изменению сопротивления с помощью омметра с нужной шкалой. В зависимости от температуры охлаждающей жидкости сопротивление меняется от 100000 Ом при -30 °С до 100–300 Ом при 100–120 °С.



1 – электрическое сопротивление; 2 – корпус; 3 – уплотнительное кольцо; 4 – резьбовое соединение; 5 – измерительный резистор (термистор); 6 – охлаждающая жидкость

Рисунок 3.18 – Схема ДТОЖ и характеристика зависимости сопротивления от температуры

В более ранних моделях карбюраторов с электронным управлением функцию регулирования оборотов двигателя при запуске и последующем про-

греве выполняет электропривод, представляющий собой разновидность электронного регулятора с толкателем, воздействующим на рычаг привода ДЗ. Перед запуском холодного двигателя толкатель привода открывает ДЗ на заданный угол, соответствующий режиму запуска. Далее, после запуска двигателя, в зависимости от показаний ДТОЖ, в ЭБУ выбирается режим прогрева двигателя с определенным значением *n*, заложенным в памяти ЭБУ. При полностью прогретом двигателе регулятор с толкателем поддерживает режим ХХ с минимальным значением *n*. Положение воздушной заслонки на режимах пуска и прогрева определяется характеристикой биметаллической спирали, как в обычных карбюраторах.

В последних моделях карбюраторов с электронным управлением (Pierburg 2BE, Ecotronic) функция регулирования значения *n* на режимах пуска и прогрева дополнена системой электронной регулировки положения воздушной заслонки, определяющего степень обогащения состава смеси. Для осуществления оптимального протекания процесса пуска и прогрева в СУД включен датчик положения дроссельной заслонки (ДПДЗ), установленный на оси 1-й камеры карбюратора. В момент холодного запуска по данным ДТОЖ и ДПДЗ в ЭБУ формируется дополнительный управляющий сигнал на электропривод воздушной заслонки, закрывая её на определенный угол. Правильно построенный алгоритм управления воздушной и дроссельной заслонками позволяет оптимизировать режимы пуска и прогрева двигателя и получить определенные преимущества. Стабилизация значений *n* на этих режимах позволяет существенно снизить расход топлива, а возможность быстро реагировать на изменение состава смеси использовать λ-регулирование в данных конструкциях. Кроме того, гибкое управление угловым положением воздушной заслонки создает дополнительное обогащение состава смеси на режимах разгона автомобиля и позволяет отказаться от такой дополнительной системы, как ускорительный насос.

Следует отметить, что наличие дополнительных датчиков и электронное управление процессами пуска и прогрева делает указанные системы более уязвимыми в эксплуатации по сравнению с системами обычных карбюраторов. Например, сигнал напряжения неисправного ДТОЖ (рисунок 3.18), не соответствующий реальной температуре охлаждающей жидкости, в одном случае приводит к отказу запуска холодного двигателя из-за недостаточного закрытия воздушной заслонки, а в другом, соответственно, к перерасходу топлива из-за постоянно прикрытой воздушной заслонки.

В системах центрального впрыска дополнительные элементы для холодного пуска отсутствуют. Необходимое количество топлива для нужного обогащения смеси подается только основной форсункой по сигналу ЭБУ. При низкой температуре в период пуска стартером открытие форсунки может быть не синхронизировано с датчиками синхронизации. Если значение температуры по показаниям ДТОЖ ниже определенного порогового значения, то при прокрутке стартером и до достижения двигателем значения n_{min} = 600 об/мин форсунка может быть открыта полностью. Далее, после запуска подача топлива синхронизируется с сигналом от датчика частоты вра-

щения. Количество топлива в начале режима прогрева может превышать в 1,5–2,0 раза цикловую подачу на прогретом двигателе и затем уменьшается до номинальных значений прогретого двигателя. Чем меньше время прогрева двигателя, тем раньше включается λ-регулирование состава смеси. Для сокращения времени режима прогрева нужна четкая работа термостата системы охлаждения и безотказная работа ДТОЖ.

Значения *n* при запуске, прогреве и в режиме ХХ заложены в памяти ЭБУ и обеспечиваются работой регуляторов разных типов. В качестве регулятора одной из наиболее распространенных систем центрального впрыска используется вариант РХХ с шаговым электродвигателем («Opel Multec»), изображенный на рисунке 3.4. Здесь режимы пуска, прогрева и ХХ происходят при закрытой ДЗ и обеспечиваются за счет прямолинейно перемещающегося конуса, регулирующего сечение обводного канала. Если какая-либо функция РХХ не обеспечивается, то он подлежит замене.

В другом распространенном варианте (Mono-Motronic) роль регулятора на указанных режимах выполняет механизм с электроприводом, подобный регулятору ДЗ карбюратора с электронным управлением. Надежность работы систем центрального впрыска при запуске и прогреве двигателя во многом определяется стабильностью показаний ДТОЖ и ДПДЗ. При длительной эксплуатации потенциометрические дорожки ДПДЗ изнашиваются, что приводит к неконтролируемому повышению значений *n* в режимах прогрева и ХХ.

В системах распределенного впрыска топлива во впускной трубопровод режим пуска холодного двигателя проходит в условиях дефицита времени, необходимого для частичного испарения топлива перед тактом всасывания. Поэтому в ранних разработках систем распределенного впрыска (модификации системы «L-Jetronic», «KE-Jetronic» и др.) используется дополнительная электромагнитная пусковая форсунка, включаемая от специального термореле, установленного в рубашку охлаждения двигателя. В зависимости от температуры охлаждающей жидкости время её непрерывной работы составляет от 1 до 10 с. Если температура охлаждающей жидкости более 35 °С, термореле пусковую форсунку не включает. При стартерном режиме совместно с пусковой форсункой по сигналам ЭБУ начинают работать клапанные форсунки с увеличенной цикловой подачей, зависящей от данных ДТОЖ. По мере прогрева двигателя степень обогащения смеси уменьшается и при температуре охлаждающей жидкости около 60 °С цикловая подача соответствует данным полностью прогретого двигателя.

В современных системах распределенного впрыска отдельная пусковая форсунка отсутствует. В течение прошедшего времени клапанные форсунки последовательно усовершенствовались и качество распыливания топлива значительно улучшилось. Это позволило для запуска холодного двигателя использовать только клапанные рабочие форсунки. Алгоритм процесса топливоподачи при холодном запуске и последующем прогреве в системах распределенного впрыска может быть различным в зависимости от используемой СУД. Однако во всех системах клапанные форсунки подают значительно

большее количество топлива в начальный период запуска для образования горючей смеси в условиях недостаточного испарения.

В системах с одновременным впрыском топлива все форсунки открываются по сигналу от ДПКВ через каждый оборот двигателя. При очень низких температурах в начальный период запуска форсунки могут подавать топливо непрерывно в течение определенного промежутка времени (1–2 с) и затем синхронизироваться с ДПКВ. В системах с попарно-параллельным и фазированным впрыском в течение первых оборотов коленчатого вала при стартерном режиме впрыск осуществляется через каждые пол-оборота коленчатого вала в попарно-параллельном режиме (т.е. в 1-й – 4-й и во 2-й – 3-й соответственно). После запуска двигателя, начиная примерно с n = 600 об/мин, впрыск топлива синхронизируется в соответствии с сигналами ДПКВ.

В последнее время появились СУД, где отсутствуют датчики фаз, синхронизирующие работу форсунок для осуществления фазированного впрыска. В этих СУД функция распознавания фаз возложена на ЭБУ. Примером такого ЭБУ является ЭБУ М74, устанавливаемый на автомобили Лада Калина и Лада Гранта. При использовании ЭБУ М74 в момент прокрутки двигателя стартером происходит тестовый впрыск топлива в один из цилиндров (как правило в 1-й) и синхронно с вращением коленчатого вала формируется искровой разряд в нужный момент времени. Далее в выбранном цилиндре происходит воспламенение, определяется рабочий ход по ускорению коленчатого вала и фаза впрыска.

После этого СУД начинает работать в соответствии с порядком работы цилиндров в режиме фазированного впрыска. Так работает СУД при каждом запуске от стартера как на холодном, так и на прогретом двигателе.

Как показывает практика, в отсутствии датчика фаз при каждом запуске требуется как минимум 1,5–2,5 секунды стартерного режима, чтобы СУД распознала вспышки в первом цилиндре и включила в работу остальные. На горячем двигателе такой запуск не вызывает существенных затруднений, хотя случаи, когда двигатель заводится не с первой попытки, встречаются довольно часто. На холодном двигателе при таком алгоритме работы СУД возможны отказы запуска, вызванные отсутствием воспламенения в конкретном цилиндре, в который подается тестовый впрыск топлива. Достаточно иметь загрязненную свечу в этом цилиндре или другой дефект, связанный с системой зажигания, как вероятность успешного запуска значительно снижается. Кроме того, длительная прокрутка стартером при сильных морозах разряжает аккумулятор, снижает бортовое напряжение и негативно сказывается на ресурсе самого стартера. Так получается, что в данной СУД исключение датчика фаз, т.е. упрощение системы, порождает опасность возникновения дополнительных трудностей, связанных с запуском холодного двигателя.

Существуют варианты СУД («Корвет» М11.38ЕТ), в которых ЭБУ в отсутствии датчика фаз формирует другой алгоритм выхода двигателя на режим фазированного впрыска. В них также происходит автоматическое определение рабочего цикла по неравномерности вращения коленчатого вала после запуска двигателя. При прокрутке двигателя стартером топливо поступа-

ет в попарно-параллельном режиме. После пуска и стабилизации работы двигателя через несколько секунд ЭБУ производит снижение топливоподачи в 1-й цилиндр на такую величину, которая обеспечивала бы практически полное отсутствие индикаторного момента от этого цилиндра. Это снижение топливоподачи продолжается в течение заданного количества циклов, на протяжении которых по разнице в ускорении коленчатого вала выявляется такт сжатия 1-го цилиндра и осуществляется синхронизация рабочих тактов и фаз впрыска топлива в остальных цилиндрах. В дальнейшем двигатель работает только в режиме фазированного впрыска. Таким образом, работа данной СУД показывает, что в отсутствие датчика фаз можно найти оптимальный вариант постепенного выхода на режим фазированного впрыска топлива, не затрагивая режимы холодного пуска и не подвергая двигатель опасности возникновения отказов.

В системах с механическим открытием ДЗ в качестве регуляторов дополнительного количества воздуха, необходимого для оптимального наполнения двигателя при запуске холодного двигателя, в системах распределенного впрыска используются те же системы РХХ, что и при регулировке режимов ХХ. В двигателях значительного рабочего объема используются РХХ золотникового типа с реверсным электроприводом (см. рисунок 3.3), а в двигателях меньшего объема (до 1800 см^3) часто используется РХХ в виде перемещающегося конуса с шаговым электродвигателем (см. рисунок 3.4).

Диапазон регулирования позволяет обеспечить возможность повышения n холодного двигателя до значения порядка 1200–1500 об/мин. В период эксплуатации возможны заедания и заклинивания элементов регулирования в конструкциях РХХ, вызванные износом золотника в первом варианте или износом червячного механизма во втором. Если для запуска двигателя необходимо нажимать на педаль газа и держать её открытой в период прогрева двигателя, то это свидетельствует о неполадках в работе РХХ. Также указанные дефекты могут сопровождаться нестабильностью значений n и заглоханием двигателя в период прогрева или режима ХХ. Как правило, РХХ не ремонтопригодны и в случае возникновения дефектов подлежат замене.

С вводом в действие экологических норм Евро-3 все функции по обеспечению необходимого расхода воздуха на всех режимах работы двигателя, в том числе для холодного пуска, прогрева и ХХ, возложены на так называемую электронную ДЗ, управляемую электродвигателем. Внешний вид узла электронной ДЗ с приводом от электродвигателя и редуктора представлен на рисунке 3.19. Ввиду очень малых углов открытия ДЗ на указанных режимах в процессе эксплуатации создаются предпосылки для затрудненного перемещения и заедания ДЗ, вызванные загрязнением кромок ДЗ и отложениями продуктов сгорания на стенках впускного трубопровода. Данные дефекты также вызывают заглохание в период пуска двигателя и нестабильность значений n в период его прогрева. Для устранения и профилактики таких неисправностей необходимо периодически очищать поверхность кромок ДЗ и прилегающих поверхностей впускного трубопровода от отложений, препятствующих свободному перемещению ДЗ в диапазоне малых углов открытия.



Рисунок 3.19 – Внешний вид узла электронной ДЗ с электроприводом

В заключение темы по диагностике режимов пуска и прогрева холодного двигателя можно дать несколько практических советов в случае возникновения затруднений при запуске двигателя с впрыском топлива в условиях очень холодной погоды.

Если температура окружающего воздуха опускается ниже отметки -20 °С, то обычно нет гарантии, что даже исправный двигатель запустится без проблем, тем более, если такое понижение температуры возникло неожиданно. В случае неудачных попыток запуска прежде всего следует проверить напряжение аккумуляторной батареи и эффективность работы стартера. Даже при заряженном аккумуляторе (напряжение не менее 12,0–12,5 В) желательно на несколько секунд включить фары или другие потребители энергии, чтобы несколько «оживить» его работу. Необходимо, чтобы при прокрутке стартером обороты двигателя *n* были не менее 80 об/мин, иначе шансы завести двигатель заметно уменьшаются из-за утечки заряда и плохих условий для испарения топлива. Кроме того, при прокрутке стартером бортовое напряжение на автомобиле не должно падать ниже 10 В, так как в противном случае не обеспечивается надлежащее питание для работы ЭБУ, электромагнитных форсунок и систем зажигания. Если состояние заряженного аккумулятора не позволяет соблюсти эти условия, то его следует заменить, либо поместить на некоторое время в теплое помещение для увеличения емкости.

При отсутствии каких-либо признаков запуска двигателя следует также проверить, включается ли топливный насос, так как при большом перепаде температур не исключено, что реле включения насоса не срабатывает. Включение насоса можно определить по легкому шуму, издаваемому насосом в течение нескольких секунд при включении зажигания. Также нужно проверить наличие надежного искрового разряда непосредственно на свечах зажигания. При отсутствии специального искрового разрядника можно отсоединить провод или индивидуальную катушку зажигания и подсоединить к контакту запасной заведомо исправной свечи. Затем надо обеспечить надежный контакт корпуса свечи с «массой» двигателя и прокрутить двигатель старте-

ром. Если между электродами свечи периодически возникает достаточно яркая искра, то по этому признаку в целом можно судить об исправности системы зажигания.

Если двигатель производит «вспышки», но не заводится, то это часто свидетельствует о слишком бедной для запуска смеси либо о неисправности («мокрых») свечей зажигания в отдельных цилиндрах. Чтобы исключить причину, связанную с недостатком топлива, можно рекомендовать проверить сопротивление на концах ДТОЖ. Оно должно составлять величину не менее 5,0–10,0 кОм при минусовой температуре.

Больше 3–4-х попыток завести двигатель с 5–7 секундной прокруткой производить не рекомендуется. Если причина заключается не в недостатке топлива, то лишние попытки только усугубляют ситуацию. Для продувки «мокрых» свечей предусмотрен режим продувки цилиндров двигателя без подачи топлива форсунками, осуществляемый при полном открытии педали газа независимо от вида применяемой ДЗ. Если процесс продувки не помогает, то можно рекомендовать выкрутить свечи, просушить и немного нагреть их в пламени зажигалки или за счет другого источника тепла. Замасленные свечи или свечи, покрытые черным нагаром, следует заменить без колебаний. После этого исправные свечи закрутить и повторить попытку запуска. Как правило, при выполнении вышеназванных условий и рекомендаций двигатель успешно заводится.

Вопросы к разделу

1. Перечислите преимущества принципа послойного распределения заряда топлива.
2. Перечислите дефекты автомобильного бензинового двигателя, имеющие различную природу происхождения.
3. Перечислите дефекты, которые можно определить с помощью диагностики по внешним признакам.
4. Что принято считать признаками предельного состояния износа для деталей цилиндропоршневой группы (ЦПГ)?
5. Какой способ является широко распространенным при диагностировании состояния двигателя без разборки?
6. Как проявляются неисправности, связанные с работой двигателя в режиме ХХ?
7. На какие две группы разделяют показатели экономичности и токсичности работы двигателя для анализа влияния различных неисправностей и факторов?
8. Неисправности и факторы этой группы целесообразно подразделить на два типа. Назовите их.
9. Что нужно обеспечить для достижения исправным двигателем указанных показателей?
10. Перечислите причины, препятствующие нормальному процессу наполнения двигателя свежим зарядом.
11. От чего зависит успешность запуска бензинового двигателя?

4 УСТРОЙСТВО И ДИАГНОСТИКА СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ. ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ КОНТРОЛЯ И РЕГУЛИРОВКИ СИСТЕМ ЗАЖИГАНИЯ

В основе работы практически всех систем зажигания лежит принцип преобразования электроэнергии аккумуляторной батареи (генератора) сначала в энергию накопителя с последующей передачей ее на искровой промежуток свечи. В подавляющем большинстве серийных систем зажигания в качестве накопителя энергии используется катушка индуктивности или, иначе говоря, катушка зажигания. При прохождении тока через первичную цепь катушки зажигания создается магнитное поле. В момент зажигания, когда ток прерывается, магнитное поле исчезает. Быстрое изменение магнитного поля посредством магнитной индукции приводит к возникновению высокого напряжения во вторичной цепи катушки. Таким образом, энергия, накопленная в магнитном поле первичной обмотки, в момент зажигания трансформируется в высокое напряжение с разрядом в виде искры на электродах свечи. Ток и напряжение преобразуются в зависимости от соотношения числа витков (коэффициента трансформации) первичной и вторичной обмоток. Для образования надежной искры между электродами свечи требуется высокое напряжение, доходящее порой до 25–30 кВ, например, для двигателей с наддувом. Несмотря на большое количество конструктивных отличий различных систем, катушка индуктивности и свеча зажигания являются элементами, которые являются неотъемлемыми составляющими всех без исключения батарейных систем зажигания.

Прежде чем оценивать эксплуатационные свойства элементов систем зажигания и выделять характерные неисправности, свойственные той или иной системе, целесообразно ознакомиться с особенностями работы наиболее распространенных вариантов этих систем и представить их классификацию:

1) по способу формирования момента зажигания;

– контактные (классические);

– бесконтактные;

2) по способу управления моментом зажигания;

– механические (с центробежным и вакуумным регуляторами);

– микропроцессорные;

3) по способу распределения высоковольтной энергии;

– механическое распределение (с помощью распределителя);

– статическое распределение.

Классическая контактная система зажигания (SZ по международной классификации) получила широкое распространение в прошлом столетии и лишь в последние 20–25 лет полностью утратила свои позиции. При включенном зажигании ток проходит по первичной обмотке катушки зажигания и по сомкнутым контактам, накапливая энергию в магнитном поле. При размыкании контактов происходит резкое исчезновение тока в первичной обмотке катушки, что приводит к возникновению ЭДС самоиндукции. Во вто-

ричной обмотке также наводится ЭДС, но уже с гораздо большей амплитудой напряжения. При достижении напряжения порядка 5–12 кВ происходит пробой искрового промежутка между электродами свечи. При этом часть энергии выделяется в виде энергии дуги между контактами.

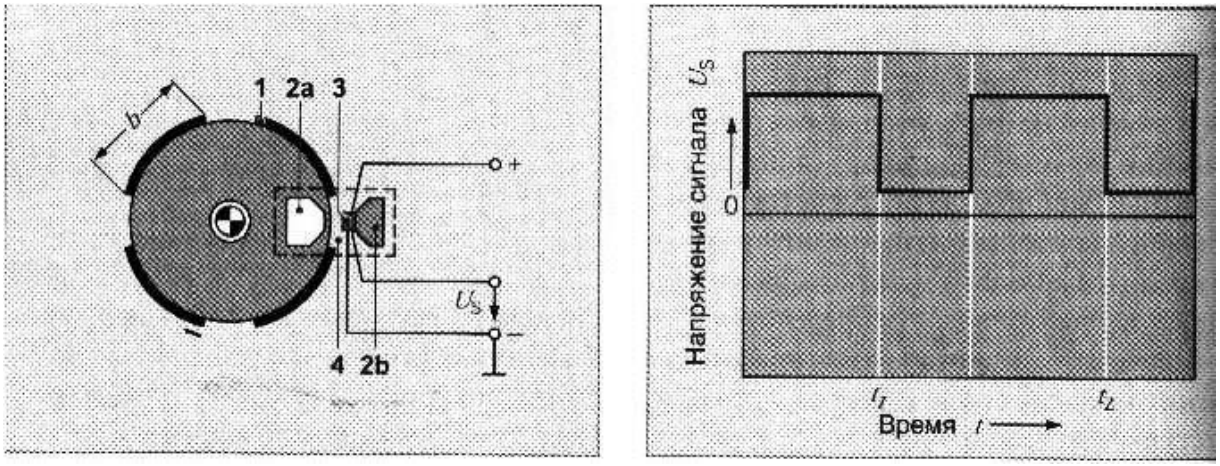
Распределители зажигания с классической системой зажигания являлись самыми распространенными на протяжении долгих лет до появления распределителей с бесконтактными датчиками или микропроцессорным управлением. Благодаря простоте настройки начального момента зажигания и возможности визуального контроля этого момента во время эксплуатации, эти системы не нуждаются в обязательном использовании специального оборудования. Свойственные классическим системам недостатки заключаются в износе подпружиненного толкателя контактной группы и обгорании самих контактов из-за возникающей дуги между контактами, что приводит к постепенному уменьшению отрегулированного зазора (0,25–0,4 мм) с соответствующим запаздыванием момента зажигания и ослаблению искры в свечном зазоре. Для поддержания оптимальных значений угла опережения зажигания (УОЗ) приходится за сравнительно короткий период эксплуатации (5,0–10,0 км пробега автомобиля) проверять величину зазора между контактами и очищать от отложений сами контакты. Кроме того, люфт валика распределителя и неравномерный износ кулачков создают значительный разброс УОЗ по отдельным цилиндрам.

Обычно в контактных системах используются катушки зажигания с сопротивлением первичной обмотки порядка 2,5–4,0 Ом. Поэтому напряжение во вторичной обмотке не превышает значений 5,0–8,0 В. Использовать высоковольтную катушку с меньшим сопротивлением в чисто классическом варианте контактной системы не представляется возможным из-за сильного обгорания контактов прерывателя.

Появление контактно-транзисторной системы зажигания (TZ-K), которая является модификацией обычной классической системы зажигания, позволяет увеличить ток в первичной обмотке и напряжение во вторичной обмотке без обгорания контактов прерывателя. Это происходит благодаря тому, что контакты включают только управляющий ток для транзистора в дополнительной микросхеме. При размыкании контактов транзистор блокирует ток в первичной цепи зажигания и накопленная энергия катушки трансформируется в высокое напряжение вторичной обмотки. Однако остальные недостатки в эксплуатации, свойственные контактным системам, остаются без изменений.

Распределители зажигания с бесконтактыми системами зажигания во многом лишены недостатков, свойственных распределителям с контактной системой. В бесконтактных системах коммутирование и разрыв тока в первичной обмотке катушки зажигания достигается за счет открывания и запирания мощного транзистора. Это позволяет увеличить ток разрыва до 8–11 А, что обеспечивает увеличение энергии, запасаемой катушкой, в 3 раза по сравнению с контактными системами.

В распределителях зажигания используются два вида систем с бесконтактными датчиками. В бесконтактной транзисторной системе зажигания с датчиком Холла (TZ-H) вместо контактов прерывателя установлен датчик Холла, встроенный в распределитель зажигания. При вращении валика распределителя зажигания вращается закрепленный экран с прорезями 1 (рисунок 4.1 слева) и проходит через воздушный зазор 4 в магнитном поле постоянного магнита датчика 2a. Когда через зазор проходит прорезь экрана, она беспрепятственно пропускает это магнитное поле, которое воздействует на проводящий элемент 2b датчика Холла. И наоборот, когда в этот зазор входит заслонка экрана, магнитные силовые линии замыкаются через экран и не действуют на элемент датчика. Этот процесс обеспечивает генерирование цифрового стабильного сигнала напряжения 1 В (рисунок 4.1 справа). Момент зажигания t_z при вращении валика распределителя определяется началом открытия прорези в зазоре датчика Холла.

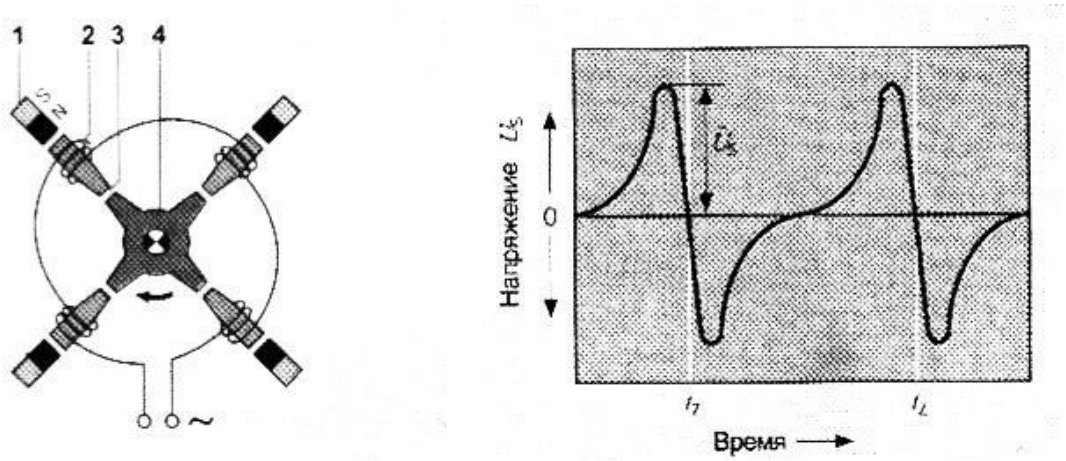


1 – экран с прорезями; 2a – постоянный магнит; 2b – проводящий элемент; 3 – интегральная схема Холла; 4 – воздушный зазор; U_s – напряжение сигнала; b – ширина лопатки; t_z – момент зажигания

Рисунок 4.1 – Схема и сигнал напряжения датчика Холла в распределителе зажигания

Бесконтактное транзисторное зажигание с индуктивным датчиком (TZ-I), встроенное в распределитель зажигания, отличается от бесконтактного транзисторного зажигания с датчиком Холла весьма незначительно. Индуктивный датчик в системе транзисторного зажигания представляет собой импульсный генератор переменного тока (рисунок 4.2 слева). Постоянный магнит 1 и индукционная обмотка с сердечником 2 индукционного датчика (импульсного генератора) образуют неподвижный статор. Статор и установленный на валике распределителя ротор 4 изготовлены из магнитопроницаемого материала. Принцип работы заключается в том, что воздушный зазор между зубцами ротора и статора постоянно изменяется при вращении ротора. Вместе с ним меняется и магнитный поток. Изменение потока создает в индукционной обмотке переменное напряжение (рисунок 4.2 справа). Процесс

управления током и УОЗ протекает аналогично этому процессу в системе с датчиком Холла. Момент зажигания t_z при вращении ротора распределителя определяется точкой перехода напряжения U_s через нулевое значение.



1 – постоянный магнит; 2 – индуктивная обмотка с сердечником; 3 – изменяющийся воздушный зазор; 4 – ротор; U_s – напряжение сигнала; t_z – момент зажигания

Рисунок 4.2 – Схема и сигнал напряжения индуктивного датчика в распределителе зажигания

Использование микроэлектроники в автомобильных двигателях в начале 80-х годов позволило найти новые варианты при разработке систем зажигания и создать электронную систему зажигания (EZ). Электронное зажигание не нуждается ни в центробежном, ни в вакуумном механизмах регулировки момента зажигания. Хотя первоначально распределители с крышкой и бегунком еще оставались в употреблении как элементы, распределяющие высоковольтную энергию по различным цилиндрам. Все значения УОЗ электронных систем определяются ЭБУ по сигналам основных датчиков: датчика частоты вращения коленчатого вала (n) и датчика, определяющего нагрузку двигателя. Для определения значения n чаще используется индукционный импульсный датчик или комбинированный ДПКВ в современном исполнении, который устанавливается напротив специального маркерного диска. В некоторых вариантах систем электронного зажигания в качестве альтернативы значение n определяется с помощью датчика Холла в распределителе зажигания. В ранних моделях систем электронного зажигания давление во впускном трубопроводе через трубку воздействует на датчик абсолютного давления, встроенный в ЭБУ. В двигателях, оснащенных объединенной системой управления впрыском топлива и зажиганием (например, «Motronic»), данные о нагрузке двигателя, используемые для управления впрыском, используются и для управления зажиганием.

С помощью этих данных ЭБУ выдает сигнал на оконечную корректировку момента зажигания. Соответствующая корректирующая схема может интегрироваться в ЭБУ или устанавливаться снаружи, например, на катушке зажигания. Преимущество электронного зажигания лучше всего выражается

в возможности использования программируемой диаграммы УОЗ (рисунок 4.3 *а*). Эта базовая характеристика содержит оптимальный момент зажигания, выбираемый в зависимости от значения *n* и нагрузки на стадии проектирования двигателя. Значения УОЗ в процессе эксплуатации на автомобиле могут корректироваться дополнительными датчиками, контролирующими:

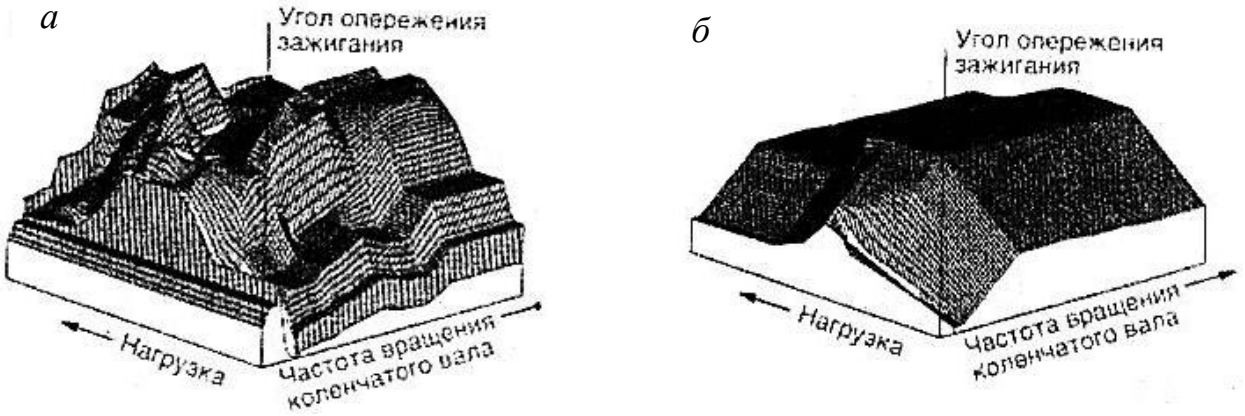
– расстояние до границы детонации (ДД);

– температуру двигателя (ДТОЖ);

– температуру всасываемого воздуха (ДТВ) (необязательно);

– положение дроссельной заслонки (ДПДЗ) (в режимах ХХ и полной нагрузки).

Для сравнения (рисунок 4.3 *б*) приведена диаграмма УОЗ с ровными наклонными плоскостями, характерными для систем зажигания с механическим управлением УОЗ центробежным и вакуумным регуляторами.



а – с электронной системой зажигания;
б – с системой зажигания с механическим регулированием
Рисунок 4.3 – Диаграммы УОЗ в зависимости от скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя

Таким образом, преимущества электронной системы зажигания в сравнении с механической системой регулирования УОЗ выражаются в следующих положениях:

– лучшая адаптация УОЗ к различным условиям работы двигателя;

– реализация оптимальных значений УОЗ для обеспечения требований к минимальному расходу топлива, пониженной токсичности ОГ и наибольшей мощности в зависимости от режима работы двигателя;

– возможность контролировать режимы работы двигателя без детонации.

В процессе дальнейшей эволюции систем электронного зажигания системы с распределителем (EZ) были трансформированы в электронные системы зажигания со статическим распределением высоковольтной энергии (VZ).

Преимущества системы VZ по сравнению с системой EZ заключаются в следующем:

– нет вращающихся деталей, подверженных износу;

– нет дополнительных контактов и соединений, подверженных обгоранию и окислению;

– облегчает задачу по рациональному размещению элементов системы.

Электронные системы зажигания со статическим распределением энергии применяются преимущественно двух видов, работа которых рассмотрена ниже.

Система с двухискровыми катушками зажигания предполагает, что на каждые два цилиндра приходится по одному задающему (оконечному) каскаду зажигания и по одной катушке зажигания. Широко распространены системы, где две катушки объединены в один модуль зажигания, представленный на рисунке 4.4 справа. Концы вторичных обмоток катушек подключаются к свечам зажигания в двух разных цилиндрах через высоковольтные провода. Цилиндры выбраны так, что при такте сжатия в одном из цилиндров в другом происходит такт выпуска (при четном количестве цилиндров). Таким образом, в 4-цилиндровом двигателе момент зажигания в одном из цилиндров (например, в 1-м) образуется «рабочая» искра, а в другом (в 4-м) «холостая». Через один оборот коленчатого вала двигателя «рабочая» искра и «холостая» искра меняются местами. Смещение момента зажигания во 2-м и 3-м цилиндрах происходит через 180° поворота коленчатого вала.

Преимуществом такой системы зажигания по сравнению с системой зажигания с индивидуальными катушками является меньшая стоимость комплектующих элементов. Кроме этого отпадает необходимость в синхронизации момента зажигания с положением распределительного вала.

В системах с одноискровыми индивидуальными катушками зажигания на каждый цилиндр приходится один задающий каскад зажигания и одна катушка зажигания (рисунок 4.4 *а*). ЭБУ включает в работу оконечные каскады зажигания в соответствии с установленным порядком зажигания.

Чаще всего индивидуальные для каждого цилиндра катушки располагаются непосредственно над свечами и закрепляются на них без высоковольтных проводов. Статическое распределение высоковольтного напряжения с одноискровыми катушками универсально и применимо для любого количества цилиндров без использования проводов высокого напряжения.

Еще одним преимуществом этой системы является отсутствие ограничений на диапазоны регулировки УОЗ. Однако для синхронизации работы всей системы здесь необходимо применение датчика фаз распределительного вала.

На рисунке 4.4 *б* показан еще один вариант модуля зажигания, состоящего из двух одноискровых катушек и предназначенного для статической передачи энергии зажигания на 2 свечи посредством высоковольтных проводов.

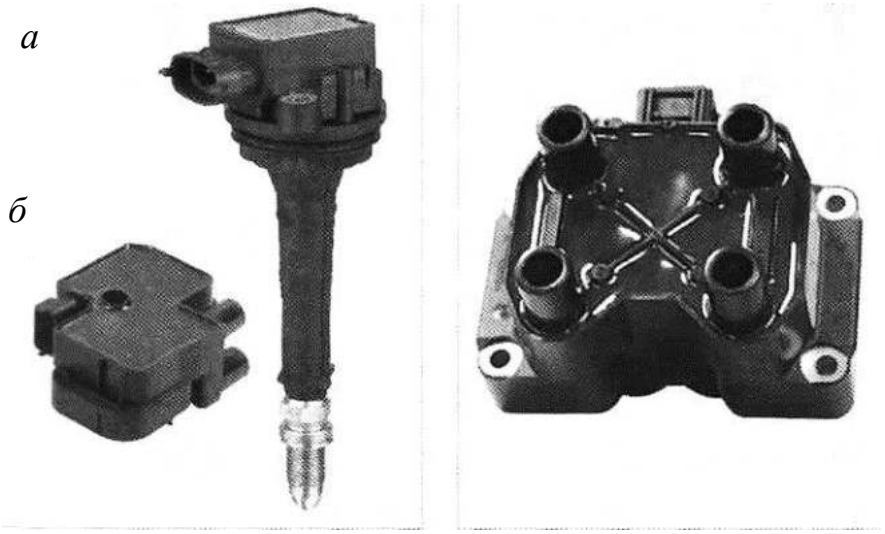
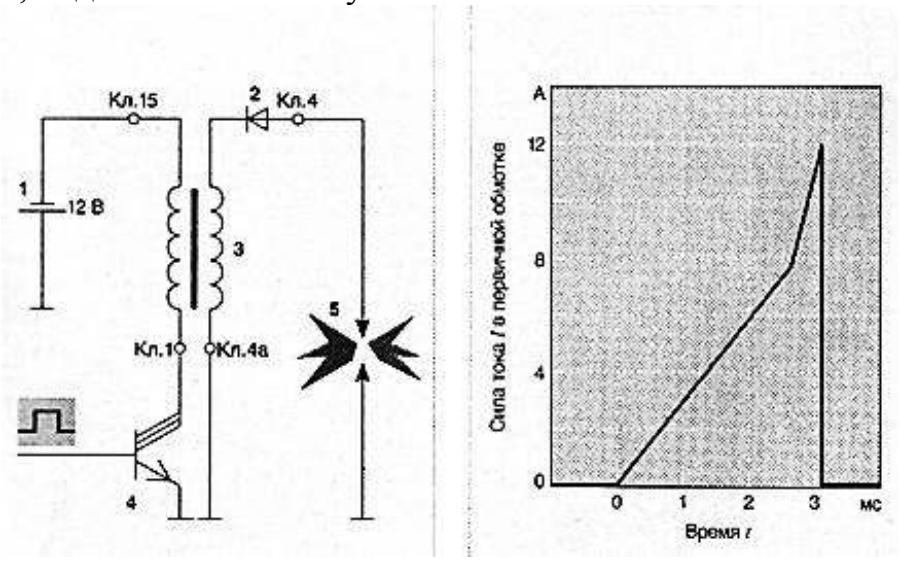


Рисунок 4.4 – Типы катушек зажигания для электронных систем со статическим распределением энергии

Для управления током низкого напряжения в первичной цепи в электронных системах зажигания применяются задающие (оконечные) каскады зажигания, включенные в схему цепи индуктивной системы зажигания (рисунок 4.4 слева). ЭБУ активирует задающий каскад зажигания 4 на расчетный период времени, когда искрообразование отсутствует. В пределах этого времени первичный ток катушки зажигания 3 вырастает до номинальной величины (рисунок 4.4 справа) и создает при этом магнитное поле.

В момент зажигания задающий каскад зажигания при помощи силового транзистора прерывает ток. В результате изменения магнитного потока во вторичной обмотке катушки зажигания индуцируется вторичное высокое напряжение, подаваемое на свечу зажигания 5.



1 – аккумуляторная батарея; 2 – встроенный диод; 3 – катушка зажигания; 4 – задающий каскад зажигания; 5 – свеча зажигания; кл. 1, кл. 4, кл. 4 *а*, кл. 15 – обозначения клемм

Рисунок 4.5 – Схема цепи индуктивной системы зажигания с задающим каскадом зажигания и характеристика изменения силы тока в первичной обмотке от времени

Существуют внутренние и внешние задающие каскады зажигания. Внутренние располагаются на печатной плате ЭБУ, а внешние – в собственном корпусе отдельно от ЭБУ или могут быть интегрированы в катушку зажигания.

Электрическая энергия, поступающая из катушки зажигания к свече зажигания, называется энергией искры. Она является важной характеристикой элементов вторичной цепи зажигания, определяет пробивной ток и продолжительность искрового разряда на свече. ***Энергия искры зависит от физического состояния рабочей смеси в камере сгорания и от параметров самой свечи, а именно:***

– от плотности и состава рабочей смеси;
– от выбранного момента зажигания;
– от скорости потока рабочей смеси и ее турбулентности;
– от материала и геометрии электродов свечи;
– от величины зазора между электродами свечи.

Напряжение зажигания определяет уровень энергии, при котором на электродах свечи зажигания происходит искровой разряд. На рисунке 4.6 представлен характер импульсов напряжений во вторичной цепи электронной системы зажигания по отдельным цилиндрам. Данные получены на двигателе FD3 автомобиля Shevrolet Cruze с помощью программы диагностического комплекса FSA-740 фирмы Bosch.

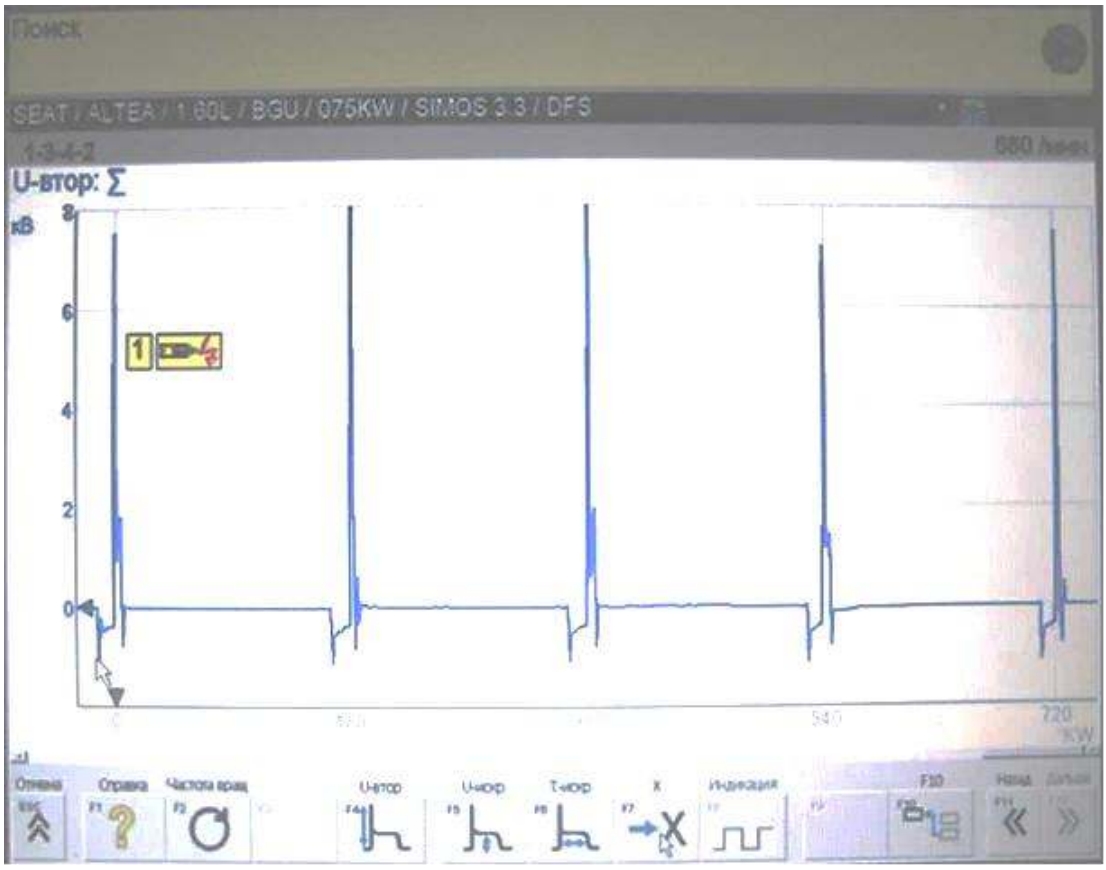


Рисунок 4.6 – Импульсы напряжений в кВ
во вторичной цепи зажигания по отдельным цилиндрам

Для воспламенения рабочей смеси в двигателях с внешним смесеобразованием необходимое значение энергии искры находится в диапазоне 30–50 мДж. У двигателей с непосредственным впрыском топлива для обеспечения надежного воспламенения на всех рабочих режимах необходима более высокая энергия искры (до 100 мДж). При этом нормальная продолжительность искры составляет 1,1–2,0 мс. На рисунке 4.7 показаны гистограммы средних значений напряжения во вторичной цепи зажигания, напряжения и продолжительности искрового разряда на свечах, полученные, на том же упомянутом двигателе и на том же оборудовании.

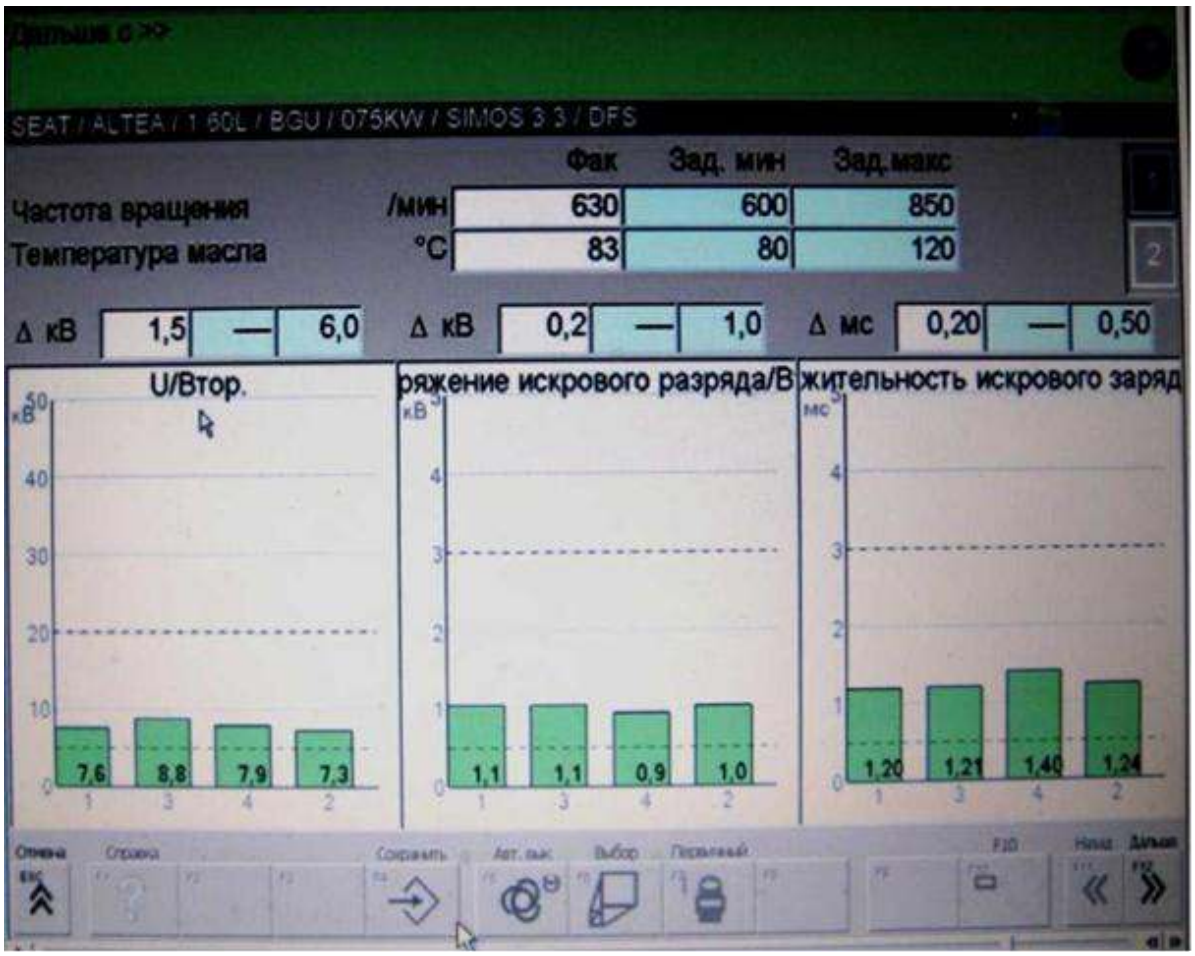


Рисунок 4.7 – Гистограммы параметров вторичной цепи зажигания

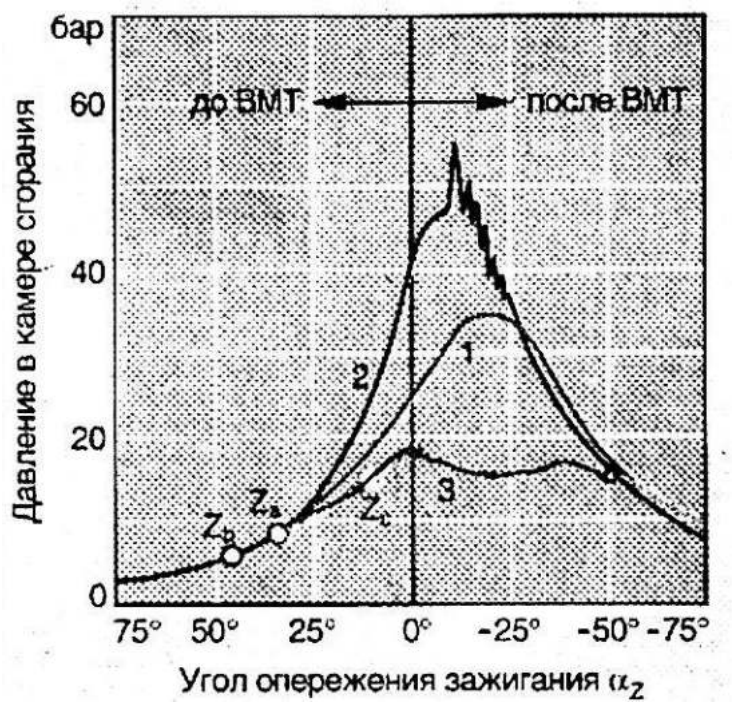
Помимо мощного и надежного искрового разряда для обеспечения экономических и мощностных показателей работы двигателя важно иметь оптимальный момент зажигания. Оптимальный момент зажигания зависит от многих факторов, учесть которые в полном объеме можно только в электронных системах зажигания. В системах с механическим регулированием момента зажигания можно приближенно учесть только факторы изменения значения n и нагрузки двигателя.

Поскольку на большинстве режимов работы бензинового двигателя момент зажигания за редким исключением происходит до верхней мертвой точки, то на практике часто удобнее пользоваться распространенным пара-

метром УОЗ, измеряемым в градусах поворота коленчатого вала до ВМТ цилиндра. В обиходе часто можно встретить понятия «раннего» и «позднего» зажигания в зависимости от отклонения УОЗ от оптимального значения в сторону увеличения или в сторону уменьшения соответственно.

Выбирая значения УОЗ, следует учитывать скорость вращения двигателя и скорость сгорания рабочей смеси, зависящей от скорости распространения пламени в камере сгорания от искрового разряда. В двигателях со смесеобразованием во впускном трубопроводе после возникновения искрового разряда до полного сгорания рабочей смеси проходит в среднем около 2 мс. Скорость сгорания постепенно увеличивается при обогащении смеси и достигает максимума при мощностном составе смеси. Высокая турбулентность заряда способствует увеличению скорости сгорания. Наоборот, при обеднении смеси относительно стехиометрического состава скорость сгорания уменьшается. При малой плотности заряда, то есть при существенном дросселировании потока воздуха, скорость сгорания также падает. Наличие остаточных газов в заряде способствует снижению скорости сгорания смеси.

С учетом скорости вращения двигателя для получения максимального крутящего момента на каждом конкретном режиме УОЗ следует подбирать таким, чтобы пик давления в камере сгорания располагался сразу после прохождения поршнем ВМТ. Поэтому с повышением *n* оптимальное значение УОЗ должно постепенно смещаться в сторону более ранних углов, но только до таких значений, при которых еще не возникает детонация (рисунок 4.8).



1 – кривая давления с оптимальным протеканием процесса сгорания при значении УОЗ в точке Z_a; 2 – кривая давления при процессе сгорания с детонацией при значении УОЗ в точке Z_b; 3 – кривая давления, характеризующая процесс сгорания при малом значении УОЗ в точке Z_c

Рисунок 4.8 – Характеристики изменения давления в камере сгорания при разных значениях УОЗ

Уменьшение скорости сгорания смеси на режимах со значительным перепадом давления во впускном трубопроводе диктует необходимость корректировки УОЗ на этих режимах также в сторону более «раннего» зажигания.

В распределителях зажигания с механическим регулированием УОЗ требования к оптимальным значениям УОЗ удовлетворены лишь частично. Большинство систем зажигания с контактными и бесконтактными датчиками оснащены центробежным и вакуумным регуляторами УОЗ.

Работа центробежного регулятора определяет зависимость значений УОЗ от значений *n*. Принцип работы центробежных регуляторов практически одинаков для всех видов распределителей зажигания с контактными и бесконтактными датчиками. Механизм центробежного регулятора обычно состоит из двух подпружиненных грузиков, которые при ускорении вращения под действием центробежной силы разворачивают подвижную втулку с бегунком на валике распределителя в сторону вращения валика с опережением положения, при котором датчик прерывает ток в первичной цепи катушки. Тем самым момент зажигания сдвигается в сторону более ранних значений УОЗ. За счет изменения усилия двух пружин грузиков можно изменять характер зависимости УОЗ от значения *n*.

При слишком слабом натяжении пружин резкое возрастание УОЗ может привести к детонации, а при слишком тугом натяжении замедленное нарастание УОЗ приводит к снижению крутящего момента и динамики разгона автомобиля. Для предотвращения детонации на высоких оборотах двигателя при полной нагрузке возрастание УОЗ обычно ограничено значением 25–30° до ВМТ.

Вакуумный регулятор предназначен для корректировки значения УОЗ на режимах работы двигателя в определенном диапазоне малых и средних нагрузок. При превышении разрежения во впускном трубопроводе определенного порогового значения, составляющего величину порядка 13–15 кПа, происходит корректировка УОЗ в пределах 7–12° в зависимости от модели распределителя зажигания. Величина порогового значения разрежения, определяющего нагрузку двигателя, выбирается исходя из опасности возникновения детонации при превышении этой нагрузки.

Благодаря указанной корректировке в определенном диапазоне частичных нагрузок можно достичь экономии топлива от 3 до 5%. В основном это касается установившихся режимов работы двигателя, например, при движении автомобиля с постоянной невысокой или средней скоростью. Однако следует отметить, что правильная настройка центробежного регулятора, определяющего зависимость УОЗ от скоростного режима двигателя, оказывается намного важнее для обеспечения оптимальных мощностных и экономических показателей, чем корректировка УОЗ вакуумным регулятором.

Конструкция вакуумного регулятора, которая примерно одинакова для распределителей всех типов, состоит из вакуумной камеры, подпружиненной мембраны и тяги. При превышении в камере порогового разрежения, тяга с мембраной, преодолевая усилие пружины, перемещает подвижную пластину

с датчиком и разворачивает ее на определенный угол навстречу вращению валика в дополнение к углу разворота центробежным регулятором.

Таким образом, на режимах малых и частично средних нагрузок УОЗ складывается из суммарного влияния работы центробежного и вакуумного регуляторов. При увеличении нагрузки УОЗ определяется работой только центробежного регулятора. На режиме минимальных оборотов ХХ отверстие для подачи разрежения в вакуумную камеру распределителя, как правило, располагается чуть выше верхней кромки дроссельной заслонки. В этом случае двигатель более устойчиво и с меньшим содержанием СН работает при начальном значении УОЗ, т. е. 5,0–10,0°. Иногда для более экономичной работы двигателя на ХХ подача разрежения в вакуумный регулятор осуществляется постоянно из отверстия в задроссельном пространстве, но в ущерб устойчивости работы и снижению содержания СН. На рисунке 4.3 *б* представлен пример характеристической диаграммы УОЗ суммарного влияния центробежного и вакуумного регуляторов.

В некоторых конструкциях распределителей зажигания используются вакуумные регуляторы УОЗ двойного действия, то есть в конструкциях предусмотрена возможность как опережения, так и запаздывания зажигания благодаря тому, что мембрана с тягой разделяет вакуумную камеру на две секции. При подаче разрежения в наружную секцию происходит опережение зажигания как в обычных вакуумных регуляторах, а если в противоположную секцию, то, соответственно, запаздывание. Запаздывание зажигания в основном применяется на режиме прогрева двигателя для уменьшения выбросов СН, величина которых на непрогретом двигателе сильно зависит от УОЗ.

В распределителях с механическим регулированием УОЗ, в которых начальный момент зажигания устанавливается вручную, для контроля и регулировки зажигания широкое распространение получил универсальный прибор под названием стробоскоп. Стробоскоп позволяет визуально определять начальный момент установки зажигания на ХХ при n_{min} и контролировать УОЗ во всем диапазоне значений n с оценкой работы центробежного и вакуумного регуляторов. Для этого используется стробоскопический эффект, при котором в ярких, часто повторяющихся лучах световых импульсов на вращающемся шкиве коленчатого вала воспроизводится как будто неподвижная картина одного и того же положения этого шкива.

Световые импульсы от ксеноновой либо другой лампы синхронизируются с импульсами высокого напряжения во вторичной цепи зажигания с помощью специального зажима индуктивного датчика стробоскопа, надетого на высоковольтный провод 1-го цилиндра (рисунок 4.9). Таким образом, при направлении исходящих из корпуса стробоскопа прерывистых лучей световых импульсов на вращающийся шкив высвечивается метка, перемещающаяся в зависимости от изменения момента зажигания в 1-м цилиндре. Разворачивая корпус распределителя зажигания в ту или иную сторону, регулируется УОЗ в режиме ХХ с n_{min} и окончательно устанавливается путем совмещения метки на шкиве с неподвижной меткой (метками) на передней крышке блока

двигателя, соответствующей оптимальному значению УОЗ. На многих моделях двигателей подвижная метка расположена на маховике, которую можно наблюдать через специальное окно в картере сцепления. Рядом с окном на картере расположена пластина с метками и соответствующей градуировкой, позволяющей установить оптимальный УОЗ для режима ХХ с n_{min} по той же методике.

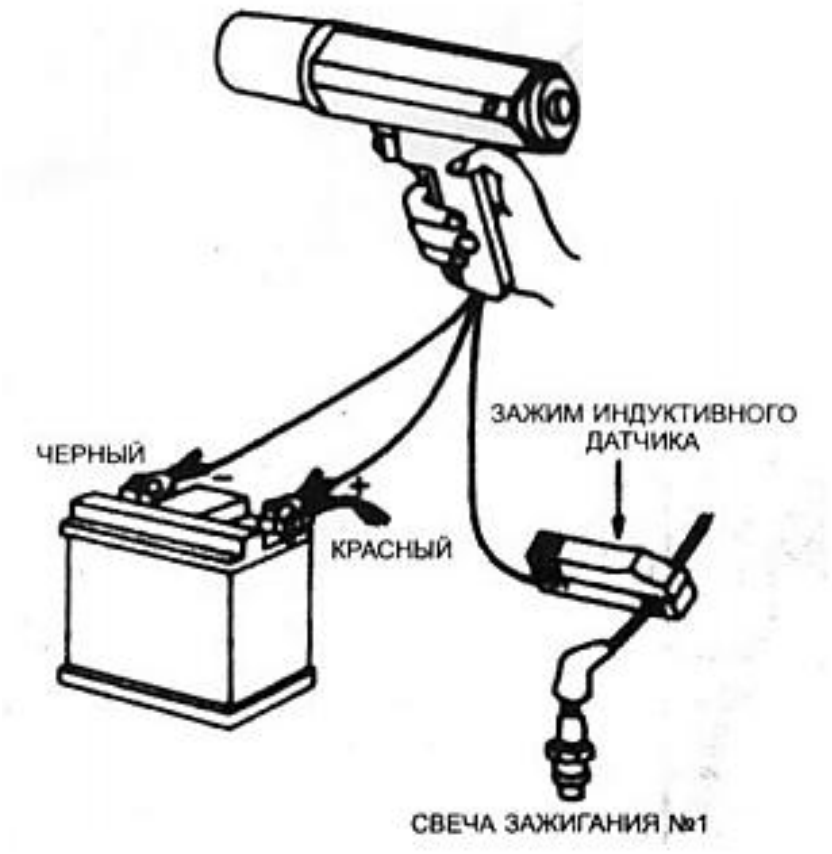


Рисунок 4.9 – Схема подключения элементов стробоскопа для диагностики значений УОЗ

Диагностика УОЗ с помощью стробоскопа позволяет выявить дефекты, связанные с работой центробежного и вакуумного регуляторов. Работу центробежного регулятора следует оценивать с отключенным вакуумным регулятором, то есть со снятой вакуумной трубкой. Начиная с режима ХХ на n_{min} нужно плавно увеличивать обороты двигателя и наблюдать за изменением УОЗ. По характеру и скорости изменения УОЗ можно судить о состоянии центробежного регулятора. При оптимальной настройке центробежного регулятора УОЗ плавно возрастает и достигает максимального значения (30–35° до ВМТ) на режиме n, обычно соответствующем максимальному крутящему моменту. Если с увеличением оборотов двигателя метка на шкиве или маховике (в зависимости от модели двигателя) остается на месте или почти не двигается, то это свидетельствует о заклинивании центробежного регулятора. Такая неисправность характерна для распределителей зажигания у двигателей, находящихся длительное время в нерабочем состоянии.

Для оценки работоспособности вакуумного регулятора следует снова подключить штатную вакуумную трубку к вакуумному регулятору и следить с помощью стробоскопа за изменением положения метки на шкиве или маховике. Если в режиме ХХ с n_{min} разрежение не подается в вакуумную камеру, то следует приоткрыть ДЗ, увеличить значение n до достижения 1500–2000 об/мин, при котором разрежение должно подаваться в вакуумную камеру распределителя, и зафиксировать значение УОЗ. Затем, не убавляя обороты двигателя, отсоединить вакуумную трубку и снова зафиксировать значение УОЗ. При нормально работающем вакуумном регуляторе разница в значениях УОЗ должна составлять 7–12°. Если разница в показаниях УОЗ не наблюдается или она очень мала, то это свидетельствует о неисправности регулятора. В большинстве случаев неисправность связана с разрывом мембраны вакуумной камеры распределителя зажигания.

Стробоскоп может оказаться полезным и для приближенной оценки изменения УОЗ полностью электронных систем зажигания в отсутствие специальных тестеров и сканеров, предназначенных для диагностики СУД. Если, например, на маркерный диск двигателя нанести метку, соответствующую ВМТ 1-го цилиндра, то с помощью стробоскопа можно наблюдать изменение УОЗ в зависимости от значений n.

Подводя итоги работы и диагностики систем зажигания с механической установкой и регулировкой момента зажигания, следует отметить их ограниченные возможности в плане варьирования УОЗ в зависимости от скоростного и нагрузочного режима работы двигателя. Как видно из сравнения характеристических диаграмм УОЗ (рисунок 4.3), возможности электронной регулировки позволяют воспроизвести более сложные зависимости УОЗ, которые учитывают такие факторы, как цикловое наполнение, склонность к детонации на отдельных режимах, пульсации воздушного потока. Кроме того, в системах электронного зажигания можно учитывать факторы температурного состояния двигателя и факторы, способствующие снижению вредных компонентов в ОГ.

Для контролирования всего процесса управления системами электронного зажигания в ЭБУ задействована специальная подсистема «Система зажигания» (IS), выполняющая основные функции. Функция «Управление зажиганием» (IGC) определяет установочный УОЗ. Эта функция также обеспечивает создание искрового разряда на свече зажигания в нужный момент. УОЗ рассчитывается на основе базового значения УОЗ и регулировок УОЗ в зависимости от режима работы двигателя. Также базовые значения УОЗ корректируются в зависимости от теплового состояния двигателя, возникновения детонации и работы системы рециркуляции ОГ. Исходя из конкретного значения УОЗ и необходимого времени заряда катушки зажигания, рассчитывается и настраивается момент включения задающего каскада зажигания.

Функция «Регулировка детонации» (IKC) обеспечивает работу двигателя без детонации, корректируя УОЗ непосредственно у границы возникновения детонации. Процесс сгорания во всех цилиндрах контролируется одним или двумя датчиками детонации. Зарегистрированный датчиками «шум»

в блоке двигателя сравнивается с контрольным допустимым значением «шума» сгорания, возникающего при нормальной работе отдельных цилиндров после низкочастотного фильтра. Контрольный уровень «шума» представляет собой фоновый «шум» двигателя в режиме работы без детонации. Если разница между зарегистрированным «шумом» и контрольным «шумом» превышает некое пороговое значение, то распознается детонация. При выявленном детонационном сгорании УОЗ смещается в сторону более позднего зажигания на необходимую величину, гарантирующую отсутствие детонации. Затем, при отсутствии детонации УОЗ небольшими последовательными шагами снова увеличивается до оптимального значения. При определении неисправности, провоцирующей возникновение детонации, в аппаратной части ЭБУ задействуется функция безопасности, которая переводит УОЗ в заведомо безопасные значения.

Для диагностики дефектов и неисправностей систем зажигания важно рассматривать эти системы, как единые, состоящие из системы управления моментом зажигания, задающего каскада зажигания, катушки (катушек) индуктивности, свечей зажигания и всех соединительных элементов. Неисправности в системах зажигания можно разделить на два типа.

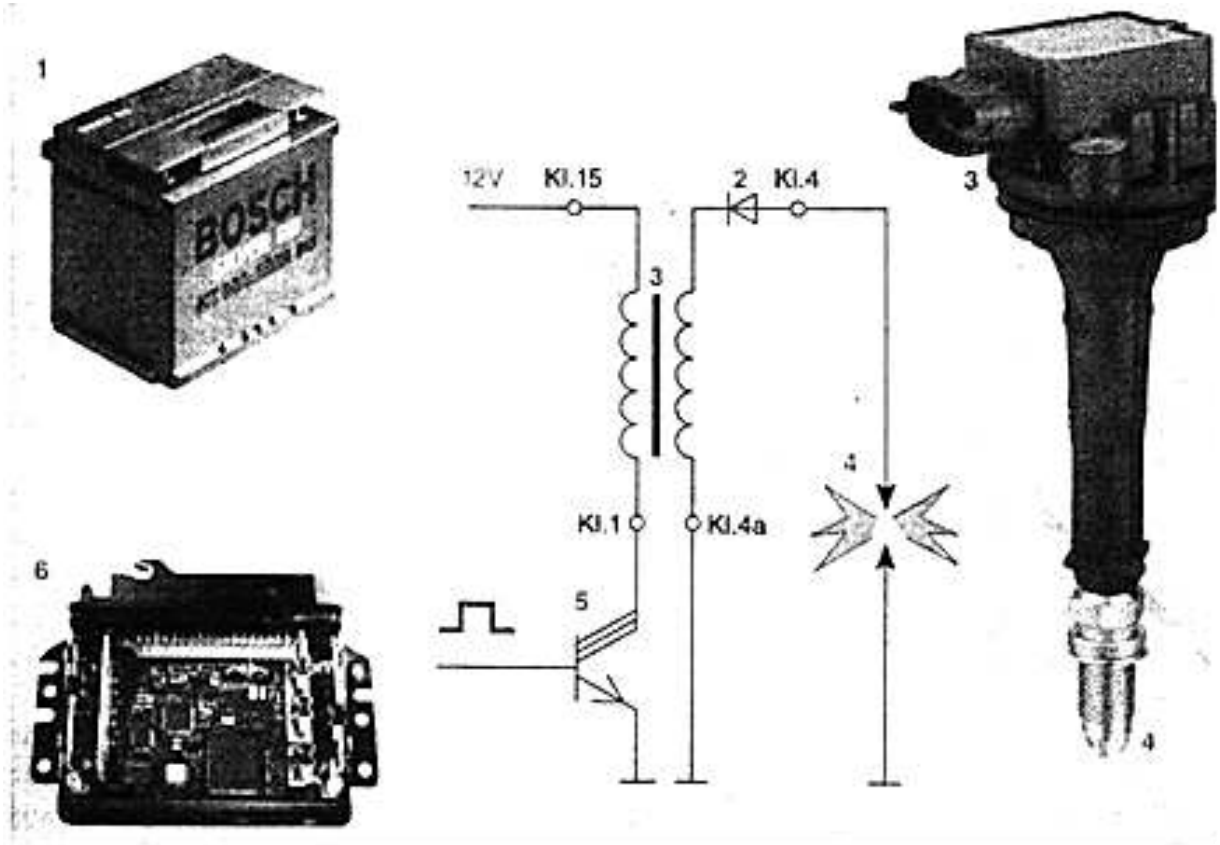
К первому типу следует отнести неисправности, нарушающие оптимальные значения УОЗ во всем диапазоне режимов работы двигателя или на его отдельных режимах. Ко второму типу относятся все дефекты работы двигателя, связанные с нарушением процесса эффективного искрообразования на свечах зажигания.

Дефекты работы систем зажигания с механическим регулированием УОЗ уже были упомянуты и разобраны при описании работы центробежного и вакуумного регуляторов. Диагностика УОЗ в электронных системах зажигания осуществляется при помощи различных тестеров, начиная от использования простых дорожных компьютеров и заканчивая применением комплексных диагностических систем с множеством функций. Работа и возможности последних систем подробно рассмотрены в следующей главе пособия.

Прежде чем высокое напряжение дойдет до свечи и произойдет искровой разряд, конечный процесс искрообразования зависит от целой цепочки передачи энергии от клеммы на замке зажигания через первичную обмотку катушки зажигания во вторичную обмотку, затем через провода и далее на свечу.

Проверить подачу низкого напряжения на катушку зажигания можно с помощью обычного вольтметра, подсоединив его к клемме 1 (рисунок 4.10). Сама катушка зажигания является необслуживаемым компонентом системы зажигания и распознать наличие неисправности внутри катушки бортовая диагностика (OBD) в СУД способна далеко не всегда. Дефект во внутренней изоляции катушки может, например, привести к переносу искрового разряда со свечи зажигания внутрь самой катушки. Подобные дефекты не распознаются ни с помощью бортовой диагностики, ни при визуальном осмотре. Явным признаком дефектной катушки является ее сильный нагрев, связанный с коротким замыканием нескольких витков одной из обмоток или неправиль-

ном их подключении. Также нагрев катушки при неработающем двигателе в системах электронного зажигания указывает на наличие короткого замыкания в задающем каскаде зажигания или на «массу» между клеммой 1 и задающим каскадом зажигания 5 (рисунок 4.10). При наличии таких опасных дефектов катушка зажигания подлежит обязательной замене. Отсутствие выходного высокого напряжения с вторичной обмотки катушки еще не свидетельствует о её дефекте, так как во многих случаях напряжение не индуцируется из-за отказа датчиков или коммутатора в обычных системах зажигания или неисправности в задающем каскаде зажигания электронных систем.



1 – аккумулятор; 2 – встроенный диод; 3 – индивидуальная катушка зажигания; 4 – свеча зажигания; 5 – задающий каскад зажигания; 6 – ЭБУ; kl.1; kl.15, kl.4, kl.4a – обозначения клемм

Рисунок 4.10 – Схема и элементы системы зажигания со статическим распределением энергии

Выход из строя индивидуальных (одноискровых) катушек зажигания происходит чаще из-за специфики условий их эксплуатации. В основном в современных двигателях используется конструкция стержневой индивидуальной катушки зажигания 3 (рисунок 4.10), которая позволяет оптимально использовать пространство моторного отсека. Стержневые катушки всегда устанавливаются непосредственно на свечу зажигания без дополнительных соединительных проводов, что является их несомненным преимуществом. Однако близость элементов катушки и свечи зажигания к стенке головки

блока двигателя создают предпосылки для пробоя электрического разряда на «массу» через изоляцию в случаях попадания токопроводящих жидкостей в отверстие под свечу.

Индивидуальные стержневые катушки не подлежат ремонту, поэтому их диагностика сводится к выявлению дефектных образцов, вызывающих перебои в работе двигателя или полное отсутствие искрового разряда на свечах. При наличии специального оборудования диагностирование такой неисправности не вызывает больших затруднений, так как на осциллограмме, подобной изображенной на рисунке 4.6, сразу будет видно либо отсутствие сигнала напряжения, либо очень слабый сигнал. При отсутствии специального диагностического оборудования нерабочую катушку можно выявить путем её установки в заведомо рабочий цилиндр. Если рабочий цилиндр становится нерабочим, то причина неисправности заключается в дефектной катушке. ***Отсутствие рабочей искры в цилиндре при установке заведомо исправной катушки свидетельствует*** о неисправности в первичной цепи системы зажигания, например, в задающем каскаде, который может быть встроен в ЭБУ.

При наличии в системе зажигания высоковольтных проводов особое внимание следует уделить проверке их электрического сопротивления. В зависимости от их длины обычно сопротивление находится в пределах от 2-х до 10-ти кОм. Провода со значительным превышением этих значений следует заменить, несмотря на отсутствие внешних дефектов, поскольку дефекты в работе двигателя могут возникнуть на режимах с большой нагрузкой. Также нужно обратить внимание на состояние изоляционных наконечников и колпачков. Их неплотное прилегание и наличие трещин могут вызвать пробой искры на «массу» и утечку высоковольтного напряжения, особенно в условиях большой влажности. В гаражных условиях проверить возможность подобной утечки можно с помощью дополнительного провода, оголенного с двух концов. На работающем двигателе следует один из концов приложить к проверяемому элементу, а другой конец соединить с «массой» двигателя. Если при этом возникают перебои в работе двигателя, то изоляция проверяемого элемента нарушена.

Свечи являются конечными элементами в системах зажигания, от которых зависит стабильность воспламенения рабочей смеси. Периодическая замена свечей в процессе эксплуатации двигателя предусмотрена регламентными работами во избежание появления дефектов, вызванных потерей надежности после выработки определенного ресурса.

Однако определенные эксплуатационные факторы, такие как длительная работа на очень богатой смеси, работа в условиях сильной детонации, перегрев двигателя, наличие различных присадок в топливе, повышенный расход масла и ряд других, значительно сокращают период безотказной работы практически любых, даже самых надежных свечей. С влиянием перечисленных факторов на работоспособность свечей можно ознакомиться подробно, изучив материалы литературных источников, в которых значительное внимание уделено именно этой проблеме.

При отсутствии специализированного оборудования, чтобы убедиться в том, что дефект в работе двигателя происходит из-за неисправности свечи (свечей) зажигания, необходимо проверить отсутствие утечки энергии до непосредственного контакта со свечой провода или индивидуальной катушки зажигания. Для этого можно воспользоваться простым искровым разрядником, позволяющим для проверки мощности искры изменять искровой промежуток между контактами. Подсоединив конец провода или катушки к плюсовому контакту, при прокрутке двигателя в стартерном режиме можно визуально контролировать искрообразование, изменяя искровой промежуток в значительном диапазоне. При исправном состоянии элементов зажигания, расположенных до свечи, максимальный искровой промежуток колеблется от 8 до 20 мм и более в зависимости от применяемой системы зажигания.

Визуальный контроль свечей часто помогает отбраковать неисправные экземпляры без какой-либо дополнительной проверки. Наличие толстого слоя черного рыхлого нагара в большинстве случаев свидетельствует о длительной работе двигателя на сильно обогащенной смеси. Даже после устранения дефекта эксплуатировать двигатель с такими свечами становится невозможно из-за шунтирования их электродов внутри изолятора. В лучшем случае их можно очистить с помощью пескоструйной установки, но более надежно – заменить исправными. Замасленные свечи с характерным черным глянцем, как правило, восстановлению не подлежат.

Также трудно восстанавливаются свечи с отложениями, вызванными металлосодержащими присадками в топливе, поскольку эти отложения являются токопроводящими. Наличие трещин и сколов на изоляторе свечи недопустимо из-за вероятного пробоя искрового разряда на «массу» и опасности попадания материала изолятора в камеру сгорания.

Вопросы к разделу

1. Классификация системы зажигания.
2. Значения УОЗ в процессе эксплуатации на автомобиле могут корректироваться…?
3. Преимущества системы VZ по сравнению с системой EZ.
4. От чего зависит энергия искры?
5. О чем свидетельствует отсутствие рабочей искры в цилиндре при установке заведомо исправной катушки?

5 ДИАГНОСТИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ, ПРИМЕНЯЕМОЕ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИАГНОСТИКИ СИСТЕМ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

СУД современного автомобильного двигателя содержит ЭБУ в качестве своего главного элемента. Для полноценной диагностики большинства карбюраторных двигателей, не содержащих ЭБУ, достаточно иметь набор приборов, состоящий из мультиметра для измерения сопротивления и напряжения, набора манометров для измерения давления и разрежения и двухкомпонентного (CO и CH) газоанализатора. В отличие от устаревших моделей эффективная диагностика СУД с ЭБУ практически невозможна без помощи дополнительного, более совершенного оборудования.

Для поиска и фиксации неисправностей двигателей с многофункциональным ЭБУ необходимо использовать сканеры или просто тестеры, позволяющие проводить так называемую системную диагностику. Сканеры и тестеры удобно использовать для отображения входных сигналов, поступающих в ЭБУ, и командных сигналов, формируемых ЭБУ для исполнительных механизмов.

***С помощью сканера или тестера можно выполнять следующие диагностические операции*:**

– проводить идентификацию ЭБУ и других данных СУД;

– воспроизводить сигналы с датчиков, отслеживая их изменение во времени;

– считывать сохраненные в памяти ЭБУ коды неисправностей, которые вызваны сбоями в работе датчиков и систем согласно заложенной в ЭБУ программе;

– осуществлять контроль работы исполнительных механизмов с возможностью включения (выключения) и изменения некоторых функций и параметров.

В качестве примеров портативных и удобных в применении тестеров можно привести модели АСКАН-8 или АСКАН-10, предназначенные в основном для диагностики отечественных автомобильных двигателей.

Однако сканеры не всегда способны оценить достоверность получаемых от ЭБУ данных или параметров, поскольку они отображают сигналы от датчиков, которые из-за каких-либо дефектов могут не соответствовать истинным значениям проверяемых параметров. Например, неверные данные ДМРВ, на основании которых производится расчет цикловых подач топлива, часто не расцениваются ЭБУ как ошибка, поскольку расчет выполняется по сигналам датчика, а не по истинному значению расхода воздуха. В результате подобный дефект, не отображаемый ЭБУ, может привести к перерасходу топлива, потере мощности и повышенным выбросам токсичных компонентов с ОГ. Поэтому полученные в результате системной диагностики параметры следует сопоставлять с другими данными.

Для сбора информации, получаемой непосредственно с элементов и систем двигателя, применяются мотор-тестеры. Мотор-тестеры способны вос-

производить целый ряд диагностических измерений физических величин, которые недоступны обычному сканеру. К ним относятся формы напряжений и токов датчиков и исполнительных механизмов, осциллограммы высокого напряжения, давления в цилиндрах, тока стартера и др.

Объединение сканирующего устройства, мотор-тестера и газоанализатора в один комплекс позволяет провести всестороннюю диагностику СУД.

Диагностический комплекс FSA 740 для проверки и анализа систем автомобильных двигателей представляет собой построенный по модульному принципу стенд для диагностики двигателей в автосервисе. Комплекс FSA 740 принимает входные сигналы, поступающие от различных элементов и систем, и через USB-интерфейс передает их в персональный компьютер (ПК), работающий в операционной системе Windows. На ПК установлено системное программное обеспечение FSA для управления процессами и отображения данных измерений.

Программное обеспечение FSA способно проводить идентификацию автомобилей и двигателей и выполнять анализ автомобильных двигателей с помощью следующих функций, систем и устройств:

– URI (мультиметр);
– генератор сигналов (например, для проверки датчиков);
– тестирование компонентов двигателей;
– запоминающее устройство проверочных кривых;
– универсальный осциллограф;
– осциллограф первичной цепи зажигания;
– осциллограф вторичной цепи зажигания.

Полученные данные измерений сравниваются с эталонными характеристиками, занесенными в запоминающее устройство. Кроме этого, FSA 740 может работать совместно с другими диагностическими системами, например, с диагностическим модулем KTS 520, обеспечивающим системную диагностику ЭБУ.

Комплекс FSA 740 также может быть дополнительно оснащен газоанализатором BEA 050 (для бензиновых двигателей) и дымомером RTM 430 (для дизельных двигателей).

Установка FSA 740 в базовом исполнении (рисунок 5.1) состоит из передвижной тележки с персональным компьютером 3, монитором 1, принтером 9, клавиатурой 8, мышью 6, измерительным модулем 4 и пультом дистанционного управления 2 с приемным устройством 7.

В качестве дополнительного оборудования на комплексе могут быть установлены газоанализатор BEA 050 (для бензиновых двигателей), дымомер RTM 430 (для дизельных двигателей) и модуль 5 системной диагностики KTS-520. Электропитание диагностического комплекса FSA 740 осуществляется от обычной электросети через выключатель и розеточную колодку. Перед пуском комплекса FSA 740 необходимо убедиться в том, что напряжение в сети соответствует напряжению, установленному на FSA 740.

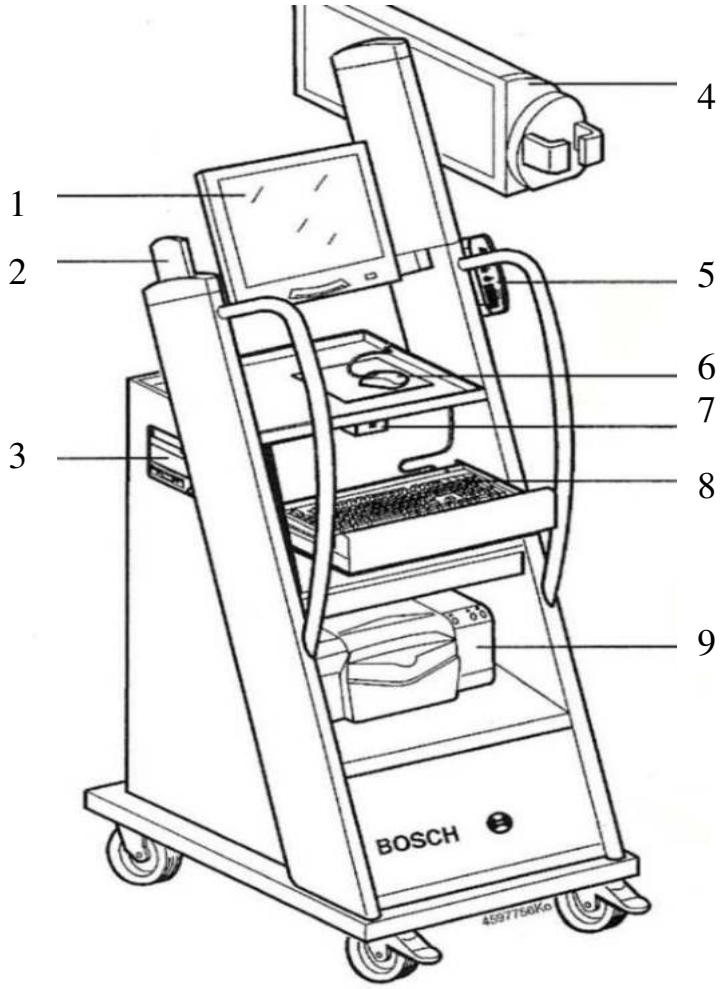


Рисунок 5.1 – FSA 740 (вид спереди)

Комплекс FSA 740 настроен на напряжение 100–230 В и частоту 50/60 Гц. Газоанализатор BEA 050 настроен на 230 В. Включение и выключение FSA 740 осуществляется с помощью центрального выключателя на задней приборной стенке. Перед выключением следует закрыть все использовавшиеся компьютерные программы и подготовить операционную систему Windows к завершению работы. Перед повторным включением компьютера после его отключения необходимо подождать не менее 30 секунд.

Работа с системным программным обеспечением FSA осуществляется с помощью клавиатуры ПК, мыши с USB-разъемом или дистанционного пульта, в том числе посредством функциональных клавиш и кнопок. Функциональные клавиши ESC и от F1 до F12 могут быть:

– клавишами Hardkeys (ESC, F1, F10, F11 и F12), т. е. клавишами с определенными, неизменными функциями;

– клавишами Softkeys (от F2 до F9), выполняющими изменяющиеся функции в зависимости от конкретного этапа выполнения программы.

Если клавиши Hardkeys и Softkeys приобретают светло-серый цвет, это означает, что они на данном этапе выполнения программы не выполняют никаких функций. Управление всеми клавишами осуществляется с помощью мыши, клавиатуры или пульта дистанционного управления.

Дополнительную информацию можно получить в режиме online в процессе работы с FSA.

В состав оборудования комплекса FSA 740 входят следующие компоненты:

– 19-дюймовый жидкокристаллический монитор;

– мышь;

– клавиатура;

– принтер;

– компьютер;

– измерительный модуль FSA 740;

– датчик температуры масла с регулируемой глубиной погружения;

– зажимы для присоединения к полюсным выводам аккумуляторной батареи для измерения напряжения батареи и частоты вращения коленчатого вала;

– соединительный кабель для первичной цепи катушки зажигания;

– триггерная цанга, подключаемая для генерирования импульсов синхронизации;

– зажимы KF для подключения к проводам высокого напряжения системы зажигания;

– токовая цанга для измерения силы тока до 1000 А;

– токовая цанга для измерения силы тока до 30 А;

– мультиизмерительный кабель: канал 1 (CH 1) с желтым и синим штекерами и канал 2 (CH 2) с красным и черным штекерами;

– стационарный стробоскоб для проверки и настройки момента зажигания;

– шланг для измерения давления, например, для измерения давления (разрежения) в различных элементах и полостях впускного тракта;

– кабель для подключения USB-устройств;

– датчик температуры воздуха;

– адаптер для анализа выхлопного газа от многокомпонентного газоанализатора;

– пульт дистанционного управления с приемным устройством.

Часть из перечисленного оборудования располагается и подсоединяется к разъемам и штекерам, расположенным на специальной соединительной панели, показанной на рисунке 5.2.

В подрисуночных подписях указаны местоположения разъемов и штекеров для подключения кабелей и датчиков различного назначения.

Программное обеспечение комплекса FSA 740 состоит из двух частей: SystemSoft[plus] и CompacSoft[plus].

Пакет SystemSoft[plus] включает:

– тестирование систем и агрегатов автомобиля;

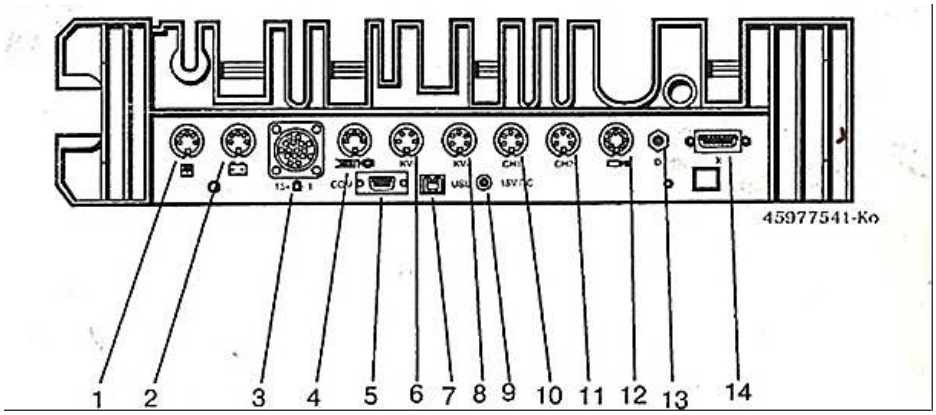
– проведение тестирования без заданных значений;

– общие указания по проведению тестирования;

– диалоговую справку;

– базу данных для сохранения опорных графиков;

– программное обеспечение для генератора сигналов, мультиметра и осциллографа.



1 – разъем для подключения температурного датчика; 2 – разъем для соединительного кабеля B+/B-; 3 – разъем для соединительного кабеля кл. 1/Ka.15/TN/TD; 4 – штекер для подключения триггерной цанги или кабеля с адаптером для клеммного датчика; 5 – штекер для подключения интерфейса RS 232; 6 – разъем для подключения измерительного датчика KV-; 7 – разъем USB-интерфейс для передачи данных на ПК; 8 – разъем для подключения измерительного датчика KV+; 9 – гнездо для подключения измерительного модуля к сети; 10 – разъем для измерительного кабеля CH 1 или токовой цанги 30 A; 11 – разъем для измерительного кабеля CH 2 или токовой цанги 30 A или токовой цанги 1000 A; 12 – разъем для подключения стробоскопа; 13 – штуцер для измерения давления воздуха; 14 – разъем без определенных функций (для возможного расширения функций)

Рисунок 5.2 – Измерительный модуль с панелью разъемов FSA 740

Пакет CompacSoft[plus] включает:

– новые возможности проведения тестирования;

– новые функции;

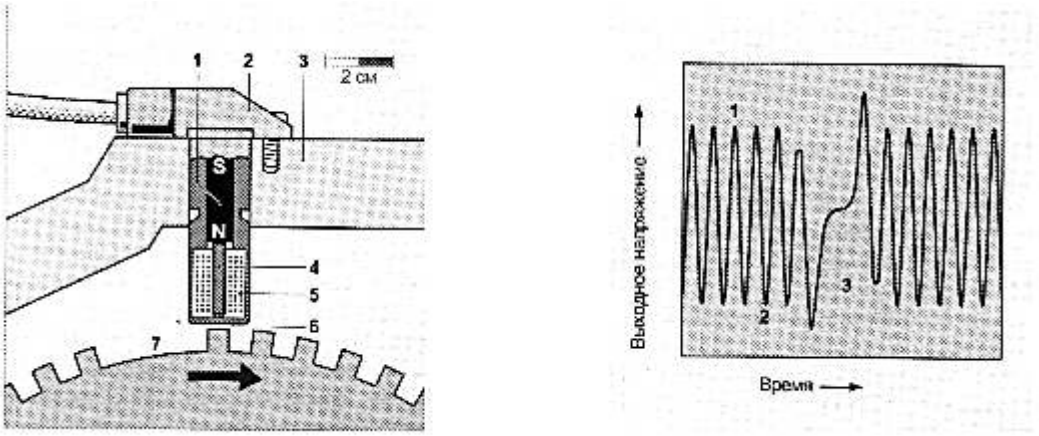
– нормативы и указания по тестированию конкретных моделей автомобилей.

С помощью программного обеспечения диагностического комплекса FSA 740 можно проводить подробный и всесторонний анализ работы электрооборудования, датчиков и исполнительных механизмов СУД.

В качестве наглядного примера возможностей комплекса ниже представлена методика проведения исследования совместной работы электромагнитной форсунки с индуктивным датчиком ДПКВ.

Время начала открытия форсунок должно быть строго синхронизировано с опорным сигналом ДПКВ. ДПКВ устанавливается напротив зубьев маркерного диска 7 или маховика, от которого он отделен небольшим воздушным зазором 6 (рисунок 5.3 *а*).

При вращении маркерного диска происходит изменение магнитного потока, что в свою очередь индуцирует в обмотке электромагнита 5 синусоидальное выходное напряжение (рисунок 5.3 *б*), пропорциональное скорости изменения магнитного потока. На основании частоты изменения синусоидального напряжения 1 и 2 ЭБУ вычисляет скорость вращения коленчатого вала.



а *б*

1 – постоянный магнит; 2 – корпус датчика; 3 – блок цилиндров двигателя; 4 – полюсный штифт; 5 – обмотка; 6 – воздушный зазор; 7 – маркерный диск

Рисунок 5.3 – Конструкция (*а*) и характеристика сигнала (*б*) ДПКВ

При прохождении через ДПКВ участка маркерного диска с отсутствием двух зубьев происходит характерное изменение сигнала напряжения 3, которое является опорным сигналом для синхронизации начала открытия форсунки с положением коленчатого вала. Продолжительность открытого состояния клапана форсунки определяется длительностью управляющего электрического импульса, подаваемого на обмотку электромагнита форсунки.

Для наблюдения одновременно за сигналом подаваемого напряжения на форсунку и сигналом ДПКВ на автомобильном двигателе FD3 необходимо, чтобы оба сигнала были выведены на один экран. Пользуясь преимуществом использования двухканального универсального осциллографа установки FSA 740, можно одновременно наблюдать сразу за двумя сигналами.

Порядок подготовки к проведению исследований на установке FSA 740 следующий. Для начала нужно вызвать функцию поиска и ввести термин «форсунка». После этого ПО FSA самостоятельно найдет пункт меню «форсунка» в разделе «Системы подачи топлива. Проверка компонентов». Затем с помощью кнопки F12 можно запустить проверку.

При использовании Y-образного переходного кабеля, который подходит для размещенной на двигателе системы впрыска, устанавливается соединение контактов форсунки с каналом CH 1 мультиметра. Для упрощения соединений можно использовать адаптеры для конкретного типа автомобильных датчиков.

После запуска двигателя на экране появляется сигнал напряжения на форсунке, отображенный синим цветом (рисунок 5.4). Далее в меню «Осциллограф (Осциллоскоп)» ПО FSA следует выбрать пункт «Универсальный осциллограф». Второй тестируемый элемент, а именно ДПКВ, нужно подключить от контактов датчика к измерительному каналу CH 2 при помощи адаптерных щупов без разъединения кабеля, идущего к ЭБУ.

После повторного запуска двигателя оба сигнала выводятся на монитор одновременно (рисунок 5.4).

Для удобства представления сигналов на экране возможно потребуется выполнить настройки по осям X и Y.

Для проведения анализа изображений имеются дополнительные возможности для настройки источников сигналов. С помощью кнопки F3 изображение на экране измерений можно «заморозить». Через контекстное меню кнопкой F4 можно вызвать сохраненные файлы для сравнения графиков сигналов. С помощью кнопки F6 графики можно сохранить и использовать их в качестве опорных форм сигналов при последующих измерениях.

Возможности комплекса FSA 740 позволяют использовать его для совместной работы с другими диагностическими системами, например, с диагностическим модулем KTS 520, обеспечивающим системную диагностику ЭБУ. С помощью установленной программы ESI[tronic] можно выполнять целый ряд диагностических наблюдений и операций, таких как идентификация автомобилей, двигателей и ЭБУ, параметрический анализ выходных данных ЭБУ, считывание и удаление ошибок в СУД, работа исполнительных механизмов в СУД и ряд других.

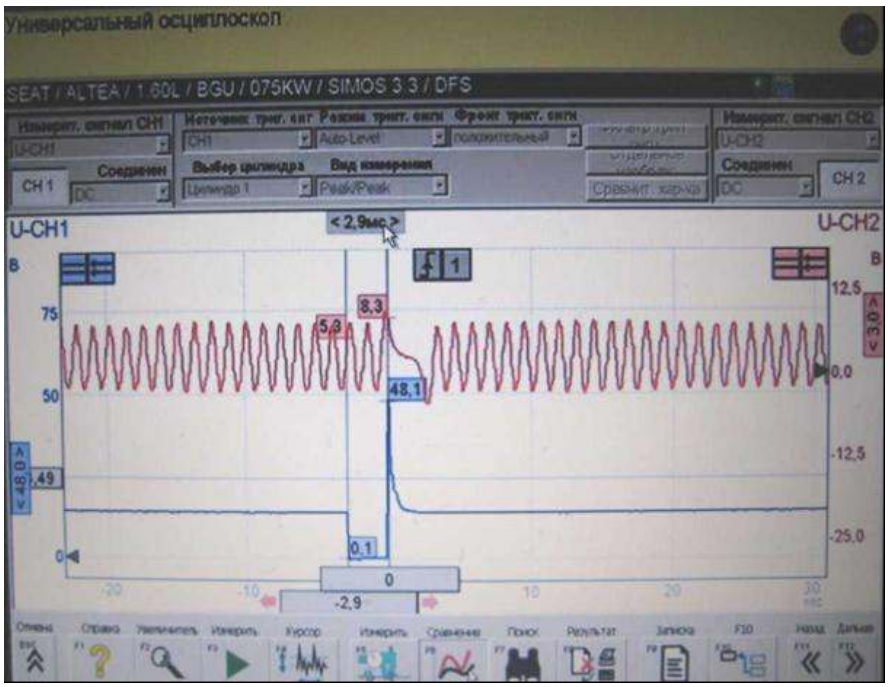
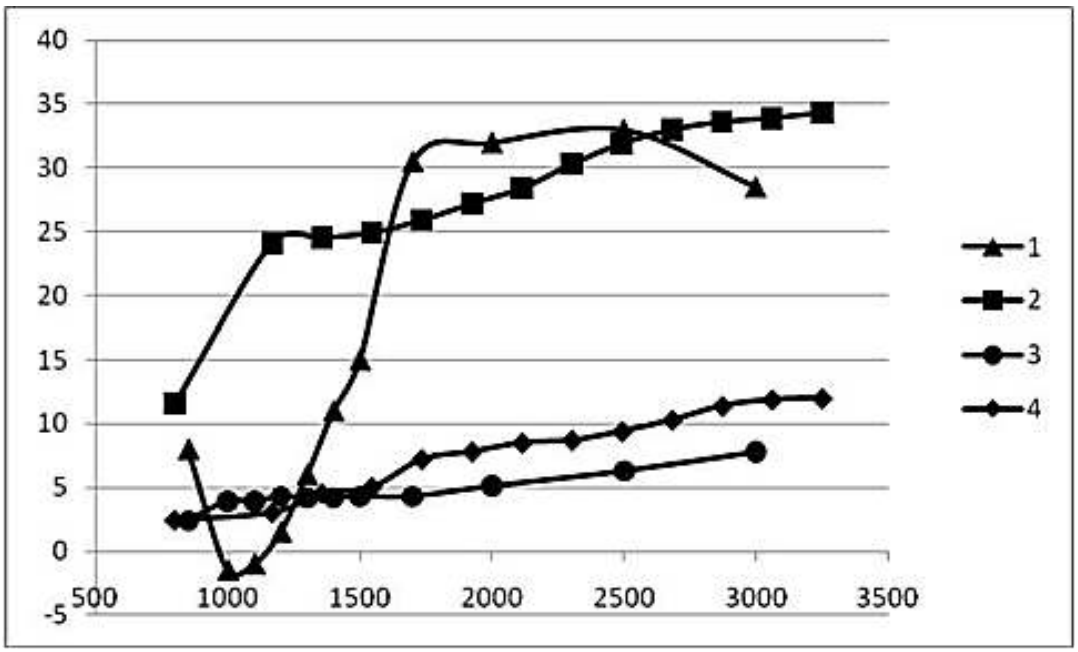


Рисунок 5.4 – Сигналы напряжения на обмотке форсунки в зависимости от сигнала, генерируемого ДПКВ

Далее в качестве примера проведения параметрического анализа, позволяющего дать оценку особенностям работы системы зажигания при использовании различных ЭБУ, представлены материалы испытаний автомобиля ВАЗ-219060 (Лада Гранта) с двигателем ВАЗ-11183.

Сравнительный анализ значений УОЗ, полученных с помощью программы ESI[tronic], проводился по характеристике ХХ при установке штатного ЭБУ М74 и специального ЭБУ «Корвет» М11.38ЕТ с возможностью изменения ПО применительно к индивидуальным особенностям двигателя.



1 – УОЗ с ЭБУ М74; 2 – УОЗ с ЭБУ М11.38ЕТ; 3 – степень открытия ДЗ в % с ЭБУ М74; 4 – степень открытия ДЗ в % с ЭБУ М11.38ЕТ

Рисунок 5.5 – Зависимости УОЗ и степень открытия ДЗ в % от частоты вращения коленчатого вала (об/мин) при использовании различных ЭБУ

Путем использования табличной модели данных базовых режимов были найдены оптимальные значения УОЗ, с помощью которых удалось построить характеристику ХХ с плавным протеканием зависимости УОЗ при минимальных углах открытия ДЗ, представленную на рисунке 5.5. На том же рисунке представлена характеристика ХХ с использованием штатного ЭБУ М74.

Анализ зависимостей УОЗ указывает на определенное преимущество при использовании специального ЭБУ «Корвет» М11.38ЕТ, полученное благодаря лучшей адаптации ПО для обеспечения оптимальных значений УОЗ при малых углах открытия ДЗ. В данном случае под оптимальными значениями УОЗ следует понимать такие значения, при которых реализуются наибольшая экономичность и плавность переходных режимов работы двигателя на минимальных нагрузках.

Вопросы к разделу

1. Какие диагностические операции можно выполнять с помощью сканера или тестера?

2. С помощью каких функций, систем и устройств программное обеспечение FSA способно проводить идентификацию автомобилей и двигателей и выполнять анализ автомобильных двигателей?

3. Какие компоненты входят в состав оборудования комплекса FSA 740?

4. Программное обеспечение комплекса FSA 740 состоит из двух частей. Перечислите, что входит в каждый пакет.

6 ОБЗОР СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

6.1 Описание наиболее частых неисправностей

Дизельные транспортные средства современности характеризуются достаточно высоким уровнем надежности всех своих компонентов и узлов. При своевременной замене вышедших из строя и износившихся элементов дизельного двигателя, риск их неожиданного отказа в процессе эксплуатации практически сводится к нулю. Поэтому крайне важно своевременно проводить точное диагностирование возможных неисправностей.

Приведём наиболее часто встречающиеся отклонения в работе дизельных двигателей, указывающие на неисправность:

1. Запуск двигателя затруднён:

– износ нагнетательных элементов насоса высокого давления;

– неправильный угол опережения подачи топлива в двигателе;

– износ распылителей, вызывающий плохое распыление топлива;

– слишком низкое давление впрыска;

– нехватка топлива перед насосом высокого давления из-за попадания воздуха в систему подачи топлива или засорения топливопроводов и фильтров;

– загустение топлива зимой;

– слишком малая доза топлива при запуске, вызванная неправильной работой регулятора;

– неисправны свечи накаливания.

2. Снижение мощности двигателя:

– износ прецизионных элементов топливного насоса высокого давления или регулятора;

– неправильная регулировка насоса или всережимного регулятора;

– износ или повреждение распылителей;

– неправильный угол опережения впрыска;

– чрезмерное снижение давления впрыска;

– недостаточное количество топлива, подаваемого системой нагнетания, из-за засорения топливного фильтра, недостаточной производительности подкачивающего топливного насоса или попадания воздуха в топливную систему.

3. Повышенный расход топлива:

– неверный угол опережения впрыска;

– износ нагнетательных элементов насоса высокого давления;

– неправильная регулировка насоса высокого давления;

– износ или повреждение распылителей;

– слишком большое снижение давления впрыска;

– загрязнен воздушный фильтр;

– недостаточная компрессия.

4. Чёрный дымный выхлоп:

– излишняя подача топлива секциями насоса высокого давления;

– поздний впрыск топлива;

– снижение давления открытия форсунок;

– заедание иглы и увеличение отверстий распылителя форсунок;

– плохое смесеобразование в камере сгорания из-за нагара или неплотного закрытия клапанов;

– неверные зазоры в клапанах;

– недостаточная компрессия.

5. Серый или белый дымный выхлоп:

– неверное опережение впрыска;

– недостаточная компрессия;

– пробита прокладка головки блока;

– переохлаждение двигателя.

6. Жёсткая работа двигателя:

– слишком ранний впрыск топлива;

– большая разница между дозами топлива, впрыскиваемого в разные цилиндры двигателя;

– недостаточная компрессия.

7. Перегрев двигателя:

– неправильный угол опережения впрыска;

– плохое распыление топлива форсунками (струя вместо «факела»).

8. Не развивается полная мощность:

– неправильно отрегулирована тяга педали акселератора;

– загрязнен воздушный фильтр;

– воздух в системе питания;

– повреждены топливопроводы;

– неисправны крепления распылителей форсунок;

– распылители неисправны;

– сбит угол опережения впрыска топлива;

– неисправен топливный насос высокого давления.

9. Повышенный шум двигателя:

– загрязнения в системе питания, вследствие чего не работают распылители;

– уплотнительные шайбы под распылителями отсутствуют или плохо установлены.

10. Воздух в системе питания:

– неравномерная работа двигателя на холостом ходу.

– не правильно установлены обороты холостого хода;

– затруднен ход педали акселератора;

– ослаб топливопровод подачи топлива между топливным насосом высокого давления и топливным фильтром;

– повреждена опорная пластина насоса высокого давления;

– зависание нагнетательных клапанов;

– неисправности в подаче топлива;

– неисправны распылители, имеются отклонения в регулировке форсунок или их неисправность;

– неисправность всережимного регулятора частоты вращения коленчатого вала;

– неправильное опережение впрыска.

11. Колебания частоты коленчатого вала:

– износ регулятора оборотов;

– разрегулирование или износ системы впрыска;

– чрезмерное сопротивление перемещению элементов в системе регулирования;

– попадание воздуха в топливную систему;

– избыточное давление газов в картере.

12. Внезапная остановка двигателя:

– смещение угла опережения нагнетания;

– засорение топливного фильтра и нехватка топлива, подаваемого в насос;

– повреждение трубопровода впрыска;

– износ и перекос поршня-разделителя, ротора или поршней насоса высокого давления;

13. Часто выходят из строя калильные свечи:

– неисправны форсунки в соответствующих цилиндрах;

14. Невозможно заглушить двигатель:

– неисправен запорный электромагнитный клапан;

15. Повышается уровень моторного масла в картере:

– течь через уплотнитель цепного или шестеренчатого привода насоса высокого давления;

16. Слабое торможение двигателем:

– засорены сливные топливопроводы;

– неверно установлены ускоренные обороты холостого хода.

Исходя из данного описания мы видим широкий спектр возможных неисправностей системы питания дизельных двигателей, однако практически все причины изучены и известны. Из этого следует, что главной проблемой является точная диагностика неисправности.

6.2 Общие сведения

Можно выделить три основных метода диагностирования дизельных двигателей:

1. Визуально-акустический осмотр.
2. Измерение различных параметров.
3. Компьютерная (электронная) диагностика.

Первый метод позволяет обнаружить грубые неисправности. Одного его, конечно, недостаточно, но даже визуальный и акустический осмотр, проведенный опытным мастером, дает возможность оценить состояние деталей двигателя, например, по воздушным фильтрам, по звуку выхлопных газов и др.

Второй метод направлен на более точное определение неисправностей с помощью разнообразных замеров, характеризующих деятельность мотора. Например, диагностика дизельных двигателей подразумевает измерение относительной компрессии и утечек в цилиндрах. По этим показателям уже можно выявить ряд проблем двигателей внутреннего сгорания.

Третий метод помогает обнаружить поломки в электронной системе управления работой двигателя. Используемое программное обеспечение позволяет очень точно путем мониторинга датчиков и электроники устанавливать неисправности.

6.3 Поэлементное диагностирование и устранение неисправностей

Поэлементное диагностирование включает: проверку работы форсунок, проверку на стендах ТНВД, диагностирование топливного и топливоподкачивающего насосов. Качество работы форсунки можно проверить на работающем двигателе. Для этого ослабляют гайку крепления топливопровода высокого давления к форсунке. Если форсунка исправна, то при её отключении изменятся звук работы двигателя и дымность выхлопа. При неисправной форсунке звук работы двигателя изменяется незначительно или не изменяется совсем.

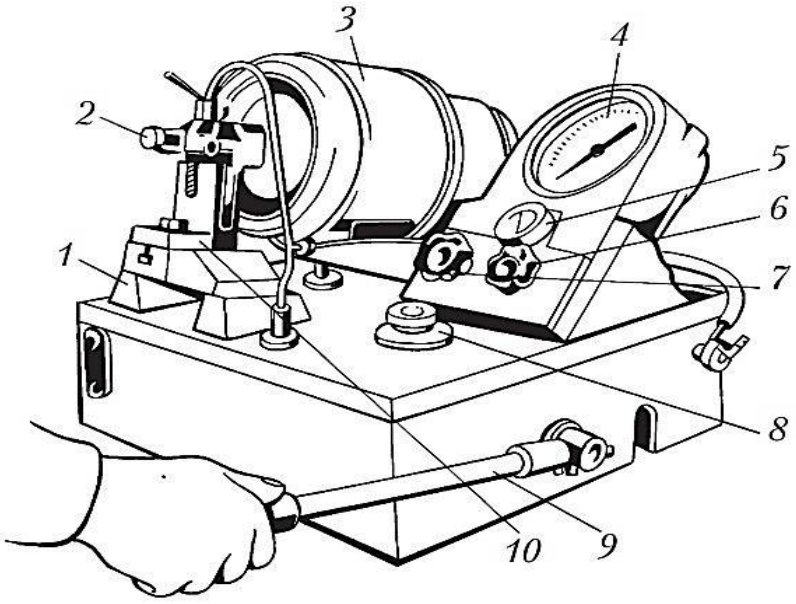
Для снятия форсунок отсоединяют топливопроводы высокого давления и трубку сброса топлива, затем форсунки выворачивают. При установке форсунок их затягивают с необходимым моментом динамометрическим ключом с заменой уплотнительных шайб. Превышение момента затяжки форсунок может вызвать деформацию резьбы головки блока, появление трещин прилива на головке в месте крепления форсунки, застревание иглы и другие неисправности.

Работоспособность снятых форсунок проверяют на специальных стендах с ручным или электрическим приводом насоса. В качестве технологической жидкости для проверки форсунок старых конструкций топливной аппаратуры используют смесь отстоянного дизельного топлива марки «Л» с веретенным либо авиационным маслом; вязкость смеси $(9{,}9–10) \cdot 10^6$ м/с. Для проверки форсунок конструкций топливной аппаратуры с электронным управлением используют специальную жидкость в соответствии с международным стандартом ISO 4113.

Для испытания форсунок на стенде КИ-3333А (рисунок 6.1) форсунку 2 вставляют в специальное устройство для крепления 10. Действуя рукояткой 9 со скоростью 60–80 качаний в минуту, наполняют каналы форсунки топливом до появления струи топлива из распылителя. По манометру 4 определяют давление в начале впрыскивания, одновременно проверяют качество распыления топлива форсункой. Распыленное топливо отсасывается вентилятором, имеющим привод от пневмотрубки или электродвигателя. Топливо впрыскивается в прозрачную камеру 3 с подсветкой.

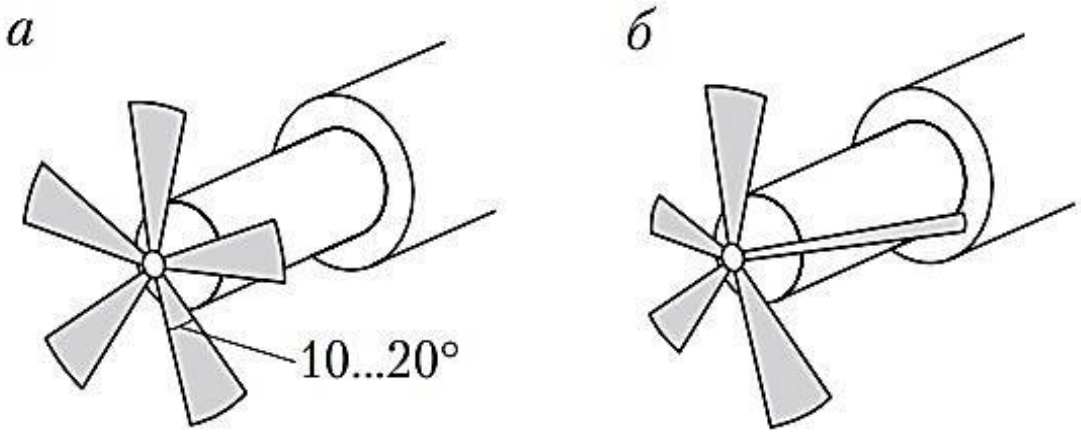
Герметичность распылителя по запирающему конусу проверяют при отрегулированном давлении начала впрыска, после чего понижают давление

на 1,0–2,5 МПа. Это давление удерживается в течение 10 с. Затем к головке распылителя прижимают лист чистой бумаги; если бумага остается сухой или на ней есть влажное пятно диаметром до 3 мм, то это указывает на герметичность распылителя; если диаметр влажного пятна больше 3 мм или бумага влажная, значит, распылитель негерметичный.



1 – корпус; 2 – форсунка; 3 – камера впрыскивания; 4 – манометр;
5 – секундомер; 6, 7 – рукоятки клапанов соответственно манометра и насоса;
8 – пробка заливной горловины для топлива; 9 – рукоятка привода насоса;
10 – устройство для крепления форсунки

Рисунок 6.1 – Общий вид стенда для испытания форсунок КИ-3333А



а – правильная; *б* – неправильная

Рисунок 6.2 – Форма струи распыла

В случае если давление не соответствует заданным диапазонам, необходимо разобрать форсунку и заменить регулировочную шайбу (легковые автомобили) или отрегулировать давление с помощью регулировочного винта (грузовые автомобили).

При проверке форсунок частота качаний рычага должна быть 60–90 в минуту. Распыляемое дизельное топливо, выходящее из распылителя форсунки, должно быть туманообразным, т.е. без заметных отдельных капель, сплошных струек и легкоразличимых местных сгущений. Струя должна быть с явно выраженным конусом 10–20° (рисунок 6.2).

Характерный «детонационный» звук при проверке форсунки не должен восприниматься как её неисправность.

В случае неудовлетворительных результатов проверки форсунки разбирают и прочищают.

Для проверки форсунок без снятия их с двигателя могут применяться более простые приборы типа NC 251 (рисунок 6.3), преимуществом которых является возможность проведения проверки непосредственно на дизельном двигателе без снятия форсунок.

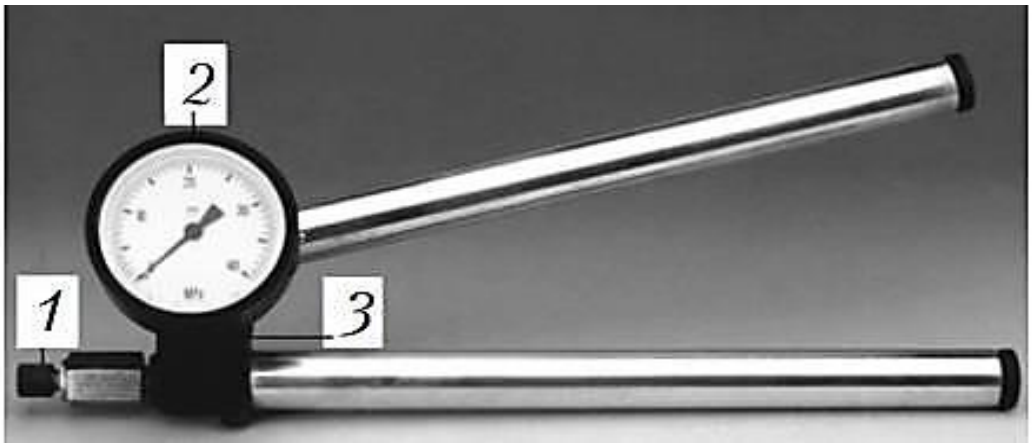


Рисунок 6.3 – Прибор для проверки форсунок без демонтажа

Прибор состоит из штуцера 1 для подсоединения форсунки к топливопроводу, манометра 2, насоса 3. С помощью такого прибора можно контролировать давление в начале впрыскивания и герметичность посадки иглы форсунки.

Поэтапное диагностирование включает проверку ТНВД на стендах. Современный стенд для проверки топливных насосов дизельных двигателей (рисунок 6.4) состоит из корпуса 1, на который устанавливают проверяемый насос, приводимый в действие с помощью электродвигателя стенда через соединительную муфту 4. Изменение частоты вращения электродвигателя стенда осуществляется рукояткой 5. Топливо от проверяемого насоса подается к эталонным форсункам стенда 2, закрепленным на стойке. Контроль за работоспособностью форсунок осуществляют по монитору или непосредственно по мензуркам, в которые выливается топливо из контрольных форсунок. Для определения давления и разрежения при работе ТНВД предусмотрен блок манометров 3 и вакуумметр.

В связи с возрастающими требованиями по снижению расхода топлива, токсичности отработавших газов и повышению эффективной мощности дизеля возрастает потребность в более точной диагностике и регулировке ТНВД.

Регулировка ТНВД производится на специализированном стенде, который воспроизводит условия работы топливной аппаратуры на дизеле. Так как конструкции ТНВД имеют как общие решения, так и значительные отличия, особенно в части электронного управления, то для потребителя важно найти оптимальный баланс между функциональным исполнением стенда, необходимым для регулировки ТНВД, и денежными затратами на приобретение требуемого оборудования соответствующего качества.

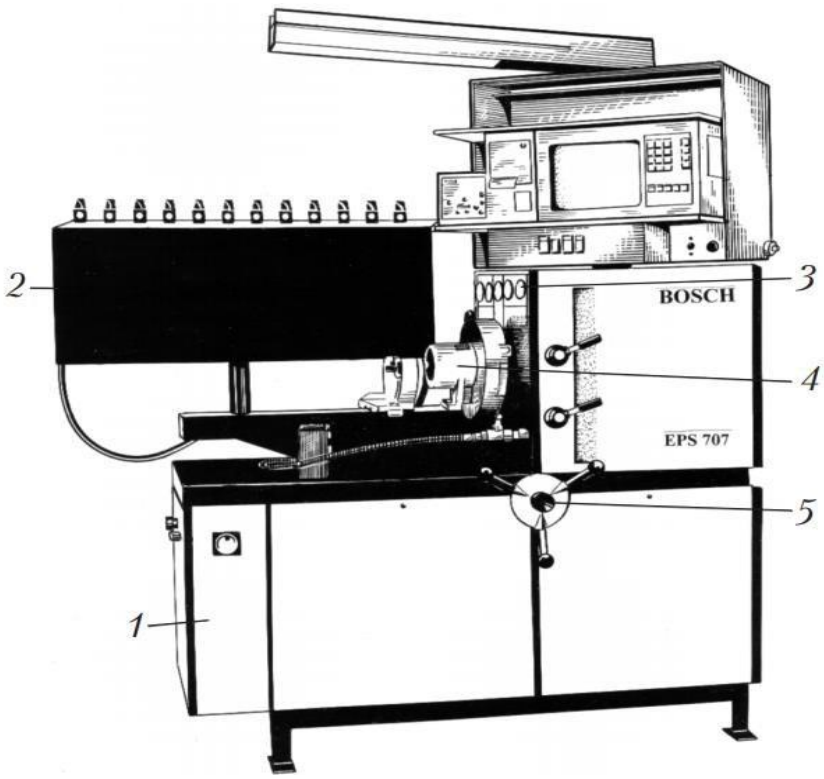


Рисунок 6.4 – Стенд для проверки плунжерных топливных насосов дизельных двигателей

6.4 Проверка датчиков и исполнительных механизмов систем питания дизельных двигателей с электронным управлением

Большинство датчиков и исполнительных механизмов можно проверить с помощью осциллографа (осциллоскопа) и мультиметра (тестера).

При поиске неисправностей в электрических устройствах, для проверки параметров, которые при работе не изменяются или изменяются медленно (например, напряжение питания, сопротивление и т.п.), в большинстве случаев подходит мультиметр с цифровым дисплеем, позволяющий определять измеряемые параметры с большой точностью. Для регистрации величин, которые часто изменяются за короткий промежуток времени, применяют осциллограф. По форме кривой напряжения можно сделать выводы о неисправностях не только неэлектрических систем, но и механическом повреждении или загрязнении датчика ВМТ.

Используя измерительные меню осциллографа, пользователь может быстро установить оси времени и напряжений, а также уровень запуска развертки. Компьютеризированные исполнения осциллографов позволяют также запоминать изображение измеряемых параметров.

Датчики представляют собой измерительные преобразователи, которые превращают физические величины (давление, температуру и др.) в электрический сигнал. В большинстве случаев используется аналоговый сигнал напряжения, изменяющегося в соответствии с изменением измеряемой физической величины. Различают датчики с электрическим питанием и без него. Датчики с электрическим питанием имеют трехштырьковые разъемы (например, датчик Холла, датчик давления, датчик массового расхода воздуха), а датчики, не имеющие питания, – двухштырьковые разъемы (например, индуктивный датчик частоты вращения коленчатого вала или одновольтового λ-зонда).

У датчика с электрическим питанием в первую очередь следует проверить наличие напряжения питания, которое в большинстве случаев составляет 5,0 В (очень редко используется аккумуляторная батарея). Напряжение сигнала датчика 0,2–4,8 В. При напряжении 0 или 5 В блок управления показывает ошибку: 0 В указывает на обрыв, а 5 В – на короткое замыкание.

Преобразование электрических команд блока управления в механические, пневматические или гидравлические исполнительные процессы происходит, как правило, с помощью электромагнитов. В большинстве случаев электромагниты являются составной частью электромагнитных клапанов, однако могут воздействовать на исполнительный механизм непосредственно, например, через поворотный магнит в механизме управления распределительного топливного насоса с электронным управлением. Для плавного изменения управляющего усилия или величины открытия электромагнитного клапана блок управления постоянно включает и выключает электромагниты.

Отношение времени включенного состояния ко всему периоду называется скважностью и измеряется в процентах.

При этом время одного цикла включения и выключения принимается за 100%. Сила тока регулируется изменением отношения между временем включенного и выключенного состояний. Этот способ управления называется широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Он используется в системе зажигания, где существует понятие «угол замкнутого состояния контактов прерывателя». Управление осуществляется в соответствии со способом работы интерфейса компьютера.

Для проверки электрического исполнительного механизма осциллограф подсоединяют к «массовому» управляющему проводу, блоку управления и «массе» двигателя. После подсоединения измерительного прибора необходимо проверить, есть ли скважность и изменяется ли она в соответствии с рабочим режимом. Если скважность не определяется, опросом памяти неисправностей необходимо проверить, нет ли у блока управления причины для отказа в работе. Рециркуляция ОГ, например, отключается при выходе из строя массового измерителя расхода воздуха. Если в памяти неисправ-

ностей нет сведений о неисправности, то дефект находится в схеме переключения. Напряжение 12 В означает, что система электропитания исполнительного механизма и обмотка катушки электромагнита исправны. Дефект должен находиться между отрицательным полюсом обмотки катушки и «массой» двигателя. Если управляющий провод, идущий от блока управления, и «массовый» провод в порядке, причину неисправности следует искать в работе блока управления.

6.5 Проверка давления в системе питания двигателя

При недостаточном давлении топлива возможны следующие неисправности:

– неустойчивая работа двигателя;

– остановка двигателя на холостом ходу;

– пониженная частота вращения коленчатого вала на холостом ходу;

– недостаточная приемистость автомобиля (двигатель не развивает полной мощности);

– рывки и провалы в работе двигателя при движении автомобиля.

Давление в системе питания дизельного двигателя создается и поддерживается в две ступени.

1. В трубопроводе низкого давления, расположенном между топливным баком и насосом высокого давления, давление составляет 0,30 МПа и поддерживается топливным модулем, установленным в баке. Блок управления двигателем изменяет давление от 0,07 МПа на режиме холостого хода до 0,30 МПа при повышенных частоте вращения коленчатого вала и нагрузке. Обратный клапан, установленный в топливном модуле, ограничивает рост давления до максимально допустимого значения.

2. В трубопроводе высокого давления, расположенном между насосом высокого давления и топливной рампой, давление составляет 0,75–0,85 МПа и поддерживается насосом высокого давления, установленным на головке блока цилиндров двигателя.

Вначале рекомендуется проверить надежность электрических контактов в колодках жгутов проводов узлов системы впрыска, отвечающих за подачу топлива (топливный насос низкого давления, форсунки).

Проверить давление топлива в трубопроводе низкого давления (первая ступень) можно манометром со шлангом-переходником для подключения к переходному штуцеру насоса высокого давления. Манометр подключают к штуцеру насоса в разрыве топливоподводящего трубопровода, отсоединив его от штуцера насоса.

Перед проверкой необходимо снизить давление в системе; проверочные работы проводят через 2–3 ч после остановки двигателя (давление за это время снижается практически до нуля). Затем ослабляют хомут крепления трубопровода низкого давления, сжав пассатижами его отогнутые усики, отсоединяют трубопровод от штуцера насоса высокого давления и подсоединяют манометр в разрыв между топливным шлангом и штуцером насоса, запускают двигатель и измеряют давление.

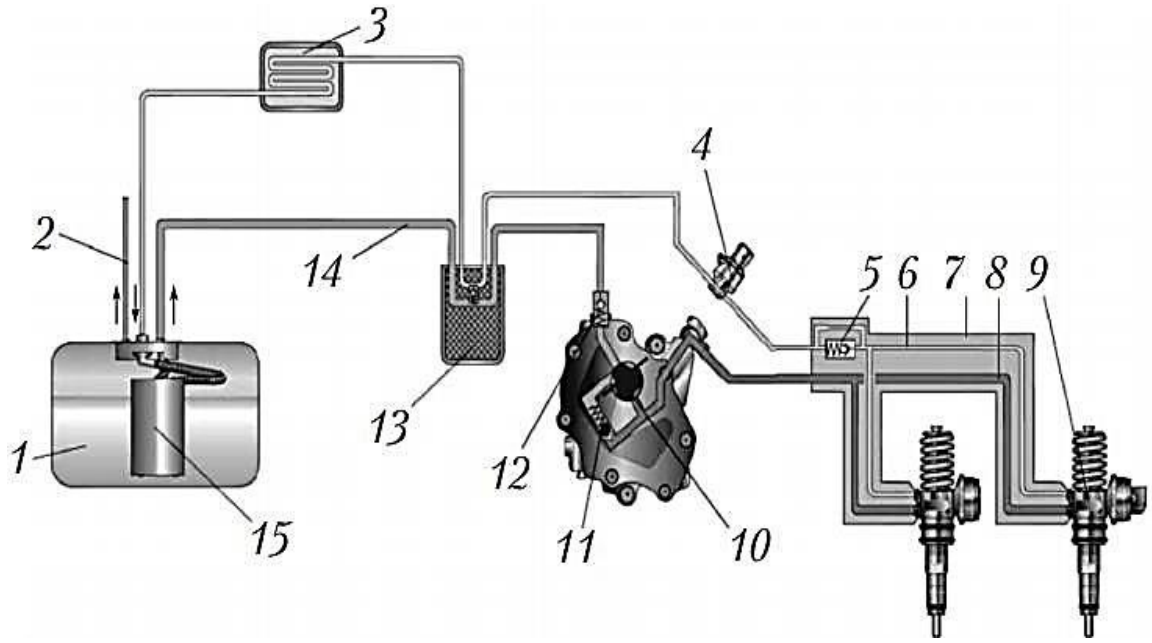
Возможные причины снижения давления топлива:

– неисправность регулятора давления топлива;
– неисправность обратного клапана форсунки;
– засорение фильтра грубой очистки топлива;
– засорение фильтра тонкой очистки топлива;
– неисправность топливного насоса.

Величина давления зависит от технического состояния топливного насоса высокого давления. Для проверки работоспособности насоса выворачивают контрольную пробку на выходном штуцере насоса и подсоединяют вместо нее переходник шланга манометра. Запускают двигатель, установив по тахометру частоту вращения коленчатого вала 1500 об/мин. При этой частоте давление топлива, создаваемое насосом в нагнетательном трубопроводе, должно быть не ниже 0,75–0,85 МПа. Если давление меньше указанного значения, то насос следует заменить.

6.6 Особенности диагностирования неисправностей систем с насосом-форсункой

Основные компоненты системы питания дизельного двигателя с насосами-форсунками показаны на рисунке 6.5.



1 – топливный бак; 2 – топливопровод к дополнительному отопителю;
3 – охладитель топлива; 4 – датчик температуры топлива;
5 – ограничительный клапан в сливном трубопроводе;
6 – сливной трубопровод; 7 – распределитель топлива;
8 – трубопровод высокого давления; 9 – насос-форсунка;
10 – насос высокого давления; 11 – редукционный клапан в трубопроводе подачи топлива; 12 – обратный клапан; 13 – топливный фильтр;
14 – трубопровод низкого давления; 15 – насос низкого давления

Рисунок 6.5 – Система питания дизельного двигателя с насосами-форсунками

Насосы-форсунки состоят из трех подсистем:

– подачи топлива низкого давления;

– подачи топлива высокого давления;

– подачи воздуха и выпуска отработавших газов.

Подсистема подачи топлива низкого давления – необходима для подачи топлива к насосу высокого давления и очистки топлива.

Подсистема подачи топлива высокого давления – для создания высокого давления впрыска топлива в камеру сгорания.

Подсистема подачи воздуха и выпуска ОГ включает приборы для очистки воздуха, поступающего в цилиндры двигателя, и очистки ОГ после выпуска их из цилиндров.

Расположенный в баке электрический насос низкого давления 15 подкачивает топливо к фильтру.

Обратный клапан 12 предотвращает слив топлива из распределителя 7 и трубопровода низкого давления 14 в бак после остановки двигателя.

Насос высокого давления 10 служит для забора топлива из фильтра и подачи его под повышенным давлением к насосам-форсункам. Редукционный клапан 11 поддерживает давление подаваемого к насосам-форсункам топлива в пределах 0,75–0,85 МПа. Ограничительный клапан 5 удерживает давление топлива в сливном трубопроводе на уровне 0,1 МПа, благодаря ему снижаются пульсации давления в системе.

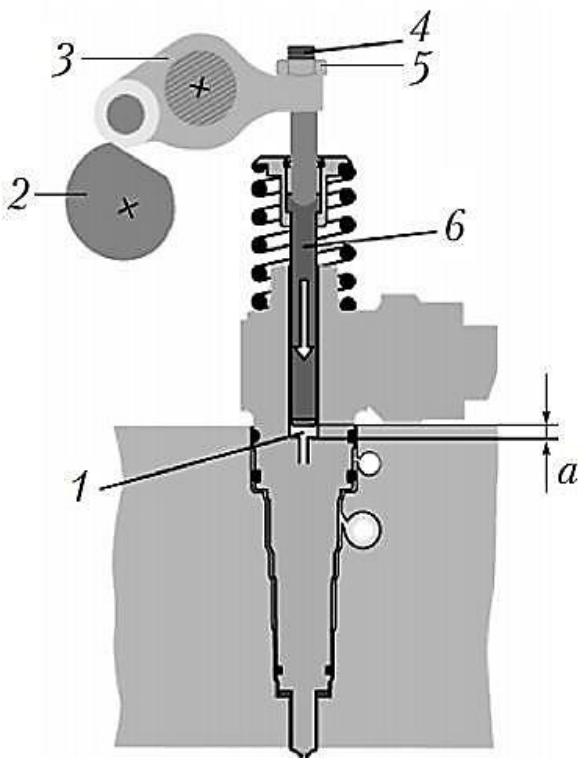
Топливоподкачивающие насосы могут быть как с внутренним зацеплением шестерен, так и шиберные. Максимальное давление, развиваемое насосами-форсунками, составляет 250,0 МПа.

Основные проверки таких систем осуществляют с использованием сканера для диагностирования электронных систем управления двигателем, однако отдельные проверки могут быть проведены и более простыми способами.

6.7 Регулировка насоса-форсунки после установки

После установки насоса-форсунки необходимо установить регулировочным винтом 4 (рисунок 6.6) наименьшее расстояние между корпусом камеры высокого давления и плунжером в его нижнем положении.

Благодаря такой регулировке исключается удар плунжера о дно камеры высокого давления в результате его удлинения при нагреве. Для этого коленчатый вал двигателя поворачивают настолько, чтобы кулачок распределительного вала 2 установился выступом вверх, а плечо коромысла 3 с роликом оказалось в самом нижнем положении. Затем отпускают контргайку 5 и вворачивают регулировочный винт 4 до упора в плунжер. После этого выворачивают регулировочный винт на 225° и, не изменяя его положения, затягивают контргайку.



1 – камера высокого давления; 2 – кулачок распределительного вала;
3 – коромысло; 4 – регулировочный винт; 5 – контргайка; 6 – плунжер;
a – наименьшее расстояние
Рисунок 6.6 – Схема насоса-форсунки

Очистка насосов-форсунок осуществляется в ультразвуковой ванне, при этом корпус форсунок, по возможности, должен быть направлен сопловыми отверстиями вниз.

При осмотре насоса-форсунки на поршне и на пластине накопителя, на седле иглы и игле не должно быть следов трещин, коррозии и других повреждений. Седло поршня клапана не должно прирабатываться к пластине клапана. Поршень клапана и игла форсунки должны легко перемещаться.

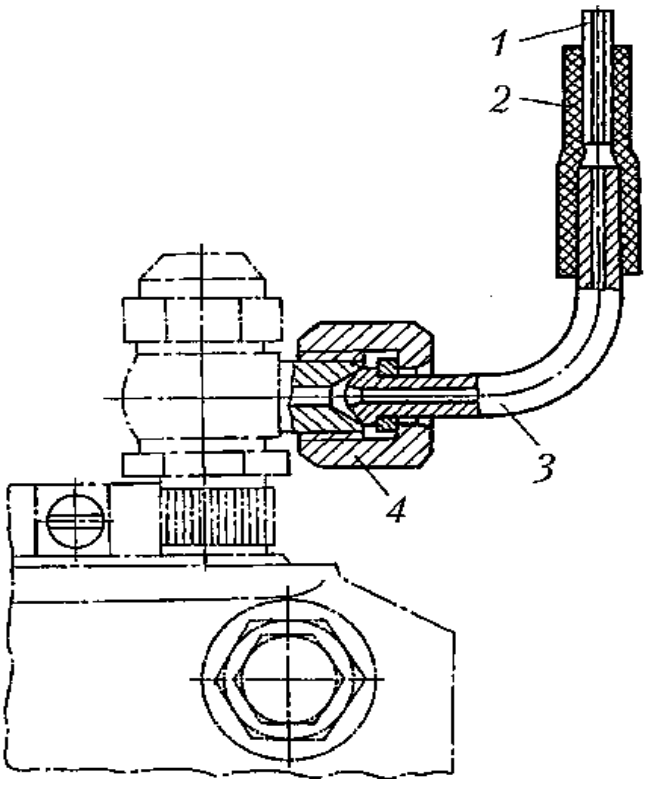
Игла форсунки не должна прирабатываться к упорной шайбе, на которой не должно быть следов кавитации.

6.8 Проверка и установка угла опережения

Установка угла опережения впрыска топлива проводится для обеспечения правильного соотношения между положением плунжера ТНВД и поршня в цилиндре двигателя во время такта сжатия. Внешними признаками неправильно установленного угла опережения впрыска являются определенные отклонения в работе двигателя: при раннем впрыске двигатель запускается резко, но работает жестко, а при остановке двигателя наблюдается обратный удар; при позднем впрыске двигатель заводится плохо, работает мягко, слабо набирает обороты и не развивает необходимой мощности, дымность отработавших газов увеличивается.

Различают статические и динамический методы установки угла опережения впрыска.

Один из статических методов – установление угла *опережения впрыска по определенным меткам*. Чтобы определить угол опережения впрыска топлива для многоплунжерных насосов, к штуцеру первой нагнетательной секции вместо трубопровода высокого давления подсоединяют моментоскоп и проворачивают коленчатый вал двигателя до появления в моментоскопе топлива. Моментоскоп представляет собой короткий отрезок топливопровода 3 (рисунок 6.7), соединенный резиновой или пластмассовой трубкой 2 со стеклянной трубкой 1 диаметром 1,0–1,5 мм.



1 – стеклянная трубка; 2 – трубка; 3 – топливопровод; 4 – гайка
Рисунок 6.7 – Схема подключения моментоскопа к ТНВД двигателя

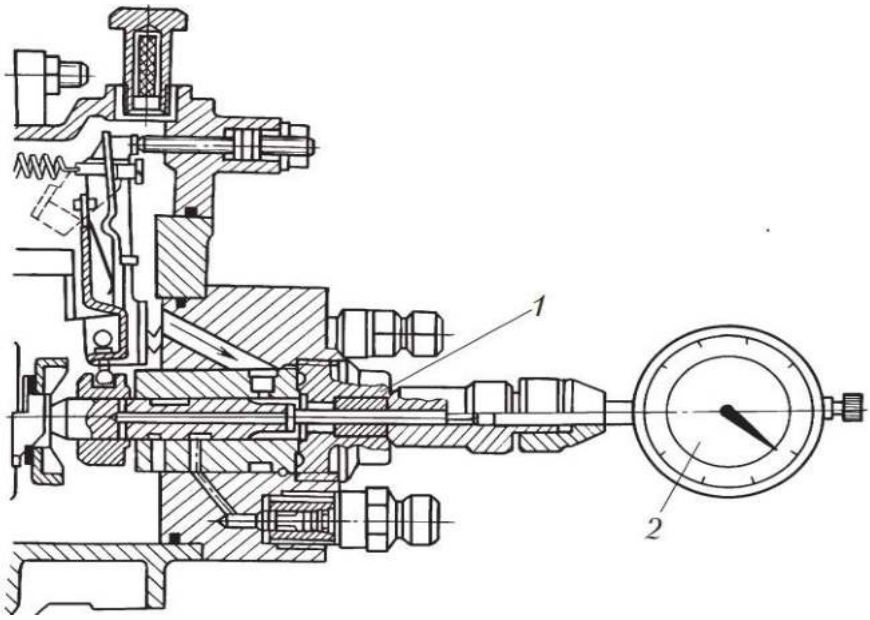
Затем, медленно вращая коленчатый вал, определяют положение, в котором уровень топлива в стеклянной трубке моментоскопа начнет подниматься. После этого вал останавливают и определяют, какая риска с цифрой на маховике совпадает со стрелкой на картере маховика.

Метки и риски для определения оптимального угла опережения впрыска топлива находятся на поверхности переднего шкива коленчатого вала (по его окружности, на передней крышке или корпусе двигателя и т.д.), обычно рядом с метками, указывающими положение поршня первого цилиндра в ВМТ.

Зафиксированная таким образом величина и будет определять угол опережения впрыска топлива. Если этот угол не совпадает с паспортными данными, в легковых автомобилях отпускают болты крепления насоса высокого давления и проворачивают насос в направлении вращения коленчатого вала.

Другой статистический метод регулировки угла опережения впрыска топлива – изменение положения муфты привода. Он применяется в основном для грузовых автомобилей. Правильность установки угла опережения впрыска топлива проверяют еще раз путем проворачивания коленчатого вала и вторичного контроля совпадения всех меток.

Для двигателей с ТНВД распределенного впрыска наиболее точным методом установки угла опережения впрыска топлива является метод, основанный на использовании индикатора. Для проверки угла опережения проворачивают коленчатый вал двигателя до установки поршня первого цилиндра в положение ВМТ в такте сжатия, выворачивают центральную пробку на распределительной головке ТНВД и вместо нее устанавливают индикатор с удлинительным стержнем (рисунок 6.8).



1 – отверстие вывернутой центральной пробки; 2 – индикатор
Рисунок 6.8 – Установка индикатора для проверки момента начала впрыска для ТНВД фирмы Bosch

Для установки плунжера насоса в крайнее положение поворачивают коленчатый вал двигателя против часовой стрелки на 25–30°, ориентируясь по канавке на шкиве коленчатого вала (поршень при этом устанавливается в положение 25–30° перед ВМТ по углу поворота коленчатого вала двигателя). Стрелку индикатора устанавливают на нуль. Проворачивают коленчатый вал двигателя в ту и другую сторону на небольшие углы. Если плунжер насоса действительно установлен в крайнее положение, то при повороте коленчатого вала на небольшие углы стрелка индикатора отклоняться не будет.

Далее проворачивают коленчатый вал двигателя по часовой стрелке (поршень перемещается в направлении ВМТ) до установки канавки на шкиве напротив метки ВМТ на передней части двигателя (метки на маховике напротив прилива на картере сцепления) и по показаниям индикатора определяют величину хода плунжера, которая для большинства топливных насо-

сов составляет 0,75–1,00 мм. Если величина хода плунжера не соответствует указанному значению, ослабляют болты крепления топливного насоса и поворотом его в ту или другую сторону регулируют ход плунжера, затем затягивают болты крепления насоса и повторяют проверку.

Величина хода плунжера соответствует определенному углу опережения начала впрыска, поэтому иногда в технических характеристиках указывается угол опережения (запаздывания) впрыска.

Динамический метод **является самым точным методом определения угла опережения впрыска топлива.** При работающем двигателе угол опережения впрыска изменяется за счет срабатывания корректирующих автоматов, поэтому проверка и регулировка угла опережения впрыска более точно проводится в динамике, т.е. при работающем двигателе, с помощью специальных приборов – стробоскопов (рисунок 6.9 *а*). Стробоскопы используются как в комплектах с мотор-тестерами, так и самостоятельно.

Перед динамической проверкой угла опережения впрыска нужно убедиться, что двигатель прогрет до нормальной рабочей температуры и работает на регламентированной частоте вращения минимального холостого хода.

Импульс для включения стробоскопа может быть получен от следующих источников:

– от трубки высокого давления первого цилиндра 6 или посредством установки последовательно с этой трубкой датчика давления 1 (рисунок 6.9 *б*), а чаще с помощью зажима с индуктивным импульсным датчиком (рисунок 6.9 *в*);

– светочувствительного датчика, реагирующего на первую вспышку при воспламенении топлива в цилиндре;

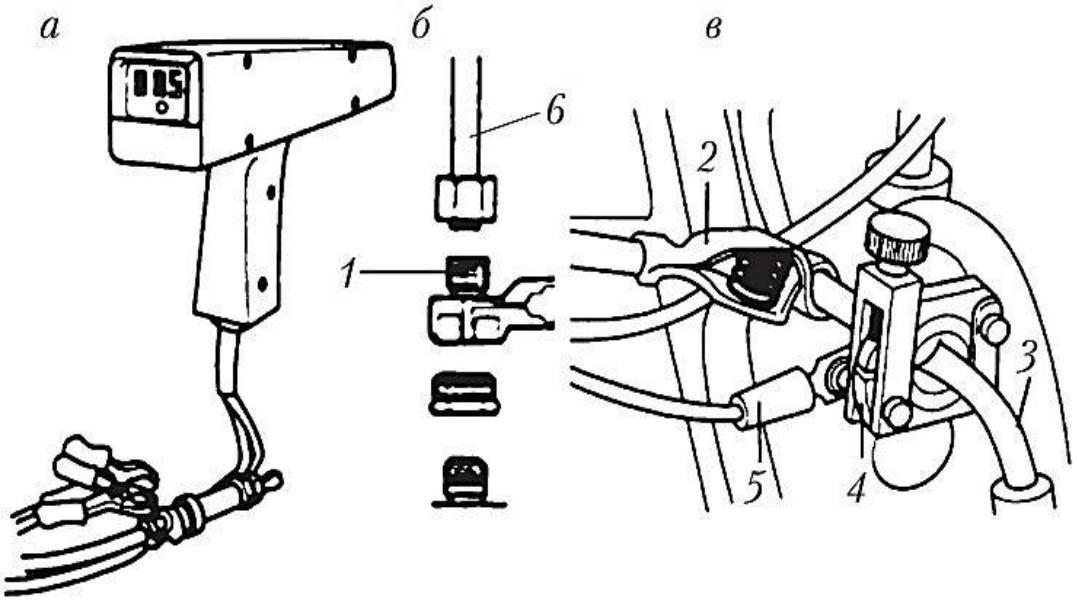
– датчика начала впрыска в рядных ТНВД, в этом случае требуется установка специального электронного блока.

Запустив двигатель на минимальной частоте вращения коленчатого вала, луч от неоновой лампы стробоскопа, вспыхивающий синхронно с вращением коленчатого вала, направляют на шкив (маховик). Если угол опережения впрыска установлен правильно, то вследствие стробоскопического эффекта подвижная метка будет казаться неподвижной и находиться напротив неподвижной метки.

Отсчет угла опережения впрыска при этом ведется по шкиву или маховику.

В случае использования индуктивного импульсного датчика зажима он обязательно должен быть установлен в определенном, регламентированном техническими условиями фирмы-изготовителя месте на трубке высокого давления, в противном случае полученные результаты окажутся неправильными. Некоторые фирмы-изготовители дают корректирующую таблицу, связывающую значение динамического угла опережения впрыска с местом установки зажима вдоль трубки высокого давления, что особенно полезно в тех случаях, когда, например, точное место установки зажима для измерения на режиме холостого хода недоступно.

Использование индуктивного импульсного датчика позволяет также определить работоспособность муфты опережения впрыска на различных частотах вращения коленчатого вала.



1 – датчик давления; 2 – зажим «массы»; 3 – трубопровод высокого давления; 4 – индуктивный импульсный датчик-зажим; 5 – электрический разъем; 6 – трубка высокого давления

Рисунок 6.9 – Внешний вид стробоскопа (*а*) и методы получения импульсов от датчика давления (*б*) и индуктивного импульсного датчика (*в*)

Осциллографические методы диагностирования топливной аппаратуры дизельных двигателей широко распространены в случае применения мотортестеров с индуктивными импульсными датчиками. Примерный вид осциллограммы давления топлива на разных режимах работы дизельного двигателя показан на рисунке 6.10. В точке 1 начинается повышение давления в результате движения плунжера насоса, в точке 2 срабатывает нагнетательный клапан и при малой скорости движения плунжера давление несколько падает. В точке 3 соответствующей иглы форсунки давление падает, поскольку высвободившийся объем не успевает заполниться топливом.

Точка 4 характеризует максимальное давление установившегося процесса впрыска. В точке 5, соответствующей посадке иглы форсунки, впрыскивание заканчивается, после чего происходит посадка в седло нагнетательного клапана плунжера. Импульсы остаточного давления (точка 6) появляются из-за недостаточной герметичности нагнетательного клапана.

Величина сигнала S_1 определяет затяжку пружины форсунки и статическое давление начала впрыскивания. Перепад давления Δp характеризует подвижность иглы форсунки. Максимальное давление впрыска S_3 определяет эффективное проходное сечение сопел распылителя, а путем интегрирования на периоде впрыскивания $t_в$ можно оценить цикловую подачу топлива. Время

задержки впрыскивания S_2 характеризует зазор в плунжерной паре, вызывающий утечку топлива между гильзой и плунжером.

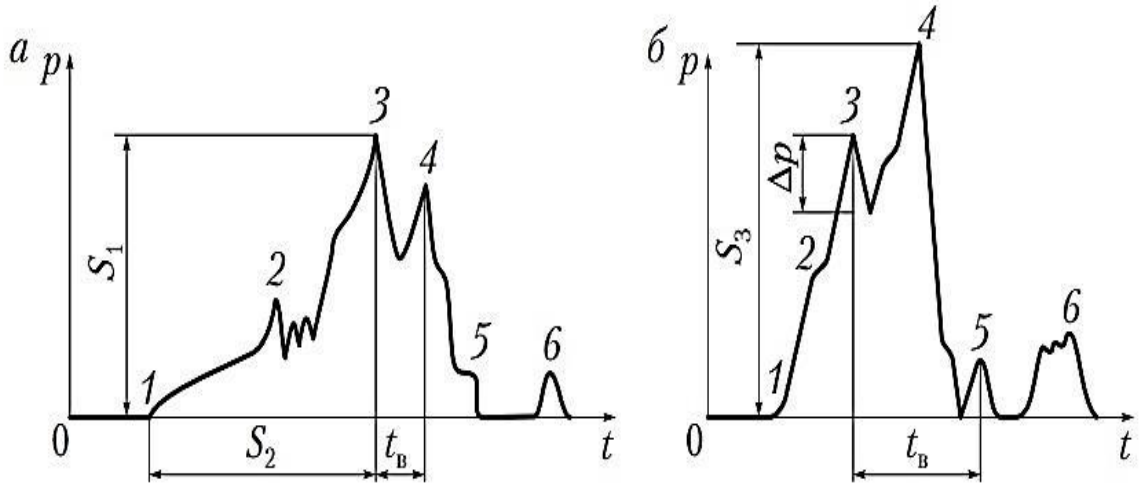


Рисунок 6.10 – Осциллограммы давления топлива у штуцера форсунки в режиме холостого хода двигателя (*а*) и в режиме полной подачи топлива и максимальной мощности дизеля (*б*)

При появлении отдельных неисправностей вид осциллограмм изменяется (рисунок 6.11).

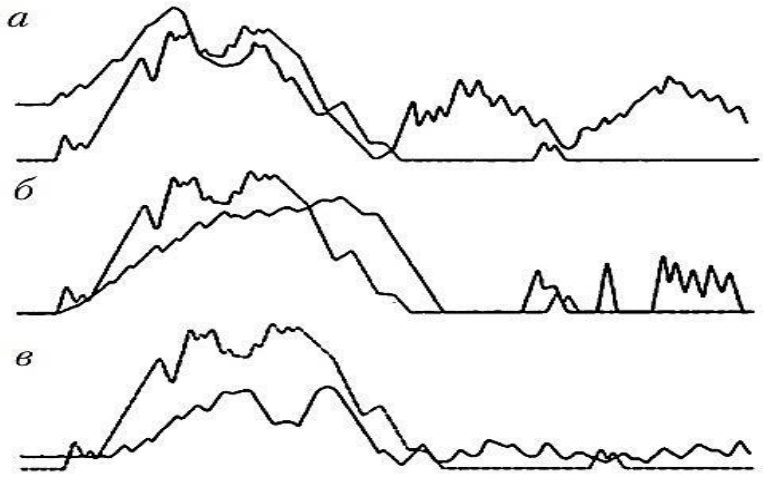
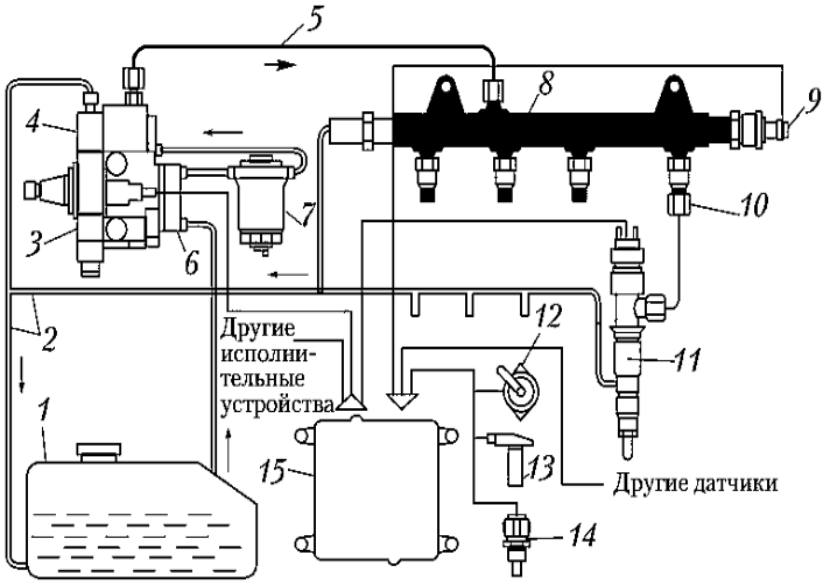


Рисунок 6.11 – Вид осциллограмм при наличии неисправностей износа нагнетательного клапана (*а*) или плунжерной пары (*б*), одновременного износа нагнетательного клапана и плунжерной пары (*в*)

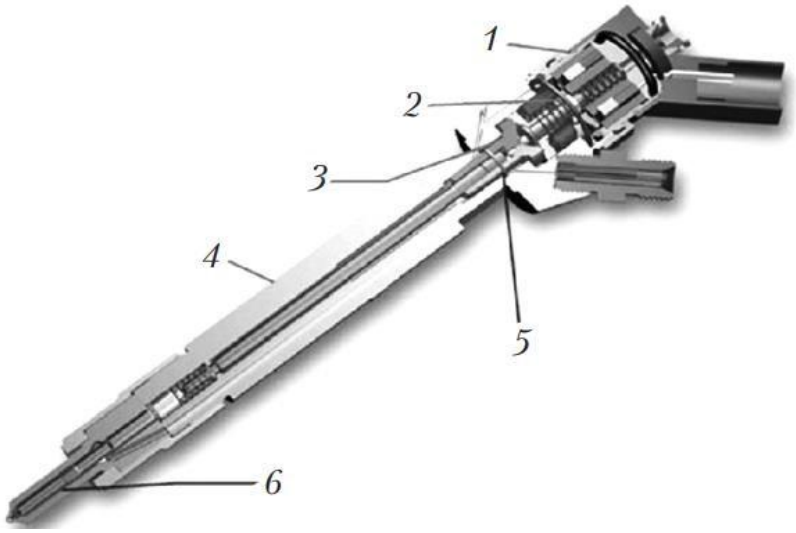
6.9 Особенности диагностирования неисправностей систем Common Rail

Главной отличительной особенностью аккумуляторных топливных систем с электронным управлением Common Rail является разделение узла, создающего давление (ТНВД-аккумулятор), и узла впрыска (форсунки) (рисунок 6.12).



1 – топливный бак; 2 – топливопроводы слива; 3 – ТНВД;
4 – регулятор давления; 5 – топливопровод высокого давления;
6 – топливоподкачивающий насос; 7 – фильтр; 8 – гидроаккумулятор;
9 – датчик давления; 10 – предохранительный клапан;
11 – электрогидравлическая форсунка; 12 – датчик педали акселератора;
13 – датчик частоты вращения и положения коленчатого вала;
14 – датчик температуры; 15 – блок управления
Рисунок 6.12 – Схема системы питания дизельных двигателей Common Rail

Главная деталь топливных систем Common Rail – электрогидравлическая форсунка. Распределение отказов отдельных её элементов указаны в процентах на рисунке 6.13. Как видно из приведенных данных, наименее надежными элементами электрогидравлической форсунки являются шаровой клапан и распылитель.



1 – соленоид (5%); 2 – якорная группа (2%); 3 – шаровой клапан (35%);
4 – корпус (3%); 5 – кольца ВД (25%); 6 – распылитель (30%)
Рисунок 1.13 – Отдельные элементы электрогидравлической форсунки
с указанием их отказов

Основные проверки систем Common Rail осуществляют с использованием сканера для диагностирования электронных систем управления двигателем, однако отдельные проверки могут быть проведены и более простыми способами. Например, в случаях нестабильности холостого хода двигателя необходимо провести гидравлические испытания форсунок, характеризующие главным образом состояние запорного клапана. В случае негерметичности клапана топливо, которое должно попасть в камеру сгорания, попадет в обратный слив и таким образом проявится неисправность автомобиля.

Для гидравлических испытаний форсунок отсоединяют топливопроводы обратного слива топлива от форсунок и каждый заводят в мерный сосуд (рисунок 6.14). Затем запускают двигатель и измеряют количество слива каждой форсунки, его величина должна составлять около 150 $см^3$/мин. При разнице между объемами более 30% или превышении нормы обратного слива форсунку необходимо заменить.

Более тщательные проверки топливной системы Common Rail могут быть произведены с помощью специализированного оборудования, например, стендов Bosch EPS 708 (рисунок 6.15) и Stardex 0601. Стенды такого типа позволяют проверять компоненты систем Common Rail с давлением впрыска до 250,0–260,0 МПа. Учитывая высокое давление проверки и сильный нагрев компонентов системы, в стендах предусмотрена система охлаждения.

Стенд Bosch EPS 708 позволяет проверять электромагнитные форсунки и топливные насосы систем Common Rail производства Bosch и других компаний. Кроме того, используя специальное дооснащение, можно проверять пьезофорсунки производства Bosch, Denso и Siemens/Continental, CRI Piezo.

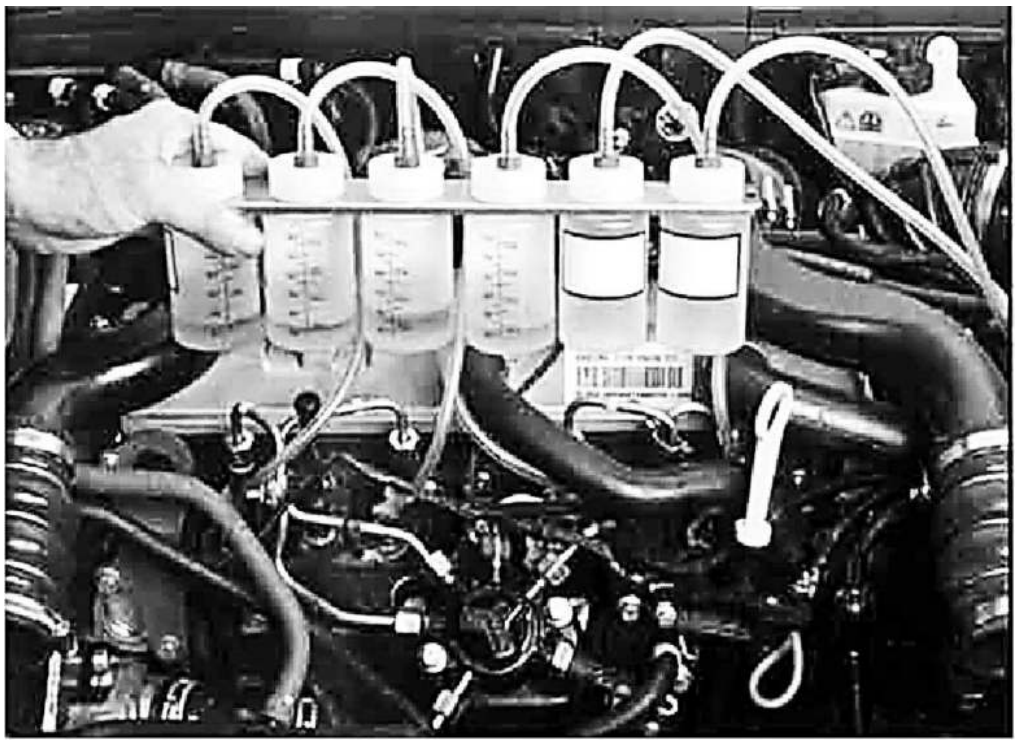


Рисунок 6.14 – Проверка обратного слива топлива

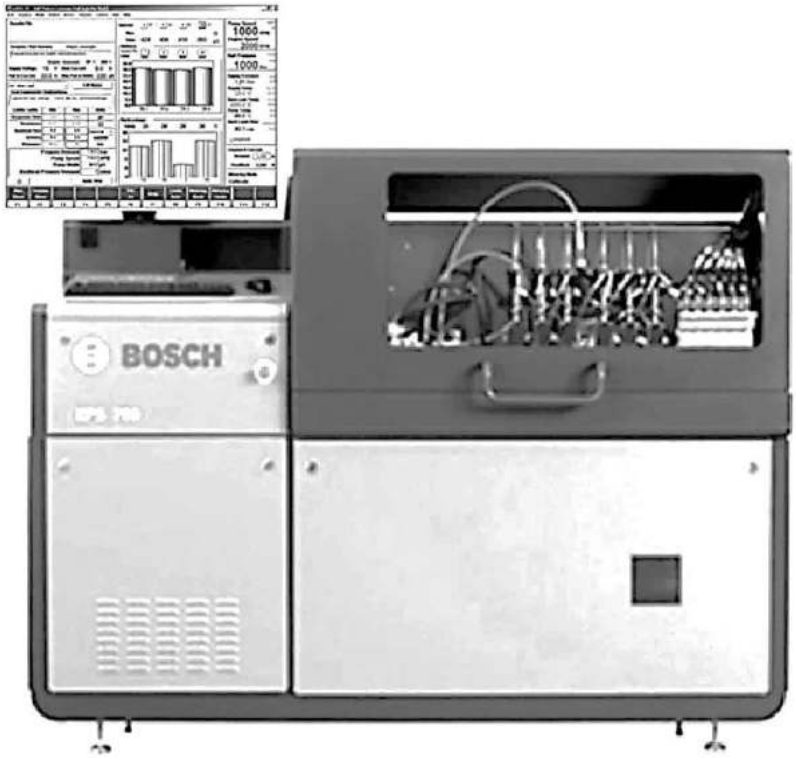


Рисунок 6.15 – Стенд Bosch EPS 708 для проверки компонентов топливной системы Common Rail

Дополнительно к испытаниям на утечку и определение количества впрыскиваемого топлива с помощью специального набора можно проверить электрический модуль пьезофорсунки на наличие дефектов изоляции. Необходимые технические данные для сравнения результатов тестирования с заводскими характеристиками приведены на CD TestData, который доступен по подписке.

Рабочая область стенда закрывается прочным прозрачным защитным экраном, при поднятии которого привод стенда выключается в целях безопасности. Используя монтажный комплект, на стенде можно одновременно закрепить четыре (для грузовых автомобилей и коммерческого транспорта) или шесть форсунок систем Common Rail (для легковых автомобилей).

С помощью стенда можно проверять:

– состояние фильтров;

– стабильность распыла топлива форсункой для определения специфических дефектов форсунок систем Common Rail;

– герметичность компонентов системы;

– количество топлива обратного слива;

– режимы работы форсунок – предварительный впрыск, холостой ход, полная нагрузка, экономичный режим с определением количества подачи топлива.

Более высокотехнологичные стенды STARDEX 0304 и MAK TEST позволяют осуществлять проверку и ремонт форсунок Common Rail всех типов и производителей, в том числе и пьезоэлектрических. Форсунки идентифицируются по их серийному номеру.

В качестве примера рассмотрим стенд для проверки и ремонта форсунок MAK TEST (рисунок 6.16), который представляет собой комплекс, включающий оборудование для создания высокого давления рабочей жидкости при проверке форсунок, персональный компьютер, ультразвуковую ванну для очистки форсунок, приспособления и инструмент для разборки и проверки форсунок.



Рисунок 6.16 – Общий вид стенда MAK TEST
для проверки и ремонта форсунок

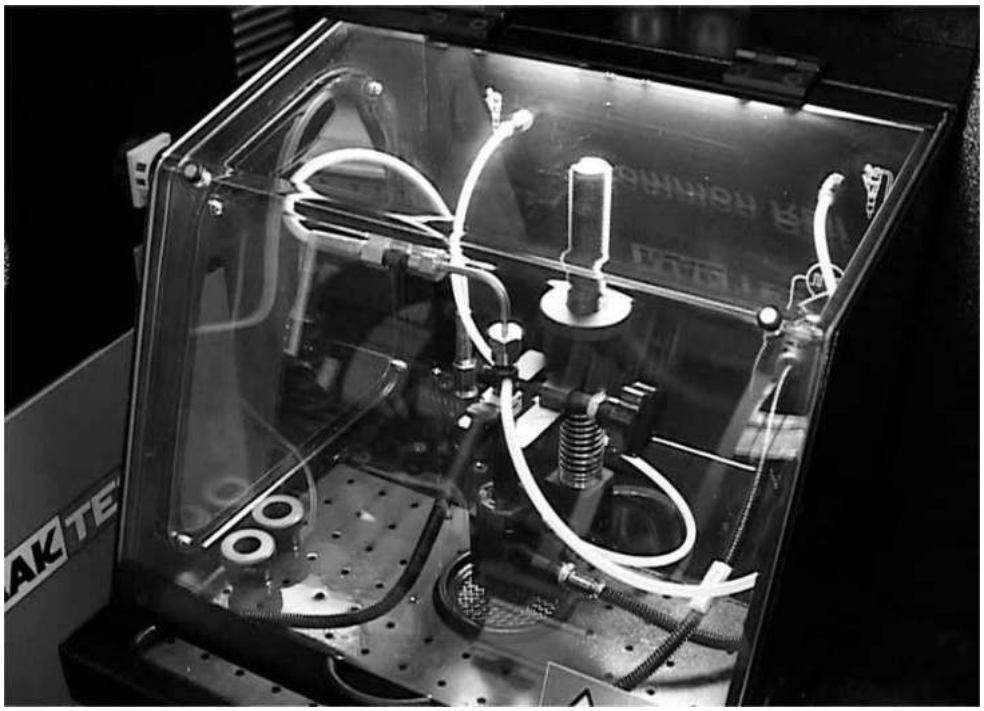


Рисунок 6.17 – Держатель форсунки с защитной крышкой

Для проведения проверки форсунку вставляют в специальный держатель (рисунок 6.17) и фиксируют её гайкой. К проверяемой форсунке подсоединяются рабочие трубопроводы для подачи и отвода топлива. Учитывая высокое давление и связанную с ним опасность, при проверке держатель с форсункой закрывается прозрачной защитной крышкой.

С помощью сенсорного экрана по каталожному номеру проверяемой форсунки вводится программа тестирования (рисунок 6.18). Данные по форсункам основных мировых производителей занесены в память компьютера. Все данные по проверке форсунок заносятся в память компьютера и выводятся на экран.



а – выбор проверяемой форсунки; *б* – данные по тестированию форсунок

Рисунок 6.18 – Экран компьютера

Для точного определения неисправности форсунки необходимо при разных нагрузках определить величину разности между подачей и возвратом топлива. Именно на этом принципе и построена система диагностики форсунок систем Common Rail.

Тестирование форсунок производится по специальной программе и включает следующие основные тесты по определению:

1) утечек топлива при высоком давлении, соответствующем рабочему;

2) подачи топлива при низком и высоком давлении, а также обратного слива. В рассматриваемом примере тестирования форсунок (см. рисунок 6.18) при высоком давлении по нормативам подача должна составлять 33,5 см^3 с подачей обратного слива 6,6 см^3, но полученные данные (соответственно 40,6 и 5,0 см^3) отличаются от нормативных;

3) качества распыливания топлива. Система подачи топлива стенда импульсно подводит к форсунке топливо, которое распыляется на поверхности специальной колбы (рисунок 6.19 *а*). Качество распыления топлива определяется визуально. Если распылитель форсунки забит, то его очищают в уль-

тразвуковой ванне (рисунок 6.19 *б*), при этом очищается только внешняя сторона распылителя, чтобы не повредить напыления на внутренней стороне распылителя.

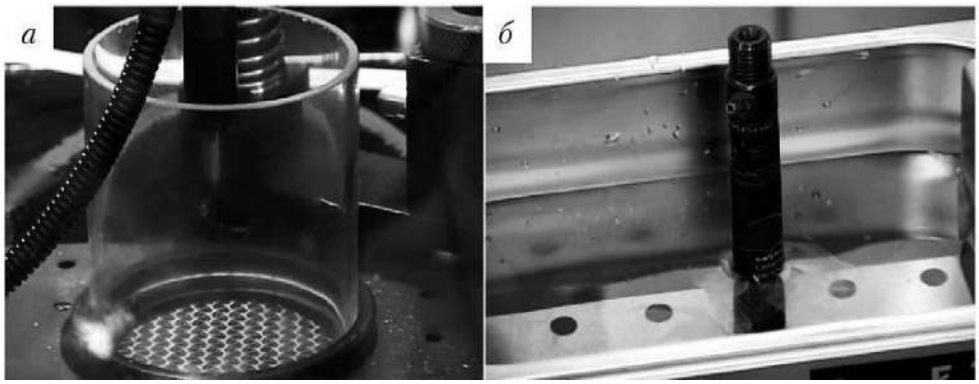


Рисунок 6.19 – Внешний вид определения качества распыления (*а*) и ультразвуковой ванны (*б*)

При неисправности форсунки на стенде можно произвести разборку, осмотр и замену отдельных деталей, если это разрешает изготовитель форсунок и имеются запасные детали изготовителя. Для разборки и осмотра применяются специальные ключи, приспособления и мерительный инструмент. После ремонта производится тестирование форсунки.

Кроме проверки гидравлических параметров в системах Common Rail производится проверка электрических параметров.

Импульс, подаваемый в нужный момент от блока управления двигателя к форсунке, запускает процесс впрыска. Продолжительность открытого состояния форсунки и системное давление определяются количеством впрыскиваемого топлива. Кроме того, топливо для каждого цикла горения может делиться на несколько порций (рисунок 6.20).

Сравнивая осциллограммы, полученные при работе двигателя, с эталонными, определяют неисправности впрыска топлива.

Электроклапаны проверяют на наличие обрывов и сопротивление обмоток, датчики системы – на выдаваемое напряжение.

Попадание загрязнений в систему приводит к ее повреждению, поэтому предъявляются особые требования к чистоте и технологии ТО и ремонта.

Заглушки в системах Common Rail одноразовые и повторное их использование не допускается. Для очистки используются специальные одноразовые салфетки; запрещено применять ветошь или обычную бумагу, так как они оставляют волокна, загрязняющие топливную систему.

Любой снятый элемент систем впрыска после установки заглушек отверстия должен храниться в герметичном пластиковом пакете.

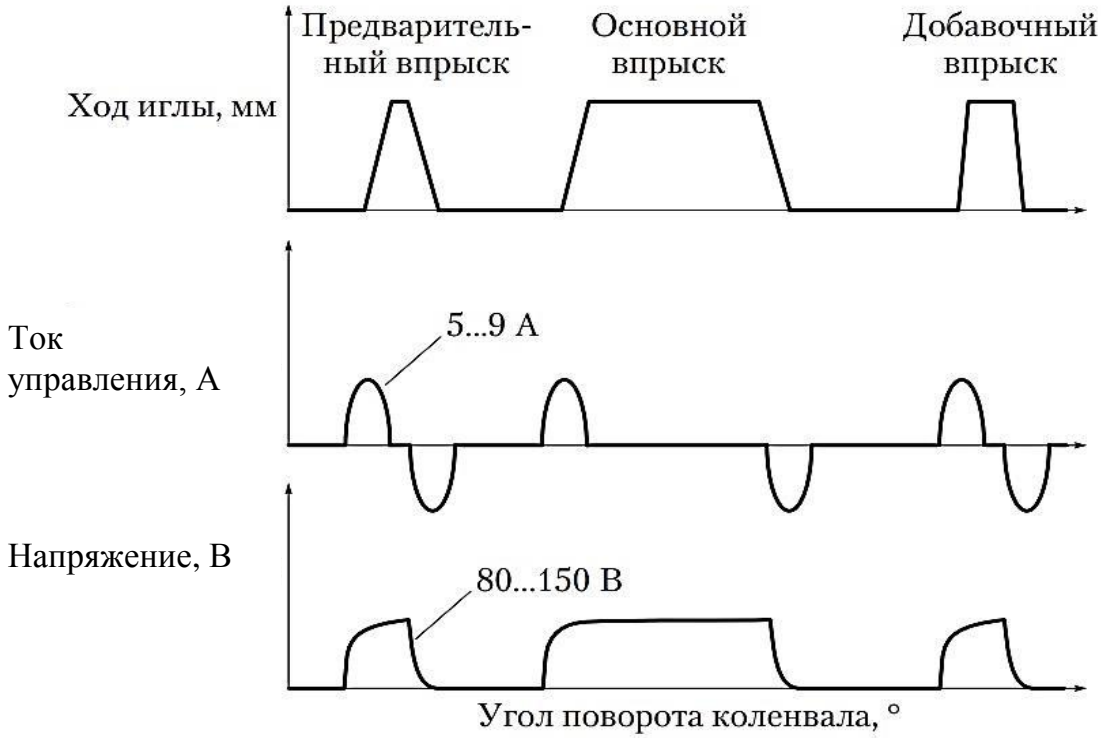


Рисунок 6.20 – Осциллограммы впрыска системы Common Rail

Перед любым вмешательством в топливную систему необходимо выполнять следующие рекомендации:

– после остановки двигателя необходимо выждать не менее 30 с, прежде чем выполнять любые действия на элементах топливной системы, чтобы обеспечить снижение давления до атмосферного;

– перед ослаблением соединений элементов топливной системы, работающей под высоким давлением, или перед снятием топливной форсунки с помощью соответствующего растворителя (например, Sodimac) тщательно очищают область предполагаемой работы. Растворитель наносят кисточкой на уровне соединений трубопроводов, на форсунки на уровне их зажимов, при этом использовать сжатый воздух нельзя;

– сразу же после отсоединения топливопровода обязательно заглушают отверстия, через которые могут попасть загрязнения;

– при каждом снятии трубопровода возврата топлива от топливных форсунок его необходимо заменять новым;

– запрещается повторное использование уплотнения форсунок;

– запрещено разбирать топливный насос высокого давления и форсунки;

– для очистки форсунок нельзя применять металлические щетки, наждачную бумагу, ультразвуковую очистку;

– для очистки распылителя форсунки используют обезжириватель и протирают его чистой салфеткой.

Вопросы к разделу

1. Перечислите наиболее часто встречающиеся отклонения в работе дизельных двигателей, указывающие на неисправность.
2. Назовите три основных метода диагностирования дизельных двигателей.
3. Что называется скважностью?
4. Перечислите неисправности при недостаточном давлении топлива.
5. Каковы возможные причины снижения давления топлива?
6. Из каких трех подсистем состоят насосы-форсунки?
7. Перечислите методы установки угла опережения впрыска.
8. Что можно проверить с помощью стенда Bosch EPS 708?
9. Тестирование форсунок производится по специальной программе и включает следующие основные тесты по определению…….

7 МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

7.1 Обоснование выбора средств диагностирования

Наиболее нагруженным в процессе эксплуатации автомобиля является силовой агрегат, в большинстве случаев это двигатель внутреннего сгорания (ДВС). При эксплуатации со временем происходит изменение регулировочных параметров, возникают неисправности, которые сопровождаются уменьшением мощности и увеличением расхода топлива. Основной причиной возникновения неисправностей деталей ДВС является износ, вследствие чего изменяется их геометрия, увеличиваются зазоры между парами трения. На увеличение износа влияет множество факторов: стиль вождения, условия эксплуатации, несвоевременное или неквалифицированное обслуживание, низкое качество горюче-смазочных материалов, работа с детонацией, калильным зажиганием, неисправными системами смазки и охлаждения и прочие причины. Как следствие, растут эксплуатационные затраты и появляются проблемы в работе. Эксплуатация изношенного двигателя приведет к его повреждению, а ремонт двигателя, получившего повреждения, требует больших капитальных вложений. В большинстве случаев изменения характеристик дизельного двигателя вызывается неисправностью топливной аппаратуры, на которую приходится 40–50% всех отказов, возникающих в дизельном двигателе. Для выявления неисправностей необходимо проведение диагностических работ.

При проведении диагностических работ важно выявление всех возможных причин неисправностей, такой подход позволит сократить время и издержки и избежать ошибок.

Существует множество методов и способов безразборной диагностики ДВС.

1. Тепловой контроль – основан на измерении, мониторинге и анализе температуры контролируемых объектов. Процесс передачи тепловой энергии, выделение и поглощения тепла в объекте приводит к тому, что его температура изменяется относительно окружающей среды. Распределение температуры по поверхности объекта является основным параметром в тепловом методе, так как несет информацию о процессе теплопередачи, его внутренней структуре и наличии скрытых внутренних дефектов. Для получения детальных теплограмм работающих агрегатов применяются мобильные тепловизионные камеры.

2. Компьютерное диагностирование – подключение к электронному блоку управления внешнего компьютера (мотор-тестер и сканер). С его помощью считываются коды ошибок, значения сигналов с различных датчиков и процессора управления.

3. Анализ состава и количества отработанных газов – позволяет сделать заключение о характере и условиях протекания процесса сгорания, а

по значению коэффициента избытка воздуха оценить максимально допустимый износ деталей цилиндропоршневой группы.

4. Техническое эндоскопирование – проверка технического состояния узлов и деталей, имеющих трудный доступ к ним (например, в камеру сгорания через отверстия свечей зажигания).

5. Замер компрессии – предназначен для измерения и контроля компрессии в цилиндрах бензиновых двигателей внутреннего сгорания легковых машин, грузовиков и мотоциклов. Измерения проводятся на прогретом двигателе, через отверстия для свечей зажигания.

6. Анализ химических элементов – определение содержания химических элементов в различных веществах, находящихся в твердом, порошкообразном или растворенном состояниях, а также нанесенных на поверхности и осажденных на фильтры.

7. Виброакустический – фиксирование и соответствующая обработка параметров вибрации, возникающих при работе контрольной группы.

8. Методы технического диагностирования, не требующие разборки двигателя, зарекомендовали себя как универсальные и оперативные, позволяющие комплексно оценить состояние ДВС.

Большинство рассмотренных методов имеют малую информативность, по некоторым параметрам сложно установить точную причину неисправности. Относительное многообразие методов объясняется тем, что ни один из них не позволяет учесть все требования, предъявляемые к формированию диагноза со 100% достоверностью, поскольку они несут специфическую информацию разной ценности. Ни один из методов не позволяет оценить состояние двигателя с достаточной степенью детализации. С помощью сочетания ряда методов можно осуществить более глубокий контроль, однако зачастую для этого требуются специальные условия.

Для разработки нового метода диагностирования на основании оценки информативности и экономической выгоды, наиболее подходящим сочетанием являются методы компьютерной диагностики и анализа состава и количества отработанных газов.

7.2 Компьютерная диагностика электронного блока управления двигателем

Современные подходы к диагностированию системы питания в первую очередь включают компьютерную диагностику блока управления двигателя.

Компьютерная диагностика двигателя – современный способ проверки узлов и элементов, взаимодействующих с электронной системой управления двигателем (ЭСУД). Нередко неисправности одного механизма непосредственно влияют на функционирование другого. Подобные ошибки фиксируются во время анализа, что позволяет точно и оперативно локализовать неполадки.

Примером приборов, используемых для компьютерной диагностики являются сканеры и мотор-тестеры.

Различают три типа сканеров:

1. Дилерский сканер (рисунок 7.1 *а*).

Профессиональный прибор, рассчитанный на техническое обслуживание определенной марки автомобиля и родственных с ней. Выпускается непосредственно производителями марки или по их заказу. Имеет оригинальное программное обеспечение. Как правило, применяется в дилерских сервисных центрах. Отличается абсолютной точностью сканирования. Обладает широким функционалом: вплоть до возможности перепрошивки бортового компьютера. Преимущество сканера в том, что он не просто выдаёт код ошибки, но и дает подробную расшифровку поломки. Точно определяет причины неисправности и предоставляет возможные варианты решения. Определяет локацию неисправности. Корректирует программное обеспечение бортового компьютера. Узкая специализация и многофункциональность предполагают высокую стоимость подобных приборов. Диагностику автомобиля с помощью дилерского сканера лучше доверить профессионалам, поскольку неверная настройка и неправильное применение сканера может привести к серьезным сбоям во всей электронной системе автомобиля;

2. Портативный сканер (рисунок 7.1 *б*).

Универсальный и компактный прибор. Выдает код ошибки и указывает место поломки. Имеет небольшие габариты и приемлемую стоимость. Подходит для индивидуального использования и в небольших автомастерских;

3. Мультимарочный сканер (рисунок 7.1 *в*).

В отличие от дилерского сканера имеет более скромный набор диагностических возможностей. Основное достоинство этого прибора – универсальность. Способен диагностировать практически все современные марки автомобилей. Обладает большим набором функций. Некоторые модели позволяют сделать безопасную настройку бортового компьютера. Прост в использовании и недорогой, поэтому популярен среди полупрофессионалов и обычных автолюбителей.



а *б* *в*

а – дилерский сканер концерна VAG; *б* – портативный сканер;
в – мультимарочный сканер
Рисунок 7.1 – Внешний вид сканеров

Мультимарочные сканеры имеют явное преимущество за счёт их универсальности и достаточной информативности.

Процесс диагностики происходит следующим образом:

– К бортовой системе автомобиля через диагностический разъем OBD2 подключается диагностический прибор (сканер).

– Далее сканер считывает полную информацию об автомобиле и коды ошибок. Текущие данные отображаются на одноканальном мультиметре.

– Затем показатели транслируются на внешний компьютер. Компьютерная программа расшифровывает полученные коды и выдает подробный отчет о реальном состоянии всех электронных систем транспортного средства.

Весь процесс компьютерной диагностики занимает от 10 минут до 2 часов.

Это сравнительно быстрый и достаточно эффективный способ определения неисправностей. На данный момент существует большое количество мультимарочных диагностических сканеров, в нашем случае оптимальным является Launch EasyDiag 3.0 (рисунок 7.2). Преимущества данного сканера: многофункциональный интерфейс, связь с ПК посредством Bluetooth, возможность диагностирования большого количества моделей автомобилей.



Рисунок 7.2 – Launch EasyDiag 3.0

Возможности компьютерной диагностики позволяют оценить общее техническое состояние двигателя, проверить все блоки управления, отдельные узлы и агрегаты. Такой сканер выполняет многоступенчатое обследование агрегата, проверяя по очереди работу топливной системы, а затем и управляющей.

В ходе диагностической процедуры обязательно выполняются приведенные далее действия:

– анализ функционирования форсунок (их электрической части);

– снятие показаний со всех имеющихся датчиков температуры;

– установление показателей компрессии в блоке двигателя (в цилиндрах); замер величин вакуумных преобразователей.

Сканер оперативно способен обнаружить большинство скрытых изъянов, не прибегая к разборке двигателя и его агрегатов, что является явным преимуществом данного типа диагностики.

Однако зачастую компьютерной диагностики недостаточно для локализации и точного определения неисправности. Так же сложной задачей в диагностировании дизельных двигателей является определение узла, в котором произошла поломка. На многих транспортных средствах отсутствует единая система электронного управления двигателем (ЭСУД), следовательно, специалисты обращают внимание на признаки различных поломок, проводят множество сложных операций по диагностике. Во время подобных процедур часто снимают навесное оборудование, частично разбирают мотор автомобиля.

В связи с этим фактором подтвердить и уточнить показания сканера можно при помощи анализа отработавших газов автомобиля при помощи газоанализатора.

7.3 Поиск неисправностей с помощью анализа отработавших газов

Очередным способом безразборного диагностирования дизельных двигателей является анализ отработавших газов с помощью газоанализатора.

У исправного дизельного двигателя выхлоп должен быть прозрачным. Если дизельный двигатель дымит, это говорит о нарушениях в работе или неисправности одной или нескольких систем двигателя. В зависимости от их происхождения появляется дым или пар из-под капота того или иного цвета.

На практике обычно встречается дым трех основных цветов:

– серый или черный дым – свидетельствует о неполном сгорании топлива;

– голубовато-синий или сизый цвет выхлопа – указывает на угар смазочного масла и некоторые другие причины;

– белые пушистые облака – попадание охладителя в камеры сгорания.

Кратковременный белый дым после запуска двигателя не является признаком неисправности двигателя. В этом случае происходит испарение конденсата, образовавшегося в глушителе при стоянке автомобиля. То есть это не дым, а пар.

В таблице 7.1 приведены некоторые цифры, регламентирующие максимальное содержание вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу, а также указываются и возможные неисправности в системах дизельного двигателя.

Анализ отработавших газов должен проводиться при помощи газоанализаторов, которые определяют концентрации оксида углерода (CO), диоксида углерода (CO_2), углеводородов (CxHy), кислорода (O_2), оксидов азота (NOx), азота (N_2).

Общее назначение газоанализаторов – измерение и анализ газовых смесей для определения их количественного и качественного (объёмного и процентного) состава.

Таблица 7.1 – Таблица дымности

Химический элемент	Норма для дизельного двигателя	Причина несоответствия норме
Азот (N2)	76 - 78%	Обеднённый состав топливной смеси, перегрев двигателя
Кислород (O2)	0,5% макс.	Негерметичность выпускного коллектора
Оксид углерода (CO)	0,01 - 0,5%	Засорение фильтров, завышенное давление топлива в системе питания, переобогащенная смесь
Углекислый газ (CO2)	1,0 - 10%	Засорение фильтров, превышение давления топлива, переобогащенная смесь
Углеводороды (CxHy)	50 ppm макс.	Пропуски воспламенения (неисправность свечей накаливания), богатая смесь

В частности, газоанализатор используется при измерении количества вредных выбросов в выхлопных газах ДВС, работающих на дизельном топливе. Для измерения необходимых показателей хорошо подходит переносной газоанализатор Инфракар Д, представленный на рисунке 7.3.



Рисунок 7.3 – Газоанализатор

Поиск неисправности с газоанализатора типа «Инфракар», как и просмотр памяти неисправностей, хорошо подходят для предварительного определения дефектов, так как в течение короткого времени дают направление для дальнейших проверок. Современные газоанализаторы высокого класса, кроме надёжности и удобства в работе, имеют множество дополнительных функций. Они могут измерять частоту вращения коленчатого вала двигателя, температуру масла, а также запоминать промежуточные протоколы измерений и передавать результаты на персональный компьютер или печатать их на встроенном принтере. А связь с ПК имеет для нас большое значение, так как это позволит одновременно обработать данные с диагностического сканера и с газоанализатора, что позволит гораздо более удобно сравнить и проанализировать полученные данные.

По сравнению с памятью неисправностей поиск с газоанализатором имеет преимущество в том, что позволяет оценивать конечный продукт процесса сгорания и, таким образом, показывает результат как механических дефектов, так и неисправностей в системе топливоподачи.

7.4 Диагностирование неисправностей с использованием датчиков давления

Для диагностирования системы питания измеряют давление в контурах низкого и высокого давления топлива для того, чтобы проверить, достаточное ли давление топлива создаётся перед топливным насосом высокого давления, а также проверить давление в топливной рампе. Для измерений обычно используются механические тестеры топливной системы, пример такого тестера показан на рисунке 7.4.

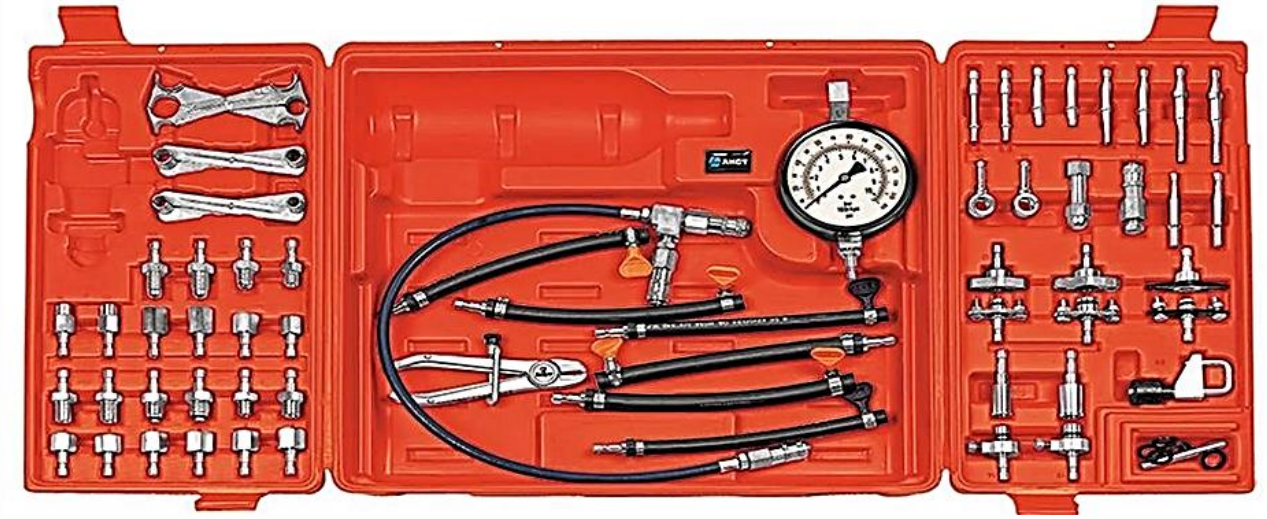


Рисунок 7.4 – Тестер топливной системы

Однако в нашем случае более удобным является использование электронных тензометрических датчиков (рисунок 7.5). Такие же штатные датчики устанавливаются на топливной рампе и порой в контуре низкого давления топлива.



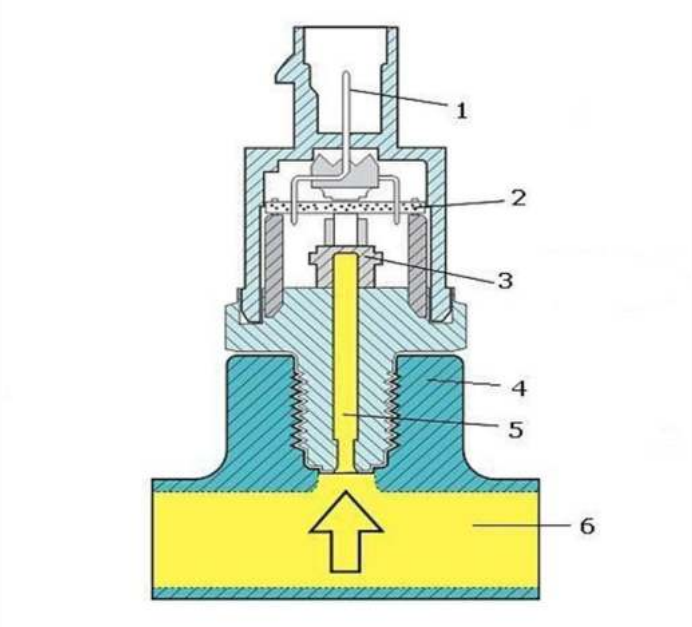
Рисунок 7.5 – Тензометрический датчик давления

Тензометрические датчики обладают достаточной точностью измерений, а при комплексной диагностике двигателя их использование позволяет сопоставить полученные данные с другими тестерами, так как данные получаем в электронном виде. Таким образом можно сравнить показания, полученные со штатных датчиков, снятые с помощью компьютерной диагностики, и показания с диагностических датчиков.

Необходимо это из-за того, что ввиду больших пробегов или жёстких условий эксплуатации штатные датчики давления могут выходить из строя и выдавать некорректные показания или вовсе отказать.

Конструктивную основу датчика составляет сенсорный элемент, объединяющий стальную мембрану и тензорезисторы.

Схема конструкции датчика показана на рисунке 7.5. Толщина стальной мембраны соответствует измеряемому давлению (чем толще мембрана, тем больше давление).



1 – электрический разъем; 2 – электронная схема; 3 – сенсорный элемент; 4 – топливная рампа; 5 – штуцер; 6 – топливо

Рисунок 7.6 – Схема датчика давления

Тензорезисторы преобразуют деформацию стальной мембраны в изменение электрического сопротивления. Тензорезисторы соединены по мостовой схеме и к ним через усилитель подается напряжение.

Работа датчика давления топлива осуществляется следующим образом. Через штуцер топливо попадает к стальной мембране, которая прогибается пропорционально величине давления. Соответственно изменяется величина сопротивления тензорезисторов. Так как давление в контуре низкого и высокого давления сильно отличается, необходимы датчики с предельным давлением до 7 бар для контура низкого давления и до 2000 бар для контура высокого давления.

Устанавливаются датчики в топливопровод посредством переходников в зависимости от марки и модели автомобиля.

7.5 Обоснование разработки способа диагностирования

Современные подходы к диагностированию информативны и точны, однако весьма трудоёмкие и требовательные к высокому уровню квалификации мастера, к тому же ни один из имеющихся методов диагностирования не позволяет получить полную картину параметров работы двигателя.

Предлагается метод диагностирования, согласно которому единовременно мы можем получить более обширный спектр параметров работы двигателя. Достигнуть этого можно, сняв данные с разных узлов автомобиля.

Показания необходимо снять со следующих узлов:

– блок управления двигателем;

– анализ отработавших газов;

– давление в контуре низкого давления;

– давление в контуре высокого давления.

Все снятые параметры будут выводиться на экран компьютера, где появляется возможность сравнить данные с блока управления двигателем с накладных датчиков, так как у датчиков автомобиля есть вероятность выхода из строя вследствие длительного времени эксплуатации. Также в отдельной командной строке будут отображаться возможные неисправности, предлагаемые программой на основе сравнения полученных данных с эталонными для данного автомобиля и проанализированы по таблицам, созданным многолетним опытом.

Таким образом, данный подход позволяет без снятия и разбора двигателя и его узлов обнаружить неисправности в системе питания автомобиля. Программное обеспечение, анализируя данные, позволяет привлекать к работе менее квалифицированный персонал для получения предварительных результатов диагностирования. За счёт наличия большего количества измеряемых параметров можно делать выводы о работе практически всех узлов системы питания – от подкачивающего насоса до форсунок и топливного насоса высокого давления, а также о работе многих датчиков. Анализ отработавших газов позволяет многое определить как о функционировании системы питания, так и о работе всего двигателя.

Вопросы к разделу

1. Какие существуют методы и способы безразборной диагностики ДВС?

2. Перечислите три типа сканеров.

3. Какие действия выполняются обязательно в ходе диагностической процедуры?

4. На практике обычно встречается дым трех основных цветов. Дайте им характеристики.

5. При каком методе диагностирования можно получить более обширный спектр параметров работы двигателя?

8 РАЗРАБОТКА СПОСОБА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПИТАНИЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

8.1 Методика диагностирования

Современный подход к диагностированию двигателя и в частности систем питания подразумевает компьютерную диагностику блока управления автомобиля.

1. Используя диагностический сканер Launch EasyDiag3.0, отключаем его через диагностический разъём OBD2. Запускаем двигатель и анализируем полученные параметры работы двигателя, в некоторых случаях сканер автоматически указывает на неисправность и описывает способы устранения.

Однако зачастую данных, полученных с помощью компьютерной диагностики, недостаточно для того, чтобы точно установить неисправность. Или же вовсе сканер не видит неполадок, несмотря на то, что двигатель работает некорректно или не запускается. В таких случаях необходим более комплексный подход к диагностированию.

2. Для получения дополнительной информации подключаем к автомобилю газоанализатор Инфракар Д.

Подключение производится следующим образом:

– К гнезду на задней панели подключить кабель с датчиком тахометра.

– Установить зонд газозаборный прибора в выхлопную трубу автомобиля до упора и зафиксировать его зажимом.

– Нажать и удерживать кнопку «0» в течение 2 секунд. Запустится процедура автоподстройки нуля. Подстройка нулей производится перед каждым измерением. После подстройки нулей прибор переходит в режим измерения.

Также необходимо подключить прибор Инфракар к персональному компьютеру для дополнительного анализа полученных данных коэффициента поглощения.

3. После этого подключаем датчики давления к контуру низкого и высокого давления. Показания датчиков также поступают в персональный компьютер.

После всех вышеперечисленных действий запускаем двигатель и начинаем полную диагностику. На экране персонального компьютера будут отображаться показания со сканера Launch.

Газоанализатор позволяет измерить коэффициент поглощения K, значение которого приведено на табличке под капотом или имеется в свободном доступе для каждой модели автомобиля, далее программа делает сравнение полученных показаний с допустимыми и, основываясь на созданных таблицах для поиска неисправностей, выдаст предварительные причины неисправности (таблица 8.1).

Показания датчиков давления топлива также поступают на персональный компьютер и отображаются на экране. И, как и в случае с газоанализатором, производится сравнение с допустимыми значениями.

Таблица 8.1 – Поиск неисправностей по измерениям дымности ОГ:
«н» – *нормальная величина*; «+» – *высокое значение*; «-» – *низкое значение*

Мощность двигателя	Величина дымности при свободном ускорении			Возможная причина
	холостой ход	полная нагрузка	обороты регулятора	
+	н	+	н	Тюнинг, слишком большая подача на полной нагрузке и частота вращения регулятора
–	н	–	н	Слишком низкие величина подачи и давление наддува, блок управления в аварийном режиме, неисправен измеритель расхода воздуха
н(–)	н	+	н	Неисправность в системе рециркуляции, загрязнён воздушный фильтр, неисправен турбокомпрессор
–	н	+	н	Экстремально раннее начало подачи, жёсткий шум сгорания
–	+	+	н	Слишком позднее начало подачи
–	н	н(+)	+	Неисправный механизм опережения впрыска
–	+	+	+	Дефектный распылитель, звук процесса
–	+	+	+	Заправка не тем топливом
н	+	+	+	Перерасход масла (голубой дым). Неисправность двигателя или турбокомпрессора

Наглядная схема работы данного средства диагностирования изображена на рисунке 8.1.

Данный метод позволяет сократить время необходимое для диагностирования, а также даёт возможность проводить диагностику менее квалифицированному специалисту. К тому же значительно легче локализовать неисправность.



Рисунок 8.1 – Схема работы средства диагностирования

8.2 Описание процесса диагностирования

В первую очередь необходимо провести компьютерную диагностику, так как её проведение занимает меньше затрат времени и позволяет получить достаточно информации для предварительной оценки состояния двигателя. Диагностируемый автомобиль 2.5d 2010 года выпуска.

Для проведения диагностики подключаем сканер Launch EasyDiag 3.0 через диагностический разъём OBD2 (рисунок 8.2). Показания сканера будут поступать на персональный компьютер. Включаем зажигание, в таком режиме можно прочитать коды Mazda BT-50 неисправностей, если они есть. Если коды неисправностей отсутствуют, запускаем двигатель и анализируем основные параметры системы питания. На рисунках 8.3 мы наблюдаем нормальную работы системы питания автомобиля Mazda BT-50.

При таких полученных данных, если не имеется никаких признаков неисправности, в применении дополнительных средств диагностики нет необходимости. На рисунке 8.4 показаны параметры работы автомобиля с неисправностью электрической части форсунки.

В данном случае из графиков мы видим, что двигатель работает не равномерно, «плавают» обороты двигателя. Остальные показатели практически не изменились. Однако в данном автомобиле сканер зафиксировал код ошибки P0093 – неисправность двигателя. Описание данной ошибки сообщает о неисправности четвёртой форсунки.



Рисунок 8.2 – Подключение сканера Launch EasyDiag 3.0 через диагностический разъём OBD2

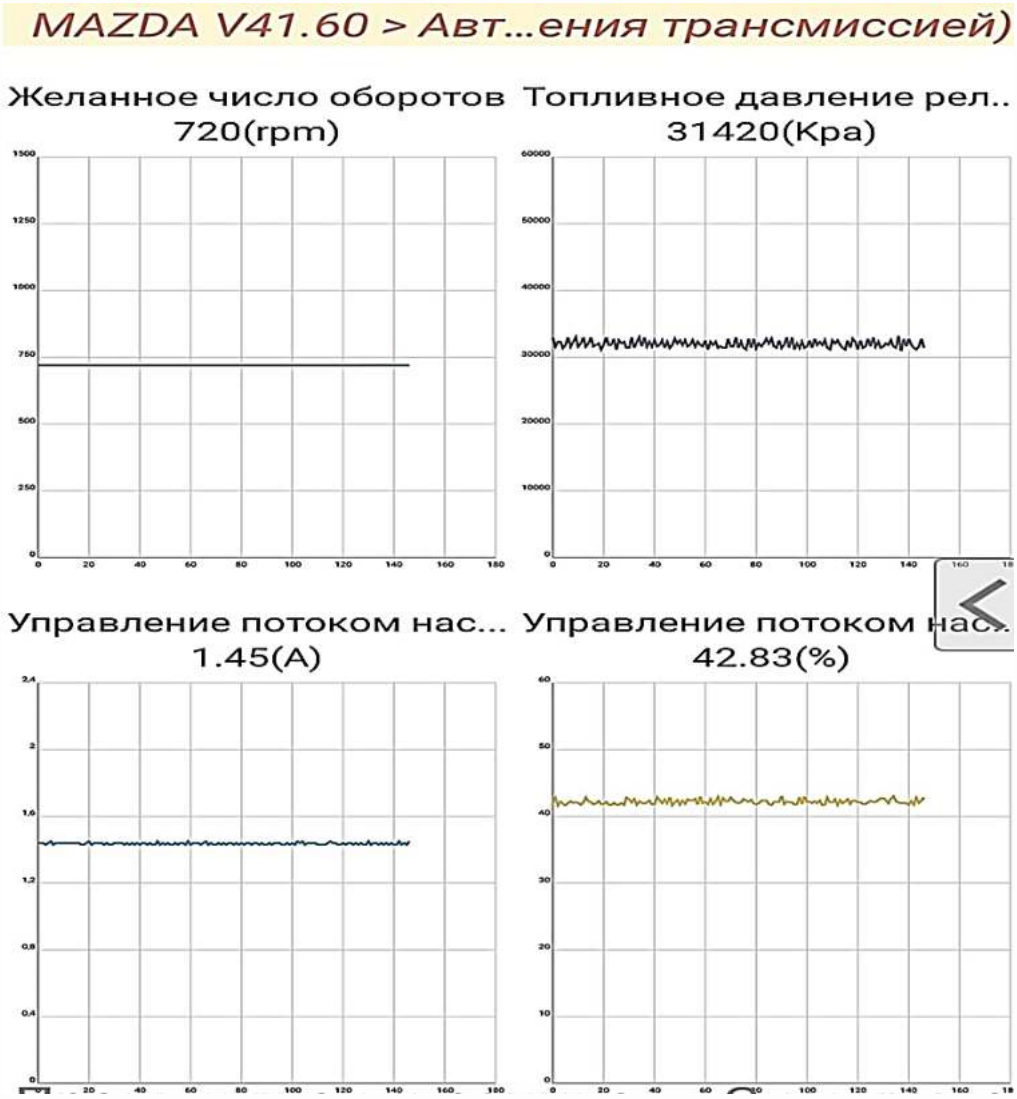


Рисунок 8.3 – Основные показатели параметров системы питания исправно работающего двигателя

То есть в данном примере компьютерной диагностики достаточно, чтобы обнаружить неисправность. Но так происходит не всегда, это видно на примере следующего диагностируемого автомобиля Nissan X-Trail 2.2d 2003 года выпуска.

Проводим ту же процедуру подключения диагностического сканера. Запускаем двигатель и снимаем показания на холостых оборотах двигателя (рисунок 8.5).

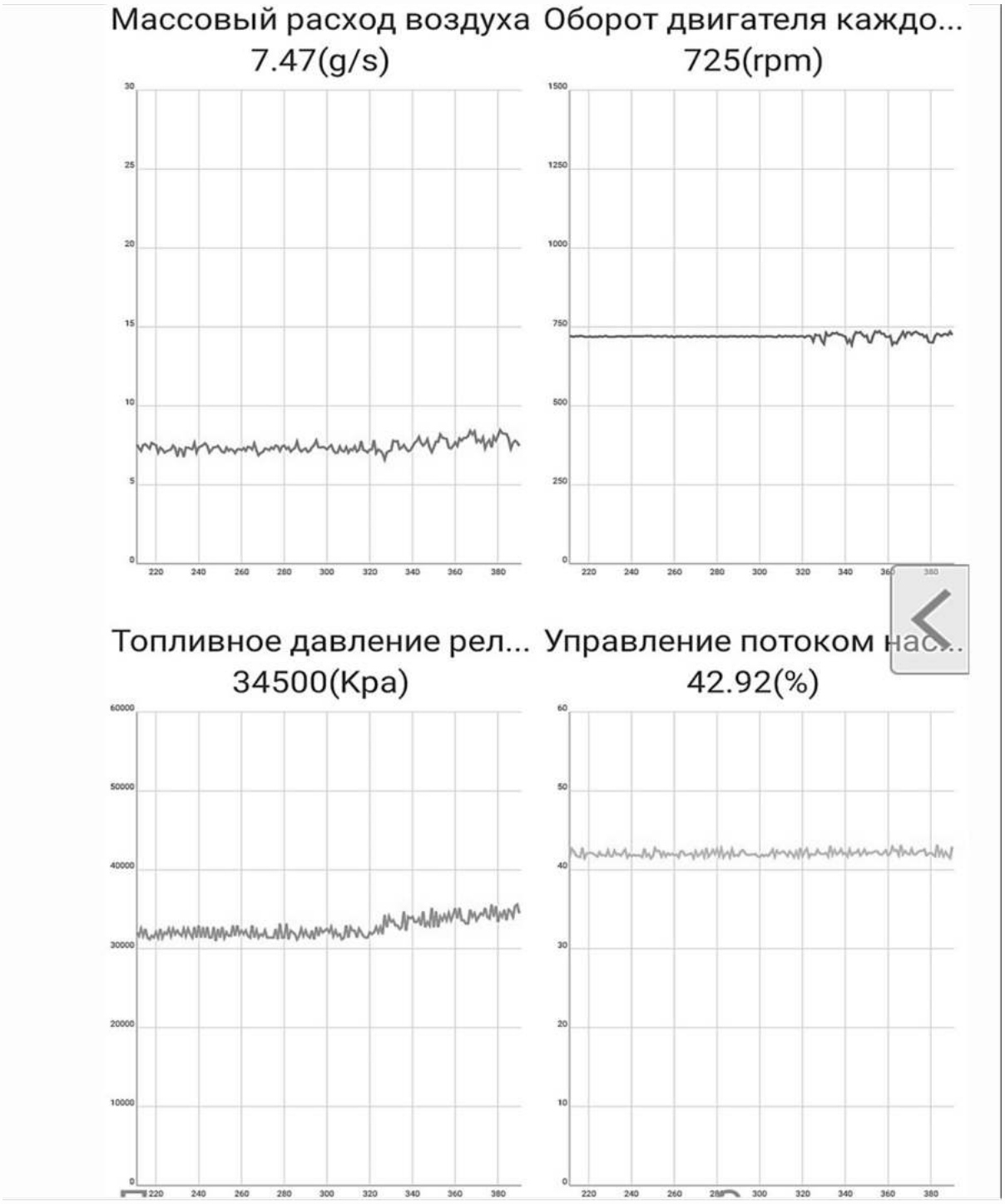


Рисунок 8.4 – Основные показатели параметров системы питания двигателя с неисправностью

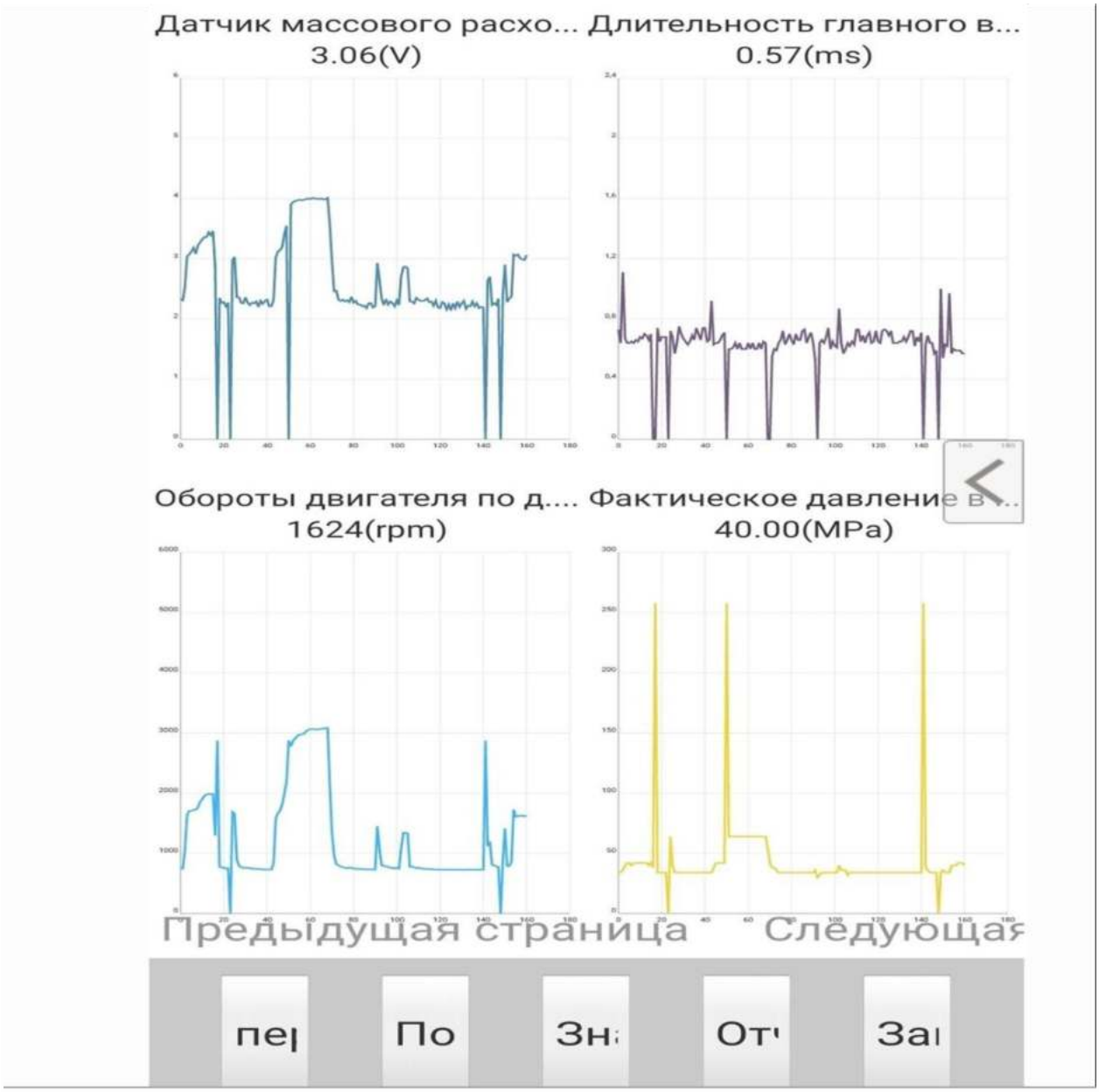


Рисунок 8.5 – Основные показатели параметров системы питания двигателя на холостых оборотах

Как видим из графиков, показания абсолютно некорректны и сделать выводы о неисправности не представляется возможным. При этом на холостом ходу двигатель работает нормально, но под нагрузкой отсутствует мощность. Это один из случаев, когда необходимы дополнительные средства диагностики.

Поэтому следующим шагом будет подключение датчиков давления в контур низкого давления с помощью переходников с быстросъёмными соединениями перед топливным фильтром в контур высокого давления с помощью тройника на четвёртую форсунку. После этого подключаем газоанализатор Инфракар Д, способ подключения описан выше. Затем запускаем двигатель и снова делаем замеры сначала на холостом ходу, затем при сво-

бодном ускорении. Максимально допустимое значение дымности изображено на табличке под капотом (рисунок 8.6).

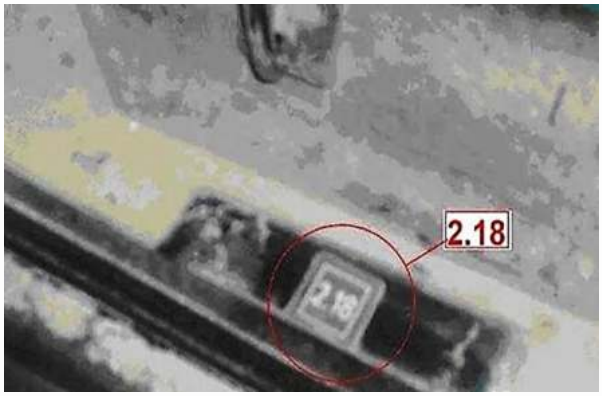


Рисунок 8.6 – Табличка допустимого значения дымности

Проведя замеры показаний дымности и давления (рисунок 8.7), делаем вывод, что по давлению оба показателя в норме, а по отработавшим газам на холостом ходу параметры очень хорошие, но при свободном ускорении газоанализатор зашкаливает. Визуально дым не виден, но он есть и превышает все допустимые пределы.



Рисунок 8.7 – Показания газоанализатора

Предварительным диагнозом, исходя из данных показаний, является падение динамики, вызванное несгоранием смеси при перегазовке.

Варианты неисправностей:

1) плохой распыл. Неисправность распылителей форсунок. В нашем случае не подходит, так как подтекание, закоксованность распылителей и износ плунжера будет вызывать повышенную дымность также на холостом ходу, а этого мы не наблюдаем;

2) увеличенная цикловая подача также не подходит, при увеличении цикловой подачи мощность повышается, а у автомобиля наблюдается снижение мощности;

3) уменьшенная подача воздуха. Увеличение дымности при падении мощности. Это наиболее подходящий вариант.

Сравнительный анализ, полученный программой, указывает на следующие неисправности:

– неисправность в системе рециркуляции;

– загрязнён воздушный фильтр;

– неисправен расходомер воздуха.

Проверку начинаем с осмотра воздушного фильтра. Внешний осмотр ничего не выявил. Однако визуальный осмотр показал, что загрязнён MAF sensor (рисунок 8.8), он контролирует расход воздуха и, сравнивая эти показания с APS (датчик положения педали газа), через ЭБУ управляет дросселем.

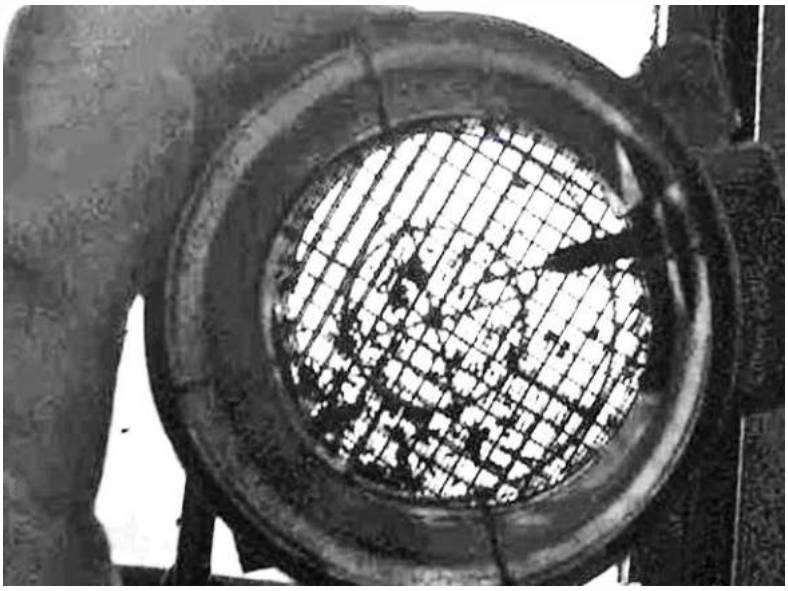


Рисунок 8.8 – Загрязнённый MAF sensor ниточного типа

После чистки MAF sensora снова производим замер параметров. Теперь из графика видно, что показания дымности при максимальном ускорении находятся в пределах допуска (рисунок 8.9).

Результат диагностики: выявление загрязнения MAF sensora, вследствие чего наблюдалась недостаточная подача воздуха в цилиндры.

Таким образом, используя данный метод диагностирования, можно достаточно оперативно обнаружить неисправности, дополняя средства диагностики. В примерах описана лишь малая часть потенциала данного метода, так как существует достаточно большое количество разновидностей исполнения системы питания и топливной аппаратуры, в частности.

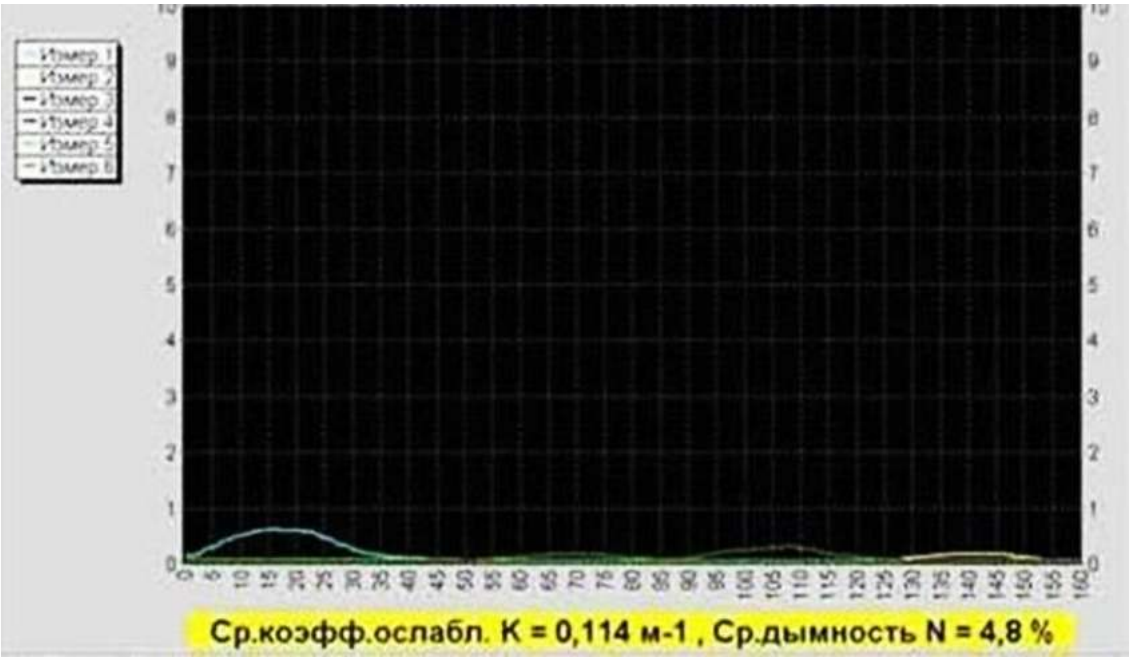


Рисунок 8.9 – График дымности при максимальном ускорении

Вопросы к разделу

1. Современный подход к диагностированию двигателя и в частности систем питания подразумевает компьютерною диагностику блока управления автомобиля. Как это осуществляется?

2. Варианты неисправностей – падение динамики, вызванное несгоранием смеси при перегазовке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зубрицкас И.И. Техническая эксплуатация ТИТТМО (электронный учебник) / И.И. Зубрицкас // Научное обозрение. Реферативный журнал. – 2016. – № 5. – С. 121–123; https://www.autostat.ru/news/56920/

2. Комов П.Б. Современные проблемы и направления развития организации технической эксплуатации автомобильного транспорта: учебное пособие для студентов направления подготовки 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» / П.Б. Комов, А.Б. Комов, Б.В. Овчарук. – Макеевка: Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ЭБС АСВ, 2021. – 199 с.

3. Современные проблемы и направления развития конструкций автомобилей: учебное пособие / Е.В. Агеев, А.Н. Новиков, Е.В. Агеева, С.В. Хардиков. – Курск: Изд-во ЗАО «Университетская книга», 2017. – 400 с.

4. Агеев Е.В. Проблемы и перспективы развития технической эксплуатации автомобилей: монография / Е.В. Агеев, А.Л. Севостьянов, Ю.В. Родионов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 200 с. ISBN 978-5-9282-1043-4.

5. Сафиуллин Р.Н. Эксплуатация автомобилей: учебник для вузов / Р.Н. Сафиуллин, А.Г. Башкардин. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Юрайт, 2023. – 204 с.

6. Техническая эксплуатация: диагностирование и ремонт двигателей внутреннего сгорания: учебник с электронным приложением / А.В. Александров, С.В. Алексахин, И.А. Долгов и др.; МАДИ. – М., 2025. – 448 с.

7. Баширов Р.М. Автотракторные двигатели: конструкция, основы теории и расчета: учебник для вузов [Электронный ресурс] / Р.М. Баширов. – СПб.: Лань, 2017. – 336 с.

8. Вахламов В.К. Автомобиль: основы конструкции: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.К. Вахламов. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 528 с.

9. Ерохов В.И. Системы впрыска бензиновых двигателей: учебник для вузов [Электронный ресурс] / В.И. Ерохов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2011. – 704 с.

10. Ерохов В.И. Газобалонные автомобили: учебник для вузов [Электронный ресурс] / В.И. Ерохов. – М.: Горячая линия-Телеком, 2012. – 598 с.

11. Николаенко А.В. Теория, конструкция и расчет автотракторных двигателей / А.В. Николаенко. – М.: Колос, 1984. – 355 с.

12. Конструкция тракторов и автомобилей: учебное пособие [Электронный ресурс] / О.И. Поливаев, О.М. Костиков, А.В. Ворохобин, О.С. Ведринский; под общ. ред. проф. О.И. Поливаева. – СПб.: Лань, 2013. – 288 с.

13. Райков И.Я. Конструкция автомобильных и тракторных двигателей / И.Я. Райков, Г.Н. Рытвинский. – М.: Высшая школа, 1986.

14. Яковлев В.Ф. Современные зарядные и пусковые устройства для автомобилей: учебное пособие [Электронный ресурс] / В.Ф. Яковлев. – СПб.: Лань, 2014. – 176 с.

15. Конструирование двигателей внутреннего сгорания: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности "Двигатели внутреннего сгорания" направления подготовки "Энергомашиностроение" / Н.Д. Чайнов, Н.А. Иващенко, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков; под ред. Н.Д. Чайнова. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 2011. – 496 с., ил.

16. Автомобильные двигатели: учебник для студ. высш. учебных заведений / Под ред. М.Г. Шатрова. – М.: Изд. центр «Академия», 2010. – 464 с.

17. Галышев Ю.В. Системы ДВС. Системы и процессы топливоподачи: учеб. пособие. / Ю.В. Галышев, А.Б. Зайцев, А.Ю. Шабанов. – 2-е изд., доп. и перераб. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. – 279 с., ил.

18. Теория рабочих процессов и моделирование процессов в ДВС. Расчет рабочего цикла и газообмена в ДВС: учеб. пособие / Ю.В. Галышев, А.Б. Зайцев, А.И. Костин, А.Ю. Шабанов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2012. – 198 с.

19. Галышев Ю.В. Химмотология. Эксплуатационные материалы для двигателей внутреннего сгорания: учеб. пособие / Ю.В. Галышев, А.Б. Зайцев, А.Ю. Шабанов. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2009. – 296 с.

20. Двигатель ВАЗ-2111 с системой распределенного впрыска топлива. Руководство по техобслуживанию и ремонту. – М.: За рулем, 2000.

21. Казендорф Ю. Карбюраторы зарубежных автомобилей. Устройство, регулировка, ремонт: пер. с нем. / Под ред. к.т.н. А.С. Тюфякова. – М.: За рулем, 1999. – 192 с., ил.

22. Казедорф Ю. Системы впрыска зарубежных автомобилей. Устройство, регулировка, ремонт: пер. с нем. / Ю. Казедорф, Э. Войзетшлегер; под ред. к.т.н. А.С. Тюфякова. – М.: ЗАО КЖИ «За рулем», 2000. – 256 с., ил.

23. Кирсанов В.И. Теория карбюрации / В.И. Кирсанов; под ред. проф. В.И. Сороко-Новицкого. – М.: ОНТИ, 1935. – 244 с., ил.

24. Системы впрыска топлива K-Jetronic и KE-Jetronic. Автомобили фирм мира. Техническое обслуживание и ремонт. – М., 1995. – 93 с., ил.

25. Системы зажигания легковых автомобилей. Устройство, обслуживание и ремонт. – М.: За рулем, 1998. – 96 с., ил.

26. Системы управления бензиновыми двигателями; пер. с нем. Первое русское издание. – М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005. – 432 с.: ил.

27. Соснин Д.А. Автотроника. Электрооборудование и системы бортовой автоматики современных легковых автомобилей / Д.А. Соснин. – М., 2001. – 272 с., ил.

28. Спинов А.Р. Системы зажигания бензиновых двигателей / А.Р. Спинов. – М.: Машиностроение, 1995. – 48 с., ил.

29. Хрулев А.Э. Ремонт двигателей зарубежных автомобилей. Производственно-практическое издание / А.Э. Хрулев. – М.: За рулем, 2000. – 440 с., ил., табл.

30. Шабанов А.Ю. Свечи и мотор / А.Ю. Шабанов, М.В. Колодочкин // Научно-популярное изд-во. – М.: Изд-во ООО «Континент пресс», 2011. – 208 с., ил.

31. Иванов А.К. Диагностика двигателей. Лабораторный практикум на диагностическом комплексе FSA 740. [Электронный ресурс СПбПУ]: учеб. пособие / А.К. Иванов. – СПб., 2011. – 30 с., рег. № 2241.

32. Иванов А.К. Оценка влияния эксплуатационных факторов на эффективность работы нейтрализатора автомобильного бензинового двигателя / А.К. Иванов, Ю.В. Галышев // Двигателестроение. – 2018. – № 1. – С. 16–19.

33. Двигатели внутреннего сгорания: устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей: учебник / В.П. Алексеев, В.Ф. Воронин, Л.В. Грехов и др.; под. общ. ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. – М.: Машиностроение, 1990. – 288 с.

34. Кузнецов А.С. Устройство и работа двигателя внутреннего сгорания: учебное пособие / А.С. Кузнецов. – М.: Изд. Центр «Академия», 2011. – 80 с.

35. Техническая эксплуатация автомобилей / Е.С. Кузнецов, А.П. Болдин, В.М. Власов и др.; под общ. ред. Е.С. Кузнецова. – М.: Наука, 2001. – 535 с.

36. Гаврилов К.Л. Диагностика автомобилей при эксплуатации и техническом осмотре: учеб. пособие / К.Л. Гаврилов. – СПб.: ФГУ «Российский центр сельскохозяйственного консультирования», 2012. – 576 с.

37. Диагностирование автомобилей. Практикум: учеб. пособие / А.Н. Карташевич, В.А. Белоусов, А.А. Радушко и др.; под ред. А.Н. Карташевича. – Минск: Новое знание. – М.: ИНФРА-М, 2011. – 208 с.

38. Епифанов Л.И., Техническое обслуживание и ремонт автомобилей / Л.И. Епифанов, Е.А. Епифанова. – М.: ФОРУМ: Инфра-М, 2006. – 352 с.

39. Боровицкий В.И. Механическое оборудование: техническое обслуживание и ремонт автомобилей / В.И. Боровицкий. – Донецк: Юго-Восток, 2011. – 238 с.

40. Маслов Г.Г. Техническая эксплуатация МТП / Г.Г. Маслов, А.П. Карабаницкий, Е.А. Кочкин. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет, 2008. – 142 с.

41. Гребенников С.А. Способ диагностирования элементов механизма газораспределения автотракторных двигателей / С.А. Гребенников, М.Г. Петров, А.С. Гребенников // Известия Волгоградского государственного технического университета. – Волгоград: Изд-во ГОУ ВПО «Волгоградский государственный технический университет», 2011. – Т. 8. – № 3. – С. 24–27.

42. Кузнецов А.С. Техническое обслуживание и диагностика двигателя внутреннего сгорания: учеб. пособ. / А.С. Кузнецов. – М: Изд. Центр «Академия», 2011. – 80 с.

43. Хабардин В.Н. Повышение эффективности использования машинно-тракторного парка путем диагностирования на основе новых методов и средств / В.Е. Хабардин // Вестник ИрГСХА. – 2007. – № 29. – С. 98–113.

44. Бабошин А.А. Оценка технического состояния двигателей внутреннего сгорания по давлению во впускном и выпускном коллекторах / А.А. Бабошин, А.С. Косарев, В.С. Малышев // Вестник МГТУ. – 2013. – Т. 16. – № 1. – С. 23–32.

45. Пат. 2007146315/06 РФ. Способ диагностирования элементов газораспределительного механизма двигателей внутреннего сгорания и устройство для его осуществления / Мошкин Н.И., Лагерев А.В. № 2374613; 2009, Бюл. № 33.

46. Лагерев А.В. Метод дифференциального диагностирования газораспределительного механизма двигателей внутреннего сгорания автотранспортных средств сельскохозяйственного назначения: автореф. дисс. канд. техн. наук: 05.20.03 / А.В. Лагерев. – Улан-Удэ, 2009. – 20 с.

47. Шатров М.Г.: учеб. пособие / М.Г. Шатров, А.Л. Яковенко, Т.Ю. Кричевская. – М.: МАДИ, 2014. – 68 с.

48. Разумовский М.А. Прогнозирование шумовых характеристик поршневых двигателей / М.А. Разумовский. – Минск: Высшая школа, 1981. – 39 с.

49. Губертус Г. Диагностика дизельных двигателей / Гюнтер Губертус; пер. с нем. Ю.Г. Грудского. – М.: ЗАО «КЖИ «За рулем», 2004. – 186 с.

50. Автосервис МосНива [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http:// www.mosniva.ru. – Дата доступа: 20.05.2020.

51. Транспортный комплекс Республики Беларусь: Состояние и перспективы его развития [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://rcek.by/transportnyj-kompleks-respubliki-belarus-sostoyanie-i-perspektivy-egorazvitiya/. – Дата доступа: 20.05.2020.

52. Система питания дизельного двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://avtodvigateli.com/detali/sistema-pitaniya-dizelya.html. – Дата доступа: 21.05.2020.

53. Анализ известных способов диагностирования двигателей внутреннего сгорания [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://studref.com/541509/tehnika/analiz_izvestnyh_sposobov_diagnostirovaniya_dvigateley_vnutrennego_sgoraniya. – Дата доступа: 21.05.2020.

54. Основные неисправности дизельных двигателей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://kovsh.com/library/diesel_fuel_system/diesel_engine_troubles/osnov_neisprav_dizeln_dvigate. – Дата доступа: 21.05.2020.

55. Неисправности дизельного двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://dizelmaster.ru/stati/neispravnosti-dizelnogo-dvigatelja. – Дата доступа: 21.05.2020.

56. Дизельные форсунки: особенности конструкции [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://krutimotor.ru/ustrojstvo-forsunki-dizel/. – Дата доступа: 21.05.2020.

57. Система питания дизельного двигателя [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://avtodvigateli.com/detali/sistema-pitaniya-dizelya.html. – Дата доступа: 21.05.2020. 37. Устройство автомобиля [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ustroistvo-avtomobilya.ru/category/dizelnaya-toplivnaya-apparatura/. – Дата доступа: 21.05.2020.

Учебное издание

Н.В. Сергеев

Специальные главы технической эксплуатации двигателей автотранспортных средств

Учебное пособие

Редактор Н.П. Лучинкина
Верстка Н.В. Гвоздик
Художественный редактор С.П. Вдовикина

Подписано в печать 10.01.2025 г.
Формат 60×84/16. Усл. п. л. 12,0. Тираж 30 экз. Заказ № 2.

Отдел информационных технологий и издательской деятельности
Азово-Черноморского инженерного института
ФГБОУ ВО Донской ГАУ
347740, г. Зерноград Ростовской области, ул. Советская, 15.