

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Владимирский государственный университет
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых»

С. Г. ДРАГОМИРОВ А. М. ШАРАПОВ

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ДИАГНОСТИКА
АВТОМОБИЛЬНЫХ И ТРАКТОРНЫХ
ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Лабораторный практикум



Владимир 2021

УДК 621.4
ББК 31.36
Д72

Рецензенты:

Доктор технических наук, доцент
специалист по сертификации АО «Камешковский механический завод»
А. Р. Кульчицкий

Кандидат технических наук, профессор
профессор кафедры автомобильного транспорта
Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых
Ю. В. Баженов

Издается по решению редакционно-издательского совета ВлГУ

Драгомиров, С. Г. Стендовые испытания и диагностика
Д72 автомобильных и тракторных поршневых двигателей : лаб.
практикум / С. Г. Драгомиров, А. М. Шарапов ; Владим. гос.
ун-т им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ,
2021. – 219 с. – ISBN 978-5-9984-1417-6.

Содержит лабораторные работы по испытанию и диагностике двигателей.
Предназначен для студентов вузов, обучающихся по направлениям подго-
товки 13.03.03 – Энергетическое машиностроение и 13.03.02 – Электроэнергети-
ка и электротехника.

Рекомендовано для формирования профессиональных компетенций в со-
ответствии с ФГОС ВО.

Табл. 10. Ил. 102. Библиогр.: 21 назв.

УДК 621.4
ББК 31.36

ISBN 978-5-9984-1417-6

© ВлГУ, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 7

Введение 8

Общие правила выполнения лабораторных работ
и требования к оформлению отчетов 10

Правила техники безопасности при выполнении
лабораторных работ 11

Часть 1. ИСПЫТАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Основы испытания двигателей 13

**Лабораторные испытания автомобильных
бензиновых двигателей** 44

*Лабораторная работа № 1. Изучение оборудования,
измерительной аппаратуры и методик для испытания
поршневых двигателей* 44

*Лабораторная работа № 2. Нагрузочная характеристика
автомобильного бензинового двигателя* 46

*Лабораторная работа № 3. Скоростные характеристики
автомобильного бензинового двигателя* 50

<i>Лабораторная работа № 4. Характеристика холостого хода автомобильного бензинового двигателя.....</i>	54
<i>Лабораторная работа № 5. Определение характеристики зон регулирования состава топливовоздушной смеси с помощью λ-зонда у автомобильного бензинового двигателя</i>	58
Лабораторные испытания дизелей	63
<i>Лабораторная работа № 6. Нагрузочная характеристика дизеля.....</i>	63
<i>Лабораторная работа № 7. Скоростная характеристика дизеля.....</i>	67
<i>Лабораторная работа № 8. Характеристика дизеля по углу опережения впрыска топлива</i>	71
Специальные виды испытаний автомобильных и тракторных двигателей.....	77
<i>Лабораторная работа № 9. Определение механических потерь в двигателях</i>	77
<i>Лабораторная работа № 10. Исследование токсичности отработавших газов автомобильных и тракторных двигателей. Определение эффективности каталитического нейтрализатора.....</i>	84
<i>Лабораторная работа № 11. Индицирование двигателя. Определение основных параметров рабочего цикла по индикаторной диаграмме.....</i>	98

Часть 2. ДИАГНОСТИКА БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ И ДИЗЕЛЯ

Основы диагностики	102
Принципы и средства диагностирования двигателей с системами электронного управления	104
<i>Лабораторная работа № 1. Основные понятия и определения диагностики. Порядок проведения и принципы диагностирования двигателей</i>	<i>104</i>
<i>Лабораторная работа № 2. Изучение технических средств диагностирования двигателей с электронным управлением.....</i>	<i>112</i>
Диагностирование датчиков и исполнительных устройств	127
<i>Лабораторная работа № 3. Диагностирование расходомеров воздуха.....</i>	<i>127</i>
<i>Лабораторная работа № 4. Диагностирование датчиков концентрации кислорода (λ-зондов).....</i>	<i>140</i>
<i>Лабораторная работа № 5. Диагностирование датчиков частоты вращения коленчатого вала</i>	<i>152</i>
<i>Лабораторная работа № 6. Диагностирование датчиков положения распределительного вала</i>	<i>160</i>
<i>Лабораторная работа № 7. Диагностирование датчиков перемещения</i>	<i>169</i>

<i>Лабораторная работа № 8. Диагностирование датчиков температуры.....</i>	181
<i>Лабораторная работа № 9. Диагностирование электромагнитных форсунок для впрыска бензина</i>	192
Заключение.....	205
Список использованной литературы	205
Список рекомендуемой литературы.....	207
Приложения.....	208
Список сокращений и условных обозначений.....	216

ПРЕДИСЛОВИЕ

За последние десятилетия конструкция современных поршневых автомобильных и тракторных двигателей значительно усложнилась, что можно назвать своеобразной «платой» за их совершенство и существенное улучшение показателей. Сегодня их оснащают развитой комплексной системой электронного управления топливоподачей, зажиганием, антитоксичными устройствами, фазами газораспределения, наддувом и др. При этом функции электроники постоянно расширяются и усложняются.

Двигатель ближайшего будущего можно представить как «эластичный» объект, имеющий адаптивное управление большинством агрегатов и узлов и использующий стратегии самообучения в процессах управления, самодиагностику большинства узлов и компонентов и др.

Такое усложнение современных автомобильных и тракторных двигателей требует от специалистов в этой сфере интегральной подготовки в области механики и электроники. Подобная подготовка немислима без фундаментальных знаний и устойчивых практических умений и навыков, которые можно приобрести только при **углубленном изучении на практике** двигателей, их узлов и агрегатов, систем электронного управления и их компонентов, а также методов и средств испытаний и диагностики современных автомобильных и тракторных поршневых двигателей.

Лабораторный практикум подготовлен на основе многолетнего опыта проведения практических и лабораторных занятий по различным дисциплинам в области поршневых автомобильных и тракторных двигателей, а также автомобильной электроники.

Авторы далеки от мысли, что их труд совершенен и безупречен. Безусловно, работу можно и нужно дополнять и развивать.

Конструктивные предложения и замечания по содержанию практикума можно присылать на e-mail: ds33@bk.ru.

ВВЕДЕНИЕ

Среди изобретений, созданных человеком, поршневой двигатель внутреннего сгорания, бесспорно, принадлежит к числу выдающихся. Он оказал огромное влияние на образ жизни миллионов людей, вызвав значительные и необратимые перемены. По значимости в техническом и технологическом развитии общества он может быть сравним с колесом, радиосвязью, компьютером. Сегодня поршневые двигатели успешно применяются на автомобильном транспорте, в строительно-дорожных и сельскохозяйственных машинах, в лесотехнической и военной технике, в авиации, на речных и морских судах, в составе дизель-генераторных установок и др.

Высказываемые отдельными политиками и экологами популистские заявления о том, что в ближайшее время производство поршневых двигателей прекратится, не имеют под собой ни технических, ни экономических оснований. Профессиональные аналитики и эксперты сходятся во мнении, что в ближайшие десятилетия поршневые двигатели сохранят свои доминирующие позиции во всех областях применения. Прогнозы свидетельствуют о том, что до 2050 г. добыча нефти и использование нефтяных продуктов сохранятся на прежнем или близком к нему уровне. Следовательно, поршневые двигатели будут востребованы.

Следует также учитывать, что с поршневыми двигателями связаны колоссальные финансовые и человеческие ресурсы, направленные на разработку, исследование, производство, ремонт и эксплуатацию. Повсеместное использование поршневых двигателей и связанная с этим деятельность компаний, корпораций, специалистов, а также применение инновационных технологий делают практически невозможным быстрый переход к альтернативным силовым установкам.

К тому же следует учитывать, что в настоящее время суммарная мощность только всех автомобильных двигателей в мире многократ-

но превышает мировые мощности электрической генерации энергии (тепло- и гидростанции, атомные станции, объекты возобновляемой энергетики и др.). Поэтому такой значительный рост мировых мощностей для электрогенерации энергии с целью ее использования в электрическом транспорте практически нереален в ближайшее время ни с технической, ни с экономической точек зрения.

Поршневые двигатели на сегодняшний день имеют достаточно высокий потенциал и перспективы для дальнейшего развития. Они совершенствуются за счет привлечения и использования достижений в области электронной автоматики и компьютерной техники (электронное управление узлами и агрегатами, адаптивные технологии управления, диагностика и самодиагностика и др.), а также в области новых материалов и технологий (лазерные и другие нетрадиционные технологии, порошковая металлургия, новые металлы и сплавы, высококачественные пластики, клеи, компаунды и др.). В ближайшее время эта тенденция сохранится, что позволит получить еще более совершенные, экономичные и малотоксичные поршневые двигатели для самых различных сфер применения.

Общие правила выполнения лабораторных работ и требования к оформлению отчетов

При подготовке к каждой лабораторной работе необходимо детально ознакомиться со всеми вопросами по теме, используя учебники, конспект лекций и настоящий практикум. Перед выполнением работы следует изучить лабораторную установку, применяемую аппаратуру, объект испытаний и порядок выполнения работы.

При выполнении лабораторных работ необходимо строго соблюдать все правила техники безопасности, изложенные преподавателем.

По окончании работы протокол с экспериментальными данными подписывается преподавателем.

Отчет о выполненной работе оформляется на отдельных листах формата А1 с титульным листом к каждой работе. Он должен содержать основные теоретические сведения по теме работы (в краткой форме), принципиальную схему лабораторной установки, протокол эксперимента, результаты обработки опытных данных, необходимые графические зависимости, анализ полученных результатов; в конце отчета обязателен вывод по результатам работы.

По каждой лабораторной работе студент должен получить зачет, представив преподавателю полностью оформленный отчет и показав знания теоретических сведений, техники и методики эксперимента, умение анализировать полученные результаты.

В практикуме в конце описания каждой работы приводятся примерные контрольные вопросы, на которые студент должен ответить. Однако в ходе сдачи работы студенту могут быть заданы и другие вопросы.

Правила техники безопасности при выполнении лабораторных работ

На первом занятии, до начала выполнения лабораторных работ, преподаватель проводит подробный инструктаж по технике безопасности с отметкой каждого студента и его личной подписью в специальном журнале.

Во время проведения лабораторных работ необходимо строго выполнять следующие правила.

1. Приступать к выполнению работы можно лишь после детального изучения лабораторной установки и задач, поставленных в конкретной работе.

2. Необходимо знать расположение в лаборатории средств пожаротушения, рубильников (автоматов) отключения электроэнергии, медицинской аптечки и уметь пользоваться ими.

3. При воспламенении электропроводки следует немедленно отключить электроустановку, а пламя тушить только песком или углекислотным огнетушителем (но не водой или пенным огнетушителем).

4. При работе на установках, имеющих движущиеся детали, необходимо соблюдать меры предосторожности, направленные на исключение попадания в механизмы одежды, волос и т. п. Включать такие установки следует только в присутствии преподавателя.

5. При обнаружении неполадок в работающей установке (появление посторонних звуков, самопроизвольное изменение частоты вращения и др.) следует немедленно отключить установку и прекратить эксперимент, поставив об этом в известность преподавателя.

6. В лаборатории запрещается курить или пользоваться открытым огнем.

7. В случае возгорания топлива или масла для тушения очага воспламенения следует использовать пенные, порошковые или углекислотные огнетушители. Пламя можно погасить также с помощью песка или специального покрывала. Водой тушить указанные вещества нельзя, так как они легче воды и при контакте с ней растекаются по ее поверхности, увеличивая размеры очага возгорания.

8. При работе с нагретыми объектами следует быть внимательными, чтобы избежать термических ожогов. Если же ожог все-таки

произошел, его необходимо смазать раствором марганцовокислого калия и наложить повязку с мазью от ожогов.

9. При проведении испытаний на моторном стенде имеются источники повышенной опасности (работающий двигатель, горючие материалы, оборудование под высоким напряжением и др.), поэтому преподаватель должен провести дополнительный инструктаж по правилам техники безопасности, которые необходимо неукоснительно соблюдать.

10. При работе с бензином в лаборатории следует обязательно включить вентиляцию и строго соблюдать правила противопожарной безопасности.

11. Во время выполнения работы не следует отвлекаться, бесцельно включать и выключать приборы и оборудование.

12. Перед окончанием занятия необходимо проверить, отключена ли лабораторная установка, привести в порядок рабочее место, убрать на стеллажи образцы деталей, узлов и агрегатов.

Часть 1. ИСПЫТАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ОСНОВЫ ИСПЫТАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

Виды и методы испытания двигателей

Лабораторные испытания двигателя представляют собой практическую проверку его показателей и качеств, а также характеристик и свойств.

Видов испытаний достаточно много и большинство из них регламентируются стандартами. Каждый вид испытания соответствует определенной стадии жизненного цикла технической системы. Испытания двигателей можно разделить на две большие группы:

- исследовательские (включая доводочные);
- стандартные.

Исследовательские испытания двигателей обычно проводят на стадии их исследования и доводки. Однако эти испытания могут проводиться на любом этапе жизненного цикла двигателя, так как даже серийно выпускаемые двигатели постоянно совершенствуются: проверяются научные и технологические идеи, вносятся различные изменения, связанные с конструкцией, рабочим процессом, узлами, агрегатами и компонентами.

Исследовательские испытания регламентируются только по нормам безопасности и метрологическим нормам измерения показателей двигателя. Вся остальная программа испытаний разрабатывается под конкретную цель. Цели могут быть самыми разными, например: исследование функционирования системы жидкостного охлаждения, исследование влияния качества внешнего смесеобразования на топливную экономичность и т. п.

Исследовательские испытания широко применяются при проведении разнообразных научных исследований, а также подготовке выпускных (бакалавриат и магистратура) и диссертационных (кандидатских и докторских) работ.

Доводочные испытания по характеру и задачам очень близки к исследовательским и могут считаться их видом. Их проводят в процессе разработки нового или совершенствования модернизируемого

двигателя. Цель подобных испытаний – оценка влияния вносимых в двигатель изменений на достижение требуемых показателей и проверка их соответствия расчетным исследованиям.

Программы и содержание исследовательских и доводочных испытаний не регламентируются стандартами и определяются производителем двигателя или организацией, проводящей испытания.

Остальные виды испытаний автомобильных и тракторных двигателей регламентируются в соответствии с ГОСТ 14846-81 и ГОСТ 18509-88, поэтому и называются **стандартными**.

ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний» определяет виды и содержание периодических и приемочных испытаний.

Периодические испытания выполняются для контроля выпускаемой продукции с целью подтверждения показателей двигателей, заявленных производителем в нормативно-технической документации. Эти испытания проводятся на стадии выпуска двигателей, все условия этих испытаний определяются производителем двигателей.

Приемочные испытания проводятся с целью подтверждения пригодности двигателя или партии двигателей к эксплуатации. Испытывается либо вся партия, либо выборочно отдельные двигатели из партии. Условия этих испытаний обычно согласовываются между производителем и потребителем (заказчиком) двигателей.

В соответствии с ГОСТ 18509-88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний» различают следующие виды испытаний:

- приемо-сдаточные;
- предъявительские;
- периодические кратковременные;
- периодические длительные;
- типовые.

Приемо-сдаточные испытания тракторных дизелей аналогичны приемочным испытаниям автомобильных двигателей; проводятся для контроля качества сборки и регулировки. Они должны включать определение мощности, удельного расхода топлива и давления масла при номинальной частоте вращения и положении органов управления регулятора частоты вращения, соответствующем полной подаче топлива, а также максимальной частоты вращения холо-

стого хода и давления масла при минимальной устойчивой частоте вращения холостого хода.

Предъявительские испытания проводят с целью контроля качества сборки и регулировки дизелей. Объем испытаний такой же, как и при приемо-сдаточных испытаниях.

Периодические кратковременные испытания проводят с целью контроля соответствия показателей дизелей техническим условиям на дизели конкретных марок.

Периодические длительные испытания проводят для контроля соответствия показателей безотказности и стабильности параметров дизелей техническим условиям на дизели конкретных марок.

Типовые испытания тракторных дизелей проводят после внесения в конструкцию или технологию изготовления дизеля изменений, которые могут повлиять на его параметры, указанные в технических условиях, с целью оценки эффективности и целесообразности внесенных изменений.

Следует отметить, что некоторые виды испытаний можно совмещать, например приемо-сдаточные с периодическими кратковременными.

Кратко описанные виды испытаний регламентируются в соответствии с действующими стандартами только для автомобильных двигателей и тракторных (комбайновых) дизелей. Для двигателей других назначений (тепловозных, судовых, промышленных и др.) существуют другие стандарты.

Моторные стенды для проведения испытаний

Любые виды стендовых испытаний автомобильных и тракторных двигателей проводятся в моторных боксах – специальных изолированных помещениях, оснащенных моторными стендами для поглощения мощности двигателя, а также всей необходимой измерительной и вспомогательной аппаратурой и оборудованием. На заводах – производителях двигателей моторные стенды в соответствии с установленным технологическим процессом размещаются на участках моторосборочных цехов или в специальных помещениях, представляющих собой испытательные станции.

Исследовательские лаборатории для испытания двигателей отличаются более широким набором измерительной аппаратуры с более высокими характеристиками. В моторосборочных цехах размещаются

стенды для испытания двигателей с минимальным набором измерительного оборудования.

Моторный стенд (рис. 1.1) состоит из специальной подmotorной плиты 2, на которой располагаются тормозное устройство 3 и сам испытываемый двигатель 15.

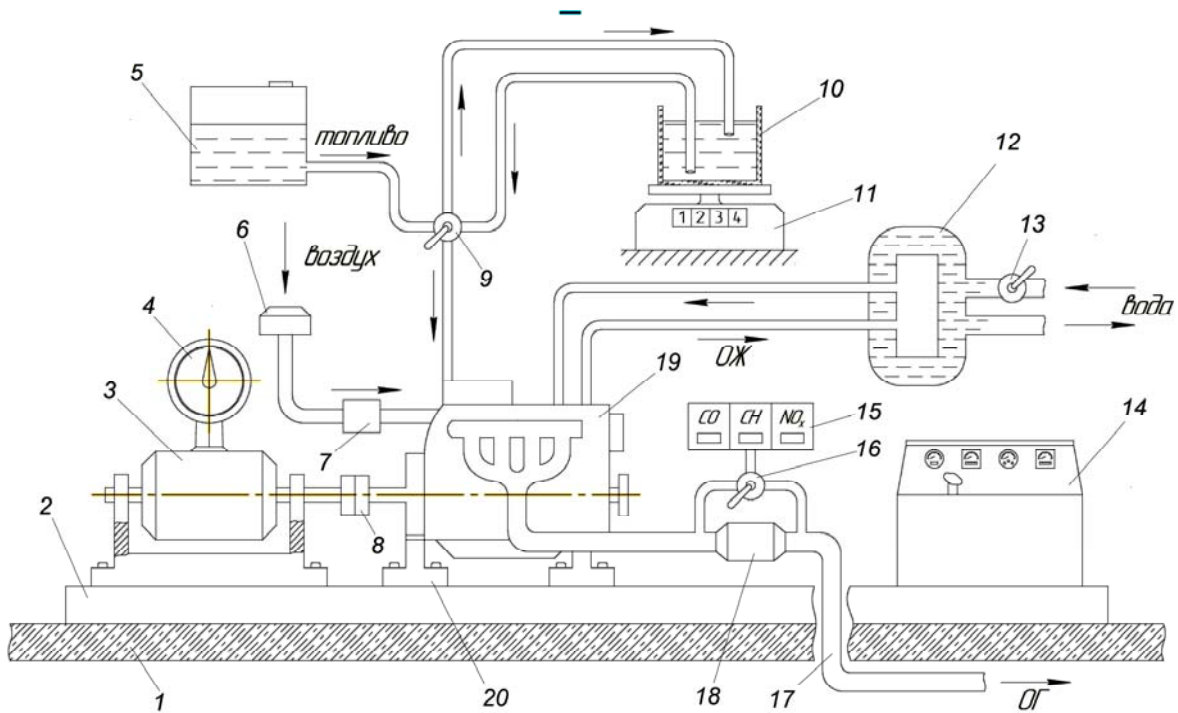


Рис. 1.1. Принципиальная схема типичного моторного стенда для испытания двигателей: 1 – бетонное основание; 2 – подmotorная плита; 3 – балансирный тормоз; 4 – весовая головка; 5 – топливный бак; 6 – воздушный фильтр; 7 – расходомер воздуха; 8 – соединительная упругая муфта; 9 – трехходовой кран; 10 – мерная ёмкость; 11 – цифровые весы; 12 – теплообменник «жидкость – жидкость»; 13 – регулировочный кран; 14 – пульт управления стендом; 15 – комплексный газоанализатор; 16 – переключающий кран; 17 – магистраль отвода отработавших газов; 18 – трехкомпонентный каталитический нейтрализатор; 19 – испытываемый двигатель; 20 – подmotorные стойки

Подmotorная плита 2 установлена на специальное бетонное основание 1, которое **не связано** со стенами и полом в здании. Испытываемый двигатель 19 установлен на подmotorных стойках 20 и соединен с балансирным тормозом 3 эластичной муфтой 8, которая допускает некоторую несоосность и небольшие перекосы валов. Крутящий момент на валу двигателя определяется за счет балансирного подвеса статора тормозного устройства с помощью весовой головки 4. Топли-

во подается из бака 5 к трехходовому крану 9, который регулирует потоки топлива по трем схемам:

- топливо направляется из бака 5 к двигателю 19;
- топливо направляется из бака 5 к двигателю 19 и в мерную ёмкость 10;
- топливо направляется из мерной ёмкости 10 к двигателю 19.

Для измерения расхода топлива используются цифровые высокоточные лабораторные весы 11.

Воздух поступает в двигатель 19 через воздушный фильтр 6. При этом массовый расходомер 7 (входит в состав электронной системы управления двигателем) замеряет количество воздуха, поступившего в двигатель 19. Отработавшие газы (ОГ) по магистрали 17 отводятся из моторного бокса наружу. После выпускного трубопровода двигателя 19 установлен трехкомпонентный каталитический нейтрализатор 18, после прохождения которого ОГ направляются в магистраль 17. Анализ ОГ выполняется с помощью комплексного газоанализатора 15, вход которого соединен трубками с точками отбора проб ОГ до и после нейтрализатора 18. Переключение каналов до/после нейтрализатора осуществляется краном 16. В газовой магистрали перед комплексным газоанализатором установлен фильтр-влажноститель (на рис. 1.1 не показан), который необходим для удаления влаги из потока ОГ перед их анализом.

Охлаждающая жидкость (антифриз) двигателя поступает в теплообменник 12, где охлаждается холодной водой, расход которой через теплообменник регулируется краном 13.

В целом моторный стенд управляется с помощью пульта 14, на котором имеются все органы управления балансирным тормозом 3 и двигателем 19.

На рис. 1.1 не показаны многочисленные приборы для определения давлений и температур в различных точках двигателя. Также не показан портативный компьютер, на который выводятся многочисленные данные о работе двигателя, получаемые от контроллера двигателя через специальный адаптер. Кроме того, подобный моторный бокс обязательно имеет вентиляцию, а также необходимые средства пожаротушения.

Данный моторный стенд – типичный для организаций, проводящих научные исследования и обучение студентов.

Тормозное устройство необходимо для поглощения эффективной мощности двигателя на различных режимах его работы. Кроме того, с помощью тормозного устройства определяют мощность и момент на валу двигателя.

На сегодняшний день применяются несколько типов тормозных устройств для поглощения мощности двигателя:

- гидравлического типа;
- электрического типа (электрические машины постоянного или переменного тока, индукторные машины).

Каждое из этих тормозных устройств имеет своё сочетание достоинств и недостатков.

Гидравлические тормозные устройства известны довольно давно и распространены в практике испытаний поршневых двигателей благодаря относительной простоте конструкции и весьма значительной энергоёмкости (могут поглощать мощности до 5 000 кВт и более). Эти тормозные устройства имеют низкую стоимость и несложны в обслуживании.

Поглощение мощности происходит за счет совершения гидродинамической работы (перемешивание жидкости) и за счет потерь мощности на трение ротора о жидкость. Поглощаемая в гидротормозах механическая энергия трансформируется в тепловую, т. е. идет на нагрев жидкости. В качестве жидкости целесообразно использовать обычную воду, поскольку она обладает высокой теплоемкостью, а ее вязкость мало зависит от температуры.

Поглощаемую мощность регулируют количеством проходящей через тормоз воды с помощью вентиля на входе и выходе рабочей камеры.

К недостаткам гидротормозов можно отнести невозможность использования (рекуперации) энергии, отдаваемой испытываемым двигателем, а также невозможность запуска и «холодной» прокрутки двигателя. К тому же гидравлические тормоза отличаются трудностью автоматизации режимов работы. Практически их применяют при высоких мощностях двигателей (например, для испытания судовых дизелей).

На практике преимущественно распространены электрические тормозные машины.

Электрические тормозные **машины переменного тока** представляют собой асинхронные или синхронные электрические маши-

ны, регулируемые с помощью реостатов и различных машинных преобразователей.

Электрические тормоза переменного тока по сравнению с тормозами других типов имеют следующие преимущества:

1) вследствие обратимости электрических машин они могут использоваться для запуска испытываемого двигателя, а также позволяют осуществлять его «холодную» прокрутку, в частности для определения его механических потерь;

2) при использовании подобных машин в режиме генератора (при торможении двигателя) можно аккумулировать или передавать в сеть вырабатываемую ими электрическую энергию.

Несмотря на то, что тормозную мощность этих электрических машин можно определять электрическим путем (по току и напряжению в режиме генератора), чаще все-таки используют определение мощности по величине реактивного крутящего момента с помощью балансирных и весовых устройств. Объединенные в одно устройство электрическая тормозная машина и балансирное и весовое устройства называются балансирной машиной.

К недостаткам электрических тормозных машин переменного тока можно отнести ограничения по минимальной частоте вращения вала – практически все они могут работать только при $n \geq 1500 \text{ мин}^{-1}$.

В электрических тормозах **постоянного тока** используют принцип действия электрических машин с независимым смешанным возбуждением и одновременным регулированием силы тока в цепи якоря. Такие машины отличаются плавностью и широкими пределами регулирования скоростных и нагрузочных режимов.

Кроме того, тормозные машины постоянного тока отличаются простотой регулирования (током возбуждения), что позволяет легко автоматизировать процесс испытаний. Электрическая энергия, вырабатываемая тормозом, может поглощаться на реостатах или отдаваться в электрическую сеть.

Наиболее широкое распространение получили тормозные устройства постоянного тока, выполненные с электрическим включением по так называемой схеме Леонардо, которая обеспечивает работу балансирной машины как в двигательном, так и генераторном режимах с рекуперацией энергии. Подобную схему называют также схемой «генератор – двигатель». Она включает в себя умформер (асинхронный трехфазный электродвигатель и машину постоянного

тока с независимым возбуждением, валы которых соединены жесткой муфтой) и тормоз (машину постоянного тока независимого возбуждения), электрически связанный с умформером. Подобная схема дает возможность регулировать мощность и частоту вращения двигателя почти от нуля до максимальной. К недостаткам схемы можно отнести высокую стоимость и громоздкость, поскольку в ней использованы две машины постоянного тока и трехфазный электродвигатель переменного тока, а также электрические устройства управления этими двигателями. Попытки заменить в этой схеме дорогостоящие умформеры (электромашинные преобразователи электрической энергии) привели к успешному применению компактных и менее дорогих тиристорных преобразователей, которые к тому же бесшумны и экономичны.

В индукторных тормозах мощность автомобильного или тракторного двигателя поглощается с помощью вихревых токов, возбуждаемых в монолитном магнитопроводе при его намагничивании и размагничивании. Взаимодействие основного магнитного поля с полем вихревых токов создает сопротивление вращению ротора.

Поскольку в индукторном тормозе происходит двойное преобразование энергии (подводимая к его ротору механическая энергия превращается сначала в электрическую энергию, а затем – в тепловую), то для обеспечения теплоотвода индукторные тормоза обязательно должны иметь систему охлаждения. На практике, как правило, для этого используется жидкостное охлаждение водопроводной водой.

Регулирование индукторных тормозов возможно с помощью изменения величины тока возбуждения, причем индукторные тормоза отличаются широким диапазоном регулировки.

Индукторные тормозные устройства имеют простую конструкцию, они компактны и энергоемки, а также надежны по сравнению с тормозами постоянного и переменного токов.

К недостаткам индукторных тормозов можно отнести невозможность рекуперации поглощаемой тормозом энергии (она рассеивается с помощью системы охлаждения) и невозможность их использования для запуска и «холодной» прокрутки испытываемого двигателя.

Тем не менее в последнее время индукторные тормозные устройства весьма часто используются в зарубежной практике испытания двигателей. В частности, они очень удобны при длительных испытаниях двигателей по заранее заданной программе с автоматическим контролем режимов работы, включая и неуставившиеся режимы.

Каждый тип тормозного устройства имеет свою характеристику – зависимость тормозной мощности и крутящего момента от частоты вращения вала тормоза (рис. 1.2).

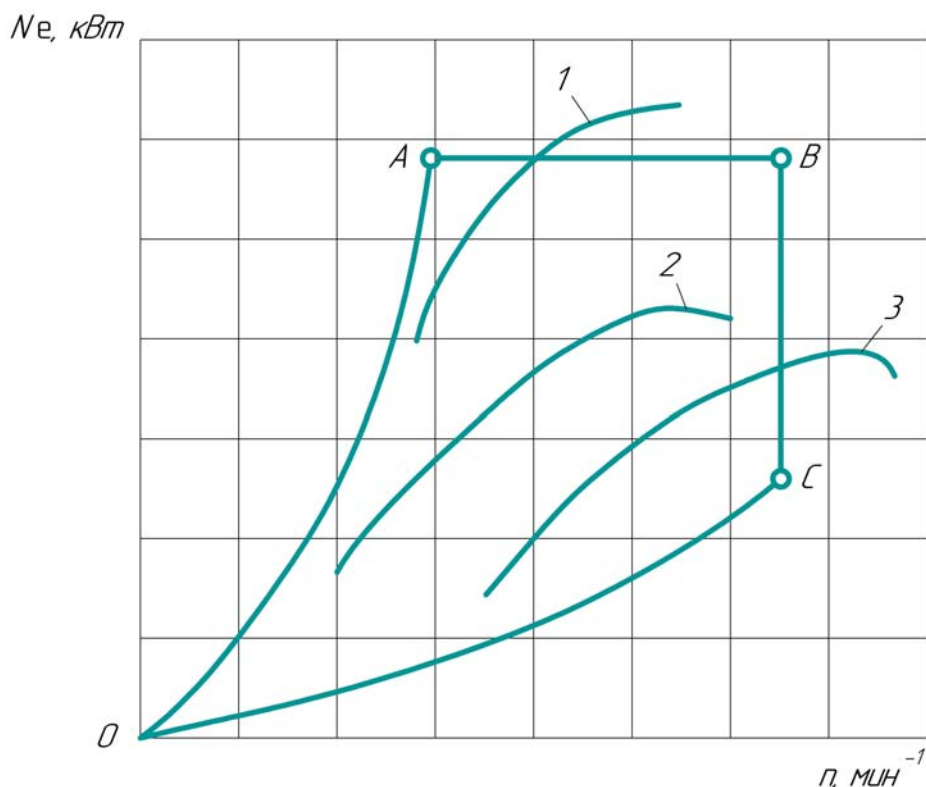


Рис. 1.2. Типичная характеристика электрического тормоза: $OABCO$ – поле рабочих характеристик тормоза; 1 – 3 – кривые мощности различных двигателей

Важно, чтобы характеристики мощности испытываемых двигателей попадали в поле рабочей характеристики тормозного устройства. На рис. 1.2 показано, что данное тормозное устройство может использоваться только с двигателем, имеющим характеристику 2. Характеристики двух других двигателей (1 и 3) не полностью попадают в поле работы тормозного устройства, поэтому для испытания этих двигателей данный тормоз малопригоден.

Кроме тормозного устройства (балансирной машины) и испытываемого двигателя (см. рис. 1.1) моторный бокс должен быть оснащен целым комплексом вспомогательного и измерительного оборудования, к которому можно отнести следующие подсистемы:

- 1) электронного управления двигателем (контроллер) с адаптером для связи с выносным компьютером;
- 2) подачи и замера расхода топлива;

- 3) подачи и замера расхода воздуха;
- 4) управления охлаждением двигателя и наддувочного воздуха на впуске;
- 5) отвода и анализа отработавших газов;
- 6) принудительного воздушного охлаждения внешней поверхности двигателя и выпускного трубопровода;
- 7) измерения частоты вращения вала, различных температур (охлаждающей жидкости, отработавших газов, моторного масла, воздуха на впуске и др.), давлений (во впускном трубопроводе, в системе смазки и др.).

В целом моторным стендом управляют со специального пульта, который позволяет устанавливать определенные режимы работы двигателя и тормозной установки.

При работе двигателя на моторном стенде необходимо **обеспечить подачу в него топлива** с возможностью замера расхода. На сегодняшний день известно несколько способов измерения расхода топлива в стендовых условиях:

- объемный;
- весовой;
- с помощью специализированных автоматизированных расходомеров топлива.

Первый способ (объемное измерение) не дает точного результата из-за неизбежного изменения плотности топлива в процессе проведения испытаний. Для достижения необходимой точности замера требуется постоянно определять температуру топлива и корректировать полученный результат с учетом изменяющейся плотности. Такая коррекция не только неудобна при стендовых испытаниях, но и служит источником дополнительной погрешности при измерении расхода топлива. В связи с этим данный способ применяется крайне редко.

Использование специализированных автоматизированных расходомеров топлива считается наиболее современным решением. Однако стоимость таких высокоточных приборов настолько высока (может в несколько раз превышать стоимость испытываемого двигателя), что приобрести их могут позволить себе только крупные организации, постоянно ведущие стендовые испытания двигателей (заводы – производители двигателей, мощные корпорации и исследовательские организации (*AVL List GmbH, Ricardo Plc.* и т. п.)).

Из бюджетных вариантов самым приемлемым по точности измерения можно назвать весовой способ. При этом в настоящее время для измерения расхода топлива есть возможность использовать не традиционные (стрелочные) торговые весы, а высокоточные лабораторные приборы с цифровой индикацией измерений. Такое решение обеспечивает точность не хуже, чем при применении специализированных автоматизированных расходомеров топлива, а стоимость при этом – на несколько порядков меньше. Именно этот способ используется в лабораториях кафедры «Тепловые двигатели и энергетические установки».

Топливо может подаваться (см. рис. 1.1) напрямую из топливного бака (режим постоянной работы двигателя) или из мерной емкости (режим замера расхода топлива) к электрическому топливному насосу двигателя. Потоки топлива регулируются трехходовым топливным краном, который позволяет переключать подачу топлива из бака или мерной емкости.

Мерная емкость находится на платформе лабораторных цифровых весов (см. рис.1.1), позволяющих производить взвешивание с высокой точностью. Время расходования определенной порции топлива измеряется с помощью высокоточного цифрового секундомера. В целом это обеспечивает погрешность измерения расхода топлива не более $\pm 1,0\%$, как того и требуют стандарты.

При подаче топлива от измерительной емкости к двигателю (режим замера расхода топлива) следует учитывать, что часть топлива возвращается в мерную емкость от двигателя через сливную магистраль (это характерно и для бензиновых двигателей, и для дизелей).

Подача и измерение расхода воздуха при стендовых испытаниях ранее осуществлялись через специальный ресивер (для сглаживания пульсаций потока на впуске) с последующим измерением расхода с помощью счетчиков типа РГ, расходомерных шайб, сопел и т. п. Однако сейчас эта технология практически не применяется, так как почти все современные двигатели имеют в составе системы электронного управления массовые расходомеры воздуха (даже дизели). Поэтому для измерения расхода воздуха, поступающего в двигатель, целесообразнее использовать именно штатные расходомеры двигателя (см. рис. 1.1).

Управление потоками в системе охлаждения двигателя на моторном стенде сводится к регулированию количества воды, посту-

пающей в теплообменник для охлаждения антифриза (см. рис. 1.1). Потоки антифриза во внутренних контурах двигателя регулируются, как обычно, традиционным термостатом с восковым термосиловым элементом или термостатом с электронным управлением.

Штатный радиатор двигателя использовать невозможно, так как он предназначен для съема тепла при движении автомобиля. Установка такого радиатора с вентилятором обдува (имитация встречного потока воздуха) приводит к недопустимому нагреву воздуха в боксе. Именно поэтому вместо штатного радиатора используют теплообменник «жидкость/жидкость», в котором антифриз охлаждается водопроводной водой. Такая технология применяется практически повсеместно.

При испытаниях двигателя с наддувом и промежуточным охлаждением воздуха необходима **подсистема охлаждения наддувочного воздуха** (если только он не охлаждается ОЖ двигателя). В этом случае аналогично используют теплообменник «воздух/жидкость», где наддувочный воздух охлаждается водопроводной водой (на рис. 1.1 не показан).

Подсистема отвода и анализа отработавших газов двигателя включает в себя гибкий металлорукав (типа СРГС) большого диаметра (100...140 мм) из нержавеющей стали, который подключается между нейтрализатором двигателя и глушителем. Гибкий металлорукав необходим для гашения колебаний двигателя на подmotorных стойках (см. рис. 1.1). Глушитель применяется для уменьшения шума в боксе при испытании двигателя (на рис. 1.1 не показан).

До и после нейтрализатора выполняют пробоотборники (небольшие ввариваемые трубочки из стали) для забора ОГ в газовый анализатор. От пробоотборников ОГ поступают непосредственно к аппаратуре для газового анализа (см. рис. 1.1). Каналы отбора ОГ **до/после** нейтрализатора переключаются специальным краном.

При работе двигателя на стенде его внешняя поверхность (особенно выпускной трубопровод) может перегреваться. В условиях эксплуатации такому перегреву препятствует естественный обдув двигателя встречным потоком воздуха. Поэтому для исключения перегрева двигателя (и особенно выпускного трубопровода) в моторном боксе создают **принудительное воздушное охлаждение** с помощью достаточно мощного центробежного вентилятора, который устанавливает-

ся вблизи двигателя таким образом, чтобы поток воздуха от вентилятора омывал выпускной трубопровод и стенку двигателя с поддоном картера. Такой обдув не только обеспечивает охлаждение выпускного трубопровода, но и поддона картера с моторным маслом, что стабилизирует температуру этих элементов двигателя.

Для определения температуры ОГ, моторного масла, давления в системе смазки и в других случаях используют специализированные датчики. Для измерения температуры ОГ применяют термопары «хромель – алюмель», которые обеспечивают определение температур до 1100 °С.

Для измерения рабочей температуры моторного масла могут быть использованы термопары «хромель – копель» или полупроводниковые датчики. В любом случае место установки датчика для измерения температуры масла выбирается индивидуально для каждого испытываемого двигателя.

Давление в системе смазки можно определять любым прибором, обеспечивающим достаточную точность. Часто для этого применяют обычные механические манометры или полупроводниковые датчики давления с выводом сигнала на регистрирующий прибор. Место подключения датчика давления на двигателе также выбирается индивидуально, исходя из конструкции двигателя. Наиболее часто для этого используется резьбовое отверстие для установки штатного датчика аварийного давления масла, который заменяется специализированным датчиком в стендовых условиях испытания двигателя.

Следует отметить, что за последние десятилетия автомобильные и тракторные двигатели в значительной мере изменились благодаря повсеместному использованию электронных систем управления. В связи с этим не могла не измениться и технология испытания двигателей. Теперь в большинстве случаев для испытания современного двигателя нужны электронный блок управления (контроллер) и жгут проводов, связывающий контроллер с датчиками и исполнительными устройствами, размещенными на двигателе.

При этом, имея специальный комплекс штатных датчиков на двигателе для функционирования комплексной системы электронного управления, нет необходимости в отдельном измерении целого ряда параметров и показателей двигателя. Большинство его рабочих параметров можно получить, воспользовавшись подсистемой диагностики, встроенной в контроллер, который через специальный адаптер под-

ключают к персональному компьютеру, расположенному в моторном боксе; весь набор текущих параметров и показателей двигателя выводится на монитор в режиме реального времени (рис. 1.3). Причем указанный набор показателей можно задавать в соответствии с целью и задачей испытаний двигателя. Данная технология сегодня применяется как в современных бензиновых двигателях, так и в дизелях.

Таким образом, отпадает необходимость специально измерять частоту вращения вала двигателя, расход воздуха, температуру (воздуха на впуске, охлаждающей жидкости), положение дроссельной заслонки, угол опережения зажигания и другие важные параметры работы двигателя. К этим данным добавляются измеряемые подсистемой диагностики сигналы λ -зондов (до и после нейтрализатора), длительность открытия электромагнитных форсунок, сигнал датчика детонации и др. Поэтому современные стендовые испытания стали информативнее, технологичнее и интереснее по сравнению с теми, что проводились 20 – 30 лет назад.

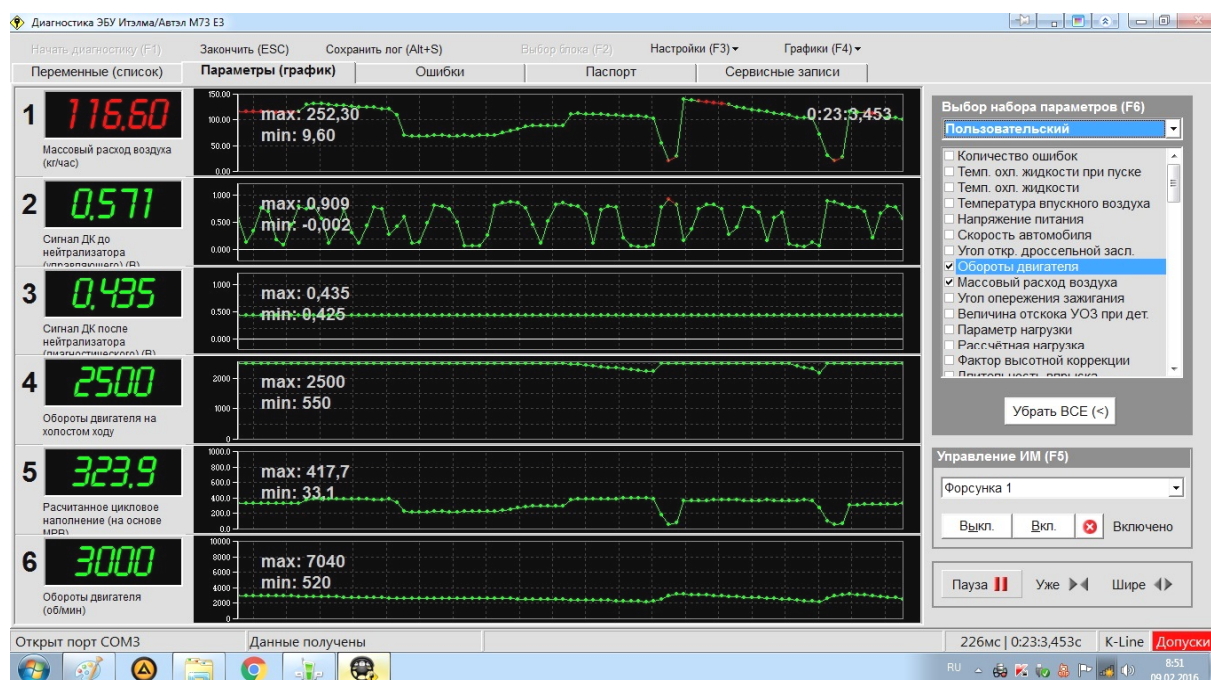


Рис. 1.3. Типичная картина на мониторе персонального компьютера с выводом текущих параметров работы двигателя в режиме реального времени

Однако следует отметить, что при исследовательских испытаниях часто возникают такие специфические задачи, которые требуют применения специальных датчиков и измерительных систем. Напри-

мер, при исследовании функционирования системы жидкостного охлаждения с электроуправляемым термостатом необходимы измерения расходов и температур охлаждающей жидкости в нескольких точках на двигателе, определение положения электрического пропорционального клапана термостата и т. п.

Все эти специфические задачи можно решать с привлечением современного измерительного инструментария, который позволяет сегодня определять практически любые физические величины различной природы, а также все электрические параметры работы различных устройств.

Определяемые параметры и показатели работы двигателя. Обработка результатов измерений

Показатель – это физическая величина любой природы, характеризующая потребительские (рабочие) качества двигателя. К показателям можно отнести эффективную мощность и крутящий момент двигателя, часовой и удельный эффективный расход топлива, частоту вращения вала, выбросы токсичных компонентов и т. п.

Параметр – это физическая величина любой природы, характеризующая внутренние процессы в двигателе и не относящаяся к его потребительским качествам. К параметрам можно отнести температуру охлаждающей жидкости, отработавших газов, внутрицилиндровое давление, давление моторного масла и т. п.

Следует отметить, что такое деление весьма условно, так как некоторые физические величины могут быть и показателями, и параметрами в зависимости от конкретной ситуации. Например, частота вращения вала или крутящий момент характеризует (как параметр) режим работы двигателя, но в то же время эти величины являются показателями его работы.

При стендовых испытаниях погрешность измеряемых параметров и показателей работы двигателя нормируется стандартами на испытание автомобильных двигателей (ГОСТ 14846-81) и тракторных и комбайновых двигателей (ГОСТ 18509-88). В табл. 1.1 приведено сравнение требований двух указанных стандартов к измерению наиболее важных параметров и показателей работы двигателей (прил. 1).

Табл. 1.1. *Определяемые параметры и показатели работы двигателей и погрешности их измерения в соответствии со стандартами Российской Федерации*

Параметры и показатели	Единица измерения	Погрешность измерения	
		ГОСТ 14846-81	ГОСТ 18509-88
Крутящий момент M_k	Н · м	±1,0 %	±0,005 M_{kmax}
Частота вращения вала n	мин ⁻¹	±0,5 %	±10 мин ⁻¹
Расход топлива G_T (весовой способ)	кг/ч	±1,0 %	±0,005 $G_{T ном}$
Расход воздуха G_B (Q_B)	кг/ч (м ³ /ч)	±2,0 %	±0,02 $Q_{B ном}$
Атмосферное давление B_0	кПа	±1,0 %	±0,1 B_0
Давление наддува P_k	МПа	±200 Па	±0,0005 P_k
Давление масла в системе смазки P_M	МПа (кгс/см ²)	±0,1 кгс/см ²	±0,02 P_M
Температура окружающего воздуха t_0	°С	±1,0 °С	±1,0 °С
Температура охлаждающей жидкости и масла $t_{о.ж}$ (t_M)	°С	± 2,0 °С	± 3,0 °С
Температура отработавших газов $t_{о.г}$	°С	±20 °С	±10 °С
Относительная влажность воздуха δ_0	%	±3,0 %	±3,0 %
Концентрация токсичных веществ в ОГ	% (ч. н. м.)	±3,0 %	±0,1 % (ч. н. м.)
Время замера контрольной дозы топлива τ	с	±1,0 %	–
Угол опережения зажигания/впрыска топлива θ	°п.к.в.	±1,0°п.к.в.	±1,0°п.к.в.

Как показывает сравнительный анализ данных табл. 1.1, требования различных стандартов по погрешностям измерения однотипных параметров и показателей двигателей практически совпадают.

Обработку результатов опытов следует вести в определенной последовательности. При этом следует различать результаты прямых и косвенных измерений.

При прямых измерениях результат получается при непосредственном использовании средств измерения (приборов, измерительных устройств и др.). Например, прямым измерением будет определение температуры охлаждающей жидкости, крутящего момента двигателя, давления масла в системе смазки и т. п.

При косвенных измерениях искомую физическую величину находят не с помощью непосредственных измерений – она рассчиты-

вается по результатам прямых измерений нескольких других физических величин, связанных с искомой величиной определенной зависимостью. Например, косвенной величиной будет определяемая эффективная мощность двигателя (рассчитывается по величине крутящего момента M_k и частоте вращения вала двигателя n). Косвенной величиной является также удельный эффективный расход топлива, определяемый по значениям часового расхода топлива и величине эффективной мощности двигателя.

При любом определении физической величины будет существовать погрешность измерения, поскольку даже при самом тщательном проведении эксперимента всегда будут действовать факторы, искажающие результат. К ним можно отнести погрешности самих измерительных устройств (приборов), методические погрешности (погрешности метода измерения), случайные погрешности (например, колебания напряжения в сети, изменение температуры окружающего воздуха, колебания прибора и т. п.).

Погрешности измерений по характеру их проявления подразделяют на систематические, случайные и грубые.

Систематические погрешности остаются постоянными или же закономерно изменяются при повторных измерениях одной и той же величины на данной экспериментальной установке при одном и том же режиме работы. Примером систематической погрешности может служить так называемый уход нуля, т. е. когда прибор показывает какую-то величину при нулевом значении измеряемого параметра. Например, расходомер жидкости при отсутствии движения потока в канале показывает значение расхода 0,15 кг/ч. Возможно, это произошло из-за каких-либо внутренних процессов или нарушений в электронной схеме прибора. Поэтому, может быть, при любых измерениях расходомер будет завышать результат на 0,15 кг/ч (это необходимо проверять, поскольку при ненулевом расходе систематическая погрешность может быть еще выше).

На практике систематические погрешности могут быть выявлены, а затем устранены или учтены.

Случайные погрешности, неопределенные по величине и знаку, могут возникать в результате совокупного действия различных случайных величин. Подобные погрешности можно выявить только при многократном измерении одной и той же физической величины в одинаковых условиях с помощью одних и тех же средств измерения.

Случайные погрешности сложно обнаружить и нельзя исключить; с ними можно бороться методами теории вероятностей и математической статистики.

Пример случайной погрешности – изменение показаний прибора в результате значительных колебаний напряжения электрической сети, от которой питается прибор. Если эти колебания напряжения сети происходят случайным образом, то их достаточно сложно выявить и учесть.

Грубые погрешности также значительно искажают результат измерений; обычно возникают при резком нарушении условий измерения. К таким погрешностям могут относиться погрешности, связанные с неисправностью приборов, вибрациями, неверными действиями экспериментатора (неправильная запись или неверно считанные показания прибора) и т. п. Результаты измерений, содержащие грубые погрешности, должны быть отброшены как недостоверные или измерены заново.

Поэтому в задачу измерения входит не только определение искомой физической величины, но и оценка допущенной при измерении погрешности. Погрешности измерения – это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Все погрешности можно разделить на абсолютные и относительные. Они отличаются по способу выражения. Абсолютные погрешности выражаются в тех же величинах, что и измеряемая величина. Например, измеренное давление охлаждающей жидкости в системе охлаждения $P_{о.ж} = (130 \pm 5)$ кПа.

Относительные погрешности выражаются в долях (процентах) измеряемой величины. Вычисляется относительная погрешность по известной формуле

$$\delta = \Delta A / A \cdot 100 \%,$$

где ΔA – абсолютная погрешность измерения, $\Delta A = A_x - A$; A_x – измеренное значение физической величины; A – истинное значение этой величины.

Следует отметить, что истинное значение A измеряемой величины определить довольно сложно, иногда вообще практически невозможно. Поэтому под истинным значением величины понимают ее значение, найденное с помощью измерительных устройств повышенной или высшей точности.

Относительная погрешность используется довольно часто, поскольку она дает более реальное представление о точности выполненного измерения, чем абсолютная погрешность.

Например, то же самое давление ОЖ в системе охлаждения можно представить с использованием относительной погрешности, $\delta = \pm 3,85 \%$.

В современной измерительной технике за последние десятилетия произошла своеобразная революция, связанная с доминирующим распространением цифровых приборов, в состав которых входят микропроцессоры, применяются автоматические способы корректировки нуля, осуществляется самодиагностика и др. В связи с этим качество измерений значительно выросло и погрешности измерения существенно уменьшились.

В процессе проведения стендовых испытаний двигателей измеряемые, а затем и вычисляемые значения необходимо занести в протокол. Образцы протоколов для записи результатов испытаний бензинового двигателя и дизеля даны в прил. 2.

Обработку результатов измерений, полученных при стендовых испытаниях двигателей, рекомендуется проводить по формулам, приведенным ниже.

Эффективная мощность двигателя N_e , кВт, рассчитывается по формуле

$$N_e = M_k n / 9550, \quad (1.1)$$

где M_k – крутящий момент, Н · м; n – частота вращения вала, мин⁻¹.

Среднее эффективное давление P_e , МПа, определяется по формуле

$$P_e = 0,00314 \tau M_k / (i V_h), \quad (1.2)$$

где τ – тактность двигателя (2 или 4); i – число цилиндров; V_h – рабочий объем цилиндра, л.

Часовой расход топлива G_T , кг/ч, при измерении весовым способом вычисляется по формуле

$$G_T = 3,6 \Delta G_T / \tau_T, \quad (1.3)$$

где ΔG_T – заданная мерная доза топлива, г; τ_T – время расхода заданной мерной дозы топлива, с.

Удельный эффективный расход топлива g_e , г/(кВт · ч), определяется по формуле

$$g_e = 1000 G_T / N_e. \quad (1.4)$$

Коэффициент избытка воздуха α определяется по уравнению

$$\alpha = G_b / G_T l_0, \quad (1.5)$$

где G_b – массовый расход воздуха, потребляемого двигателем на данном режиме, кг/ч; l_0 – количество воздуха, теоретически необходимого для полного сгорания 1 кг топлива (для дизтоплива $l_0 = 14,53$ кг возд./кг топл.; для автомобильного бензина $l_0 = 15,1$ кг возд./кг топл.).

Коэффициент наполнения η_v вычисляется по формуле

$$\eta_v = 33,6 G_b / (\rho_v \cdot n \cdot i \cdot V_h), \quad (1.6)$$

где ρ_v – плотность воздуха на впуске двигателя при текущем давлении и температуре на впуске, кг/м³.

Обычно испытания проводят при температуре окружающей среды $t_0 = 10...40$ °С и атмосферном давлении $B_0 = 720...780$ мм рт. ст. Если условия существенно отличаются от этих, то результаты испытания приводят к нормальным условиям ($t_0 = 25$ °С и $B_0 = 750$ мм рт. ст.).

При необходимости все измеренные и вычисленные параметры и показатели двигателя приводят к нормальным условиям. Однако в учебном процессе это, как правило, не делается.

По измеренным и вычисленным параметрам и показателям двигателя строятся соответствующие характеристики. При использовании терминов рекомендуется руководствоваться прил. 3.

В процессе снятия конкретных характеристик рекомендуется делать замеры в 6 – 8 точках для построения каждой из них. В каждой точке необходимо повторить замеры минимум три раза для повышения достоверности измерений.

Характеристики двигателей

Характеристикой двигателя называется графически выраженная зависимость его основных показателей (энергетических, экономических, экологических и др.) от режимных, конструктивных или иных факторов. Она позволяет оценивать его функционирование, сравнивать эффективность на различных режимах, определять влияние конструктивных факторов, выявлять эффективность различных способов улучшения его работы, сравнивать между собой двигатели различных типов и марок и др.

Характеристики двигателей лежат в основе выбора двигателя для того или иного объекта применения (автомобиля, трактора, генераторной установки и т. п.).

В реальных условиях эксплуатации двигателя в большинстве случаев функционируют при непрерывном изменении режимов работы. При этом на двигатель оказывает влияние большое число факторов, совместный учет которых вряд ли возможен.

В связи с этим возникла необходимость в получении искусственных характеристик на специальном оборудовании (моторных стендах), где возможно практически варьировать влияющие факторы и исследовать изменение показателей двигателя в функции одного из факторов (в этом случае он служит независимой переменной (аргументом) характеристики).

Для получения конкретной характеристики в функции только одного фактора необходимо значения других факторов (показателей) сохранять неизменными (const). При этом интересующие исследователей основные показатели работы двигателя будут зависимыми переменными (функциями) характеристики.

Получение той или иной характеристики регламентируется стандартами. В этом случае их можно назвать стандартными. Однако в исследовательской практике для достижения задач исследования возможно получение любых других характеристик (на усмотрение исследователя).

К стандартным относятся следующие **виды характеристик**:

- нагрузочные;
- скоростные;
- регуляторные;
- регулировочные.

При снятии каждой из указанных характеристик регламентируются (оговариваются) условия ее получения, в частности указываются необходимая и допустимая комплектации двигателя. Например, насос гидравлического усилителя рулевого управления (ГУР) не является необходимым агрегатом для работы двигателя, поэтому характеристики могут сниматься без него. А вот генератор, топливный насос с электроприводом, жидкостный насос (внешнего расположения) и другие агрегаты двигателя необходимы, без них двигатель работать не может.

Следует отметить, что **любые характеристики двигателей могут быть получены только экспериментальным путем.** Никакие, даже самые современные и совершенные, программы расчета цикла двигателя не позволят построить реальную характеристику двигателя. И вопрос здесь не в том, что невозможно физически рассчитать показатели двигателя в определенных точках какой-либо характеристики. Такой расчет можно сделать с учетом самых различных конструктивных особенностей двигателя и физико-химических параметров рабочего процесса. Но вот как будет выглядеть **реальная характеристика**, с которой двигатель будет эксплуатироваться, – неизвестно. Это объясняется тем, что при программировании электронных систем управления (контроллеров) разработчики всегда исходят из компромиссных соображений, т. е. рабочие точки программы управления выбираются таким образом, чтобы удовлетворить противоречивым требованиям по топливной экономичности, токсичности ОГ, крутящему моменту и мощности, приемистости двигателя и др. При формировании программы управления двигателем, которая затем «загружается» в контроллер, учитывается множество факторов, напрямую не связанных с двигателем, например:

- тип и особенности коробки перемены передач (механическая или автоматическая трансмиссия, количество передач, конкретные передаточные числа и др.);

- назначение и тип носителя (легковой автомобиль, грузовой, трактор, генераторная установка и т. п.);

- особенности возможной эксплуатации (горная местность или пустыня, теплый или холодный климат, степень загрузки транспортного средства и т. п.);

- прогнозируемый режим движения транспортного средства (спортивный, стандартный, экономичный и др.).

Например, автомобильный дизель рабочим объемом 3,0 л может быть установлен на внедорожник (джип), малотоннажный грузовик и генераторную установку. Для всех трех вариантов применения производитель двигателя предусматривает различные контроллеры с **разными программами управления.** В каждом конкретном случае двигатель обеспечивает те показатели, которые от него требуют потребители.

Таким образом, построение каких-либо расчетных «характеристик» – абсолютно бесперспективное дело, оторванное от реальной жизни.

Отметим, что еще в 1960-х годах подобные построения пытались делать И. М. Ленин и др., но с оговоркой, что такие построения необходимо базировать на подобии двигателей (была разработана даже целая теория о том, какие двигатели можно считать подобными). В дальнейшем авторы этих методик отказались от продолжения исследований, поняв всю их утопичность.

Сегодня же при наличии сложных и развитых электронных систем управления двигателями это делать просто бессмысленно.

В качестве конкретного примера также можно привести производимый корпорацией *VAG* бензиновый двигатель семейства *EA211* (трехцилиндровый, $iV_h = 1,0$ л), имеющий **три разные модификации, реализованные только с помощью различных программ контроллера**, мощностью 44 кВт (код двигателя *CHYA*), 50 кВт (*CPGA*) и 55 кВт (*CHYB*). Особенности протекания кривых мощности и крутящего момента указанных модификаций одного и того же двигателя по внешней скоростной характеристике отражены на рис. 1.4. Очевидно, что характеристики всех трех модификаций двигателя имеют существенные различия, достигнутые только лишь за счет разных программ управления.

Следует также отметить, что в связи с широким распространением электронных систем управления двигателями (уже более десяти лет автомобильные бензиновые двигатели и автомобильные дизели без электронных систем управления не выпускаются) многие характеристики двигателей утратили свое значение и в какой-то степени обесценились. Например, регулировочные характеристики по углу опережения зажигания (впрыска топлива), по составу смеси у бензиновых двигателей можно получить только на заводах – изготовителях двигателей, поскольку снять их в обычной лаборатории не представляется возможным из-за отсутствия специального оборудования (которое имеется у разработчиков программ), позволяющего изменять эти регулировочные параметры. К тому же при эксплуатации двигателей потребитель не может эти параметры самостоятельно изменить, не затрагивая программу управления двигателем. Иначе говоря, то

время, когда потребитель в процессе эксплуатации мог сам регулировать некоторые параметры двигателей, безвозвратно ушло.

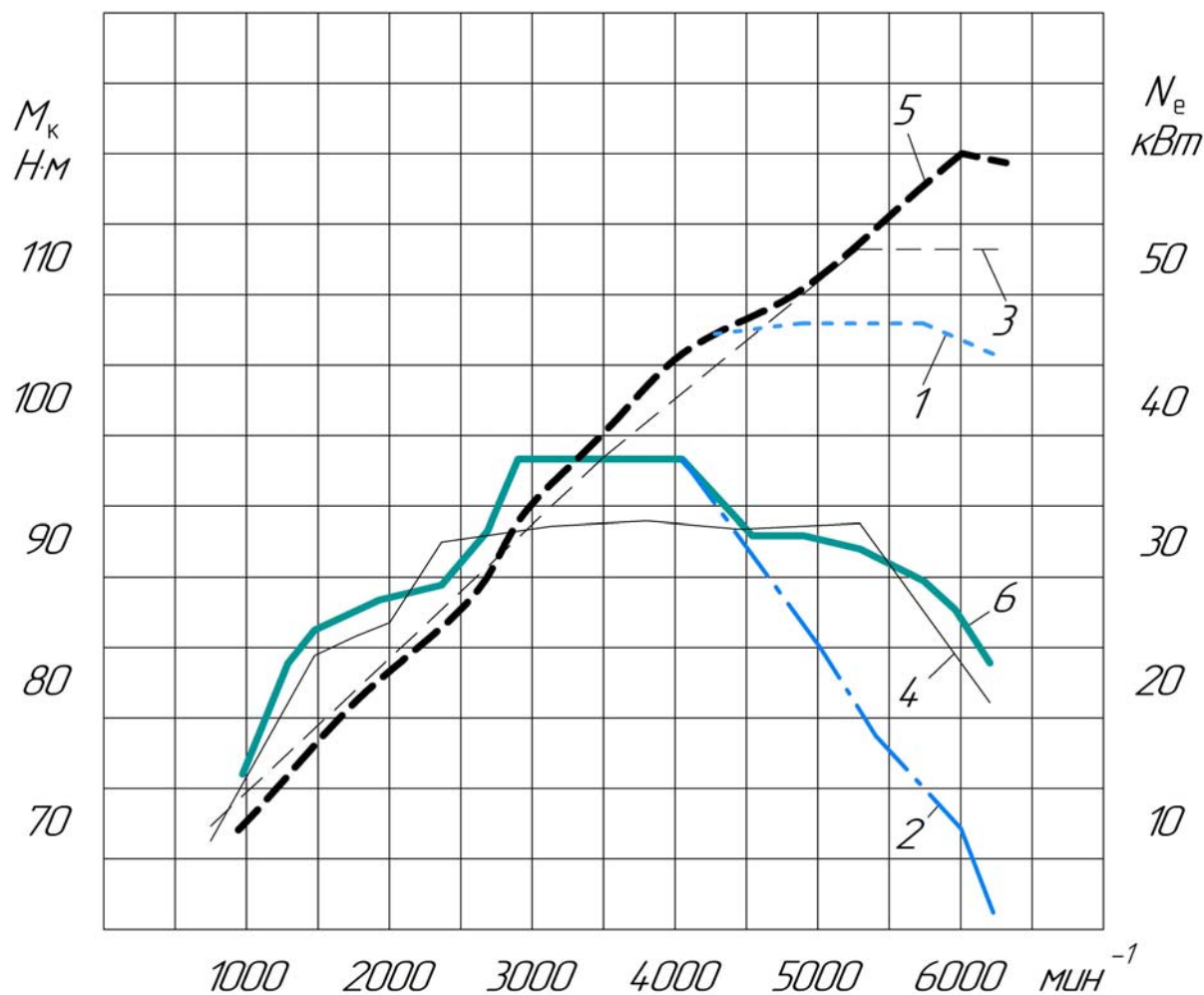


Рис. 1.4. Характеристики мощности и крутящего момента трех модификаций двигателя EA211 по внешней скоростной характеристике, реализованные с помощью различных программ контроллера: характеристики мощности 1 и крутящего момента 2 модификации двигателя мощностью 44 кВт; 3 и 4 – 50 кВт, 5 и 6 – 55 кВт (соответственно)

В настоящее время за рубежом, чтобы получить доступ к контроллеру и его программному обеспечению (да и вообще к проведению ремонта электронных компонентов системы управления), специалист должен иметь сертификат от производителя двигателя (или контроллера) на проведение этого вида работ.

В нашей стране уже несколько десятилетий развивается так называемый «чип-тюнинг». Специалисты в этом вопросе могут изменить программу управления двигателем («перепрошить»), програм-

мым путем отключить (деактивировать) некоторые датчики и исполнительные устройства (например, выходной λ -зонд каталитического нейтрализатора, клапан рециркуляции ОГ и т. п.). Естественно, всё это делается без ведома производителя двигателя (автомобиля). Сегодня существуют множество фирм, занимающихся бизнесом в этой области.

Рассмотрим более детально основные виды характеристик.

Нагрузочные характеристики – графическое отображение зависимости основных показателей двигателя от его нагрузки при постоянных и определенных частотах вращения вала. Постоянство частоты вращения вала двигателя, т. е. $n = \text{const}$ в пределах одной характеристики, – обязательное условие получения нагрузочной характеристики. Поскольку нагрузочные характеристики снимаются при $n = \text{const}$, то для конкретного двигателя получают серию нагрузочных характеристик при разных (но фиксированных!) частотах вращения вала n .

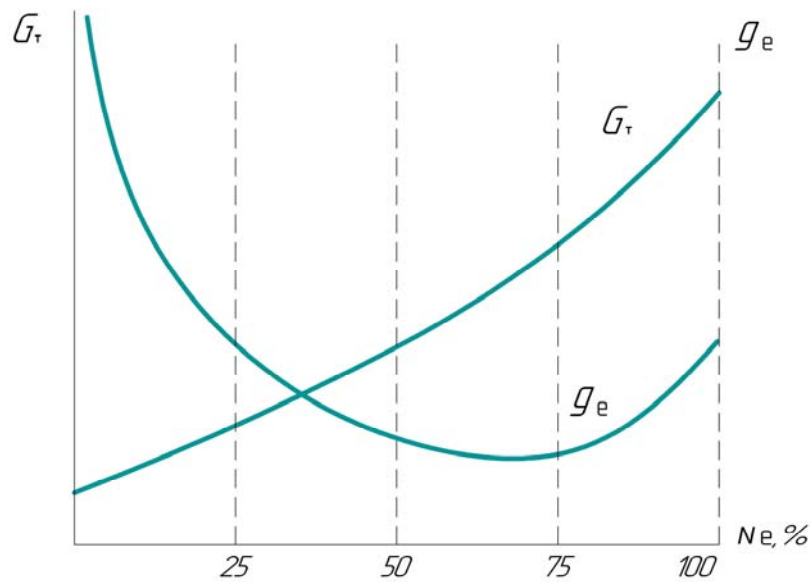
Независимой переменной при этом выступает нагрузка двигателя, определяемая по эффективной мощности двигателя N_e , среднему эффективному давлению P_e , крутящему моменту двигателя M_k . Все три показателя взаимосвязаны и при условии $n = \text{const}$ однозначно определяют нагрузку двигателя.

В качестве показателя нагрузки не рекомендуется брать разрежение во впускном трубопроводе бензинового двигателя, а также положение дроссельной заслонки, поскольку они лишь косвенно характеризуют нагрузку.

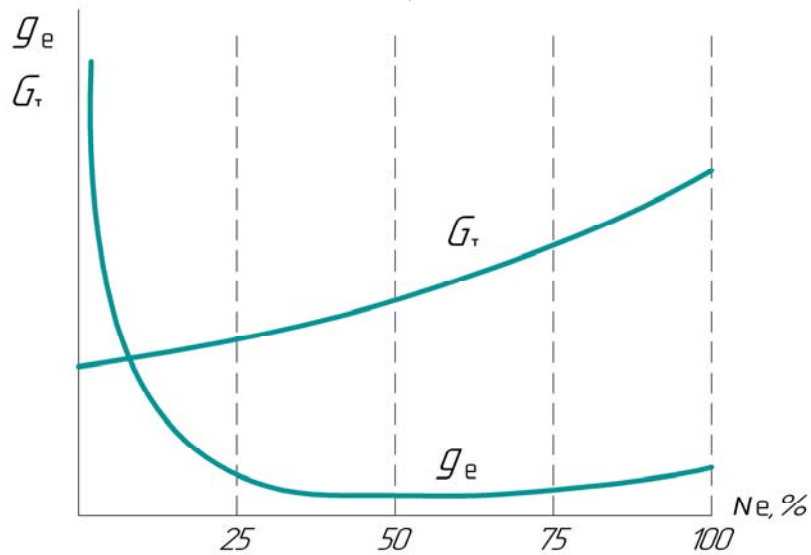
Основными показателями для анализа по нагрузочной характеристике считаются удельный эффективный расход топлива g_e и часовой расход топлива G_T , поскольку по своей сути нагрузочные характеристики предназначены именно для выявления наиболее экономичных режимов работы двигателей различного назначения.

Однако очень часто по нагрузочной характеристике строят изменение и других параметров и показателей – токсичности ОГ (выбросы CO, CH, NO_x, дымность), температуры отдельных деталей и ОГ, коэффициента избытка воздуха α и др.

На рис. 1.5 представлены типичные характеристики бензинового двигателя и дизеля. Как можно видеть, нагрузочные характеристики этих двигателей имеют некоторые различия.



а)



б)

Рис. 1.5. Нагрузочные характеристики:
а – бензинового двигателя; б – дизеля

Анализ протекания кривой g_e показывает, что большинство частичных нагрузок бензинового двигателя характеризуются повышенными значениями g_e и только их узкий диапазон имеет минимальные и близкие к ним удельные эффективные расходы топлива. Это является принципиальным недостатком бензиновых двигателей, определяющим их худшую топливную экономичность по сравнению с дизелями.

В реальных условиях эксплуатации режимы работы бензинового двигателя, соответствующие зоне максимальной топливной экономичности по нагрузочной характеристике, используются редко. В

определенной мере этот недостаток исправлен в двигателях с непосредственным впрыском бензина, который имеет очень сложную стратегию управления топливоподачей, позволяющую изменять не только состав топливовоздушной смеси (переход на бедные расслоенные смеси), но и моменты впрыска бензина в камеру сгорания, давление впрыска и др.

Отличительная особенность изменения кривой g_e по нагрузочной характеристике дизеля – ее плавный характер. При этом на большинстве частичных нагрузок удельные эффективные расходы топлива g_e близки к минимальным значениям. По сравнению с характеристикой бензинового двигателя у дизеля гораздо шире зона минимальных значений g_e . Это свидетельствует о принципиальных преимуществах качественного способа регулирования нагрузки, улучшающего показатели топливной экономичности работы дизелей.

Исследование нагрузочных характеристик двигателей (как бензиновых, так и дизелей) позволяет оценить их топливную экономичность и определить способы ее улучшения, дает информацию для совершенствования топливной аппаратуры и рабочего процесса двигателей.

Скоростной характеристикой двигателя называется графическое отображение изменения его основных показателей в зависимости от частоты вращения вала при определенном и постоянном положении органа, управляющего подачей топлива.

В условиях эксплуатации скоростной режим изменяется так же часто, как и нагрузочный. Частота вращения вала наиболее значительно влияет на параметры цикла и выходные показатели работы двигателя. Поэтому цель получения скоростной характеристики – выявление закономерностей изменения показателей работы двигателя в зависимости от частоты вращения его вала.

В качестве основных показателей двигателя могут выступать эффективная мощность и крутящий момент двигателя, часовой и удельный эффективный расход топлива. Дополнительно могут отображаться коэффициент наполнения, коэффициент избытка воздуха, часовой расход воздуха, температуры ОГ и др.

Условием получения указанной характеристики можно назвать наличие независимой переменной – частоты вращения вала двигателя. Постоянной величиной при этом является положение органа, управляющего топливоподачей. Для бензинового двигателя это угло-

вое положение дроссельной заслонки, у дизелей (с механическими топливными системами) – положение рейки топливного насоса высокого давления (ТНВД).

Однако значительные изменения, которые претерпевают автомобильные и тракторные двигатели в последние десятилетия в связи с широким распространением электроники, внесли и здесь свои коррективы. Если у бензиновых двигателей дроссельная заслонка пока сохранилась, то у большинства дизелей теперь нет рейки топливного насоса (исключение составляют дизели, имеющие ТНВД с электроприводом рейки, но таких немного). Поэтому в отношении дизелей теперь правильно в качестве органа управления топливоподачей указывать электронную педаль акселератора. В дизелях с системами *Common Rail* (CR) и электронно-управляемыми насос-форсунками именно электронная педаль акселератора управляет подачей топлива.

Среди скоростных характеристик различают внешнюю скоростную характеристику (ВСХ) и частичные скоростные характеристики (ЧСХ). Эти характеристики условно показаны для бензинового двигателя и дизеля на рис. 1.6.

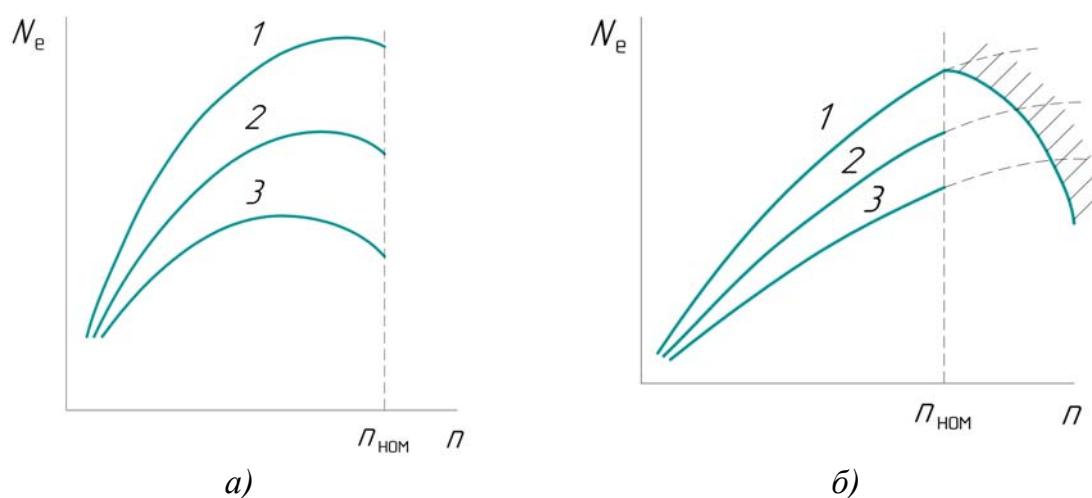


Рис. 1.6. Условные изображения кривых эффективной мощности по внешним скоростным характеристикам: а – бензинового двигателя; б – дизеля; 1 – внешние скоростные характеристики мощности; 2 и 3 – частичные скоростные характеристики мощности

Кроме того, частным случаем скоростной характеристики считается **характеристика холостого хода**, когда изменение частоты вращения вала достигается изменением положения органа, управляющего топливоподачей при работе двигателя на холостом ходу.

Внешнюю скоростную характеристику двигателя (бензинового и дизеля) получают **при крайнем максимальном положении** органа управления подачей топлива (дроссельной заслонки или рейки топливного насоса). Эта кривая ВСХ располагается выше других частичных скоростных характеристик, поэтому и называется внешней.

Частичные скоростные характеристики определяются **при частичном положении** органа управления топливоподачей, например при 30, 60 % или других значениях положения дроссельной заслонки.

На рис. 1.7 показан фрагмент типичной внешней скоростной характеристики бензинового двигателя.

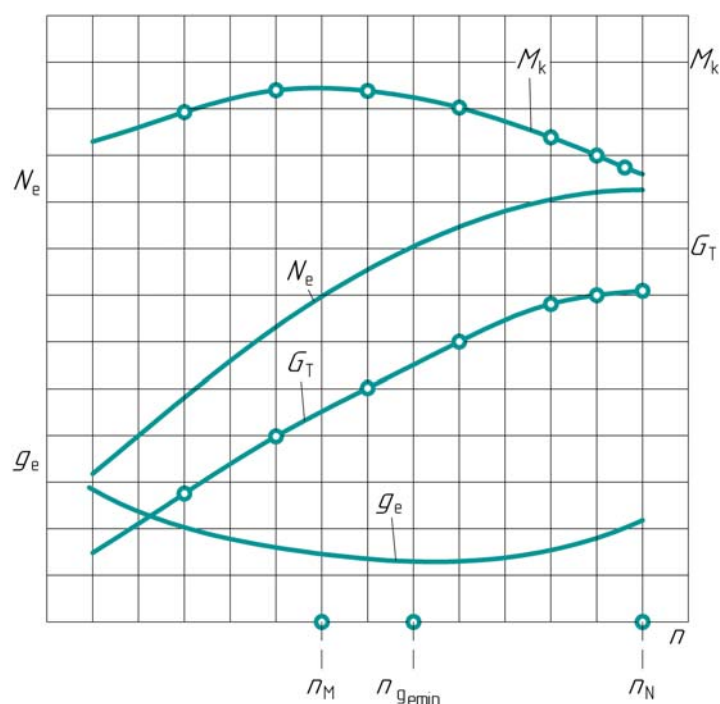


Рис. 1.7. Типичная внешняя скоростная характеристика бензинового двигателя

По внешней скоростной характеристике бензинового двигателя следует рассматривать диапазон частот вращения вала от n_{\min} до $n_{\text{ном}}$, который наиболее часто используется при эксплуатации двигателя. Кривые эффективной мощности и крутящего момента имеют свои несовпадающие максимумы во всем диапазоне внешней скоростной характеристики. При этом следует отметить, что минимум удельного эффективного расхода топлива g_e совпадает по частоте вращения вала с максимумом крутящего момента.

Изменение часового расхода топлива по внешней скоростной характеристике зависит в основном от частоты вращения вала.

К особенностям ВСХ бензиновых двигателей следует отнести пологое изменение **кривой мощности**, что свидетельствует о недостаточно высокой приемистости бензиновых двигателей. Объяснением этого служат отрицательные свойства внешнего смесеобразования, а также характер изменения основных параметров цикла в зависимости от частоты вращения вала.

В то же время следует отметить достаточно крутое протекание кривой крутящего момента M_k , что говорит о довольно хорошей самоприспособляемости двигателей этого типа к изменению внешней нагрузки.

Кроме изменения указанных на рис. 1.7 параметров и показателей в составе внешней скоростной характеристики могут быть представлены кривые изменения коэффициента наполнения, индикаторного и механического КПД, коэффициента избытка воздуха α и др.

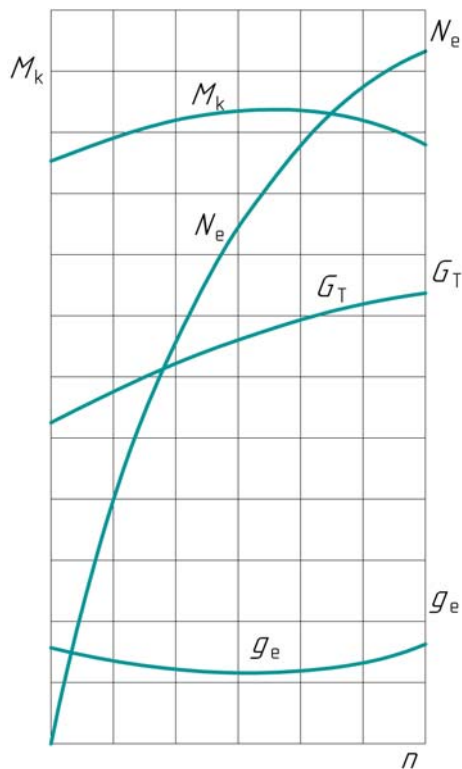


Рис. 1.8. Типичная внешняя скоростная характеристика дизеля

На рис. 1.8 показана типичная внешняя скоростная характеристика дизеля.

Кривая мощности дизеля довольно резко растет с увеличением частоты вращения вала двигателя, что обеспечивает хорошую приемистость дизелей. Но в то же время при быстром росте цикловых подач топлива создаются условия для резкого увеличения частоты вращения вала дизеля. В прошлом это было заметной особенностью дизелей (при механических системах управления топливоподачей), подчас приводящей к возникновению «разноса» двигателя. В настоящее время электронные системы управления дизелями имеют

ограничители частоты вращения вала, что предотвращает возможные негативные явления.

Еще одна особенность дизеля – пологое протекание кривой крутящего момента M_k по скоростной характеристике, что свидетель-

ствуется о худшей приспособляемости дизелей по сравнению с бензиновыми двигателями.

Следует отметить и пологое протекание кривой удельного эффективного расхода топлива g_e , что обеспечивает дизелям высокую топливную экономичность в широком диапазоне частот вращения вала.

Вышеназванные внешние скоростные характеристики бензиновых двигателей и дизелей относятся, скорее, к традиционным конструкциям этих двигателей, чем к передовым.

За последние годы специалисты ведущих двигателестроительных фирм мира проделали огромную работу по формированию более выгодных характеристик как бензиновых двигателей, так и дизелей. Для этого в основном используются возможности систем электронного управления, позволяющие реализовать регулируемые фазы газораспределения, изменяемую геометрию впускных трубопроводов, регулируемый наддув, управляемое сгорание топлива (в дизелях), сложные стратегии управления топливоподачей в двигателях с непосредственным впрыском бензина и др.

Указанные инновационные возможности были использованы в полной мере и дали положительные результаты. На рис. 1.9 приведены внешние скоростные характеристики современных бензиновых двигателей и дизелей.

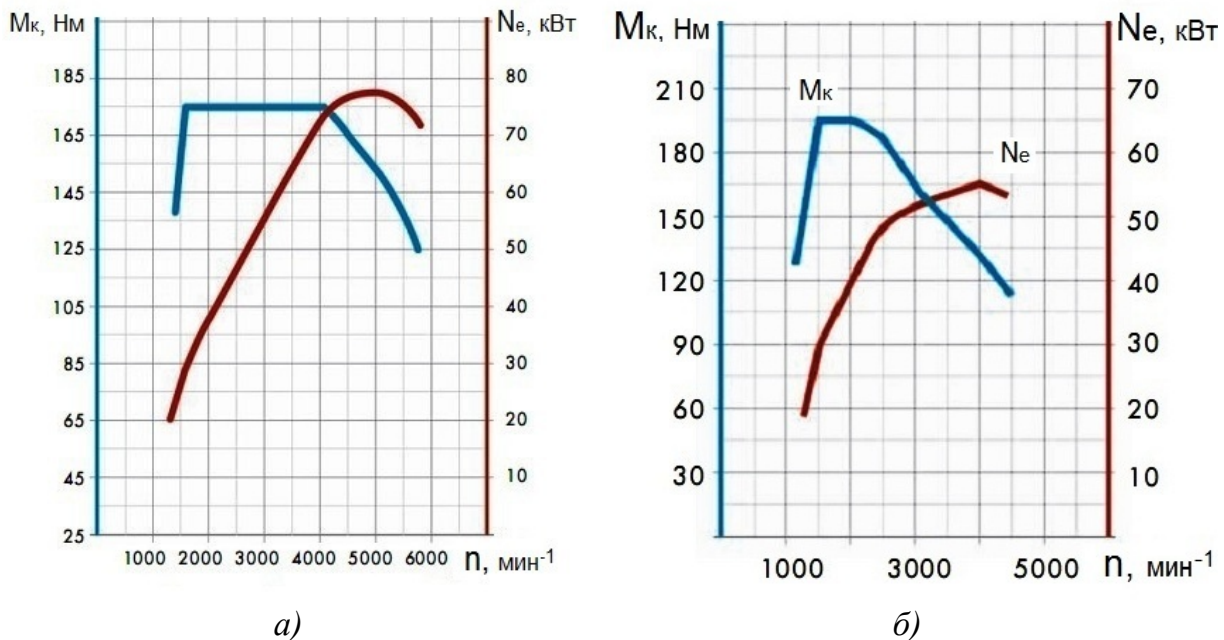


Рис. 1.9. Типичные характеристики современных двигателей корпорации Volkswagen: а – автомобильного бензинового двигателя TSI 1,2 л; б – автомобильного дизеля TDI 1,6 л с системой CR

Характеристики, отраженные на рис. 1.9, показывают, что путем формирования требуемых кривых крутящего момента и эффективной мощности удалось повысить приемистость и приспособляемость современных двигателей. Кроме того, такие характеристики обеспечивают высокую топливную экономичность и низкие выбросы токсичных компонентов с ОГ.

Характеристики современных автомобильных бензиновых двигателей и дизелей во многом выступают конечной целью усовершенствования двигателей. Различные виды характеристик необходимы как для разработчиков и производителей двигателей, так и для потребителей.

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЬНЫХ БЕНЗИНОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ, ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ И МЕТОДИК ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы – знакомство с лабораториями для проведения стендовых испытаний автомобильных и тракторных двигателей, с применяемым оборудованием, измерительной аппаратурой и методиками исследования.

Задачи работы

1. Изучить виды испытаний автомобильных и тракторных двигателей.
2. Ознакомиться с моторными стендами и применяемым оборудованием.
3. Рассмотреть применяемую измерительную аппаратуру при проведении испытаний двигателей.
4. Познакомиться с методиками проведения испытаний автомобильных и тракторных двигателей.

Общие сведения

Перед началом работы необходимо пройти инструктаж по технике безопасности при работе в исследовательских лабораториях.

Далее студенты самостоятельно и под руководством преподавателя знакомятся с лабораториями испытания двигателей кафедры «Тепловые двигатели и энергетические установки». Изучают особенности организации работ в моторных боксах, типы и возможности балансирных машин, технологию установки двигателя на стенд (см. прил. 4); детально рассматривают применяемое оборудование для проведения испытаний.

Отдельно изучается применяемая измерительная аппаратура, ее характеристики, особенности и возможности использования.

При выполнении данной работы следует акцентировать внимание на следующих вопросах:

– как функционирует электронная система управления двигателем и как через адаптер реализуется связь контроллера с выносным компьютером;

– как производится подача и замер расхода топлива;

– каким способом подается воздух и замеряется его расход;

– как реализовано управление охлаждением двигателя и наддувочного воздуха на впуске;

– как организована схема отвода отработавших газов и анализа токсичных компонентов;

– как выполнено принудительное воздушное охлаждение внешней поверхности двигателя и выпускного трубопровода;

– как проводятся измерения частоты вращения вала, различных температур (охлаждающей жидкости, отработавших газов, моторного масла, воздуха на впуске и др.), давлений (во впускном трубопроводе, в системе смазки и др.).

По всем возникающим вопросам следует обращаться к преподавателю.

Контрольные вопросы

1. Какое оборудование входит в состав моторного стенда?
2. Для чего применяется тормозное устройство?
3. Какие типы тормозных устройств существуют? Каковы их преимущества и недостатки?
4. Как организовано охлаждение двигателя на моторном испытательном стенде?
5. Что такое характеристика тормозного устройства?
6. Какая взаимосвязь существует между характеристиками двигателя и характеристикой тормозного устройства?

7. Как определяются параметры и показатели работы двигателя при его испытаниях на стенде?
8. Каким образом управляют балансирным тормозом?
9. Каким образом отводятся отработавшие газы и анализируются их токсичные компоненты?
10. Как организована подача топлива в двигатель? Как определяется расход топлива?
11. Какие способы замера расхода топлива в условиях моторного стенда существуют? Каковы их преимущества и недостатки?
12. Каким образом закреплен испытываемый двигатель на стенде?
13. Как выполнена вентиляция моторного бокса?

Лабораторная работа № 2

НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы – определение нагрузочной характеристики автомобильного бензинового двигателя и выявление влияния нагрузки на его топливную экономичность.

Задачи работы

1. Ознакомиться с условиями определения нагрузочной характеристики автомобильного бензинового двигателя.
2. Определить нагрузочную характеристику бензинового двигателя.
3. Проанализировать полученную нагрузочную характеристику.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с конкретным моторным стендом для проведения работы. Проверить состояние стенда.
2. Запустить и прогреть двигатель до температуры моторного масла $t_m = 60$ °С.
3. При минимальной нагрузке двигателя (контролируется по показаниям весовой головки) установить по указанию преподавателя заданную частоту вращения вала (в пределах $n = 2000 \dots 3500$ мин⁻¹).

4. После установившихся значений параметров работы двигателя (частота вращения, температура охлаждающей жидкости, показания весовой головки и др.) провести на данном режиме первый замер.

5. Измерению подлежат следующие параметры и показатели работы двигателя:

- показания весовой головки балансирующего тормоза;
- частота вращения вала двигателя;
- время расходования определенной порции топлива (выбирается по указанию преподавателя);
- массовый расход воздуха;
- длительность открытия электромагнитной форсунки;
- величина разрежения во впускном трубопроводе;
- давление моторного масла в системе;
- температура моторного масла;
- давление топлива в системе топливоподачи;
- температура отработавших газов;
- температура охлаждающей жидкости;
- температура воздуха на впуске в двигатель;
- показатели токсичных выбросов (CO, CH, NO_x).

Все измеряемые параметры и показатели занести в протокол.

6. С помощью увеличения открытия дроссельной заслонки изменить нагрузку и стабилизировать заданную частоту вращения вала. После выдержки для стабилизации параметров и показателей двигателя приступить к замеру во второй точке характеристики.

7. Подобным образом произвести измерения в 6 – 8 точках.

8. После всех замеров снизить нагрузку двигателя и после 3 – 5 мин работы с минимальной нагрузкой остановить двигатель.

9. Проверить заполнение данных в протоколе испытаний.

10. Выполнить необходимые расчеты и по указанию преподавателя построить требуемые зависимости по нагрузке двигателя.

11. Проанализировать полученные данные по нагрузочной характеристике и полностью оформить отчет.

При подготовке отчета и построении нагрузочной характеристики допускается не строить полученные кривые отдельных зависимостей на одном поле, а разбить их по топливно-экономическим (часовой и удельный эффективный расход топлива) и экологическим показателям (выбросы CO, CH, NO_x), а также выделению двуокси углерода CO₂.

Для примера на рис. 1.10 представлены показатели топливной экономичности по нагрузочной характеристике двигателя ВАЗ-21114.

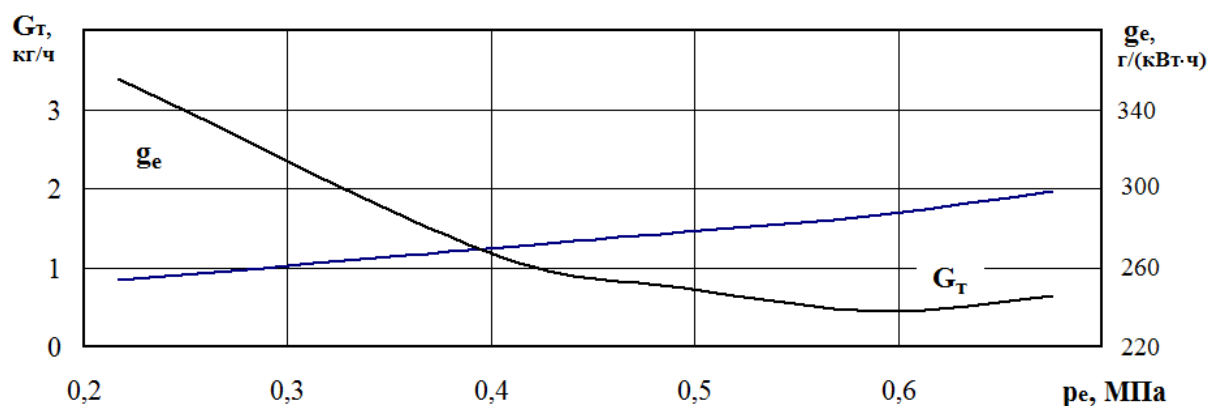


Рис. 1.10. Показатели топливной экономичности двигателя ВАЗ-21114 по нагрузочной характеристике при $n = 2800 \text{ мин}^{-1}$

Как показывают данные фрагмента нагрузочной характеристики (см. рис. 1.10), кривая удельного эффективного расхода топлива g_e имеет пологий вид на довольно узком участке нагрузки в пределах $P_e = 0,50 \dots 0,65 \text{ МПа}$.

Такой характер изменения кривой g_e свидетельствует об известном недостатке количественного регулирования мощности: наименьший расход топлива наблюдается только в узком диапазоне нагрузки.

На рис. 1.11 представлены изменения токсичных выбросов и выделений CO_2 по нагрузочной характеристике двигателя ВАЗ-21114.

Анализ графиков показывает, что с увеличением нагрузки существенно возрастают выбросы NO_x . При этом выделение CO и CH несколько снижается по мере роста нагрузки.

Представленные фрагменты нагрузочной характеристики двигателя ВАЗ-21114 типичны для бензиновых двигателей последних десятилетий.

Кроме показанных на характеристике параметров и показателей двигателя (см. рис. 1.11) могут быть построены и другие графики изменения различных величин (температура ОГ, коэффициент наполнения η_v , механический и индикаторный КПД и т. п.).

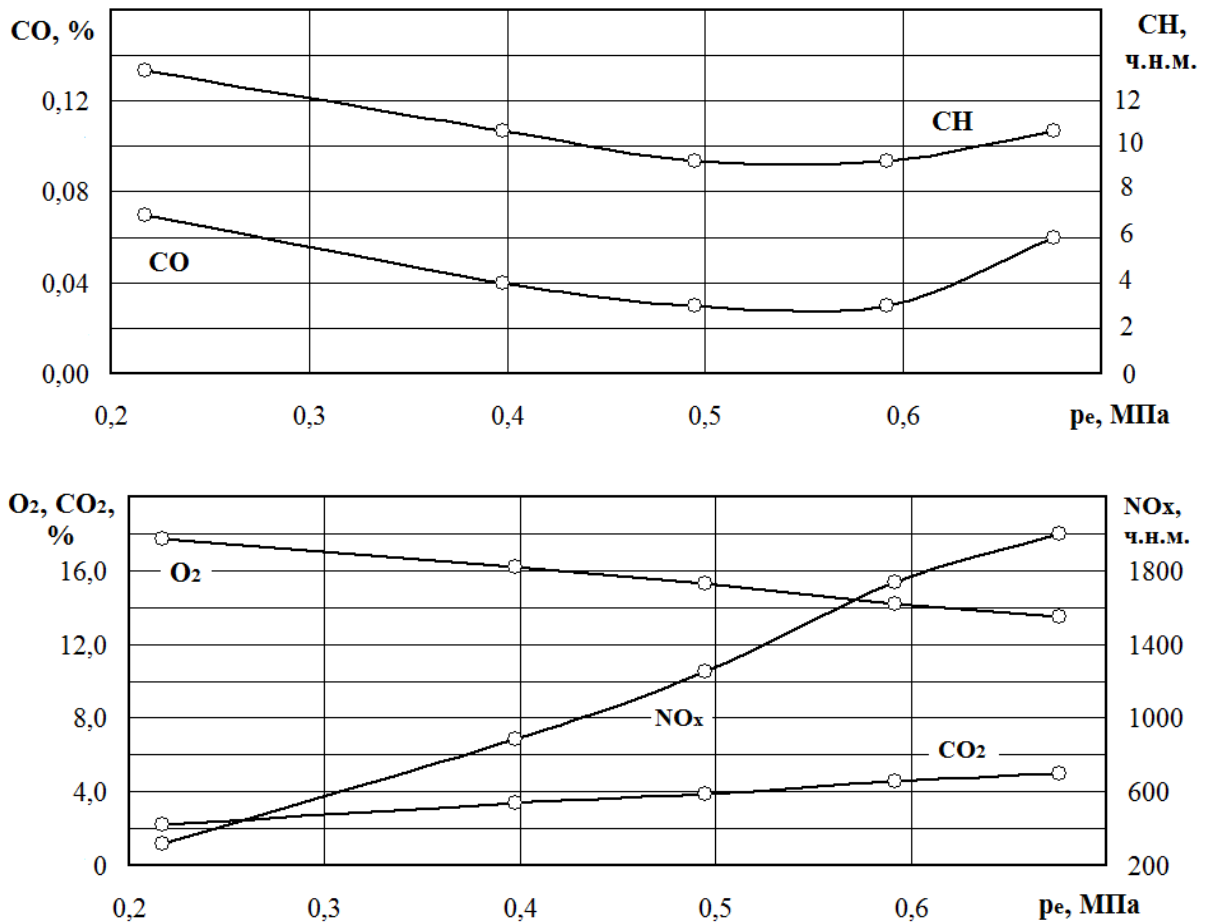


Рис. 1.11. Показатели токсичных выбросов CO, CH, NO_x и выделения CO₂ по нагрузочной характеристике двигателя ВАЗ-21114 при $n = 2800 \text{ мин}^{-1}$

Контрольные вопросы

1. Что называют нагрузочной характеристикой двигателя?
2. Каковы особенности процесса получения нагрузочной характеристики?
3. Каков характер протекания полученной зависимости $g_e = f(P_e)$?
4. С какой целью снимается нагрузочная характеристика двигателя?
5. Каковы условия получения нагрузочной характеристики?
6. Какой недостаток двигателей с количественным регулированием можно выявить по нагрузочной характеристике?

Лабораторная работа № 3

СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы – получение скоростной характеристики двигателя (внешней или частичной) и выявление влияния скоростного режима работы двигателя на его эффективные показатели.

Задачи работы

1. Ознакомиться с условиями получения скоростной характеристики бензинового двигателя.
2. Практически снять скоростную характеристику двигателя (внешнюю или частичную).
3. Проанализировать изменение параметров и показателей бензинового двигателя в зависимости от скоростного режима.

Общие сведения

Получение серии скоростных характеристик двигателя при различных положениях дроссельной заслонки позволяет определить, как изменяются показатели двигателя на различных скоростных режимах. По мере закрывания дроссельной заслонки максимум мощности смещается в сторону более низких частот вращения вала.

Внешняя скоростная характеристика – одна из основных при оценке пригодности двигателя для того или иного потребителя.

Порядок выполнения работы

1. После проверки состояния моторного стенда запустить и прогреть двигатель примерно до температуры моторного масла $t_m = 60$ °С.
2. Установить частоту вращения вала двигателя $n = 1500$ мин⁻¹. Зафиксировать дроссельную заслонку в выбранном положении (полного или частичного открытия). Некоторое время поработать на этом режиме для стабилизации параметров и показателей двигателя.
3. После установившихся значений параметров работы двигателя (частота вращения, температура охлаждающей жидкости, по-

казания весовой головки и др.) провести на данном режиме первый замер.

4. Измерению подлежат следующие параметры и показатели работы двигателя:

- показания весовой головки балансирного тормоза;
- частота вращения вала двигателя;
- время расходования определенной порции топлива (выбирается по указанию преподавателя);
- массовый расход воздуха;
- длительность открытия электромагнитной форсунки;
- величина разрежения во впускном трубопроводе;
- давление моторного масла в системе;
- температура моторного масла;
- давление топлива в системе топливоподачи;
- температура отработавших газов;
- температура охлаждающей жидкости;
- температура воздуха на впуске в двигатель;
- показатели токсичных выбросов (CO , CH , NO_x).

Все измеряемые параметры и показатели занести в протокол.

5. После окончания замера в этой точке скоростной характеристики изменить скоростной режим (придерживаясь шага по n 300...500 мин^{-1}) и вновь после стабилизации нового режима провести замеры. Подобным образом произвести измерения в 6 – 8 точках.

6. После всех замеров снизить нагрузку двигателя и после 3 – 5 мин работы с минимальной нагрузкой остановить двигатель.

7. Проверить заполнение данных в протоколе испытаний.

8. Выполнить необходимые расчеты и по указанию преподавателя построить требуемые зависимости по скоростной характеристике двигателя.

9. Проанализировать полученные данные по скоростной характеристике двигателя и полностью оформить отчет.

При анализе построенных характеристик следует обратить внимание на следующие характерные точки:

- точка достижения максимального крутящего момента n_m ;
- точка, соответствующая наивысшей топливной экономичности при g_{emin} ;

– точка максимальной эффективной мощности двигателя n_n .

При повышении частоты вращения вала увеличивается количество рабочих циклов в единицу времени, что оказывает решающее значение на увеличение часовых расходов топлива G_T и воздуха G_B .

Также при анализе следует обратить внимание на то, что кривая крутящего момента практически повторяет характер изменения коэффициента наполнения двигателя.

Кривая эффективной мощности двигателя показывает рост мощности при увеличении частоты вращения вала двигателя за счет действия следующих факторов:

– увеличения количества циклов в единицу времени, а следовательно, и индикаторной мощности;

– уменьшения тепловых потерь с ростом частоты вращения вала.

Из указанных факторов превалирует первый. В то же время с увеличением частоты вращения вала неизбежно растут механические потери (падает механический КПД двигателя η_m), что замедляет темп роста эффективной мощности и при высоких частотах вращения вала ($> n_{ном}$) приводит к ее снижению.

На рис. 1.12 отражено изменение энергетических показателей двигателя ВАЗ-21114 по внешней скоростной характеристике.

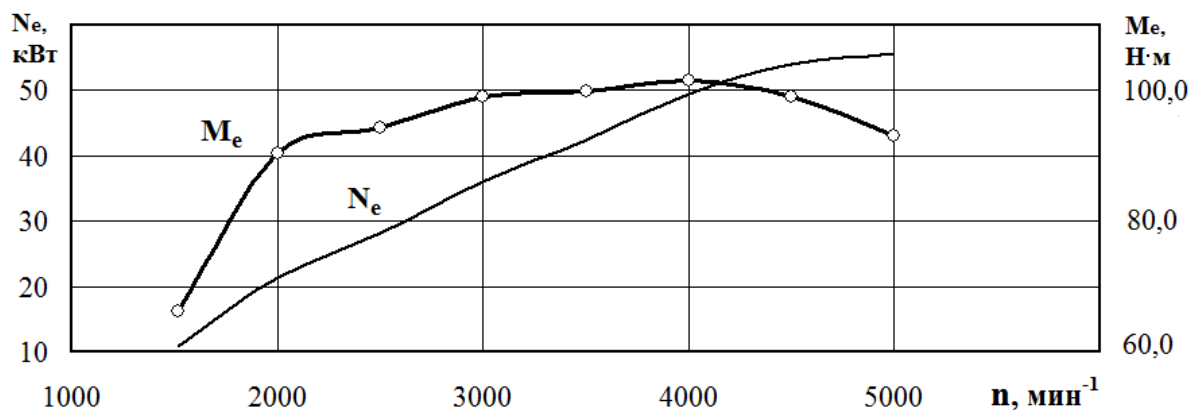


Рис. 1.12. Изменение энергетических показателей двигателя ВАЗ-21114 по внешней скоростной характеристике

На рис. 1.13 представлено изменение показателей топливной экономичности двигателя ВАЗ-21114 по внешней скоростной характеристике.

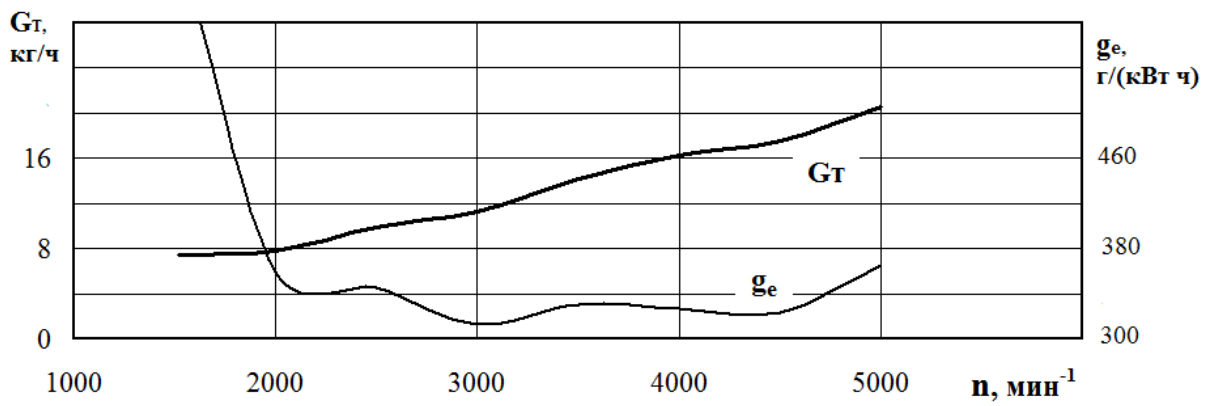


Рис. 1.13. Изменение показателей топливной экономичности двигателя VAZ-21114 по внешней скоростной характеристике

На рис. 1.14 приведены данные по токсичным выбросам и выделению CO_2 у бензинового двигателя VAZ-21114 по внешней скоростной характеристике.

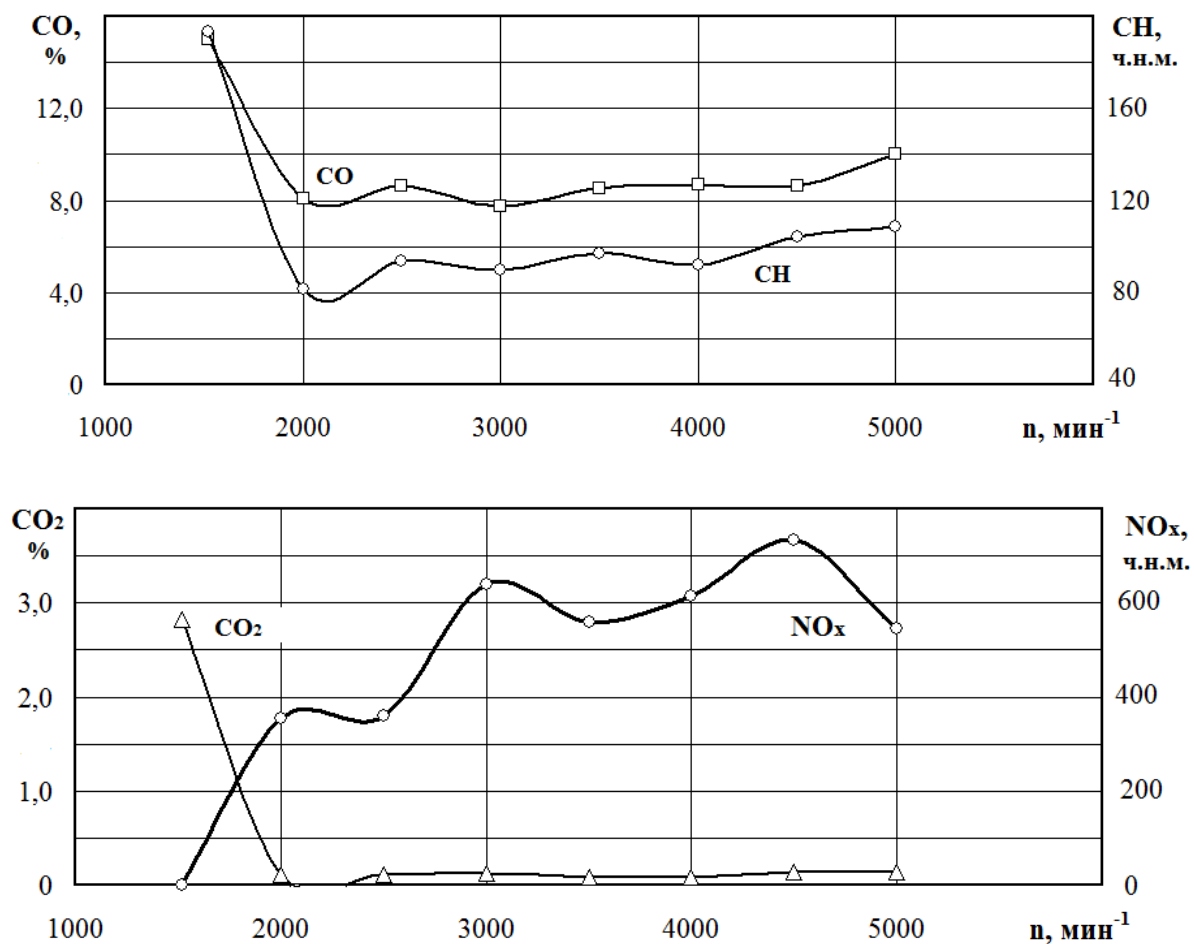


Рис. 1.14. Изменение показателей токсичности и выбросов CO_2 двигателя VAZ-21114 по внешней скоростной характеристике

Анализ данных по топливной экономичности показывает, что кривая g_e протекает достаточно полого, что свидетельствует об экономичности двигателя ВАЗ-21114. В то же время значения часового расхода топлива после $n > 4000 \text{ мин}^{-1}$ превышают 16 кг/ч, что довольно много для такого двигателя.

По зависимостям выбросов токсичных компонентов (см. рис. 1.14) можно сделать вывод, что с увеличением частоты вращения вала и эффективной мощности двигателя выделение оксидов азота NO_x неуклонно возрастает.

Выбросы CO и CH находятся примерно на одном уровне при частотах вращения вала $n > 1500 \text{ мин}^{-1}$.

Контрольные вопросы

1. Что называется скоростной характеристикой двигателя?
2. Какие виды скоростных характеристик существуют?
3. Каковы условия получения скоростной характеристики?
4. Каковы характерные скоростные режимы для бензинового двигателя?
5. Как можно объяснить наличие экстремума на кривой эффективной мощности двигателя?
6. Сравните изменение токсичных выбросов CO , CH , NO_x по скоростной характеристике бензинового двигателя.
7. Что такое частичная скоростная характеристика?
8. Проанализируйте характер изменения кривой удельного эффективного расхода топлива g_e по внешней скоростной характеристике бензинового двигателя.

Лабораторная работа № 4

ХАРАКТЕРИСТИКА ХОЛОСТОГО ХОДА АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы – получение характеристики холостого хода автомобильного бензинового двигателя и определение экономичности двигателя на этом режиме.

Задачи работы

1. Ознакомиться с условиями получения характеристики холостого хода бензинового двигателя.

2. Практически снять характеристику холостого хода двигателя (внешнюю или частичную).

3. Проанализировать изменение параметров и показателей бензинового двигателя в зависимости от частоты вращения вала на режиме холостого хода.

Общие сведения

Характеристика холостого хода представляет собой комплекс зависимостей часового расхода топлива, угла опережения зажигания, а также других параметров и показателей двигателя от частоты вращения вала на режиме холостого хода (при нулевой нагрузке на валу).

Характеристику холостого хода можно считать частным случаем скоростных характеристик (с той лишь разницей, что на холостом ходу нагрузка на двигатель отсутствует). Эта характеристика снимается как у автомобильных бензиновых двигателей, так и у автомобильных и тракторных дизелей.

Условия получения характеристики холостого хода:

– независимые переменные: частота вращения вала двигателя и положение органа, изменяющего подачу топлива (дроссельная заслонка, рейка топливного насоса высокого давления, электронная педаль газа);

– постоянные величины: $N_e = M_k = P_e = 0$; $g_e \rightarrow \infty$;

– зависимая переменная величина – часовой расход топлива $G_{т.х.х}$

Двигатель должен устойчиво работать на холостом ходу в различных эксплуатационных условиях (при переключении передач, движении накатом, кратковременных остановках автомобиля и др.). Кроме того, при увеличении нагрузки на двигатель (включение бортовых потребителей энергии – кондиционера, различных подогревателей, дополнительных фар и т. п.) заданная частота вращения вала на холостом ходу должна устойчиво поддерживаться регулятором холостого хода (у двигателей с электронными системами управления).

Следует отметить, что ранее у карбюраторных двигателей этот режим мог провоцировать проблемы. Однако с появлением электронных систем управления двигателем возможные проблемы практически исчезли, так как контроллер отслеживает и эффективно поддерживает работу двигателя на холостом ходу.

В связи с этим уменьшилась и практическая ценность характеристики холостого хода для серийного бензинового двигателя. Однако при разработке и доводке **нового двигателя** определение характе-

ристики холостого хода и достижение требуемых показателей на этом режиме по-прежнему обязательны.

Обычно на режиме холостого хода оценивают топливную экономичность двигателя по величине часового расхода топлива $G_{т.х.х} = f(n)$, а также определяют минимальную и максимальную частоты вращения вала на холостом ходу.

На практике характеристику холостого хода двигателя можно снимать в диапазоне от $n_{х.х.мин}$ до $n_{х.х.мах}$. У бензиновых двигателей это составляет 700...6000 мин⁻¹, а у современных автомобильных быстроходных дизелей – 600...5000 мин⁻¹.

Практически характеристика холостого хода определяется на двигателе при отсоединении его от балансирного тормоза. Однако в связи с трудоемкостью этой операции можно снять указанную характеристику и без отсоединения двигателя. В этом случае после пуска и прогрева двигателя балансирный тормоз полностью электрически отключается – двигатель вращает только ротор балансирной машины. Механическая нагрузка на двигатель при этом будет невелика, поскольку суммарные потери на трение в подшипниках ротора и щетках машины, а также потери при взаимодействии вращающегося ротора с воздухом будут иметь очень малые значения.

Порядок выполнения работы

1. После проверки состояния моторного стенда запустить и прогреть двигатель примерно до температуры моторного масла $t_m = 60$ °С.

2. Закрыв дроссельную заслонку и одновременно снизив нагрузку балансирного тормоза практически до нуля, добиться того, чтобы двигатель устойчиво работал на заданной частоте холостого хода (обычно 750...850 мин⁻¹).

3. После достижения устойчивой работы двигателя на этом скоростном режиме начать замеры.

4. Измерению подлежат следующие параметры и показатели работы двигателя:

- частота вращения вала двигателя;
- время расходования определенной порции топлива (выбирается по указанию преподавателя);
- массовый расход воздуха;
- длительность открытия электромагнитной форсунки;

- величина разрежения во впускном трубопроводе;
- давление моторного масла в системе;
- температура моторного масла;
- давление топлива в системе топливоподачи;
- температура отработавших газов;
- температура охлаждающей жидкости;
- температура воздуха на впуске в двигатель.

Все измеряемые параметры и показатели занести в протокол.

5. После окончания замера в этой точке характеристики холостого хода изменить скоростной режим (придерживаясь шага по n 400...500 мин⁻¹) и вновь после стабилизации нового режима провести замеры. Подобным образом произвести измерения в 6 – 8 точках.

6. После всех замеров снизить нагрузку двигателя и после 3 – 5 мин работы с минимальной нагрузкой остановить двигатель.

7. Проверить заполнение данных в протоколе испытаний.

8. Выполнить необходимые расчеты и по указанию преподавателя построить требуемые зависимости по характеристике холостого хода автомобильного бензинового двигателя.

На рис. 1.15 приведена реальная характеристика холостого хода двигателя.

С увеличением открытия дроссельной заслонки при одновременном повышении частоты вращения вала двигателя растет часовой расход топлива, поскольку возрастает количество рабочих циклов в единицу времени. Также возрастает и угол опережения зажигания θ из-за срабатывания коррекции по частоте вращения вала.

Величина разрежения Δp при увеличении частоты вращения вала с 500 до 2000 мин⁻¹ сначала заметно возрастает, а затем несколько падает. Это можно объяснить нелинейным характером изменения проходного сечения в дроссельном узле при открытии дроссельной заслонки.

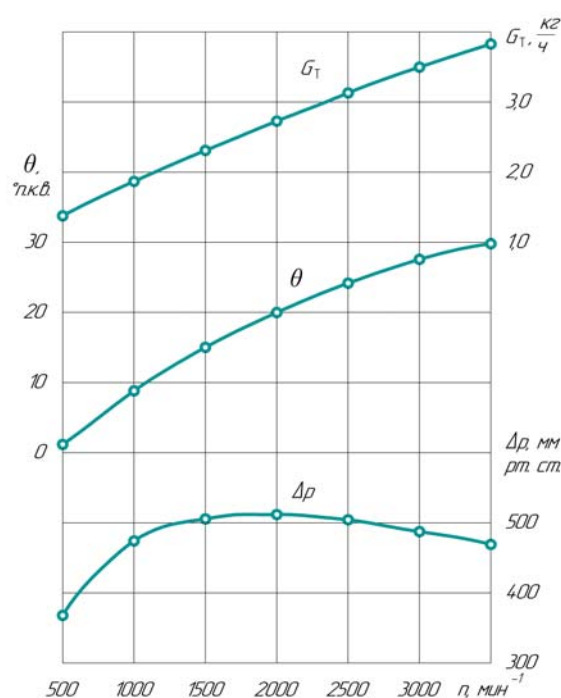


Рис. 1.15. Характеристика холостого хода бензинового двигателя рабочим объемом 2,5 л

Плавное протекание кривых G_T и Δp (без резких изменений) свидетельствует о хорошо отлаженной программе дозирования топлива, что в эксплуатации обеспечит высокую приемистость двигателя.

Контрольные вопросы

1. Что такое характеристика холостого хода бензинового двигателя?
2. Опишите условия получения характеристики холостого хода.
3. Что должна обеспечивать характеристика холостого хода двигателя в эксплуатации?
4. Работает ли регулятор холостого хода системы управления двигателем при снятии характеристики холостого хода?
5. Какие требования предъявляются к подсистеме холостого хода современного автомобильного бензинового двигателя?
6. Назовите диапазон заданных значений частоты холостого хода у современных автомобильных бензиновых двигателей.

Лабораторная работа № 5

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗОН РЕГУЛИРОВАНИЯ СОСТАВА ТОПЛИВОВОЗДУШНОЙ СМЕСИ С ПОМОЩЬЮ λ -ЗОНДА У АВТОМОБИЛЬНОГО БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ

Цель работы – получение характеристики зон регулирования состава топливовоздушной смеси (ТВС) с помощью λ -зонда у автомобильного бензинового двигателя и её анализ.

Задачи работы

1. Ознакомиться с условиями получения характеристики зон регулирования состава топливовоздушной смеси с помощью λ -зонда у автомобильного бензинового двигателя.
2. Практически снять характеристику зон регулирования состава топливовоздушной смеси с помощью λ -зонда.
3. Проанализировать характеристику зон регулирования состава топливовоздушной смеси с помощью λ -зонда в зависимости от режимных параметров двигателя.

Общие сведения

В современных автомобильных двигателях имеется целый комплекс устройств для снижения токсичных выбросов с ОГ (трехкомпо-

нентные нейтрализаторы, подсистемы рециркуляции ОГ и подачи вторичного воздуха в выпускную систему и др.).

Одно из решений для снижения токсичности ОГ – использование λ -зонда (датчика наличия кислорода) в выпускной системе для контроля состава топливовоздушной смеси по наличию/отсутствию свободного кислорода в отработавших газах. Такой контроль необходим, так как при использовании трехкомпонентного каталитического нейтрализатора важно достаточно точно поддерживать состав ТВС для обеспечения высокоэффективной работы нейтрализатора (коэффициент избытка воздуха α должен находиться на уровне $(1,0 \pm 0,02)$ на большинстве частичных нагрузок двигателя). Для этого применяются так называемые датчики концентрации кислорода (λ -зонды*), которые устанавливаются в выпускной системе двигателя. Они генерируют электрический сигнал определенного уровня в зависимости от концентрации свободного кислорода в отработавших газах.

Типичная характеристика λ -зонда на основе двуокиси циркония представлена на рис. 1.16. Приведенный график показывает, что рабочая характеристика λ -зонда имеет релейный вид, т. е. сигнал λ -зонда определяет только наличие или отсутствие кислорода O_2 в отработавших газах. Программа управления двигателем сформирована таким образом, что система постоянно балансирует на границе $\alpha = 1,0$, причем отклонения состава ТВС в ту и другую сторону очень малы. Практически при таком регулировании достигается стехиометрический состав ТВС при $\alpha = (1,0 \pm 0,02)$.

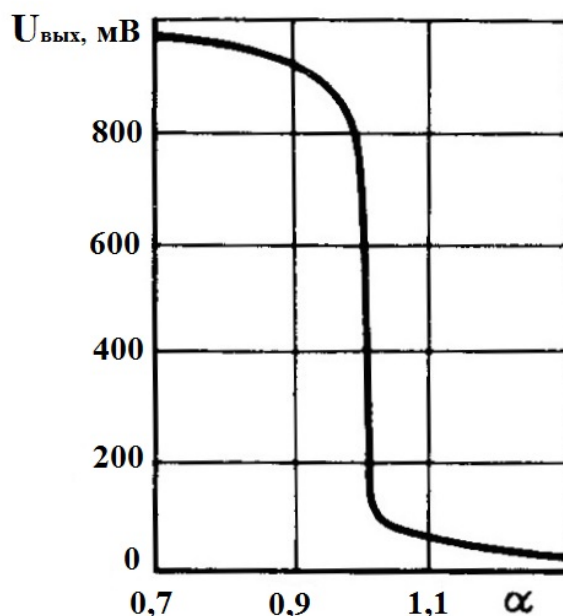


Рис. 1.16. Типичная характеристика λ -зонда на основе двуокиси циркония

*За рубежом отношение «воздух/топливо» обозначается символом λ , отсюда и получил свое название датчик.

Однако современные программы управления двигателем построены таким образом, что состав ТВС поддерживается на уровне $\alpha \approx 1,0$ преимущественно только в режимах городского цикла движения автомобиля. Если же от двигателя требуется значительная мощность (при скоростном движении по трассе, буксировке прицепа или других значительных нагрузках), то программа управления переходит на режим дозирования с мощностным составом ТВС ($\alpha = 0,85...0,9$).

Такой переход возможен в зависимости от различных режимных параметров работы двигателя, но основными при этом являются скоростной режим и положение дроссельной заслонки двигателя.

Таким образом, анализ характеристики зон регулирования состава топливовоздушной смеси с помощью λ -зонда позволит лучше понять построение программы дозирования топлива и возможности каталитического нейтрализатора на различных режимах работы автомобильного бензинового двигателя.

Процесс и границу перехода от поддержания стехиометрического состава ТВС ($\alpha \approx 1,0$) к дозированию топлива для обеспечения богатой смеси ($\alpha = 0,85...0,9$) можно определить по сигналу λ -зонда. Этот сигнал отображается на мониторе компьютера, получающего информацию от подсистемы диагностики контроллера двигателя.

На рис. 1.17 показан сигнал λ -зонда при поддержании стехиометрического состава смеси и при переходе к работе на богатой смеси.

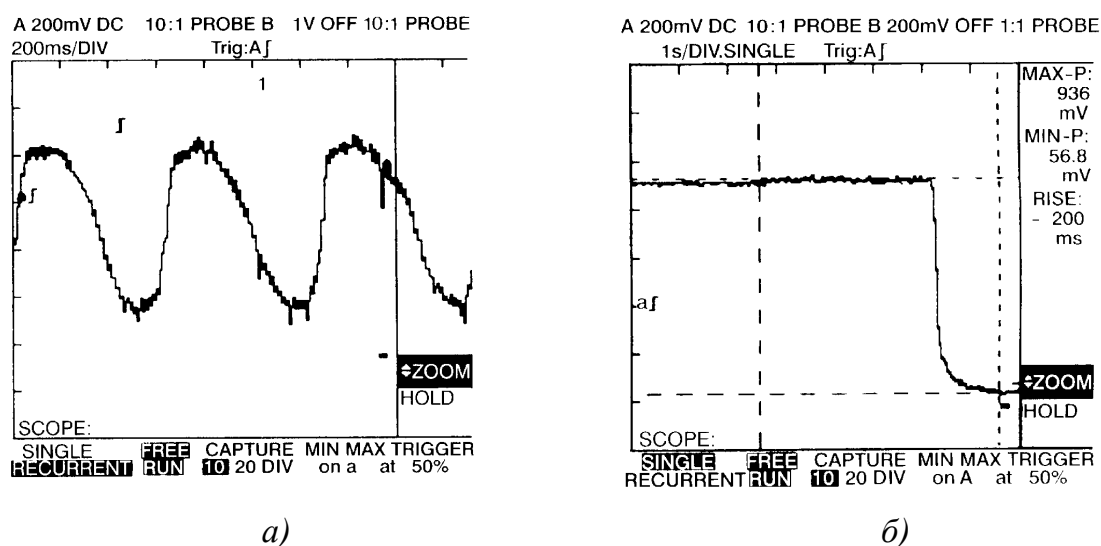


Рис. 1.17. Сигнал λ -зонда: а – при регулировании стехиометрического состава ТВС; б – при работе двигателя на богатой смеси

Таким образом, определяя момент изменения сигнала λ -зонда при переходе от регулирования стехиометрического состава ТВС к работе на богатой смеси, а также фиксируя при этом режимные параметры работы двигателя, можно построить характеристику зон регулирования состава топливовоздушной смеси с помощью λ -зонда. Наиболее удобно при этом в качестве параметров работы двигателя принять угловое положение дроссельной заслонки $\Phi_{др}$ и частоту вращения вала двигателя n .

Пример подобной характеристики показан на рис. 1.18.

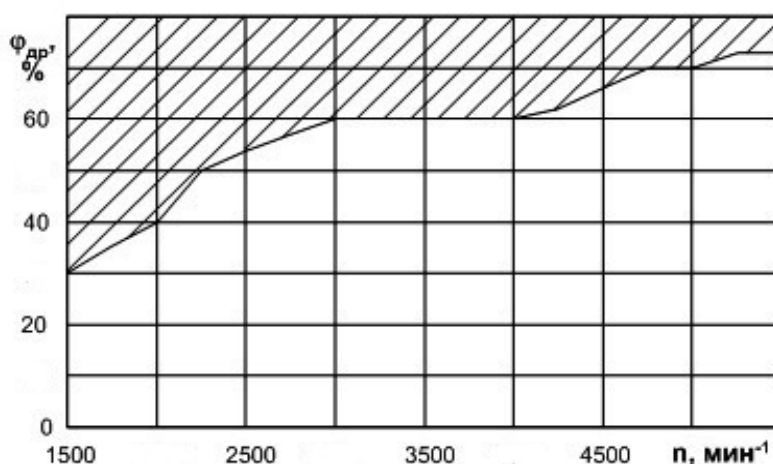


Рис. 1.18. Пример характеристики зон регулирования состава топливовоздушной смеси с помощью λ -зонда на двигателе ВАЗ-2111: заштрихованная область — работа на богатой ТВС; незаштрихованная — работа на стехиометрическом составе смеси

Порядок выполнения работы

1. После проверки состояния моторного стенда запустить и прогреть двигатель примерно до температуры моторного масла $t_M = 60$ °С.

2. Закрывая дроссельную заслонку и одновременно уменьшая частоту вращения вала двигателя до минимально возможной (по условиям устойчивой работы двигателя), выйти на первую точку для замера ($n \approx 1500$ мин⁻¹).

3. На этом скоростном режиме необходимо постепенно открывать дроссельную заслонку, постоянно наблюдая за сигналом λ -зонда. При изменении сигнала λ -зонда (в момент перехода от стехиометри-

ческого состава смеси к богатой ТВС) зафиксировать положение дроссельной заслонки и записать эти данные в протокол.

4. Изменить частоту вращения вала двигателя (с шагом $400 \dots 500 \text{ мин}^{-1}$) и на новой частоте вращения вновь начать плавно открывать дроссельную заслонку. Подобным образом произвести измерения в 6 – 8 точках.

5. Измерению подлежат следующие параметры и показатели работы двигателя:

- частота вращения вала двигателя;
- угловое положение дроссельной заслонки;
- длительность открытия электромагнитной форсунки;
- массовый расход воздуха;
- величина разрежения во впускном трубопроводе;
- давление моторного масла в системе;
- температура моторного масла;
- давление топлива в системе топливоподачи;
- температура отработавших газов;
- температура охлаждающей жидкости;
- температура воздуха на впуске в двигатель.

Все измеряемые параметры и показатели занести в протокол.

6. После окончания всех замеров проверить заполнение данных в протоколе испытаний.

7. Построить характеристику зон регулирования состава топливоздушной смеси с помощью λ -зонда и проанализировать ее.

Данная характеристика наглядно показывает области работы двигателя на богатой ТВС и на стехиометрическом составе смеси. Очевидно, что у различных двигателей эти характеристики зон регулирования состава ТВС с помощью λ -зонда будут различными, так как программа управления у каждой модели двигателя индивидуальная.

Подобная характеристика может быть построена при использовании традиционного λ -зонда (на основе двуокиси циркония) с сигналом релейного типа. В последнее время на двигателях используют широкополосные λ -зонды, которые позволяют реализовать более сложные стратегии управления составом топливоздушной смеси с использованием в том числе и обедненной смеси на ряде режимов работы двигателей. Для такого датчика описанная технология получения характеристики зон регулирования состава ТВС с помощью λ -зонда непригодна.

Контрольные вопросы

1. Что такое λ -зонд и какие функции он выполняет в системе управления двигателем?
2. Что представляют собой бедная, стехиометрическая и богатая топливовоздушные смеси?
3. Для чего необходим трехкомпонентный каталитический нейтрализатор?
4. Как изменяется сигнал λ -зонда при переходе к работе двигателя на богатой ТВС?
5. Как выглядит рабочая характеристика λ -зонда?
6. Может ли применяться трехкомпонентный каталитический нейтрализатор без λ -зонда?
7. На каких режимах преимущественно поддерживается стехиометрический состав смеси ($\alpha = 1,0$)?
8. На каких режимах двигатель работает на богатой топливовоздушной смеси ($\alpha < 1,0$)?

ЛАБОРАТОРНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ДИЗЕЛЕЙ

Лабораторная работа № 6

НАГРУЗОЧНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЯ

Цель работы – получение нагрузочной характеристики дизеля и анализ изменения параметров и показателей двигателя в зависимости от нагрузки.

Задачи работы

1. Ознакомиться с условиями получения нагрузочной характеристики дизеля.
2. Снять нагрузочную характеристику дизеля.
3. Проанализировать нагрузочную характеристику дизеля.

Общие сведения

В пункте «Характеристики двигателей» (с. 32 – 44) приведены базовые сведения по нагрузочным характеристикам двигателей. При определении нагрузочной характеристики дизеля следует различать, на каком двигателе она снимается – с механической или электронной системой управления топливоподачей. Это имеет значение в связи с тем, что при механической системе топливоподачи возможно проведение определен-

ных регулировок (например, отключение ограничителя хода рейки ТНВД). У дизелей с электронным управлением возможности каких-либо регулировок отсутствуют. Это будет определять и вид нагрузочной характеристики.

При отключении ограничителя хода рейки ТНВД можно обеспечить переобогащение ТВС, выявить предел дымления и определить максимальную эффективную мощность, которую может развить дизель при конкретной частоте вращения вала.

На рис. 1.19 схематично представлена нагрузочная характеристика дизеля с механическим управлением топливоподачей.

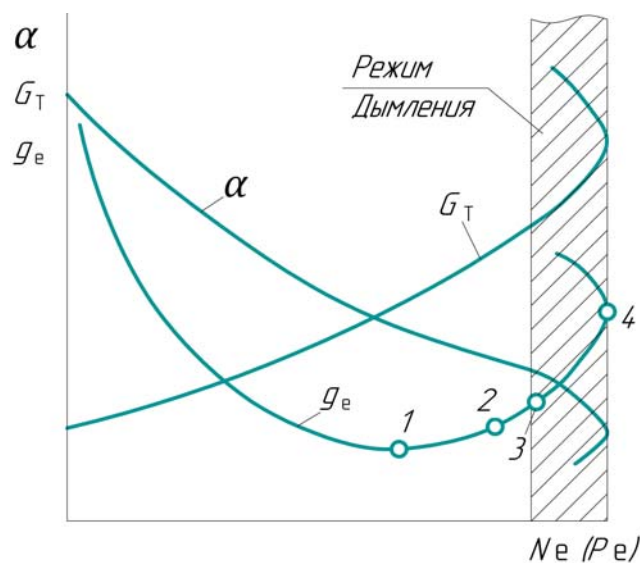


Рис. 1.19. Нагрузочная характеристика дизеля с механическим управлением топливоподачей

На наиболее экономичном режиме (точка 1) дизель работает при полном и бездымном сгорании при коэффициенте избытка воздуха $\alpha = 1,5 \dots 2,0$. С увеличением нагрузки и расхода топлива G_T смесь обогащается и коэффициент избытка воздуха падает до значений $1,2 \dots 1,3$, что приводит к неполноте сгорания топлива и возникновению дымления из-за появления в ОГ несгоревших углеводородов в виде сажи (точка 3).

Достижение максимальной мощности (точка 4) связано с переходом к еще более богатым смесям, при этом коэффициент избытка воздуха α приближается к 1. Отработавшие газы при этом имеют черный цвет, а удельный эффективный расход топлива значительно возрастает.

Дальнейшее увеличение цикловой подачи топлива приводит к еще более значительному ухудшению процесса сгорания топлива и заметному падению мощности. Именно поэтому работа дизеля на режимах, сопровождающихся дымлением, не допускается, что контролируется электронными системами управления топливоподачей.

Дальнейшее увеличение цикловой подачи топлива приводит к еще более значительному ухудшению процесса сгорания топлива и заметному падению мощности. Именно поэтому работа дизеля на режимах, сопровождающихся дымлением, не допускается, что контролируется электронными системами управления топливоподачей.

Порядок выполнения работы

1. После проверки состояния моторного стенда запустить и прогреть двигатель примерно до температуры моторного масла $t_M = 60^\circ\text{C}$.

2. С помощью устройства управления подачей топлива (рукояткой привода рейки ТНВД или специальным винтом привода электронной педали акселератора) установить заданную частоту вращения коленчатого вала дизеля ($n = \text{const}$) на холостом ходу (при отсутствии нагрузки). На этом режиме сделать выдержку для достижения установленных значений рабочих параметров и показателей дизеля и начать замер.

3. Измерению подлежат следующие параметры и показатели работы дизеля:

- показания весовой головки балансирного тормоза;
- частота вращения вала двигателя;
- положение рейки ТНВД или электронной педали акселератора;
- время потребления определенной порции топлива (выбирается по указанию преподавателя);

- массовый расход воздуха;
- давление моторного масла в системе;
- температура моторного масла;
- температура отработавших газов;
- температура охлаждающей жидкости;
- температура воздуха на впуске в дизель;
- показатели токсичных выбросов (CO , CH , NO_x , дымности).

Все измеряемые параметры и показатели занести в протокол.

4. Далее увеличить подачу топлива и добиться восстановления заданной частоты вращения увеличением нагрузки. После определенной выдержки выполнить следующий замер. Рекомендуется использовать шаг по нагрузке 20 % в диапазоне нагрузок от 0 до 100 %. При этом удобно ориентироваться на нагрузку по величине крутящего момента дизеля.

5. Снятие характеристики заканчивается:

а) у дизелей с механическим управлением топливоподачей:

- при наличии ограничителя хода рейки ТНВД – при полном перемещении рейки до ограничения подачи топлива;
- при отключенном ограничителе хода рейки ТНВД – при достижении максимальной мощности N_{emax} (M_{kmax}) или границы начала дымления;

б) у дизелей с электронным управлением топливоподачей – при достижении упора электронной педали акселератора.

6. После завершения снятия нагрузочной характеристики дать дизелю поработать 3...5 мин, затем остановить его.

7. Построить необходимые графики (по указанию преподавателя) и проанализировать их.

На рис. 1.20 представлены графики изменения основных показателей многоцелевого малоразмерного дизеля ($i = 1$) ТМЗ-520 в зависимости от нагрузки.

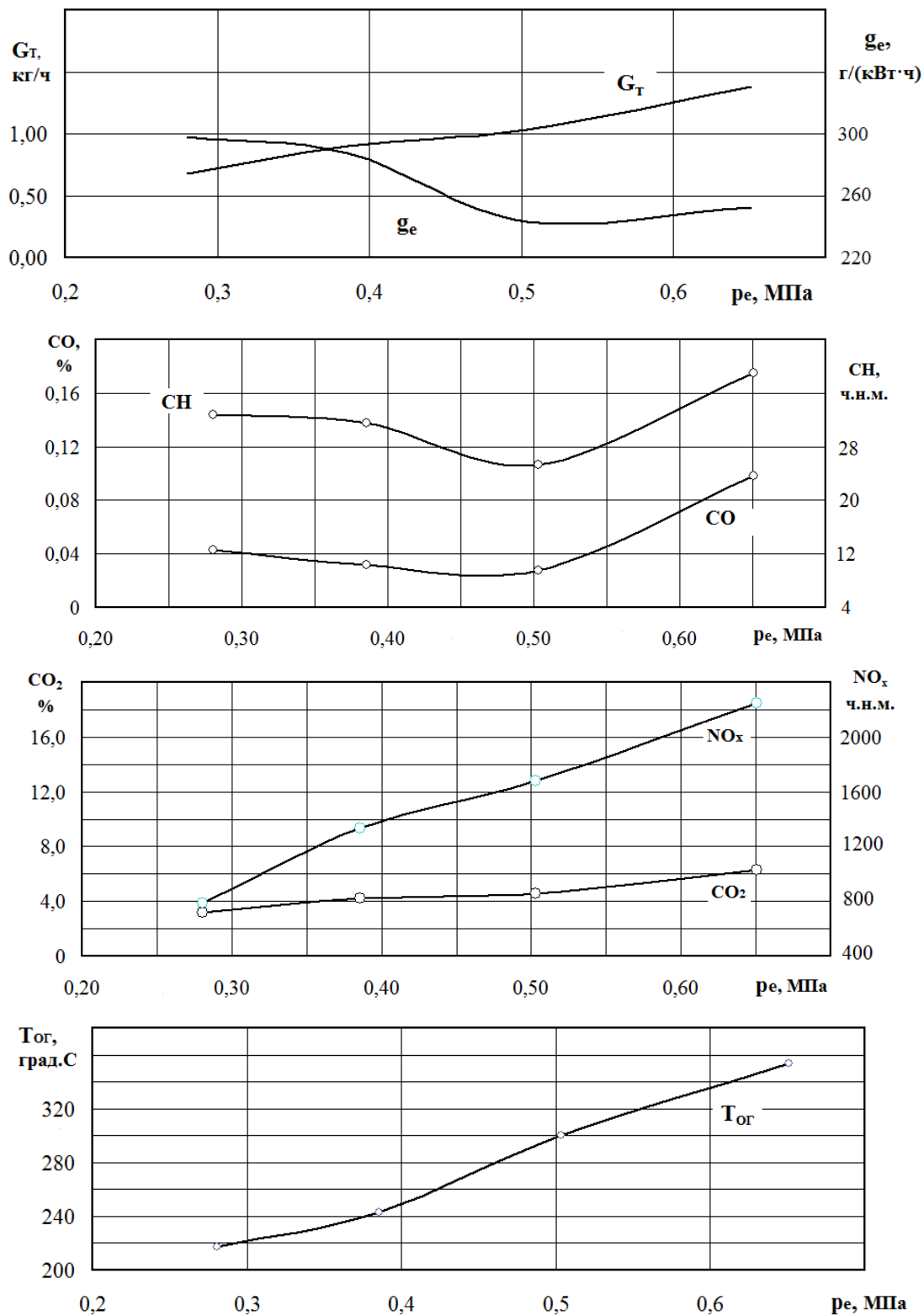


Рис. 1.20. Изменение показателей многоцелевого дизеля ТМЗ-520 в зависимости от нагрузки при $n = 2000 \text{ мин}^{-1}$

Анализ графиков позволяет сделать следующие выводы. Кривая удельного эффективного расхода топлива имеет явный минимум в диапазоне $P_e = 0,46 \dots 0,65$ МПа.

Кривые выбросов СО и СН протекают практически эквидистантно – сначала выбросы обоих компонентов немного снижаются, но после нагрузки $P_e \geq 0,50$ МПа они начинают возрастать.

Выделение оксидов азота NO_x стабильно увеличивается по мере роста нагрузки, что объясняется возрастанием температуры цикла, который определяется по увеличению температуры ОГ.

В целом данная нагрузочная характеристика типична для мало-размерных дизелей.

Контрольные вопросы

1. Что называется нагрузочной характеристикой?
2. Каков порядок получения нагрузочной характеристики дизеля?
3. Какова цель получения нагрузочной характеристики?
4. Назовите характерные точки нагрузочной характеристики.
5. Объясните протекание отдельных кривых (по указанию преподавателя) по нагрузочной характеристике.
6. Каковы особенности снятия нагрузочной характеристики у современных дизелей с электронным управлением топливopодачей?
7. Объясните причины возможного дымления дизелей при работе по нагрузочной характеристике.
8. Как изменяется состав топливовоздушной смеси α с увеличением нагрузки?

Лабораторная работа № 7

СКОРОСТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЯ

Цель работы – получение скоростной характеристики дизеля и анализ изменения параметров и показателей двигателя в зависимости от скоростного режима работы.

Задачи работы

1. Ознакомиться с понятием скоростной характеристики дизеля и условиями ее получения.
2. Получить практически скоростную характеристику дизеля.
3. Проанализировать изменения параметров и показателей дизеля в зависимости от скоростного режима работы.

Общие сведения

Скоростная характеристика дизеля может определяться как с регуляторной ветвью, так и без нее.

В зависимости от типа топливной аппаратуры регулятор может быть механическим или электронным. Назначение регулятора – снижать цикловую подачу топлива $g_{ц}$ после достижения номинальной частоты вращения $n_{ном}$, тем самым предотвращая дымление дизеля при чрезмерно больших подачах топлива.

Скоростная характеристика дизеля рассматривается на участке частот вращения вала от n_{min} до $n_{ном}$. В этом скоростном диапазоне регулятор не работает. Участок скоростной характеристики от точки $n_{ном}$ номинальной мощности до точки $n_{х.х} = 1,1n_{ном}$ называется регуляторной ветвью. Именно на этом участке регулятор включается в работу и снижает цикловую подачу $g_{ц}$ во избежание дымления дизеля. Цикловая подача настолько снижается регулятором, что дизель практически переходит на холостой ход.

На малых частотах вращения вала по скоростной характеристике дизеля качество процесса смесеобразования снижается вследствие небольших скоростей воздушного потока при входе в цилиндр, а также из-за недостаточно интенсивной турбулизации воздушного заряда в цилиндре и др. При этом среднее эффективное давление P_e небольшое, а удельные эффективные расходы топлива g_e достаточно велики.

По мере увеличения частоты вращения вала турбулизация заряда в цилиндре увеличивается, тепловые потери в стенки цилиндра уменьшаются, а коэффициент наполнения возрастает (за счет увеличения фактора «время – сечение» при открытии клапана). Это приводит к тому, что крутящий момент растет до максимума (точка n_m соответствует максимальному крутящему моменту $M_{кmax}$). Однако затем крутящий момент снижается, что вызвано увеличивающимися механическими потерями с ростом частоты вращения, которые уже не компенсируются сгоранием бóльших цикловых подач топлива $g_{ц}$.

Часовой расход топлива по скоростной характеристике дизеля возрастает с увеличением частоты вращения, так как увеличивается количество циклов в единицу времени. При этом на определенном участке скоростной характеристики будет наблюдаться зона мини-

мальных удельных расходов топлива g_e , примерно совпадающая с наибольшим крутящим моментом.

Коэффициент избытка воздуха α в пределах рабочего участка скоростной характеристики изменяется незначительно, однако на регуляторном участке он резко возрастает, так же как и величина удельного эффективного расхода топлива.

Порядок выполнения работы

1. После проверки состояния моторного стенда запустить и прогреть двигатель примерно до температуры моторного масла $t_m = 60$ °С.

2. С помощью устройства управления подачей топлива (рукояткой привода рейки ТНВД или специальным винтом привода электронной педали акселератора) установить полную подачу топлива (внешняя скоростная характеристика) и нагрузить дизель балансирным тормозом до получения минимально устойчивой частоты вращения вала дизеля n_{\min} . На этом режиме сделать выдержку для достижения установившихся значений рабочих параметров и показателей дизеля и начать замер.

3. Измерению подлежат следующие параметры и показатели работы дизеля:

- показания весовой головки балансирного тормоза;
- частота вращения вала двигателя;
- положение рейки ТНВД или электронной педали акселератора;
- время расходования определенной порции топлива (выбирается по указанию преподавателя);
- массовый расход воздуха;
- давление моторного масла в системе;
- температура моторного масла;
- температура отработавших газов;
- температура воздуха на впуске в дизель;
- температура охлаждающей жидкости;
- показатели токсичных выбросов (СО, СН, NO_x, дымности).

Все измеряемые параметры и показатели занести в протокол.

4. Далее уменьшить нагрузку с помощью балансирного тормоза и добиться увеличения частоты вращения. После определенной выдержки выполнить следующий замер. Рекомендуется использовать шаг по частоте вращения вала 400...500 мин⁻¹ в скоростном диапазоне от n_{\min} до $n_{\text{ном}}$.

5. После завершения снятия скоростной характеристики дать дизелю поработать 3...5 мин, затем остановить его.

6. Построить необходимые графики (по указанию преподавателя) и проанализировать их.

На рис. 1.21 приведена внешняя скоростная характеристика многоцелевого дизеля ТМЗ-520, типичная для малоразмерных дизелей.

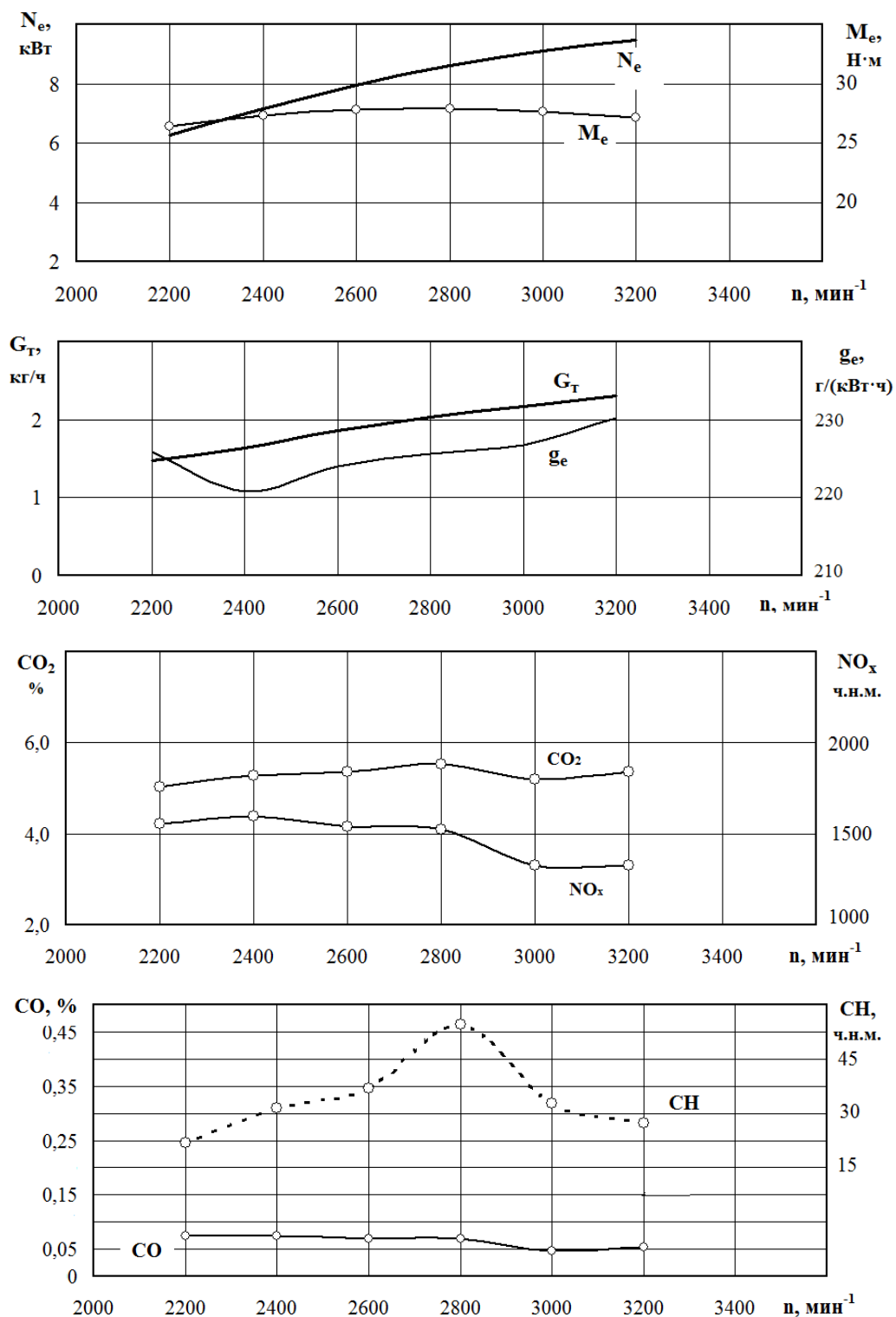


Рис. 1.21. Зависимость параметров и показателей многоцелевого дизеля ТМЗ-520 от частоты вращения вала по внешней скоростной характеристике

Контрольные вопросы

1. Что называется внешней скоростной характеристикой дизеля?
2. Каковы условия получения внешней скоростной характеристики дизеля?
3. Как изменяются основные параметры и показатели дизеля по внешней скоростной характеристике?
4. Каковы причины изменения часового расхода топлива по внешней скоростной характеристике?
5. Что такое регуляторная ветвь скоростной характеристики?
6. Каково назначение регулятора дизеля?
7. Какие характерные участки имеет внешняя скоростная характеристика с регуляторной ветвью?
8. С какой целью регулятор уменьшает цикловую подачу топлива?
9. Каким образом изменяется коэффициент избытка воздуха по скоростной характеристике с регуляторной ветвью?

Лабораторная работа № 8

ХАРАКТЕРИСТИКА ДИЗЕЛЯ ПО УГЛУ ОПЕРЕЖЕНИЯ ВПРЫСКА ТОПЛИВА

Цель работы – получение характеристики дизеля по углу опережения впрыска топлива и проведение ее анализа.

Задачи работы

1. Ознакомиться с понятием характеристики дизеля по углу опережения впрыска топлива и условиями ее получения.
2. Практически получить характеристику дизеля по углу опережения впрыска топлива.
3. Проанализировать изменения параметров и показателей дизеля в зависимости от угла впрыска топлива.

Общие сведения

Под углом опережения впрыска топлива в дизелях θ понимается угол поворота коленчатого вала (выражается в градусах поворота коленчатого вала, °п.к.в.) от момента начала подачи топлива в цилиндр двигателя до верхней мертвой точки (ВМТ).

Характеристикой дизеля по углу опережения впрыска топлива называется комплекс зависимостей эффективной мощности (крутящего момента или среднего эффективного давления), часового и удельного эффективного расходов топлива от угла опережения впрыска топлива при постоянном значении частоты вращения вала двигателя и неизменном положении органа, управляющего топливоподачей (рейки ТНВД, электронной педали акселератора). По своему виду эта характеристика относится к регулировочным.

Для оценки характера сгорания в дизеле используют два критерия. В 1950-х годах А. И. Толстов ввел понятие фактора динамичности цикла σ_i :

$$\sigma_i = g_i / g_{\text{ц}},$$

где g_i – количество топлива, поданного в цилиндр за период задержки воспламенения; $g_{\text{ц}}$ – цикловая подача топлива (суммарное количество топлива, поступившего в цилиндр за цикл).

Чем больше фактор динамичности цикла σ_i , тем более «жесткий» характер будет иметь процесс сгорания в дизеле, так как значительное количество топлива, поступившего за период задержки воспламенения, сделает последующее сгорание топлива более взрывным.

В старых моделях дизелей (с механическим управлением топливоподачей) фактор динамичности цикла σ_i составлял 0,5...0,8. В современных дизелях с системами электронного управления (*Common Rail* и др.) фактор динамичности цикла σ_i снизился до 0,05...0,1. Это обеспечивает плавное, управляемое сгорание с высокой эффективностью.

Второй критерий оценки характера сгорания в дизеле был предложен А. Д. Чаромским и назван им критерием управляемости процессом сгорания K_y :

$$K_y = 1 - \varphi_i / \varphi_{\text{в}},$$

где φ_i – угол продолжительности задержки самовоспламенения, °п.к.в.; $\varphi_{\text{в}}$ – угол продолжительности впрыска топлива, °п.к.в.

Критерий K_y характеризует управляемость процессом сгорания. При $\varphi_i > \varphi_{\text{в}}$ процесс сгорания будет неуправляемым.

В настоящее время современные системы топливоподачи дизелей с электронным управлением в значительной мере повысили управляемость процессом сгорания в дизеле. Так, в системах *Common Rail* фирмы *R.Bosch* форсунка 12 раз за цикл впрыскивает топливо,

т. е. вся цикловая подача разбивается на целый ряд нескольких небольших порций и топливо подается порциями, в уже воспламенившуюся топливовоздушную смесь. Это приводит к повышению эффективности сгорания, значительному уменьшению шума процесса сгорания, более «мягкой» и экономичной работе дизеля.

Опережение впрыска топлива определяет физические условия, в которые попадает топливный факел после выхода из форсунки. Угол опережения впрыска топлива оказывает ключевое влияние на процесс сгорания топлива в дизеле. Как ранние, так и поздние углы θ приводят к ухудшению процесса сгорания и, как следствие, снижению показателей дизеля.

При раннем впрыске (больших углах θ) давление и температура в цилиндре имеют относительно низкие значения и физико-химическая подготовка топлива к сгоранию замедляется. Вследствие этого происходит увеличение времени задержки воспламенения, повышается «жесткость» процесса и растет максимальное давление сгорания (рис. 1.22).

При позднем впрыске топлива давление и температура заряда в цилиндре повышаются и задержка воспламенения сокращается. Сгорание протекает более «мягко», но последняя часть тепла выделяется с запозданием, слишком далеко от ВМТ (практически уже на линии расширения). Потери теплоты из-за несовершенства динамики сгорания при этом значительно возрастают, полезная работа за цикл уменьшается, а само тепло фактически увеличивает температуру ОГ и всей выпускной системы.

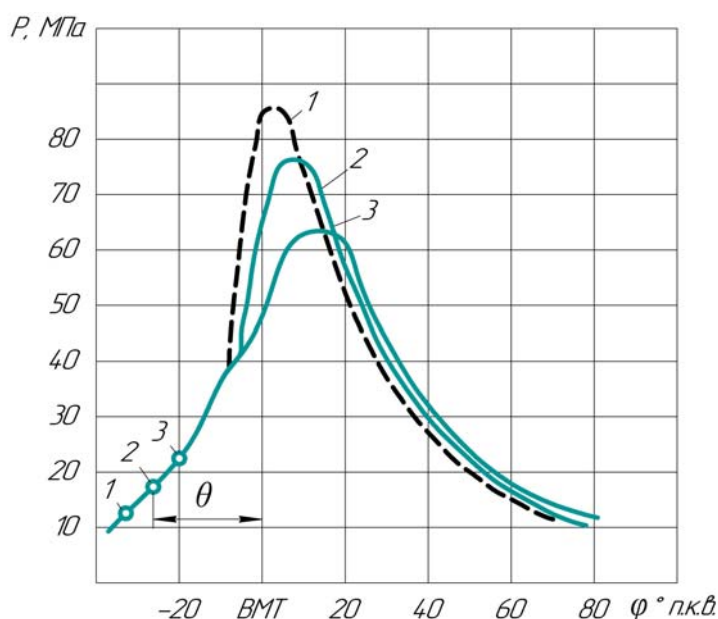


Рис. 1.22. Фрагмент индикаторной диаграммы дизеля ЯМЗ-236 при различных углах опережения впрыска топлива ($n = 1600 \text{ мин}^{-1}$, g_u – номинальная): 1 – ранний впрыск ($\theta = 32^\circ \text{п.к.в.}$); 2 – оптимальный впрыск ($\theta = 25^\circ \text{п.к.в.}$); 3 – поздний впрыск ($\theta = 18^\circ \text{п.к.в.}$)

Оптимальный угол опережения впрыска топлива обеспечивает процесс сгорания, свободный от негативных явлений при раннем и позднем углах θ . Он позволяет получить наименьший удельный эффективный расход топлива g_e и наибольшую эффективную мощность дизеля на данном режиме работы.

Однако угол θ не должен оставаться постоянным в процессе эксплуатации: его необходимо изменять в зависимости от режима работы дизеля (от нагрузки и частоты вращения вала дизеля).

В механических системах управления топливоподачей дизеля угол θ изменяется в зависимости от скоростного режима. При использовании электронных систем топливоподачи появилась возможность гибко управлять подачей топлива и изменять параметры впрыска топлива (угол опережения впрыска, давление и закон подачи топлива и т. п.) в зависимости от множества факторов (частоты вращения вала, нагрузки, температуры воздуха на впуске, температуры охлаждающей жидкости и др.).

Следует отметить, что в лабораторных условиях вуза определить характеристику дизеля по углу опережения впрыска топлива возможно только у двигателей с механическими системами управления топливоподачей.

У вышеназванных систем различают действительный (фактический) и установочный (геометрический) углы опережения впрыска топлива. **Фактический угол** θ_f измеряется от момента начала подъема иглы в форсунке до ВМТ. Для регистрации перемещения иглы применяют специальную аппаратуру. Значение θ_f необходимо знать при исследовании процесса сгорания топлива в цилиндре. В этом случае угол продолжительности задержки воспламенения топлива φ_i определяет истинную величину продолжительности задержки воспламенения топливовоздушной смеси.

Установочный угол опережения впрыска топлива θ_y измеряется от момента подачи топлива к форсунке топливным насосом высокого давления до ВМТ. В практике эксплуатации дизелей имеют дело именно с этим установочным углом θ_y . Поэтому в дальнейшем при рассмотрении процессов опережения впрыска топлива обозначим этот угол как θ .

Различие между установочным и действительным углами связано с меньшей фактической продолжительностью впрыска топлива форсункой по сравнению с продолжительностью, определяемой геометрией плунжерной пары ТНВД. Поэтому установочный угол опережения впрыска реально будет больше действительного.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с технологией установки и проверки угла опережения впрыска топлива в механических системах топливоподачи дизелей. В большинстве подобных дизелей установочный угол изменяют путем поворачивания вала ТНВД относительно коленчатого вала с последующей фиксацией валов относительно друг друга. Для начала рекомендуется проверить существующую на дизеле установку угла опережения; если она не соответствует рекомендациям производителя дизеля, скорректировать её.

2. Проверить моторный стенд и запустить дизель на прогрев до температуры моторного масла $t_m \approx 60$ °С.

3. Установить частоту вращения вала, соответствующую номинальному режиму работы дизеля при полной подаче топлива. После небольшой выдержки для стабилизации параметров и показателей дизеля начать замеры.

4. Измерению подлежат следующие параметры и показатели работы дизеля:

- показания весовой головки балансирующего тормоза;
- частота вращения вала двигателя;
- положение рейки ТНВД;
- время расходования определенной порции топлива (выбирается по указанию преподавателя);
- массовый расход воздуха;
- давление моторного масла в системе;
- температура моторного масла;
- температура отработавших газов;
- температура воздуха на впуске в дизель;
- температура охлаждающей жидкости;
- показатели токсичных выбросов (СО, СН, NO_x, твердых частиц).

Все измеряемые параметры и показатели занести в протокол.

5. Снизить подачу топлива и после небольшой выдержки (2...3 мин) остановить дизель.

6. Установить новое значение угла θ . Запустить дизель, вывести его на номинальную частоту вращения вала при полной подаче топлива и после стабилизации параметров и показателей работы двигателя выполнить следующие замеры в соответствии с п. 4.

7. При выборе шага изменения углов опережения впрыска топлива θ рекомендуется брать интервалы $4...5$ °п.к.в. Для построения характеристики вполне достаточно $5...6$ точек по углу опережения впрыска топлива.

8. Последний замер выполняется с исходным (рекомендованным производителем) значением угла опережения впрыска топлива θ .

9. После завершения замеров построить необходимые графики (по указанию преподавателя) и проанализировать их.

На рис. 1.23 приведена типичная характеристика дизеля по углу опережения впрыска топлива.

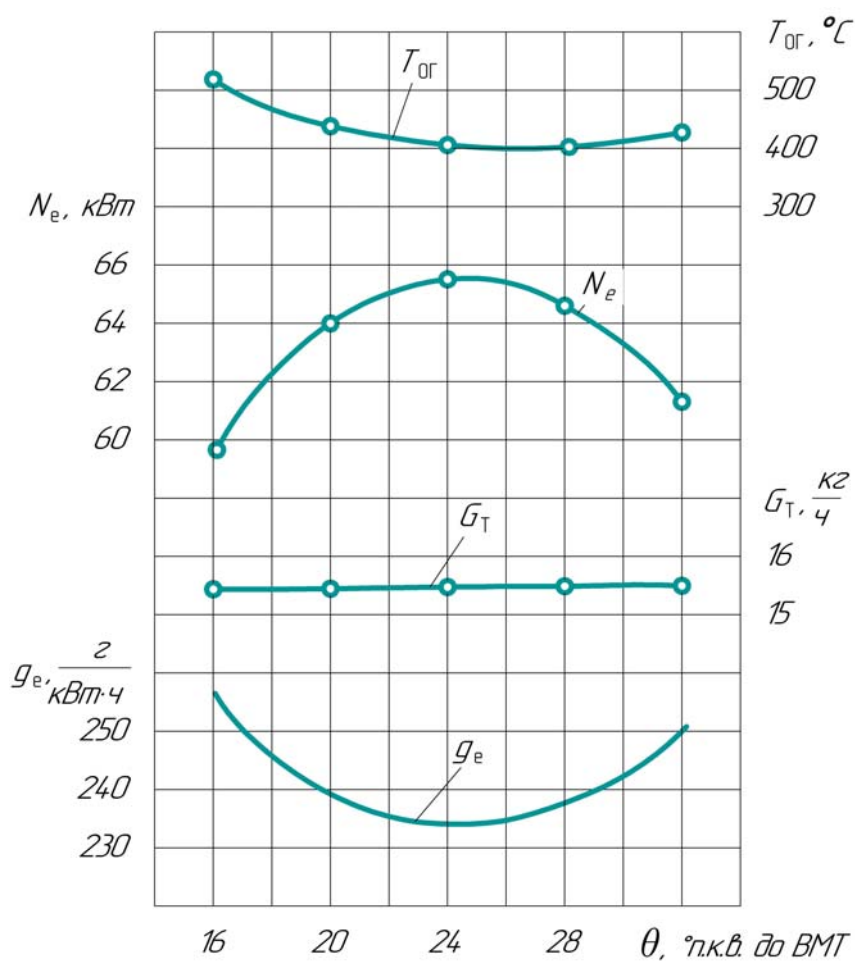


Рис. 1.23. Характеристика дизеля Д-160 по углу опережения впрыска топлива

Анализ приведенной на рис. 1.23 характеристики показывает, что изменение всех параметров и показателей дизеля в зависимости от угла опережения впрыска топлива закономерно и соответствует теории рабочих процессов двигателей.

Контрольные вопросы

1. Что называется характеристикой дизеля по углу опережения впрыска топлива?
2. К какому виду относится характеристика дизеля по углу опережения впрыска топлива?
3. Что такое угол опережения впрыска топлива?
4. Какие факторы влияют на развитие сгорания в дизеле после начала подачи топлива?
5. Какие известны критерии оценки характера сгорания в дизеле?
6. Почему при поздних углах опережения впрыска топлива дизель перегревается?
7. Что происходит при раннем угле опережения впрыска топлива?
8. Как отражается на работе дизеля поздняя подача топлива?
9. Что такое фактор динамичности цикла, предложенный А. И. Толстовым?
10. Что такое критерий управляемости процессом сгорания (по А. Д. Чаромскому)?

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ВИДЫ ИСПЫТАНИЙ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Ряд испытаний автомобильных и тракторных двигателей имеет специфический характер и используется не так часто, как, например, скоростные и нагрузочные характеристики. Но в то же время эти испытания очень важны для понимания процессов, протекающих в двигателях, и определения путей получения высоких показателей бензиновых двигателей и дизелей.

Очень часто для указанных видов испытаний необходимы специальная аппаратура и особые методики проведения.

Лабораторная работа № 9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В ДВИГАТЕЛЯХ

Цель работы – изучение методов экспериментального определения характеристик механических потерь двигателя и приобретение навыков при снятии характеристики механических потерь конкретного двигателя (бензинового или дизеля).

Задачи работы

1. Ознакомиться с теоретическими основами механических потерь в двигателе, изучить источники и способы уменьшения потерь.
2. Проанализировать методы экспериментального определения механических потерь в двигателях.
3. Получить характеристику механических потерь двигателя и проанализировать ее.

Общие сведения

При эксплуатации двигателя часть индикаторной мощности затрачивается на внутренние (механические) потери, которые складываются из следующих составляющих.

Потери мощности на трение N_T составляют наиболее значительную часть всех механических потерь. Они вызываются трением всех сопряженных деталей двигателя, основными из которых являются: поршень и поршневые кольца – стенка цилиндра, шейки коленчатого и распределительного валов – подшипники скольжения, поршневой палец – бобышки поршня и верхняя головка шатуна, стержень клапана – втулка.

Увеличение газовых сил с повышением нагрузки или рост инерционных сил с увеличением частоты вращения вала двигателя, низкое качество обработки сопрягаемых деталей, применение некачественных моторных масел, нарушение нормального функционирования системы смазки и охлаждения, а также ухудшение технического состояния двигателя вызывают увеличение потерь индикаторной мощности на трение.

Потери мощности на совершение насосных ходов поршня $N_{нас}$ (насосные потери) определяются сопротивлениями впускных и выпускных трубопроводов. Это зависит от режима работы двигателя, его размеров и конструкции органов газообмена.

Потери на привод вспомогательных агрегатов двигателя $N_{пр}$ включают в себя затраты мощности на привод агрегатов, без которых невозможно нормальное функционирование двигателя, – жидкостного, масляного, топливного насосов, генератора, вентилятора. Все иные агрегаты (насос гидроусилителя руля, кондиционер, подогреватель типа *Webasto* и др.) относятся к внешним потребителям мощности двигателя. Затраты мощности на привод вспомогательных агрегатов зависят от их конструктивного совершенства, типов и технического состояния.

Потери мощности на механический привод нагнетателя воздуха N_k при механической системе наддува могут быть довольно значительными. Эти потери зависят от типа нагнетателя и его размеров.

Гидравлические потери мощности N_r учитывают затраты мощности на преодоление сопротивления движению деталей кривошипно-шатунного механизма в пространстве картера двигателя.

Таким образом, внутренние потери индикаторной мощности представляют собой сумму перечисленных выше составляющих:

$$N_m = N_r + N_{нас} + N_{пр} + N_k + N_r.$$

Механические потери в двигателях определяют чаще всего методом поочередного отключения цилиндров (и у бензинового двигателя, и у дизеля) и методом прокрутки от электрического балансирного тормоза. Однако существуют и другие методы определения механических потерь.

Метод последовательного отключения цилиндров основан на допущении, что механические потери зависят только от частоты вращения вала и теплового состояния двигателя. Этот метод используют при работе двигателя с полной подачей топлива (с полностью открытой дроссельной заслонкой или при крайнем положении рейки ТНВД (электронной педали газа)).

Для более детального рассмотрения метода введем следующие обозначения:

– N_{i-k} – индикаторная мощность двигателя при отключенном k -м цилиндре;

– N_{e-k} – эффективная мощность двигателя при отключенном k -м цилиндре;

– N_{m-k} – мощность механических потерь при неработающем k -м цилиндре;

– N_{i-k} – индикаторная мощность, развиваемая k -м цилиндром.

После стабилизации определенного теплового состояния двигателя измеряется его эффективная мощность. В этом случае

$$N_i = N_e + N_m.$$

Отключить один из цилиндров двигателя можно, или сняв электрический разъем бензиновой или дизельной форсунки, или отвернув на 2...3 оборота накидную гайку крепления топливопровода высокого давления у форсунки дизеля. При этом тормозная нагрузка для восстановления частоты вращения вала двигателя снижается до первоначальной.

чального значения. Тогда при отключенном цилиндре будет справедливо равенство

$$N_{i-k} = N_{e-k} + N_{m-k}.$$

Поскольку частота вращения вала как при отключенном цилиндре, так и при всех работающих цилиндрах одна и та же, то и механические потери для этих двух случаев практически одинаковы, т. е. $N_m = N_{m-k}$. Следовательно, эффективная мощность двигателя N_{e-k} при отключенном цилиндре будет отличаться от эффективной мощности двигателя при всех работающих цилиндрах на величину индикаторной мощности отключенного цилиндра N_{i-k} :

$$N_{i-k} = N_e - N_{e-k}.$$

Поочередным отключением цилиндров определяется индикаторная мощность, развиваемая каждым из них, а затем суммированием определяется индикаторная мощность двигателя:

$$N_i = \sum N_{i-k}.$$

Далее определяется мощность механических потерь и механический КПД двигателя по уравнениям

$$N_m = N_i - N_e, \quad \eta_m = N_e / N_i.$$

Метод последовательного отключения цилиндров несложен и даёт удовлетворительные результаты. Он может применяться при числе цилиндров $i \geq 3$.

Определение механических потерь методом прокрутки двигателя электрической балансирной машиной (работающей в режиме электродвигателя) основано на допущении, что механические потери не зависят от нагрузки двигателя. При использовании этого метода двигатель прогревают до рабочих температур охлаждающей жидкости и моторного масла, а затем прокручивают балансирной машиной на выбранной частоте вращения n . Следует отметить, что определение механических потерь этим методом проводят при полном открытии дроссельной заслонки, выключенном зажигании и без подачи топлива как у бензинового двигателя, так и у дизеля.

Далее измеряют момент сопротивления M_c , Н · м, и вычисляют мощность механических потерь N_m , кВт, по формуле

$$N_m = M_c n / 9550.$$

Описанный метод определения механических потерь наиболее прост, но при этом и наименее точен. Причина заключается в резком изменении всех составляющих механических потерь при переходе от режима работы с полной нагрузкой к прокрутке двигателя. Например,

потери на газообмен в двигателе могут возрастать на 15...20 %, а затраты на трение поршневых колец и юбки поршня – уменьшаться в 2...2,5 раза. Поэтому, как правило, мощность механических потерь, определяемая методом прокрутки двигателя электрической балансирной машиной, оказывается ниже действительной. Метод обеспечивает хорошую воспроизводимость результатов при испытаниях различных двигателей одной модели.

Порядок выполнения работы

1. При определении механических потерь **методом последовательного отключения цилиндров** необходимо соблюдать следующую последовательность операций.

- Запустить двигатель на стенде, прогреть его до нормального теплового состояния и установить определенный скоростной режим (по указанию преподавателя).

- Измерить и занести в протокол испытаний значения следующих параметров и показателей двигателя:

- показания весовой головки балансирного тормоза;
- частоты вращения вала двигателя;
- времени расходования определенной порции топлива (выбирается по указанию преподавателя);
- массового расхода воздуха;
- давления моторного масла в системе;
- температуры моторного масла;
- температуры охлаждающей жидкости.

- Отключить зажигание или подачу топлива в первом цилиндре, уменьшить нагрузку тормоза до восстановления исходной частоты вращения вала (отклонение частоты вращения от заданной не должно быть более ± 1 %) и выполнить замеры указанных выше параметров с записью их в протокол испытаний.

Время, затрачиваемое на всю операцию (отключение цилиндра, замеры), не должно превышать одной минуты во избежание изменения теплового состояния двигателя.

- Включить в работу ранее отключенный цилиндр, восстановить исходный режим работы двигателя и проработать на нем несколько минут.

- Далее процедуру последовательного отключения других цилиндров двигателя проводить аналогично.

2. При определении механических потерь **методом прокрутки двигателя** балансирной машиной последовательность операций должна быть следующей.

- Запустить и прогреть двигатель до необходимых температур моторного масла и охлаждающей жидкости.

- Установить без нагрузки частоту вращения $n = 600 \dots 800 \text{ мин}^{-1}$, затем отключить зажигание или подачу топлива, переведя балансирную машину из режима тормоза в режим электродвигателя. У бензинового двигателя полностью открыть дроссельную заслонку.

- Прокрутить двигатель на выбранной частоте вращения вала и замерить следующие параметры и показатели:

- показания весовой головки балансирного тормоза;
- частоту вращения вала двигателя;
- температуру моторного масла;
- температуру охлаждающей жидкости.

Все измеренные величины записать в протокол испытаний.

- Далее повторить операцию прокрутки двигателя на других скоростных режимах, чтобы получить характеристику из 6...8 точек. Время всех операций и замеров в целом не должно превышать 3 мин.

3. Обработка результатов, полученных **методом последовательного отключения цилиндров**, заключается в следующем.

По результатам замеров рассчитать и записать в резервные колонки протокола данные при работе всех цилиндров:

- крутящего момента двигателя M_k ;
- эффективной мощности двигателя N_e ;
- среднего эффективного давления P_e ;
- часового расхода топлива G_T ;
- удельного эффективного расхода топлива g_e .

Для операций по последовательному отключению цилиндров вычислить значения индикаторной мощности N_{i-k} , развиваемой k -м цилиндром, и занести их в протокол.

Далее рассчитать значения индикаторной мощности N_i и мощности механических потерь N_m .

Рассчитать индикаторные и эффективные показатели двигателя по следующим формулам:

- среднее индикаторное давление $P_i = 30\tau N_i / (iV_{hn})$;
- среднее давление механических потерь $p_m = P_i - P_e$;
- удельный индикаторный расход топлива $g_i = 1000G_i / N_i$;

- индикаторный КПД $\eta_i = 3600/(H_u g_i)$;
- эффективный КПД $\eta_e = 3600/(H_u g_e)$;
- механический КПД $\eta_m = N_e/N_i$.

Здесь H_u – удельная низшая теплота сгорания топлива (для дизтоплива $H_u = 42,7$ МДж/кг, для бензина $H_u = 44,0$ МДж/кг).

Вычисленные показатели двигателя занести в табл. 1.2.

Табл. 1.2. Показатели двигателя для определения мощности механических потерь

Показатели	N , кВт	g , г/(кВт · ч)	p , МПа	КПД
Индикаторные	$N_i =$	$g_i =$	$P_i =$	$\eta_i =$
Эффективные	$N_e =$	$g_e =$	$P_e =$	$\eta_e =$
Механических потерь	$N_m =$	–	$p_m =$	$\eta_m =$

По результатам определения мощности механических потерь N_m методом прокрутки двигателя балансирной машиной построить график зависимости N_m от частоты вращения вала двигателя n . На этот же график нанести (в виде точки) значение мощности механических потерь N_m , найденное методом последовательного отключения цилиндров на конкретной частоте вращения вала двигателя. Пример такого графика приведен на рис. 1.24.

После построения подобного графика по результатам данной лабораторной работы необходимо провести его краткий анализ и сделать конкретные выводы.

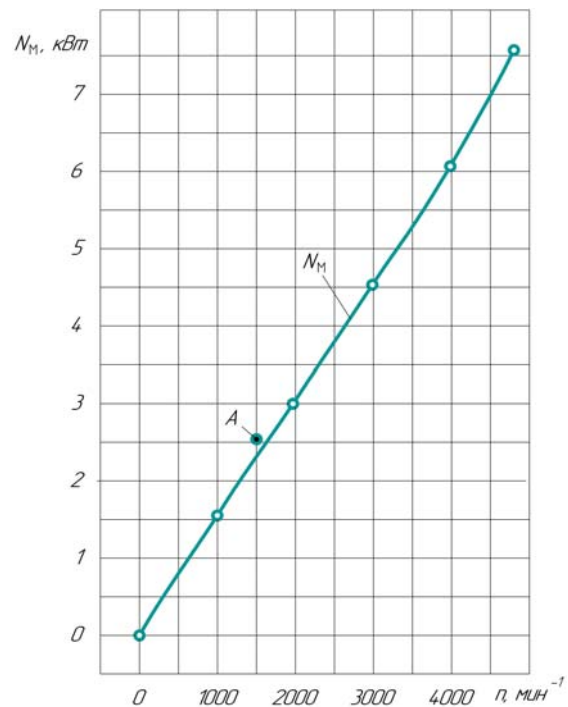


Рис. 1.24. Зависимость мощности механических потерь N_m от частоты вращения вала двигателя n : график $N_m = f(n)$ получен методом прокрутки двигателя балансирной машиной; т. А – значение N_m , полученное методом последовательного отключения цилиндров двигателя

Контрольные вопросы

1. Что такое механические потери двигателя?
2. Из каких составляющих складываются механические потери в двигателе?
3. Что такое потери мощности на трение и потери мощности на совершение насосных ходов?
4. Что такое потери на привод вспомогательных агрегатов, потери мощности на механический привод нагнетателя воздуха и гидравлические потери мощности?
5. Какие методы определения механических потерь в двигателе вы знаете?
6. В чем заключается метод последовательного отключения цилиндров двигателя для определения механических потерь?
7. В чем заключается метод прокрутки двигателя балансирной машиной для определения механических потерь?
8. Какие пути снижения механических потерь в двигателе вам известны?

Лабораторная работа № 10

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ АВТОМОБИЛЬНЫХ И ТРАКТОРНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КАТАЛИТИЧЕСКОГО НЕЙТРАЛИЗАТОРА

Цель работы – изучение практики исследования токсичности ОГ автомобильных и тракторных двигателей; экспериментальное определение эффективности трехкомпонентного каталитического нейтрализатора ОГ.

Задачи работы

1. Ознакомиться с современным состоянием проблемы токсичности ОГ автомобильных и тракторных двигателей.
2. Рассмотреть конструкцию и принцип действия трехкомпонентного каталитического нейтрализатора ОГ.
3. Изучить измерительную аппаратуру для определения токсичных веществ в ОГ автомобильных и тракторных двигателей и условия ее применения на испытательном стенде.

4. Экспериментальным путем определить эффективность трехкомпонентного каталитического нейтрализатора ОГ при работе двигателя на различных режимах.

Общие сведения

В настоящее время важнейшими показателями, определяющими совершенство поршневых двигателей различного назначения, считаются характеристики токсичности отработавших газов и топливной экономичности, которые во многом определяют перспективы дальнейшего совершенствования и использования автомобильных и тракторных двигателей.

Автомобильные и тракторные двигатели загрязняют атмосферу вредными веществами, выбрасываемыми с отработавшими и картерными газами, а также топливными испарениями из баков. При этом 95...99 % вредных выбросов современных автомобильных двигателей приходится на отработавшие газы, представляющие собой сложный аэрозоль, состав которого определяется режимом работы двигателя.

В табл. 1.3 представлены источники образования токсичных веществ, выделяемых автомобильным двигателем.

Табл. 1.3. Источники образования токсичных веществ

Источники выбросов, %	Бензиновый двигатель			Дизель		
	CO	CH	NO _x	CO	CH	NO _x
Отработавшие газы	95	55	98	98	90	98
Картерные газы	5	5	2	2	2	2
Испарение топлива из баков	0	40	0	0	8	0

Атмосферный воздух выступает окислителем топлива и состоит в основном из азота ($\approx 79\%$) и кислорода ($\approx 21\%$). В идеале при стехиометрическом составе смеси углеводородного топлива с воздухом в продуктах сгорания должны содержаться только лишь азот N₂, углекислый газ CO₂ и вода H₂O.

Отработавшие газы – смесь газообразных продуктов полного или неполного сгорания топлива, избыточного воздуха, различных микропримесей (газообразных, жидких и твердых частиц, поступающих из цилиндров двигателя в выпускную систему).

На практике ОГ содержат продукты неполного сгорания топлива: оксид углерода CO, углеводороды CH, альдегиды, твердые части-

цы углерода (сажа), перекисные соединения, водород и избыточный кислород, продукты термических реакций взаимодействия азота с кислородом (оксиды азота NO_x), неорганические соединения тех или иных веществ, присутствующих в топливе (сернистый ангидрид, соединения металлов и т. п.).

Всего в ОГ можно обнаружить до 280 различных компонентов, которые подразделяют на несколько групп (табл. 1.4):

– **группа нетоксичных веществ** (азот, кислород, водород, водяной пар, углекислый газ);

– **группа токсичных веществ** (оксид углерода CO , оксиды азота NO_x , углеводороды CH (парафины, олефины, ароматики и др.), альдегиды R_xCHO , сажа).

Табл. 1.4. *Содержание различных веществ в ОГ*

Компонент ОГ	Содержание в объеме, %		Примечание
	бензиновых двигателей	дизелей	
Азот N_2	74...77	76...78	Нетоксичен
Кислород O_2	0,3...0,8	2...18	»
Вода H_2O	3,0...5,5	0,5...4,0	»
Углекислый газ CO_2	5...12	1...10	»
Оксид углерода CO	0,1...10	0,01...0,5	Токсичен
Оксиды азота NO_x	0,1...0,5	0,001...0,4	»
Углеводороды CH	2 – 3	0,009...0,5	»
Альдегиды R_xCHO	До 0,2	0,01...0,09	»
Оксид серы SO_2	До 0,002	До 0,03	»
Сажа, г/м^3	0,04	0,01...1,1	»
Бенз(а)пирен	До 0,02	до 0,01	Канцерогенен

Анализ состава ОГ бензиновых двигателей и дизелей подтвердил, что в настоящее время более опасны ОГ бензиновых двигателей. Исследования показывают, что бензиновый двигатель выбрасывает оксида углерода CO примерно в семь раз, а альдегидов – в три раза больше дизеля.

Однако в ОГ дизелей также содержится большое количество токсичных продуктов неполного сгорания топлива (оксид углерода, углеводороды, сажа). В ОГ дизелей содержится значительно больше оксида серы SO_2 – в 10...15 раз.

Следует отметить, что все вредные вещества (см. табл. 1.4) имеют различную степень токсического воздействия на человека.

Выбросы токсичных компонентов ОГ значительно зависят от режима работы автомобильного двигателя. В табл. 1.5 представлены значения выделяемых токсичных компонентов в относительных единицах на различных режимах работы автомобильного двигателя.

Табл. 1.5. Токсичные вещества, выделяемые с ОГ двигателя на различных режимах работы автомобиля, %

Компонент ОГ	Режимы работы автомобиля			
	Холостой ход	Постоянная скорость	Ускорение от 0 до 40 км/ч	Замедление от 40 до 0 км/ч
Оксид угле- рода CO	0,5...8,5	0,3...3,5	2,5...5	1,8...4,5
Углеводороды СН	0,03...0,12	0,02...0,6	0,12...0,17	0,23...0,44
Оксиды азота NO _x	0,005...0,01	0,1...0,2	0,12...0,19	0,003...0,005

Пары топлива (СН) – испарения из топливных баков, элементов систем топливоподачи двигателей (стыков, шлангов и др.), содержащие углеводороды различных составов.

Картерные газы – смесь газов, проникающих через зазоры между поршневыми кольцами и цилиндром из камеры сгорания в картер двигателя, а также паров масла, находящихся в картере. Картерные газы через систему вентиляции картера должны отводиться на впуск двигателя и далее сгорать в цилиндре. Однако при неисправной системе вентиляции картера эти газы могут попадать в атмосферу.

Нормирование токсичности отработавших газов автомобильных двигателей началось в США в середине 1960-х годов. С того времени появилось много новых стандартов, их расширили и существенно ужесточили в отношении выбросов токсичных веществ с ОГ. Появились стандарты на отдельные категории автомобилей, тракторов, строительно-дорожной техники и т. п. Не рассматривая вопрос в мировом масштабе, уделим внимание европейским стандартам, введенным для различных видов техники.

Экологический стандарт Евро – это документ, который регулирует содержание вредных веществ в отработавших газах транспортных средств, а также предусматривает выпуск в обращение автомобильных бензинов и дизельного топлива стандарта Евро 1, 2, 3, 4, 5 и 6. Рассмотрим более подробно развитие этого стандарта (табл. 1.6).

Испытания автомобилей на соответствие нормам проводятся по специальным стандартам, предусматривающим определенные технологии измерения выбросов токсичных компонентов автомобильными двигателями. Эти испытания ведутся на специальных беговых барабанах, на которые установлены автомобили. Беговые барабаны позволяют прямо в боксе имитировать движение автомобиля на дороге.

Табл. 1.6. *Нормы токсичности для двигателей автомобилей (категории М*) по европейским стандартам Евро*

Стандарт	Выбросы токсичных компонентов, г/км					
	Оксид углерода CO	Углеводороды CH	Летучие органические соединения (ТМНС)	Оксид азота NO _x	CH + NO _x	Взвешенные частицы (PM)
<i>Нормы для дизелей</i>						
Евро-1	2,72 (3,16)	–	–	–	0,97 (1,13)	0,140 (0,180)
Евро-2	1,00	–	–	–	0,70	0,08
Евро-3	0,64	–	–	0,50	0,56	0,05
Евро-4	0,50	–	–	0,25	0,30	0,025
Евро-5	0,50	–	–	0,18	0,23	0,005
Евро-6	0,50	–	–	0,08	0,17	0,005
<i>Нормы для бензиновых двигателей</i>						
Евро-1	2,72 (3,16)	–	–	–	0,97 (1,13)	–
Евро-2	2,20	–	–	–	0,50	–
Евро-3	2,30	0,20	–	0,15	–	–
Евро-4	1,00	0,10	–	0,08	–	–
Евро-5	1,00	0,10	0,068	0,06	–	0,0050**
Евро-6	1,00	0,10	0,068	0,06	–	0,0050**
Евро-6D temp	1,00	0,10	0,68	0,06	–	0,0045**

Примечание. *До появления стандарта Евро-5 легковые автомобили весом более 2500 кг были одобрены как легкие коммерческие автомобили класса N1.

**Относится только к автомобилям, имеющим двигатели с непосредственным впрыском бензина.

Характер режимов работы автомобиля на беговых барабанах задается так называемым ездовым циклом, который представляет собой определенное сочетание разгонов, торможения, остановок (на холостом ходу), пусков двигателя на соответствующих временных интервалах. Режимы работы автомобиля по ездовому циклу подобраны таким образом, что имитируют движение автомобиля в городских условиях и на трассе. Кроме того, существуют «холодные» и «горячие» ездовые циклы (с пуском и прогревом холодного двигателя и разогретого до рабочих температур).

Проведением подобных испытаний автомобилей занимаются уполномоченные и сертифицированные организации. В процессе создания автомобилей такие испытания самостоятельно проводят и заводы – изготовители автомобильной техники.

Следует отметить, что в стандартах Евро токсичные выбросы измеряются в граммах на километр (г/км) пробега автомобиля. Таким образом, определить соответствие автомобильного двигателя нормам Евро в условиях моторного стенда невозможно. Такие испытания следует проводить только на автомобиле.

Стандарты на тракторные дизели (а также другую подобную технику) предусматривают измерение токсичных выбросов в граммах на киловатт-час, что позволяет определять нормируемую токсичность ОГ на моторных стендах. В нашей стране это регламентируют ГОСТ Р 41.96-99 и ГОСТ 24028-2013.

Для снижения токсичности ОГ до величин, нормируемых стандартами, применяют трехкомпонентные каталитические нейтрализаторы (КН). Их задача – преобразование токсичных компонентов ОГ (CO , CH , NO_x) в безвредные составляющие (водяной пар H_2O , диоксид углерода CO_2 , азот N_2). В дизелях и двигателях с непосредственным впрыском бензина совместно с КН, как правило, применяют сажевый фильтр. В последние годы на дизелях широко используются системы селективной каталитической очистки ОГ (*SCR – Selective Catalytic Reduction*) совместно с восстановительным реагентом типа *AdBlue*.

Конструктивно типичный КН (рис. 1.25) состоит из стального корпуса, в котором размещена керамическая матрица (блок), имеющая множество мелких продольных каналов прямоугольного сечения (размер сечения от 0,3 до 1 мм) с развитой внутренней поверхностью, увеличивающей площадь соприкосновения ОГ с каталитическим сло-

ем. Матрица изготавливается по специальной технологии из теплоустойчивой керамики (кордиерит), которая устойчива также к термоударам. Нормальная рабочая температура керамической матрицы – 300...800 °С. Кратковременно допускается работа нейтрализатора при температуре 800...1000 °С. При температурах свыше 1000 °С керамика начинает размягчаться, а при $t \geq 1450$ °С – матрица плавится.

На поверхность керамики (внутри продольных каналов) по особой технологии наносится специальный промежуточный слой, который связывает керамику с каталитическим слоем. В составе промежуточного слоя содержатся активаторы (промоторы), которые повышают способность накапливать кислород и ускоряют каталитические реакции. Каталитически активный слой состоит из благородных металлов – платины Pt, родия Rh, рутения Ru, палладия Pd и др. Именно благодаря этим металлам, обладающим каталитическим действием, токсичные компоненты ОГ преобразуются в безвредные вещества.

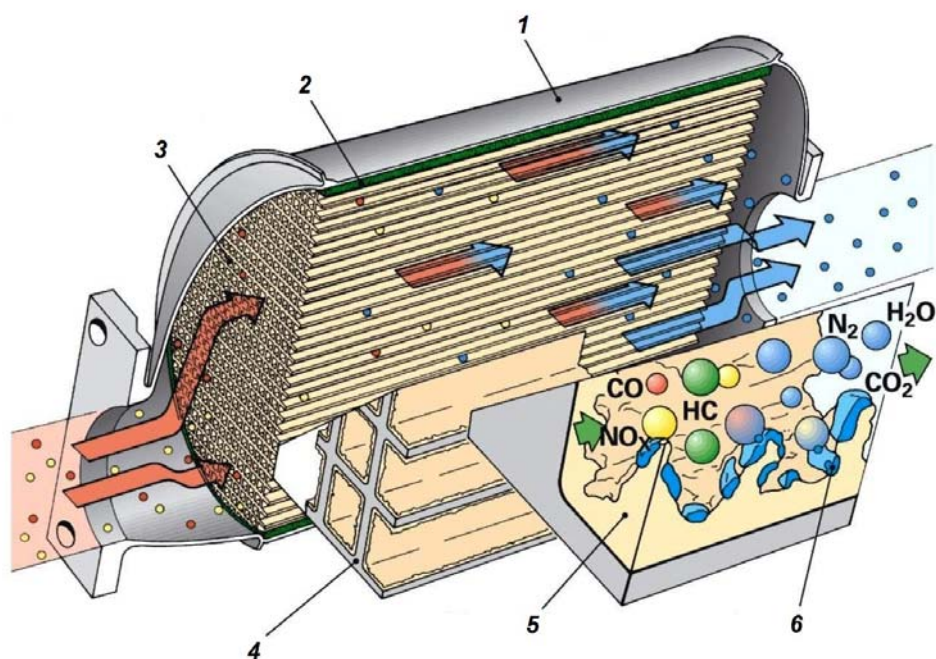


Рис. 1.25. Схема типичной конструкции трехкомпонентного каталитического нейтрализатора: 1 – стальной корпус; 2 – термостойкая демпфирующая подложка; 3 – керамическая матрица (блок); 4 – керамика; 5 – промежуточный слой; 6 – каталитически активный слой

Особенность КН – очень узкий диапазон наивысшей эффективности нейтрализации токсичных компонентов (рис. 1.26). Это связано с тем, что для наиболее полного преобразования токсичных веществ

необходимо равновесие между реакциями окисления и восстановления, что может быть достигнуто только при стехиометрическом составе ТВС, т. е. при $\alpha = 1,0$. Именно для поддержания состава ТВС на уровне $\alpha \approx 1,0$ в системе управления бензиновым двигателем применяется λ -зонд, включенный в контур обратной связи управления подачей топлива.

Таким образом, наиболее эффективна работа КН в узком диапазоне составов ТВС, близких к $\alpha = 1,0$ (так называемое λ -окно).

Эффективность E_i действия КН, %, по каждому из нейтразуемых токсичных компонентов ОГ определяется по формуле

$$E_i = (K_{i_{вх}} - K_{i_{вых}}) / K_{i_{вх}},$$

где $K_{i_{вх}}$ – концентрация i -го вредного вещества на входе в КН; $K_{i_{вых}}$ – концентрация i -го вредного вещества на выходе из КН.

Для определения суммарной (общей) эффективности E_{Σ} нейтрализатора необходимо перемножить вычисленные эффективности по каждому из компонентов – E_{CO} , E_{CH} , E_{NOx} .

Практически суммарная эффективность современного трехкомпонентного КН на отдельных режимах может достигать до 95...98 %.

Таким образом, определяя концентрацию выбросов токсичных компонентов до и после трехкомпонентного КН (см. рис.1.1), можно вычислить эффективность действия нейтрализатора по каждому компоненту и его суммарную эффективность. Естественно, эффективность нейтрализатора будет меняться в зависимости от режима работы двигателя (состава топливоздушнoй смеси). Поэтому рациональнее определять эффективность КН не в одной точке, а по какой-либо характеристике (нагрузочной, скоростной).

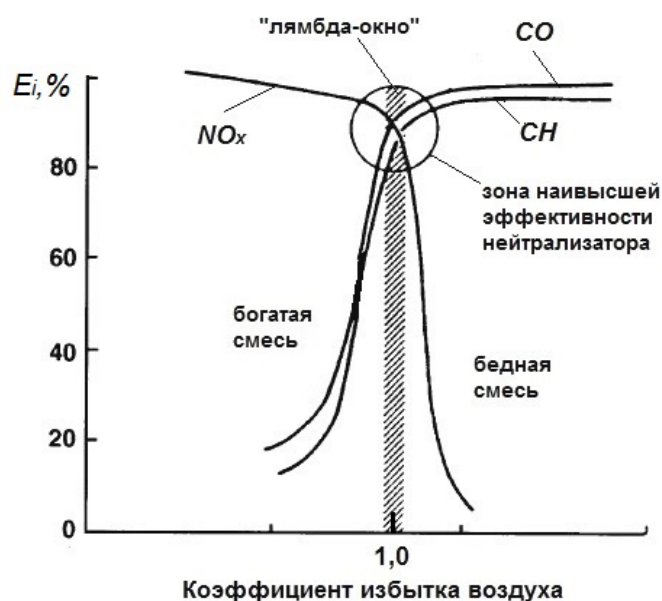


Рис. 1.26. Зависимости эффективности нейтрализации отдельных токсичных компонентов ОГ бензинового двигателя от состава топливоздушнoй смеси

Для измерения токсичных выбросов в лабораторных условиях существует большое количество специализированных приборов – многокомпонентных газоанализаторов и дымомеров. Они могут работать на различных принципах (комбинациях принципов), которые представлены в табл. 1.7.

Табл. 1.7. Технологии определения токсичных компонентов в ОГ

Определяемый компонент	Технология определения
Оксид углерода CO, диоксид углерода CO ₂	Недисперсионный инфракрасный анализатор (NDIR)
Оксиды азота NO _x	Хемилюминесцентный детектор (CLD)
Общее содержание углеводородов C _n H _m	Пламенно-ионизационный детектор (FID)
Отдельные углеводороды CH ₄	Комбинация газовой хроматографии и пламенно-ионизационного детектора (GC FID)
Отдельные углеводороды CH ₃ OH, CH ₂ O	Комбинация импиндера или картриджного фильтра и хроматографического анализа
Твердые частицы	1. Гравиметрический метод: взвешивание фильтров твердых частиц до и после дорожных испытаний 2. Подсчет количества твердых частиц

Применяемые специализированные газоанализаторы ОГ и дымомеры представляют собой сложные высокотехнологичные приборы, требующие аккуратного обращения и регулярной поверки.

На кафедре «Тепловые двигатели и энергетические установки» применяются следующие приборы.

Автомобильный газоанализатор «Инфракар-5М» позволяет измерять объемную долю оксида углерода CO, углеводородов CH, диоксида углерода CO₂, оксидов азота NO_x, кислорода O₂ в ОГ бензиновых двигателей и дизелей. Прибор портативен и удобен в применении и обслуживании.

Анализатор отработавших газов двигателей MGT 5 (производитель – компания *MANA (Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG)*, Германия) дает возможность определять объемную долю оксида углерода CO, суммы углеводородов CH (в пересчете на гексан), оксидов азота NO_x, диоксида углерода CO₂, кислорода O₂ в отработавших газах.

Дымомер для дизелей модели MDO 2 Lon (производитель – компания *MANA (Maschinenbau Haldenwang GmbH & Co. KG)*, Германия) обеспечивает измерение дымности ОГ дизелей (в условных единицах).

Особенность двух последних приборов – наличие интерфейса для связи с персональным компьютером. Все измеряемые величины выводятся только на монитор компьютера. Эти устройства имеют определенные поверочные интервалы, которые контролируются компьютером.

Все указанные приборы имеют высокие метрологические характеристики и хорошо зарекомендовали себя в работе.

Независимо от типа используемого прибора, отработавшие газы, поступающие на вход, не должны иметь влаги. Поэтому перед каждым прибором установлен фильтр-влагоотделитель. Кроме того, все приборы имеют встроенные фильтры для очистки анализируемых ОГ от механических примесей.

Порядок выполнения работы

1. После проверки состояния моторного стенда запустить и прогреть двигатель примерно до температуры моторного масла $t_m = 60$ °С. Проверить подключение газовых каналов используемых газоанализаторов, прогреть приборы.

2. Установить заданный режим работы двигателя (по указанию преподавателя). Сделать выдержку для стабилизации параметров и показателей на этом режиме. Определить показатели токсичности на различных режимах работы двигателя **до и после** нейтрализатора, придерживаясь конкретной характеристики двигателя (скоростной, нагрузочной).

3. Измерению подлежат следующие параметры и показатели работы двигателя:

- показания весовой головки балансирного тормоза;
- частота вращения вала двигателя;
- время расходования определенной порции топлива (выбирается по указанию преподавателя);
- массовый расход воздуха;
- длительность открытия электромагнитной форсунки;
- величина разрежения во впускном трубопроводе;
- давление моторного масла в системе;
- температура моторного масла;
- давление топлива в системе топливоподачи;
- температура отработавших газов;
- температура охлаждающей жидкости;
- температура воздуха на впуске в двигатель;

– показатели токсичных выбросов (CO , CH , NO_x) до и после трехкомпонентного каталитического нейтрализатора.

Все измеряемые параметры и показатели занести в протокол.

4. Подобным образом произвести измерения в 6 – 8 точках.

5. После всех замеров снизить нагрузку двигателя и после 3 – 5 мин работы с минимальной нагрузкой остановить двигатель.

6. Проверить заполнение данных в протоколе испытаний.

7. Выполнить необходимые расчеты (в частности, рассчитать коэффициенты эффективности E_i нейтрализатора по каждому токсичному компоненту и по всему КН в целом) и по указанию преподавателя построить требуемые зависимости по конкретной характеристике двигателя.

На рис. 1.27 показаны графики зависимости токсичных выбросов с ОГ бензинового двигателя ВАЗ-21114 до и после трехкомпонентного каталитического нейтрализатора.

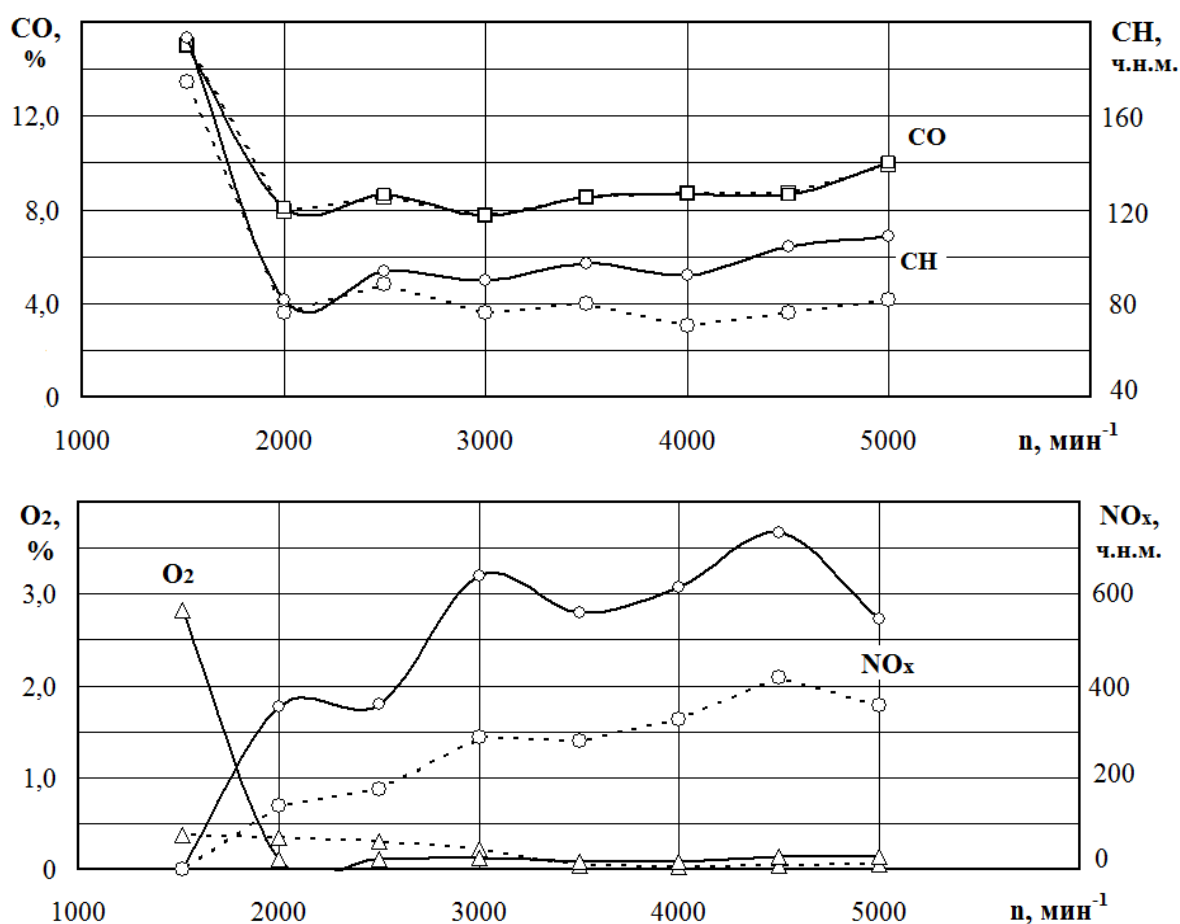


Рис. 1.27. Изменение показателей токсичных выбросов (а также кислорода O_2) с ОГ бензинового двигателя ВАЗ-21114 до и после трехкомпонентного каталитического нейтрализатора по внешней скоростной характеристике (сплошные линии – до КН, пунктирные – после КН)

Как показывают приведенные на рис. 1.27 зависимости, по выбросам оксида углерода СО нейтрализатор малоэффективен на режимах внешней скоростной характеристики. Нейтрализатор начинает снижать выбросы углеводородов СН только после частоты вращения вала $n \geq 2500 \text{ мин}^{-1}$. Эмиссия оксидов азота NO_x достаточно эффективно подавляется каталитическим нейтрализатором практически во всем частотном диапазоне по внешней скоростной характеристике.

Следует отметить, что приведенные на рис. 1.27 данные типичны для режима внешней скоростной характеристики, где двигатель работает на обогащенной топливовоздушной смеси при низкой эффективности КН.

На основе приведенных данных можно вычислить эффективность работы КН по каждому из трех токсичных компонентов в каждой из точек внешней скоростной характеристики.

Контрольные вопросы

1. Какие токсичные компоненты выделяются с ОГ автомобильных и тракторных двигателей?
2. Как определяется токсичность ОГ двигателей автотранспортных средств в соответствии со стандартами Евро?
3. Как определяется токсичность ОГ тракторных дизелей в соответствии с действующими стандартами?
4. Как измеряются токсичные компоненты ОГ автомобильных и тракторных двигателей?
5. Какие существуют источники выбросов вредных веществ (кроме ОГ)?
6. Выбросы каких токсичных компонентов регламентируются стандартами Евро?
7. Как устроен и функционирует трехкомпонентный каталитический нейтрализатор ОГ?
8. Каковы особенности функционирования трехкомпонентного КН?
9. Как определяется коэффициент эффективности трехкомпонентного КН?

Лабораторная работа № 11

ИНДИЦИРОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ПО ИНДИКАТОРНОЙ ДИАГРАММЕ

Цель работы – освоение современной технологии индицирования двигателя, снятие и обработка индикаторной диаграммы для определения основных параметров рабочего цикла.

Задачи работы

1. Ознакомиться с возможными способами индицирования двигателей.
2. Изучить измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) «ДВС» для индицирования двигателей.
3. Практически снять индикаторную диаграмму двигателя.
4. Обработать индикаторную диаграмму для определения основных параметров рабочего цикла двигателей.

Общие сведения

Индикаторной диаграммой поршневого двигателя называется графическое изображение изменения внутрицилиндрового давления от угла поворота коленчатого вала (рис. 1.28). Процесс практического получения индикаторной диаграммы называется индицированием двигателя.

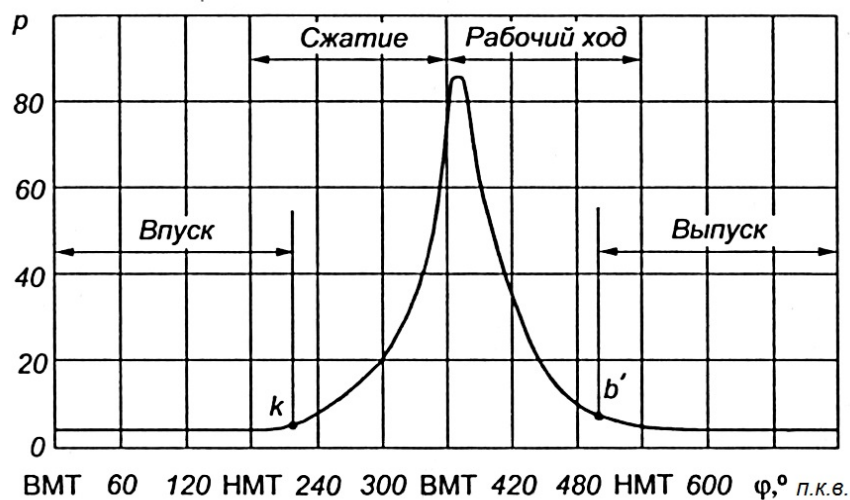


Рис. 1.28. Типичная индикаторная диаграмма (развернутая) поршневого двигателя

Индикаторная диаграмма – важнейший инструмент исследователя при изучении и совершенствовании рабочего процесса бензинового двигателя или дизеля. Она позволяет провести глубокий анализ качества протекания рабочего процесса, определить индикаторную мощность, максимальное давление цикла P_z , давление сжатия P_c и другие параметры рабочего процесса, исследовать работу механизма газораспределения, функционирование форсунки для впрыска топлива (в дизелях и двигателях с непосредственным впрыском бензина) и др.

Достоверность полученных индикаторных показателей во многом определяется применяемой аппаратурой и методикой проведения индицирования.

Индицирование поршневых двигателей известно еще со времен изучения паровых машин в XIX веке. За это время появилось много технологий получения индикаторных диаграмм. Современная технология индицирования предполагает применение комплекса высокосоввершенных датчиков и широкое использование компьютерной техники для получения и обработки индикаторных диаграмм.

Один из инструментов для индицирования двигателей – измерительно-вычислительный комплекс «ДВС» производства ООО «Протон» (г. Павловский Посад, Московская обл.). Этот комплекс предназначен:

- для измерения параметров поршневых двигателей и его агрегатов при проведении стендовых испытаний;
- проведения исследования быстро протекающих процессов в двигателе и его агрегатах;
- обработки результатов стендовых испытаний двигателя с использованием компьютера (входит в комплекс) и специального программного обеспечения;
- визуального представления измерительной информации, результатов ее обработки и анализа в графическом и табличном видах на экране монитора;
- печати полученной информации и результатов ее обработки;
- архивирования и копирования экспериментальных данных и результатов их обработки.

Комплекс ИВК функционирует в виде многоканальной измерительной и вычислительной систем сбора информации (на базе персонального компьютера) и комплекта датчиков (рис. 1.29).

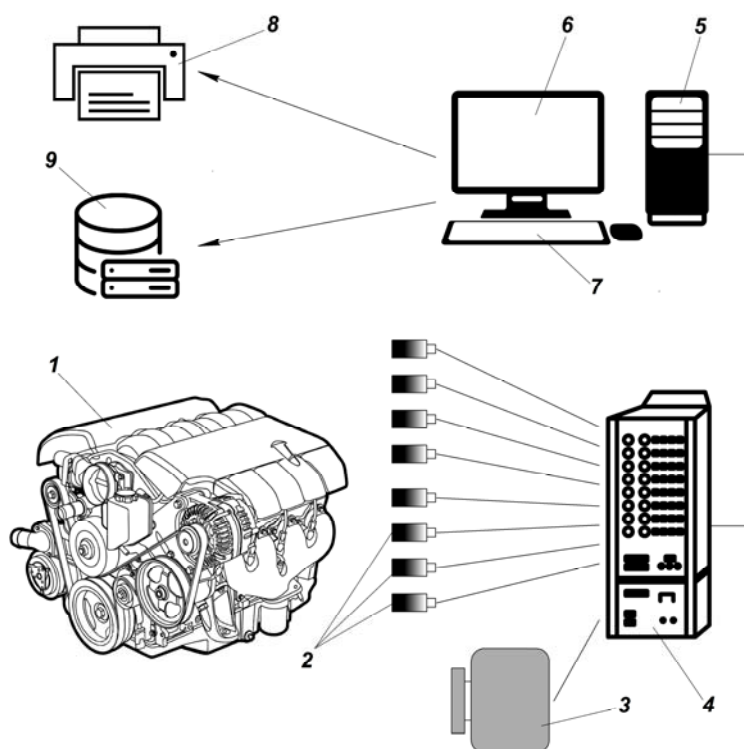


Рис. 1.29. Структурная схема аппаратной части ИВК: 1 – двигатель; 2 – комплект датчиков; 3 – датчик положения коленчатого вала; 4 – универсальный усилитель (адаптер датчиков); 5 – системный блок ПК; 6 – монитор ПК; 7 – клавиатура ПК; 8 – принтер; 9 – устройство хранения информации

Комплекс оснащен рядом датчиков:

- датчиками для измерения давления в цилиндре (датчики охлаждаемые), давления во впускном трубопроводе, в топливопроводах и др.;
- датчиками для определения положения ВМТ и текущего угла поворота коленчатого вала (индуктивного типа, Холла или оптического типа).

Комплекс обеспечивает измерение следующих параметров двигателя и его агрегатов:

- давление в цилиндре;
- давление в топливопроводе высокого давления;
- давление во впускном и в выпускном трубопроводах;
- давление перед и после турбокомпрессора;
- давление картерных газов;
- текущее угловое положение коленчатого вала;
- положение ВМТ в конкретном цилиндре;

- измерение рабочего хода иглы механической форсунки;
- измерение температур воздуха, жидкостей и газов и др.

Специальное программное обеспечение комплекса представляет собой открытую платформу, которая позволяет:

- проводить тарировку датчиков и создавать базу данных по датчикам, входящим в комплекс;
- формировать план измерения параметров и показателей двигателя и его агрегатов;
- выполнять многоканальный сбор информации при измерении параметров и показателей двигателя и его агрегатов;
- обрабатывать поступившие с датчиков данные с использованием специальной базы обработки и принятых методик анализа;
- обеспечивать визуальное представление измерительной информации и результатов ее обработки (в графическом и табличном видах);
- выводить на печать всю необходимую информацию.

Вид с экрана монитора персонального компьютера и полученная индикаторная диаграмма показаны на рис. 1.30.

При обработке индикаторной диаграммы ИВК позволяет:

- пересчитать и перестроить диаграмму по ходу поршня;
- проанализировать идентичность циклов;
- определить среднее индикаторное давление P_i ;
- вычислить характеристики тепловыделения;
- рассчитать текущую температуру рабочего тела в цилиндре;
- определить скорость нарастания давления в цилиндре;
- выполнить анализ внутреннего теплового баланса по составляющим.

Порядок выполнения работы

1. Подробно изучить возможности и функционирование ИВК, после чего проверить установку датчиков на двигателе и их сопряжение с блоком ИВК. Запустить и прогреть двигатель примерно до температуры моторного масла $t_m = 60$ °С. Проверить каналы подключения датчиков ИВК.

2. Установить заданный режим работы двигателя (по указанию преподавателя). Сделать выдержку для стабилизации параметров и показателей на этом режиме. Определить конкретную индикаторную диаграмму двигателя, руководствуясь указаниями преподавателя.

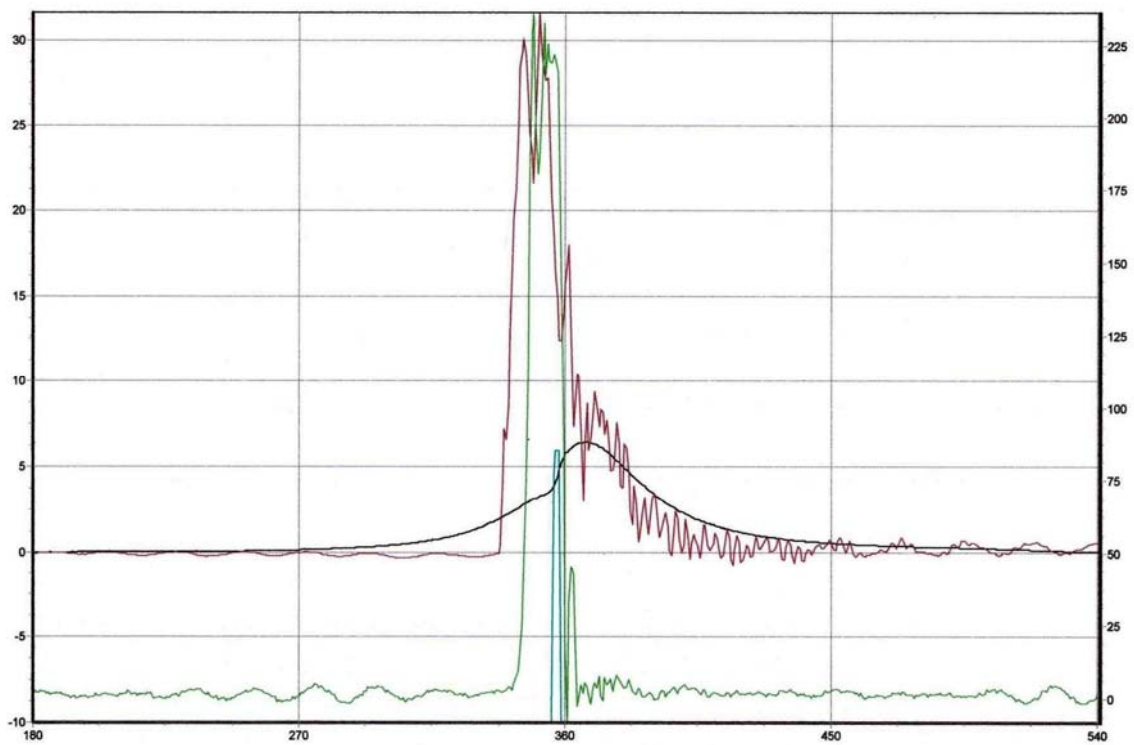
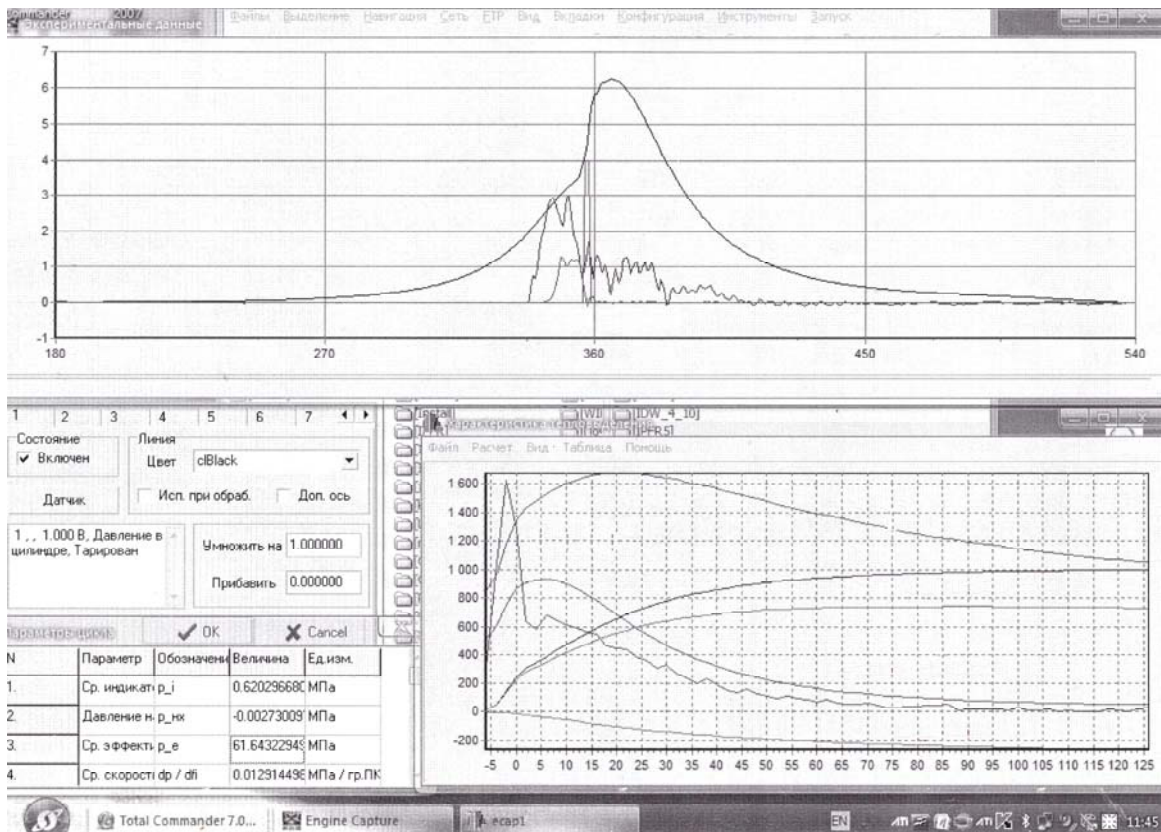


Рис. 1.30. Вид экрана монитора компьютера ИВК (вверху) и первичная индикаторная диаграмма (внизу)

3. Кроме индицирования двигателя измерению подлежат следующие параметры и показатели работы двигателя:

- показания весовой головки балансирного тормоза;
- частота вращения вала двигателя;
- время расходования определенной порции топлива (выбирается по указанию преподавателя);
- массовый расход воздуха;
- длительность открытия электромагнитной форсунки;
- величина разрежения во впускном трубопроводе;
- давление моторного масла в системе;
- температура моторного масла;
- давление топлива в системе топливоподачи;
- температура отработавших газов;
- температура охлаждающей жидкости;
- температура воздуха на впуске в двигатель.

Все измеряемые параметры и показатели занести в протокол.

4. Завершив снятие индикаторной диаграммы, проверить сохранение данных в персональном компьютере.

5. Под руководством преподавателя и с использованием возможностей ИВК обработать полученную индикаторную диаграмму для определения основных параметров цикла двигателя.

6. Оформить отчет о проделанной работе.

Контрольные вопросы

1. Что называется индикаторной диаграммой двигателя?
2. Для чего снимается индикаторная диаграмма?
3. С помощью какой аппаратуры определяется индикаторная диаграмма?
4. Каковы возможности измерительно-вычислительного комплекса «ДВС»?
5. Какие параметры рабочего цикла двигателя позволяет определить индикаторная диаграмма?
6. Как обрабатывается первичная индикаторная диаграмма?
7. Какова структурная схема аппаратной части измерительно-вычислительного комплекса «ДВС»?

Часть 2. ДИАГНОСТИКА БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ И ДИЗЕЛЯ

ОСНОВЫ ДИАГНОСТИКИ

Техническая диагностика – это область знаний, охватывающая теорию, методы и средства определения технического состояния объектов. Под диагностикой автомобильных двигателей следует понимать совокупность теории, методов и средств определения технического состояния двигателей.

Применительно к двигателю его **техническое состояние** – это состояние, которое характеризуется в определенный момент времени, при определенных условиях внешней среды значениями параметров его деталей, узлов, систем, установленных соответствующей технической документацией.

Непосредственно процесс определения технического состояния объекта носит название «**техническое диагностирование**». Применительно к двигателям чаще используют термин «**диагностирование**».

Задачи диагностирования двигателя:

- контроль технического состояния;
- поиск места и определение причин отказа (неисправности);
- прогнозирование технического состояния.

Роль диагностирования двигателя неуклонно растет. Это происходит из-за непрерывного совершенствования и усложнения конструкции самого двигателя и всех его систем.

В прошлом моторный агрегат был относительно простым: контактное зажигание, карбюраторная система питания и механика двигателя без особых тонкостей. Все это не требовало сложной и дорогостоящей аппаратуры для диагностирования.

Однако требования соответствия нормам токсичности отработавших газов привели к созданию электронных систем топливоподачи и зажигания, электронных блоков управления с информационной базой в виде многочисленных датчиков расхода, давления, температуры воздуха, детонации, положения коленчатого и распределительного валов и др.

Дальнейшее ужесточение экологических норм дало толчок к применению трехкомпонентных нейтрализаторов отработавших га-

зов, введению λ -регулирования, управлению системой рециркуляции отработавших газов, подаче в систему выпуска ОГ вторичного воздуха, улавливанию паров топлива и др. Разумеется, все это было достигнуто с помощью значительного усложнения электронных систем управления.

Одновременно с этим существенно усложнилось устройство двигателей. Широкое распространение получили многоклапанные двухвальные головки блока цилиндров, впускные и выпускные системы сложной конфигурации. Практически на всех современных двигателях устанавливаются системы регулирования фаз газораспределения, регулируемый наддув, системы нейтрализации отработавших газов и др. Более того, двигатель оснащается множеством агрегатов, повышающих безопасность и комфортабельность автомобиля.

Поиск неисправностей в электронных системах управления двигателем усложнился и требует оборудования, сопоставимого по уровню сложности с проверяемыми изделиями. Такое диагностирование можно назвать электронным: оно позволяет анализировать электронные системы управления при помощи электронного диагностического оборудования. Но это не отменяет и не заменяет диагностирование механической части двигателя, для которого в арсенале остались традиционные средства.

Практика также показывает, что наличие самого современного и дорогостоящего оборудования не гарантирует проведение грамотной и квалифицированной диагностики. Обязательное слагаемое успеха – **техническая информация** об устройстве конкретных систем обследуемых моделей автомобилей (схемы соединений, расположение компонентов, расшифровка кодов неисправностей, особенности конструкции двигателя и т. д.).

Все перечисленное значительно повышает актуальность диагностирования автомобиля, и двигателей в частности.

Вторая часть лабораторного практикума посвящена вопросам диагностирования отдельных элементов систем управления современных двигателей.

ПРИНЦИПЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С СИСТЕМАМИ ЭЛЕКТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Лабораторная работа № 1

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАГНОСТИКИ. ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ И ПРИНЦИПЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

Цель работы – знакомство с основными понятиями и определениями диагностики, принципами и алгоритмами диагностирования двигателей.

Задачи работы

1. Изучить основные понятия и определения диагностики.
2. Изучить принципы диагностирования двигателей.

Общие сведения

Процесс определения технического состояния объекта называется «**техническое диагностирование**». Применительно к двигателям чаще используют термин «**диагностирование**».

Задачи диагностирования двигателя:

- контроль технического состояния;
- поиск места и определение причин отказа (неисправности);
- прогнозирование технического состояния.

Под **контролем технического состояния** понимают проверку соответствия значений параметров объекта требованиям технической документации и определение на этой основе одного из заданных видов технического состояния в данный момент времени.

Существуют следующие виды технического состояния объекта:

- **исправное состояние (исправность)** – состояние объекта, которое соответствует всем требованиям, установленным в документации на него;
- **неисправное состояние (неисправность)** – состояние объекта, которое не соответствует хотя бы одному из требований, установленных в документации на него;
- **работоспособное состояние** – состояние, в котором объект способен выполнять требуемые функции;
- **неработоспособное состояние** – состояние объекта, при котором он не способен выполнять хотя бы одну требуемую функцию по

причинам, зависящим от него или профилактического технического обслуживания.

Под **отказом** понимают событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Отказ может быть полным или частичным. Полный отказ характеризуется переходом объекта в неработоспособное состояние, частичный отказ – переходом объекта в частично неработоспособное состояние.

Сбоем в работе устройства или системы называют самоустраняющийся отказ или однократный отказ, устраняемый незначительным вмешательством оператора.

Диагностирование объекта (двигателя, агрегата, механизма) осуществляют согласно **алгоритму** – совокупности предписаний, определяющих последовательность действий при проведении диагностирования или контроля.

Под **прогнозированием технического состояния** двигателя понимают определение технического состояния объекта с заданной вероятностью на предстоящий интервал времени.

Целью прогнозирования технического состояния может быть определение с заданной вероятностью интервала времени (ресурса), в течение которого сохранится работоспособное (исправное) состояние объекта, или вероятности сохранения работоспособного (исправного) состояния объекта в заданном интервале времени.

Различают диагностирование периодическое и непрерывное. Первое возможно через определенные периоды наработки объекта перед ТО или ремонтом автомобиля, а второе – при помощи встроенных диагностических средств в процессе эксплуатации автомобиля.

Средствами диагностирования служат специальные приборы и стенды. Они делятся на внешние (отдельные) и встроенные, являющиеся составной частью автомобиля.

Диагностическим параметром называют параметр объекта, используемый в целях диагностирования. Для обеспечения надлежащей достоверности и экономичности диагностирования диагностические параметры должны быть чувствительны, однозначны, стабильны и информативны:

1) **чувствительность** определяется величиной приращения диагностического параметра при изменении параметра технического состояния;

2) **однозначность** подразумевает отсутствие экстремума в диапазоне от начального до предельного значений параметра технического состояния;

3) **стабильность** определяется вариацией значений диагностического параметра при многократном измерении на объектах, имеющих одну и ту же величину соответствующего структурного параметра.

Методы диагностирования автомобильных двигателей характеризуются физической сущностью диагностических параметров. Первые делятся на три группы:

– по параметрам рабочих процессов и измерения параметров эксплуатационных свойств (мощность, расход топлива, динамика изменения давления впрыска в системе топливоподачи, процессы в системе зажигания и др.), косвенно характеризую состояние двигателя;

– параметрам процессов, сопровождающих функционирование автомобиля, его агрегатов и механизмов (нагревы, вибрации, шумы и др.), косвенно характеризую состояние двигателя;

– структурным параметрам (зазоры в сопряжениях, значения регулировочных параметров), непосредственно характеризующим техническое состояние механизмов автомобилей.

Первая группа методов позволяет оценить работоспособность и эксплуатационные свойства двигателя и автомобиля в целом. Вторая и третья дают возможность выявить конкретные причины неисправностей. Поэтому при диагностировании, исходя из принципа «от целого – к частному», сначала применяют первую группу методов (общее диагностирование), а затем для конкретизации технического состояния двигателя и автомобиля в целом применяют методы второй и третьей групп (локальное диагностирование).

С одной стороны, высокая надежность современной автомобильной электроники привела к сокращению числа простых дефектов, легко выявляемых на станциях техобслуживания. С другой стороны, возникающая неисправность может являться следствием множества причин. Это усложняет проблему диагностирования современных автомобилей.

Диагностирование неисправностей в электронных системах управления двигателем и автомобилем обычно проводится в определенной последовательности.

1. Установление наличия неисправности

Необходимо убедиться, что неисправность реально существует.

Следует уточнить условия возникновения неисправности:

- какова температура окружающей среды;
- прогрет ли двигатель;
- проявляется ли неисправность при трогании с места, ускорении или крейсеровании;
- какие предупреждающие индикаторы на приборной панели при этом включаются;
- какие и когда выполнялись на автомобиле сервисные или ремонтные работы.

2. Осмотр, основные проверки механической исправности основных узлов

До проведения диагностирования неисправностей в системе управления двигателем важно устранить очевидные неисправности, такие как:

- утечка топлива, масла, охлаждающей жидкости;
- трещины или отключения вакуумных шлангов;
- коррозия контактов аккумуляторной батареи;
- нарушение электрических соединений в контактных разъемах;
- необычные звуки, запахи, дым;
- засорение воздушного фильтра.

По оценкам экспертов, 10 – 30 % неисправностей в электронных системах управления автомобилем выявляются уже при осмотре.

При проверке работоспособности механизмов и систем поочередно включаются и выключаются подсистемы. Следует обратить внимание на наличие признаков предыдущих ремонтов – всегда есть риск, что при этом что-то забыли подключить или неправильно соединили и т.д.

3. Проверка технического состояния подсистем

Проверка уровня и качества масла. Уровень масла должен находиться в пределах нормы. Качество масла проверяют на содержание:

- бензина;
- воды;
- абразивных частиц.

Воспламеняемость масла на щупе – признак присутствия в масле бензина. Его пары через систему вентиляции картера излишне обогатят топливную смесь.

Капните маслом со щупа на разогретый выпускной коллектор: если масло кипит или пузырится, в нем содержится влага.

Потрите каплю масла пальцами, убедитесь, что в нем нет абразивных частиц.

Проверка охлаждающей жидкости и ее качества. Правильное функционирование системы охлаждения двигателя очень важно для его нормальной работы. При перегреве неизбежно возникают проблемы.

Уровень охлаждающей жидкости должен находиться в пределах нормы и проверяется при холодном двигателе. В рабочем режиме при попытке снять крышку радиатора горячая охлаждающая жидкость (температура выше 100 °С) под давлением выплеснется наружу и может обжечь человека.

С помощью гидрометра определяется точка кипения и замерзания охлаждающей жидкости, т. е. правильность концентрации антифриза.

При работе под давлением неисправная система охлаждения двигателя дает утечку охладителя. В этих местах обычно видны серо-белые, ржавые или зеленоватые потеки от антифриза.

Если в радиаторе секции оказываются холодными, значит, они засорены.

Проверяется работа реле вентилятора, натяжение приводного ремня водяного насоса.

Проверка уровня топлива в баке. Убедитесь, что бак заполнен не менее чем на четверть, в противном случае грязь и вода со дна могут быть поданы в топливную систему.

Проверка напряжения на аккумуляторе. Напряжение должно быть не менее 12,4 В и в пределах 13,5 – 15,0 В – при работе генератора. Понижение напряжения на аккумуляторе вызывает:

– увеличение расхода топлива, так как контроллер двигателя компенсирует снижение напряжения питания увеличением времени отпирания форсунок;

– увеличение частоты вращения холостого хода, так как контроллер таким образом ускоряет заряд аккумулятора.

Проверка исправности системы зажигания. Проверяется с помощью тестера зажигания. К тестеру подключается высоковольтный провод от свечи, затем двигатель прокручивается. Проверка искрообразования на стандартной свече при атмосферном давлении не показательна. В цилиндре двигателя искровой пробой на свече происходит под давлением, что имитируется при атмосферном давлении в тестере с помощью увеличения длины искрового промежутка до 19 мм. Для пробоя система зажигания должна выдать напряжение 25 – 30 кВ. Проверяется давление топлива в системе топливоподачи.

Тест на определение баланса мощности. Заключается в том, что в двигателе поочередно отключают по одному цилиндру. Если при отключении какого-то цилиндра обороты двигателя изменились на меньшую величину, чем для остальных, в цилиндре имеется неисправность. Для предотвращения пробоя вторичной обмотки катушки зажигания отсоединенный высоковольтный провод со свечи отключаемого цилиндра должен быть заземлен.

4. Считывание кодов ошибок

При считывании кодов ошибок следует точно знать модель, год выпуска, тип двигателя и трансмиссии и т. д. В памяти контроллера сохраняются как коды текущих (постоянных) неисправностей, так и тех, которые были обнаружены контроллером, но в данный момент не проявляются (непостоянные, однократные, исторические коды).

5. Работа с сервисной документацией

По оценкам производителей, до 30 % случаев неисправности автомобилей обнаруживаются и исправляются на основе указаний, предположений, диагностических карт в руководствах по техническому обслуживанию и ремонту. Перед использованием документации следует точно знать модель, год выпуска, тип двигателя и трансмиссии, постоянная или непостоянная это неисправность и т. д.

6. Просмотр параметров с помощью сканера

Все современные автомобили позволяют просматривать параметры режима двигателя с помощью сканера, подключенного к диагностическому разъему. Параметров много, поэтому просматривать их все подряд бессмысленно; сообщения типа «это значение неверно»

сканер все равно не выдаст, хотя по мере удешевления и усложнения вычислительной техники программное обеспечение сканера или контроллер сможет выделять ненормальные значения параметров. Нужно или следовать какому-то алгоритму, например имеющемуся в диагностической карте, или просмотреть наиболее информативные параметры работы двигателя:

- убедиться, что для холодного двигателя температура охлаждающей жидкости и воздуха во впускном трубопроводе совпадают;
- клапан регулятора оборотов холостого хода должен быть открыт на допустимое число шагов (или процентов);
- сигнал с датчика кислорода не должен опускаться ниже уровня 200 мВ, подниматься выше 700 мВ, фронты не пологие, частота не менее 4 Гц.

7. Локализация неисправности на уровне подсистемы или цилиндра

Это наиболее трудная часть задачи. Скорее всего, опираясь на собственный опыт, придется выполнить следующее:

- работать с диагностическими картами, технической информацией;
- просмотреть изменения коэффициентов коррекции подачи топлива, сделанные электронным блоком управления (ЭБУ);
- проанализировать состав выхлопных газов;
- провести тест баланса мощности по цилиндрам и т. д.

8. Ремонт

Ремонт или замена каких-либо систем выполняется согласно инструкциям производителя. Если после замены неисправность сохраняется, снова возвращаемся к поиску возможных причин. В конце концов должен быть получен детальный ответ на вопрос, почему же возникла эта неисправность.

9. Проверка после ремонта и стирание кодов ошибок из памяти электронного блока управления (контроллера)

1. В испытательной поездке следует убедиться, что неисправность устранена и не возникли новые проблемы из-за ремонта.

2. Согласно процедуре, рекомендованной производителем, стираются коды ошибок в контроллере, в противном случае компьютер может ложно учитывать их при управлении двигателем.

При поиске неисправностей следует придерживаться следующих принципов.

Принцип 1. Обедненная топливовоздушная смесь (ТВС) чаще является причиной ухудшения ездовых характеристик, чем богатая.

Обедненная ТВС:

- горит медленно с высокой температурой;
- может вызывать обратную вспышку;
- обычно возникает при потере вакуума.

Богатая ТВС:

- горит быстро и с пониженной температурой;
- увеличивает расход топлива, ОГ становятся черными;
- может привести к закоксуванию свечей, ездовые характеристики при этом ухудшаются.

Принцип 2. Сначала всегда проверяется выходной сигнал контролируемого устройства. Если выходной сигнал контролируемого устройства (например, катушки зажигания) нормальный, то питание, «масса» и само контролируемое устройство исправны. Если выходной сигнал не соответствует норме, то входной сигнал, питание, «масса» или само контролируемое устройство могут быть неисправны. Естественно, не следует заменять контролируемое устройство, не убедившись в исправности питания.

Принцип 3. В первую очередь проверяются подсистемы, характеристики которых должны ухудшаться по мере эксплуатации. До проведения дорогостоящих диагностических работ следует убедиться в исправности подсистемы с ограниченным сроком службы или заменить ее. К таковым относятся: топливный и воздушный фильтры, свечи, бегунок и крышка распределителя, высоковольтные провода и т. п.

Принцип 4. Проверяются разъемы и соединители, их контакты не должны быть погнуты или окислены.

Принцип 5. Измеряется напряжение питания на контактах контролируемого устройства. На выводе, подключенном к «массе», напряжение не должно превышать 0,2 В.

Принцип 6. В двигатель должно подаваться чистое топливо в достаточном количестве. Засоренные фильтры, согнутые шланги способны ухудшать ездовые характеристики. Измерением только давления топлива в системе не обойтись, следует убедиться также в его нормальном расходе через форсунки.

Порядок выполнения работы

При выполнении работы следует акцентировать внимание на следующих вопросах:

- основные понятия и определения технического диагностирования;
 - изучение порядка проведения диагностирования неисправностей в электронных системах управления двигателем;
 - изучение принципов поиска неисправностей.
- Кратко отразить указанные вопросы в отчете.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение технического диагностирования.
2. Дайте определение технического состояния двигателя.
3. В чем заключается основное отличие контроля технического состояния объекта от диагностирования?
4. Приведите пример неисправного состояния двигателя.
5. Приведите пример неработоспособного состояния объекта.
6. В чем принципиальное отличие сбоя в работе устройства от отказа в работе?
7. Назовите методы диагностирования автомобильных двигателей.
8. В какой последовательности необходимо проводить диагностирование неисправностей в электронных системах управления?

Лабораторная работа № 2

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ С ЭЛЕКТРОННЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

Цель работы – изучение оборудования, используемого для диагностирования современных двигателей внутреннего сгорания с электронным управлением.

Задачи работы

1. Ознакомиться с номенклатурой и назначением оборудования для диагностирования ДВС.
2. Ознакомиться с принципом действия ДВС и техническими характеристиками.

Общие сведения

Эффективность процессов диагностирования в большой степени зависит от совершенства средств диагностирования. Под средствами технического диагностирования (СТД) понимают оборудование, аппаратуру и программы, с помощью которых определяется техническое состояние объекта.

Средства технического диагностирования должны обеспечивать определение (измерение) или контроль диагностических параметров в режимах работы изделия, установленных в эксплуатационной документации.

Классификация средств диагностирования приведена на рис. 2.1.

Внешнее СТД – средство диагностирования, выполненное конструктивно отдельно от объекта.

Встроенное СТД – средство диагностирования, являющееся составной частью объекта.

Специализированное средство технического диагностирования – средство, предназначенное для диагностирования (контроля) одного объекта или группы однотипных объектов.

Универсальное СТД – средство, предназначенное для диагностирования объектов различных типов.

По функциональному назначению средства диагностирования разделяют на группы: комплексные – для диагностирования автомобиля в целом; средства диагностирования двигателей и их систем; электрооборудования и т. д.



Рис. 2.1. Классификация средств диагностирования

По принципу действия (методу контроля), в зависимости от метода измерения, на котором оно основано, диагностическое оборудование может быть метрическим, оптическим, тепловым, виброакустическим и т. д.

По типу привода рабочих органов диагностическое оборудование может иметь механический, электрический, гидравлический, пневматический и комбинированный привод.

По подвижности диагностическое оборудование делится на передвижное, переносное, стационарное.

Виды средств измерений и представления информации о результатах контроля диагностических параметров систем двигателя показаны на рис. 2.2.



Рис. 2.2. Классификация средств диагностирования, представляющих информацию о состоянии объектов диагностирования

Рассмотрим основные технические средства, используемые для диагностирования двигателей внутреннего сгорания.

Логический пробник – это относительно простой прибор, электронный аналог контрольной лампы. Контрольная лампа имеет низкое входное сопротивление, ее применение в современном электрооборудовании автомобилей может привести к выходу из строя слабых элементов микроэлектронных схем.

Логический пробник имеет высокое входное сопротивление, влияющее на тестируемые электрические цепи, и применяется для безопасного тестирования низковольтных цепей. Как правило, прибор оснащен внутренним источником питания. Пробник и исследуемая электрическая цепь должны иметь общую «землю»-«массу». На корпусе пробника располагаются два светодиода (красный, зеленый), некоторые модели снабжены звуковым сигналом (рис. 2.3).



Рис. 2.3. Внешний вид автомобильного логического пробника

Логический пробник информирует пользователя о наличии напряжения по отношению к «массе» – загорается красный светодиод. В случае соединения измерительного щупа с «массой» загорается зеленый светодиод и звучит сигнал зуммера.

С помощью логического пробника можно оперативно проверить напряжение на катушке зажигания, топливном насосе и на других элементах.

Современные пробники позволяют измерить напряжение в цифровой форме (рис. 2.4).



Рис. 2.4. Цифровой автомобильный пробник-тестер

высшей группы сложности – это цифровой прибор с комбинированным аналого-цифровым дисплеем и автоматическим выбором диапазона измеряемой величины. Такие приборы позволяют измерять по-

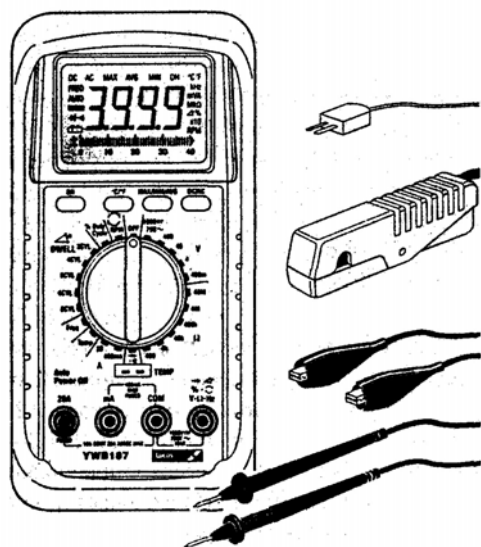


Рис. 2.5. Внешний вид автомобильного цифрового мультиметра

стоянные и переменные токи и напряжения, сопротивление, емкость, скважность, длительность и частоту следования импульсов, частоту вращения колчатого вала, температуру. Кроме того, они выполняют ряд дополнительных функций: усреднение измеряемой величины, запоминание минимальных и максимальных значений, «замораживание» значений на дисплее и т. д.

Цифровой мультиметр – неотъемлемая часть диагностического оборудования. Несмотря на невозможность наблюдения и измерения с помощью прибора быстро изменяющихся процессов, автомобильные цифровые мультиметры нашли широкое применение в диагностировании неисправностей электрических и электронных схем. Мультиметры отличаются универсальностью, простотой, быстротой подготовки к работе и высокой точностью измерений.

Недостаток логических пробников (по сравнению с «контрольками», с лампами накаливания) – невозможность управления электромагнитными реле.

Автомобильные мультиметры представляют собой класс универсальных приборов, необходимых на многих стадиях диагностирования в мастерских и на станциях технического обслуживания любого уровня (рис. 2.5). Современный мультиметр

Измерители давления в гидравлических системах топливоподачи, смазки, систем регулирования фаз газораспределения выпускаются в виде комплектов, содержащих высокоточный манометр, а также различные адаптеры и переходники для подключения к гидравлической части различных систем. На рынке существует большое число разнообразных по цене и комплектации наборов, выпускаемых такими фирмами, как *BOSCH*, *OTC*, *SNAP-ON*, *MATCO*, *STAR*, *AVL* и многими другими. Один из таких наборов изображен на рис. 2.6.

Компрессометры и компрессографы предназначены для измерения давления в камере сгорания двигателя в конце такта сжатия при прокрутке стартером.

Компрессометр по сути представляет собой манометр с обратным клапаном (рис. 2.7). Он позволяет измерить конечную величину давления, а также более наглядно оценить динамику его нарастания в течение нескольких оборотов коленчатого вала, что является важной информацией для опытного механика. Наиболее удобны специальные комплекты, в состав которых входит компрессометр с различными насадками и адаптерами.



Рис. 2.6. Комплект для измерения давления топлива



Рис. 2.7. Компрессометр

Компрессограф (рис. 2.8) позволяет одновременно с измерением протоколировать результаты путем графического отображения значений компрессии по цилиндрам на специальных сменных картах, и поэтому более предпочтителен при проведении периодических ТО и ремонтных работ на крупных СТО или в автохозяйствах.

Универсальные измерители разрежения (вакуумметры) позволяют измерять величину разрежения, образующегося за дроссельной заслонкой работающего двигателя, а также разрежения, действующего в различных точках вакуумной сети системы управления



Рис. 2.8. Внешний вид компрессографа

двигателем. Информация о величине разрежения и динамике его изменения позволяет оценить состояние ЦПГ, плотность прилегания клапанов к седлам, правильность работы механизма газораспределения (зазоры и установка) и даже отклонение от заданного состава топливной смеси. Обычно вакуумметры выпускаются в виде универсального прибора, выполняющего кроме измерения разрежения также и функции вакуумного насоса, а часто еще и насоса давления. Наиболее популярным и распространенным прибором этого типа является ручной вакуумметр/насос фирмы *MITYVAC* (США), продаваемый также и под другими торговыми марками. На базе этого прибора можно построить тестер систем охлаждения, тестер утечек в полости цилиндра, устройство для прокачки тормозных механизмов и т. д. Вакуумметр *MITYVAC* изображен на рис. 2.9.

Тестер утечек – один из приборов, используемых для определения состояния ЦПГ и герметичности надпоршневого пространства без разборки двигателя. Кроме того, тестер утечек позволяет локализовать причину негерметичности в цилиндре. Принцип действия подобных приборов состоит в измерении уровня падения давления в цилиндре, в полость которого через свечное отверстие подается калиброванное количество воздуха. Тестер утечек изображен на рис. 2.10.



Рис. 2.9. Ручной вакуумный насос/вакуумметр



Рис. 2.10. Внешний вид тестера утечек

Автомобильные стробоскопы предназначены для визуального контроля взаимного расположения установочных меток момента зажигания на блоке цилиндров и шкиве или маховике коленчатого вала при работе двигателя. Это особенно важно при тестировании двигателей, конструкция которых предполагает возможность регулировки начального момента зажигания. На рынке можно найти стробоскопы различных конструкций и уровней сложности. Внешний вид автомобильного стробоскопа показан на рис. 2.11.



Рис. 2.11. Внешний вид автомобильного стробоскопа

Газоанализаторы – мощное и эффективное средство диагностирования двигателя. С помощью газоанализатора можно оценить не только работу системы топливодозирования, но и работу систем зажигания и газораспределения, состояние ЦПГ. Кроме того, газоанализатор является основным прибором при проведении регулировок на соответствие нормам по токсичности ОГ.

Уровень и комплектация газоанализаторов, выпускаемых различными фирмами, существенно различаются. Минимально приемлемым уровнем в настоящее время можно считать двухкомпонентные газоанализаторы (для определения CO и CH). Квалифицированное тестирование автомобилей, оснащенных нейтрализаторами различной конструкции, в большинстве случаев возможно лишь при наличии четырехкомпонентных анализаторов. Такие приборы позволяют измерять содержание CO, CH, NO_x и CO₂ в отработавших газах. Кроме того, газоанализаторы высшей группы сложности дополнительно могут измерять частоту вращения коленчатого вала, температуру масла и рассчитывать коэффициент избытка воздуха. Современный пятикомпонентный газоанализатор изображен на рис. 2.12.



Рис. 2.12. Пятикомпонентный газоанализатор

В наибольшей степени возможности газоанализатора проявляются при его работе в составе мотортестера, особенно при проведении теста баланса мощности посредством отключения цилиндров (для тех автомобилей, где это возможно). В последнее время появилось

несколько моделей компактных газоанализаторов, предназначенных в том числе и для проведения измерений непосредственно на движущемся автомобиле. Отличительная особенность этих приборов – компактность, питание от сети 12 В и возможность (в большинстве случаев) измерения содержания оксидов азота (NO_x).



Рис. 2.13. Консольный мотортестер

Мотортестеры (рис. 2.13) используются для комплексного диагностирования двигателя и его систем. Класс сложности и уровень комплектации мотортестера определяют его возможности по быстрому и эффективному обнаружению неисправностей. Наиболее широкими возможностями обладают стационарные (консольные) мотортестеры со встроенными газоанализаторами. На

рынке профессионального диагностического оборудования ведущими производителями универсальных мотортестеров считаются фирмы *BOSCH*, *BEAR*, *ALLEN*, *SUN ELECTRIC*. Кроме того, существуют фирмы, выпускающие специализированные мотортестеры для ди-

лерской сети того или иного производителя. Например, *HERMANN* предназначен для автомобилей *MERCEDES-BENZ*.

Мотортестеры выполнены на базе персонального компьютера и могут комплектоваться 14- или 17-дюймовыми мониторами. В стойку мотортестера встраиваются (или вставляются) четырехкомпонентный газоанализатор и специальный модуль-анализатор двигателя, собирающий и обрабатывающий информацию с помощью целой группы тест-кабелей и датчиков, соединенных с поворотной консолью. При тестировании автомобилей мотортестер собирает, обрабатывает и выводит информацию по результатам ряда режимов: прокрутка стартером, работа на трех скоростных режимах ($4000 - 5000 \text{ мин}^{-1}$, 3000 мин^{-1} и частоте вращения вала на холостом ходу), режим резкого ускорения, режим баланса мощности (отключение цилиндров) и др.

По результатам полного теста можно получить информацию об относительной компрессии в цилиндрах, параметрах системы зажигания (пробивное напряжение, длительность искрового разряда, УОЗ и т. д.), стартерном токе и напряжении АКБ, составе ОГ; выявить неэффективно работающий цилиндр и многое другое. В памяти мотортестера (на жестком диске системного блока) записаны все необходимые значения измеряемых параметров для большого числа автомобилей различных производителей. Поэтому выход какого-либо параметра за установленные допуски автоматически фиксируется, и эта информация, наряду с измеренными значениями, выводится оператору для анализа. Возможен также дальнейший анализ по специальной программе (экспертная система).

Принцип гибкого построения позволяет легко адаптировать такое оборудование под вновь выпускаемые модели автомобилей с помощью записи необходимой информации в память системного блока, а аппаратная часть остается практически неизменной. В качестве примера на рис. 2.14 представлен мотортестер *FSA-720* фирмы *BOSCH*.

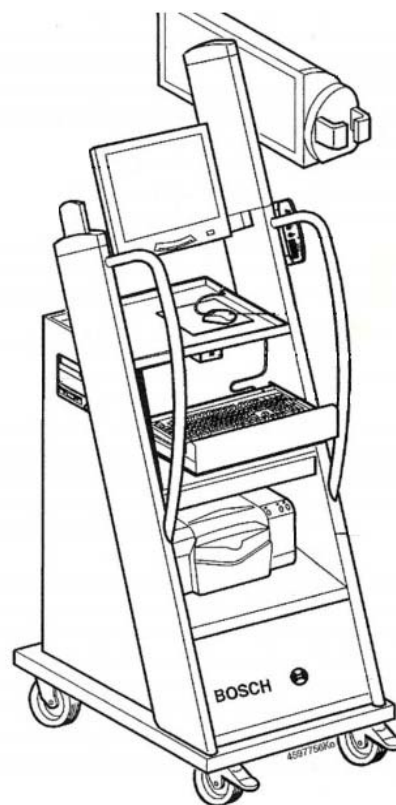


Рис. 2.14. Мотортестер фирмы *BOSCH* марки *FSA-720*

В последнее время на рынке диагностического оборудования появилось несколько моделей **компактных мотортестеров**. По своим возможностям лучшие приборы этой группы не уступают консольным мотортестерам низшей и средней групп сложности, а компактность и относительно небольшая стоимость делают их очень привлекательными, особенно для небольших автомастерских. Более того, благодаря своей компактности такие приборы имеют очень важное преимущество: с их помощью можно проводить тестирование непосредственно во время движения автомобиля, что позволяет диагностировать неисправности, возникающие в условиях нагрузок и реального движения и не проявляющиеся при тестировании двигателя в условиях мастерской. Единственная альтернатива в этом случае – тестирование автомобиля с помощью консольного мотортестера, установленного на моторном стенде. Однако высокая стоимость и необходимость специально оборудованного помещения ограничивают широкое применение моторных стендов.



Рис. 2.15. Портативный мотортестер

Внешний вид базового комплекта изображен на рис. 2.15. Подобный тестер позволяет измерять относительную компрессию по цилиндрам, стартерный ток, параметры первичной и вторичной цепей системы зажигания, искрового разряда, а также устанавливать баланс мощности цилиндров. Прибор оснащен жидкокристаллическим дисплеем с высоким разрешением, позволяющим визуально кон-

тролировать форму импульсов в первичной и вторичной цепях зажигания, а также любые сигналы в системе управления. Тестер может работать как четырехканальный цифровой осциллограф или шестиканальный мультиметр.

Наличие последовательного цифрового интерфейса RS232 позволяет подключать к прибору персональный компьютер, принтер, а

также использовать его совместно с портативным газоанализатором. Весь комплект (кроме газоанализатора) вместе с соединительными кабелями располагается в ударопрочном кейсе небольшого размера.

Термином «сканер», или «сканирующий прибор», принято называть портативные компьютерные тестеры, служащие для диагностирования различных электронных систем управления (прежде всего, систем управления двигателем) посредством считывания цифровой информации по линии последовательного интерфейса диагностического разъема автомобиля. Существует достаточно большое количество сканеров, различающихся своими функциональными возможностями и спектром тестируемых автомобилей.

Наиболее широкими возможностями обладают специализированные сканеры, используемые сервисной сетью того или иного производителя. Главные недостатки этих приборов – специализация на моделях одного производителя, высокая цена и возможность покупки только на дилерских условиях.

Сканеры, поставляемые на рынок неавторизованных (не принадлежащих дилерской сети) ремонтных предприятий, имеют меньшие функциональные возможности. Однако, как показывает опыт, более чем в 90 % случаев этих возможностей вполне достаточно для нахождения той или иной неисправности. Несомненное преимущество названных приборов перед дилерскими – возможность тестирования широкого спектра автомобилей различных производителей.

Возможности сканеров при тестировании конкретного автомобиля зачастую определяются диагностическими функциями тестируемого блока управления, однако, как правило, обеспечиваются следующие режимы: считывание и стирание кодов отказов, вывод цифровых параметров в реальном масштабе времени (*data stream*) и управление некоторыми исполнительными механизмами (форсунками, реле, соленоидами). На рис. 2.16 изображен прибор *AutoScan 2*.

Имитаторы сигналов датчиков используются для имитации сигналов различных датчиков систем управления при подозрении на их неисправность, либо имитации определенных воздействий на работу системы по каким-либо входам. Имитаторы обеспечивают на выходе изменение сопротивления (100 Ом – 100 кОм), постоянного напряжения (0 – 12 В), частоты следования импульсов (0 – 100 кГц), а также специальные режимы имитации сигналов кислородного датчика, датчиков детонации и некоторые другие. Таким образом, с помощью данного прибора можно имитировать сигнал практически любого датчика, применяемого в системах управления бензиновыми двигателями. Один из приборов в этом классе – имитатор *DSS-X* производства фирмы *PRi* изображен на рис. 2.17.



Рис. 2.16. Компьютерный тестер систем управления

Кроме описанного выше оборудования существует большое число узкоспециализированных приборов, применяющихся для проверки функционирования различных входных и выходных компонентов электронных систем управления: тестеры форсунок, тестеры регуляторов холостого хода, тестеры компонентов систем зажигания и др.



Рис. 2.17. Имитатор сигналов автомобильных датчиков

Благодаря простоте конструкции и удобству подключения указанные устройства позволяют в считанные минуты (и даже секунды) выявить неисправность или, наоборот, подтвердить исправность различных компонентов систем управления. В качестве примера на рис. 2.18 представлен тестер регуляторов холостого хода.



Рис. 2.18. Тестер регуляторов холостого хода

Кроме указанного оборудования существует целый ряд дополнительных приборов и приспособлений, носящих вспомогательный характер (разрядники, пробники, индикаторы сигналов и т. п.). Список такого оборудования (табл. 2.1) непрерывно пополняется вместе с развитием и усложнением конструкций автомобильных двигателей и их систем управления.

Табл. 2.1. Оборудование для диагностирования автомобильных двигателей

Диагностическое оборудование	Назначение
1. Комплект для измерения давления топлива	Диагностирование гидравлической части, систем топливоподачи бензиновых двигателей
2. Компрессометр или компрессограф	Диагностирование состояния ЦПГ, клапанного механизма
3. Тестер утечек	Диагностирование состояния ЦПГ с локализацией мест негерметичности
4. Универсальный вакуумметр/вакуумный насос	Диагностирование состояния ЦПГ и клапанного механизма, наличия подсоса воздуха во впускной коллектор; проверка вакуумных исполнительных устройств и датчиков
5. Мультиметр	Диагностирование систем управления и их компонентов; измерение различных параметров и сигналов
6. Стробоскоп	Проверка правильности установки начального момента зажигания; проверка характеристик центробежного и вакуумного регуляторов или функции управления моментом зажигания

Диагностическое оборудование	Назначение
7. Тестер форсунок	Диагностирование исправности электромагнитных форсунок, а также определение степени загрязнения (совместно с набором для измерения давления)
8. Тестеры систем холостого хода	Определение исправности и правильности функционирования регуляторов холостого хода различных типов
9. Имитатор сигналов датчиков	Имитация сигналов различных датчиков систем управления, а также различных условий и режимов работы систем управления
10. Тестер компонентов системы зажигания	Определение исправности катушек и оконечных модулей систем зажигания
11. Газоанализатор	Диагностирование систем зажигания и топливобдозирования, состояния ЦПГ; регулировочные работы
12. Портативный мотор-тестер	Диагностирование системы зажигания; локализация неисправного или неэффективного цилиндра; измерение и визуальное наблюдение сигналов и параметров систем управления
13. Консольный мотор-тестер	Совмещает функции приборов № 2, 4, 5, 6 и в некоторых случаях № 1, 3 и 7
14. Сканер	Диагностирование систем управления двигателем, АБС, автоматической коробкой передач и др.

Порядок выполнения работы

При выполнении работы следует акцентировать внимание на следующих вопросах:

- назначение рассматриваемого оборудования, используемого при диагностировании двигателей;
- изучение технических характеристик оборудования;
- изучение принципиальных схем.

Контрольные вопросы

1. Что называется средством диагностирования?
2. Как классифицируются средства диагностирования?
3. Для чего предназначен логический пробник? Перечислите неисправности, выявляемые с его помощью.
4. Какие электрические и неэлектрические параметры можно определить с помощью автомобильного цифрового мультиметра?

5. Каковы особенности измерения тока цифровым мультиметром?
6. При диагностировании каких систем двигателя используется комплект для измерения давления?
7. В чем заключается принципиальное отличие компрессографа от компрессометра?
8. При диагностировании каких систем двигателя используется вакуумный насос/вакуумметр?
9. Какие неисправности двигателя можно выявить с помощью тестера утечек?
10. Опишите назначение автомобильного стробоскопа и сферы его применения.
11. Какие неисправности двигателя и его систем можно определить с помощью газоанализаторов?
12. Какие параметры двигателя и его систем можно тестировать с помощью мотортестеров?
13. Каково основное отличие сканера от мотортестера?
14. В каких случаях при диагностировании двигателя применяют имитаторы сигналов датчиков?

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ И ИСПОЛНИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

Лабораторная работа № 3

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ РАСХОДОМЕРОВ ВОЗДУХА

Цель работы – изучение принципов действия и конструкции автомобильных расходомеров воздуха, определение их основных характеристик.

Задачи работы

1. Изучить принцип действия и конструкцию термоанемометрических расходомеров воздуха.
2. Изучить методы определения их технического состояния.
3. Провести диагностирование расходомеров воздуха на автомобиле и на стенде.

Общие сведения

Расходомеры воздуха – важнейший элемент современных систем электронного управления двигателем. Их совершенство во многом определяет эффективность этих систем.

Подавляющее число расходомеров воздуха, используемых в автомобильных двигателях, основано на термоанемометрическом принципе измерения расхода, который базируется на зависимости величины тепловой мощности W , рассеиваемой нагретым электрическим элементом (проволокой, пленкой, термистором), размещенным в потоке, от массового расхода G обтекающего потока:

$$W = k\Delta t G^n,$$

где k – коэффициент пропорциональности (постоянная величина); Δt – разность температур между нагретым элементом и потоком (в данном случае $\Delta t = \text{const}$, что достигается применением следящей системы в схеме термоанемометра); n – показатель степени (зависит от характера теплообмена между измерительным элементом и потоком, $n = \text{const}$).

Упрощенная схема термоанемометра постоянной температуры представлена на рис. 2.19. Измерительный (нагреваемый) и термокомпенсационный резисторы включаются в мостовую измерительную схему. При соединении входа операционного усилителя ОУ1 с диагональю моста усилитель благодаря своим свойствам будет поддерживать равновесие мостовой схемы (нулевой потенциал на входе усилителя), управляя силовым транзистором $V2$ и меняя таким образом силу тока, питающего мост. Следовательно, при изменениях расхода (скорости) воздуха величина $R_{и}$ останется постоянной и мост будет находиться в равновесии при любых скоростях потока.

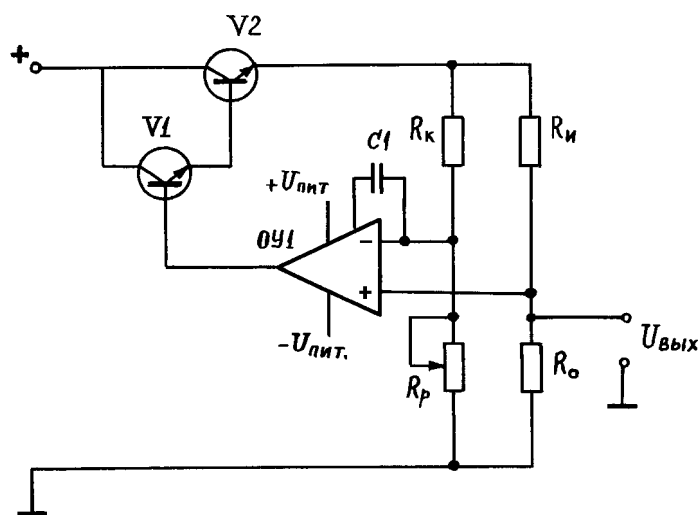


Рис. 2.19. Упрощенная схема термоанемометра постоянной температуры: $R_{и}$ и $R_{к}$ – соответственно измерительный и компенсационный терморезисторы; $R_{о}$ – опорный резистор; $R_{р}$ – регулировочный резистор, с помощью которого задается величина перегрева Δt измерительного элемента относительно среды

Сигнал $U_{\text{вых}}$ с опорного резистора R_0 поступает на плату обработки сигнала. Заданный перегрев Δt измерительного резистора $R_{\text{и}}$ относительно температуры потока устанавливается с помощью переменного резистора $R_{\text{р}}$ в процессе настройки схемы. С увеличением перегрева чувствительность термоанемометра возрастает. В процессе работы электронный блок поддерживает постоянный перегрев нити относительно потока воздуха (на уровне $150\text{ }^{\circ}\text{C}$) путем регулирования силы тока измерительного моста в пределах $500\dots 1200\text{ мА}$.

Изменение температуры среды компенсируется с помощью резистора $R_{\text{к}}$, включаемого в смежное с измерительным элементом $R_{\text{и}}$ плечо мостовой схемы.

Типичная градуировочная характеристика одного из термоанемометрических расходомеров фирмы *R. Bosch* показана на рис. 2.20.

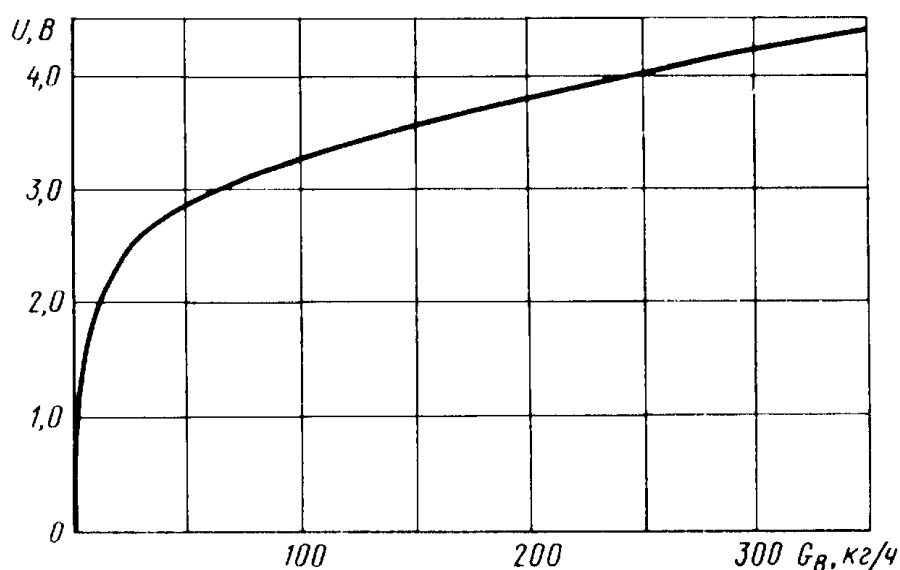


Рис. 2.20. Типичная градуировочная кривая термоанемометрического расходомера воздуха фирмы R. Bosch

Конструктивно по типу измерительного элемента различают два основных типа ДМРВ – проволочный и пленочный.

Внешний вид чувствительных элементов представлен на рис. 2.21.

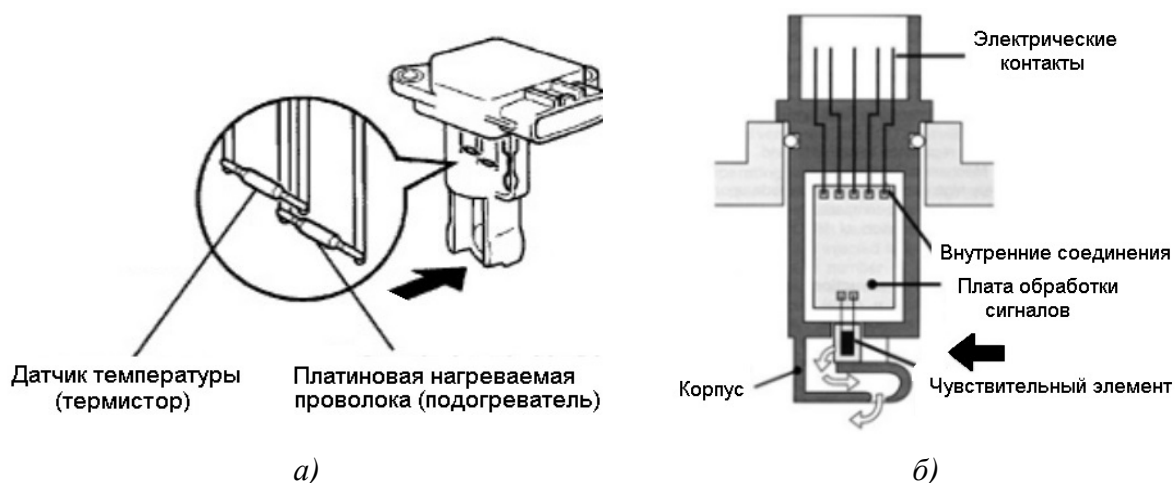


Рис. 2.21. Внешний вид чувствительных элементов: а – проволочный; б – пленочный

Проволочный измерительный элемент расходомера (см. рис. 2.21, а) представляет собой платиновую нить диаметром 100 мкм, закрепленную во внутреннем измерительном канале. Эта конструкция имеет один существенный недостаток – со временем возникают неисправности. Чувствительный элемент изнашивается, его точность падает. Также он может загрязняться, но для решения этой проблемы проволочные датчики массового расхода воздуха, устанавливаемые в современных автомобилях, имеют режим самоочистки. Он предполагает кратковременный разогрев проволоки до 1000 °С при выключенном двигателе, что приводит к сжиганию скопившихся загрязнений.

В последующих модификациях этих расходомеров, в частности *HFM5*, фирма *R. Bosch* использует термопленочный измерительный элемент на твердой керамической подложке, который закреплен в специальном пластиковом модуле, установленном в корпусе расходомера (см. рис. 2.21, б). Оригинальный термопленочный измерительный элемент (рис. 2.22) указанного расходомера с большой точностью определяет парциальную массу воздуха, действительно проходящего через расходомер, учитывает пульсации и обратные потоки, вызываемые открытием и закрытием впускных и выпускных клапанов.

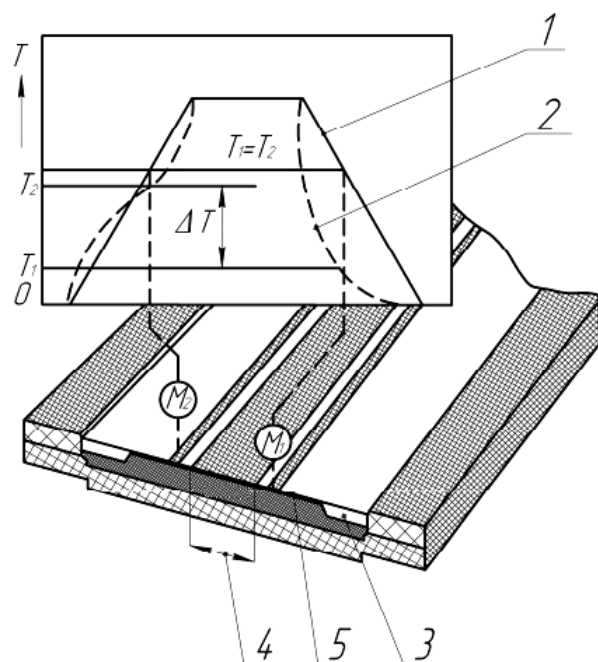


Рис. 2.22. Схема измерительного устройства ДМРВ: 1 – температура при отсутствии обтекания воздушным потоком измерительного элемента; 2 – температура при обтекании измерительного элемента воздушным потоком; 3 – измерительный элемент; 4 – зона нагрева; 5 – мембрана

Разность сопротивлений в измерительных точках M_1 и M_2 в электронной схеме обработки сигналов, интегрированной в датчик, преобразуется в аналоговый сигнал напряжением от 0 до 5 В, пригодный для ввода в блок управления.

Термоанемометрические расходомеры широко распространены благодаря целому ряду преимуществ:

- высокому быстродействию;
- малым габаритам и массе;
- высокой чувствительности, особенно в области малых расходов воздуха;
- незначительному сопротивлению измерительного канала.

Однако эти расходомеры имеют и ряд недостатков. К ним можно отнести возможность загрязнения измерительного элемента расходомера с последующим изменением рабочей характеристики; чувствительность к обратным потокам воздуха в измерительном канале; снижение точности измерения расхода в пульсирующих потоках и др.

Проблема загрязнения платиновой нити в процессе работы расходомера решается путем кратковременной (в течение 1 с) подачи повышенного напряжения на элемент, в результате чего его температура повышается до 1000 °С и загрязнения выжигаются.

Другой путь защиты чувствительного элемента от загрязнений и обратных вспышек, а также уменьшения влияния пульсаций потока воздуха на показания расходомера – его размещение в специальном лабиринтном канале (рис. 2.23). В изображенном на рис. 2.23 расходомере применены также специализированные гибридные схемы высокой степени интеграции с возможностью настройки в процессе производства рабочей характеристики расходомера под требуемые параметры при использовании одного и того же чувствительного элемента.

Основные причины, приводящие к поломке расходомеров, – загрязнение ДМРВ частицами пыли, которые содержатся в воздухе, а также отработавшими и картерными газами системы вентиляции картера; обратные выбросы при неправильной регулировке фаз газораспределения; вспышки во впускном трубопроводе при нарушении оптимальных углов опережения зажигания и переобеднении смеси. Поэтому использование оригинального фильтра и штатное функционирование указанных систем позволяют максимально продлить срок службы датчика.

Сигналом для диагностирования служат следующие признаки неисправности ДМРВ:

- на панели приборов появляется надпись *Check Engine* либо высвечивается ошибка соответствующих кодов неисправностей;
- затрудненный пуск или невозможность запуска двигателя;
- ухудшение динамики разгона автомобиля;
- снижение уровня мощности двигателя;
- высокий уровень расхода топлива;
- неустойчивая работа или остановка двигателя на холостом ходу;
- повышенный расход топлива, обратная вспышка, детонация, неисправности каталитического нейтрализатора;
- двигатель глохнет при переключении скоростей;
- обороты либо повышенные, либо пониженные.

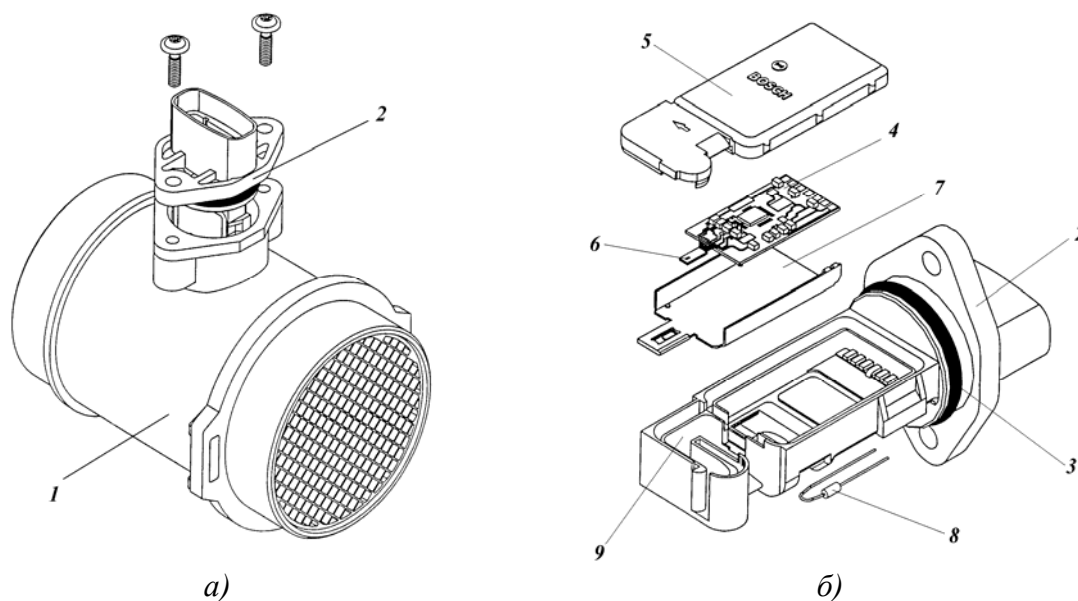


Рис. 2.23. Термоанемометрический расходомер воздуха фирмы R. Bosch: а – общий вид; б – измерительный модуль; 1 – корпус расходомера; 2 – измерительный модуль; 3 – уплотнительное резиновое кольцо; 4 – гибридная интегральная схема; 5 – крышка измерительного канала; 6 – чувствительный элемент термоанемометра; 7 – крышка гибридной схемы; 8 – терморезистор; 9 – лабиринтный канал

Существуют и другие признаки неисправного датчика, не связанные с его состоянием, например наличие трещин в гофрированном шланге, который соединяет дроссельную заслонку с датчиком. Если двигатель глохнет, возможны проблемы с электропитанием или повреждена проводка.

Порядок выполнения работы

Диагностирование ДМРВ с помощью мультиметра

1. Проверка питающего напряжения

1.1. Выключить зажигание, отсоединить колодку жгута от ДМРВ.

1.2. Включить зажигание.

1.3. Измерить мультиметром напряжение между контактами колодки жгута (рис. 2.24). Величины напряжений должны составлять:

- между контактами «2» и «3» – более 10 В;
- между контактами «3» и «4» – 5 В;
- между контактами «3» и «массой» – 0 В.

Если какое-либо из напряжений отличается от указанных значений – возможен обрыв или замыкание на «массу» соответствующих цепей.

Если напряжения в норме, то перейти к следующему этапу.

2. Проверка датчика на неработающем двигателе

2.1. Присоединить колодку жгута к ДМРВ.

2.2. Включить зажигание.

2.3. Измерить мультиметром напряжение между контактами колодки жгута «3» и «5». Величины напряжений соответствуют следующим состояниям ДМРВ:

0,966 – 1,01 – показатели нового датчика массового расхода воздуха;

1,01 – 1,02 – хорошее состояние датчика;

1,02 – 1,03 – неплохое состояние датчика;

1,03 – 1,04 – повышенный ресурс датчика;

1,04 – 1,05 – предельный ресурс датчика;

1,05 и выше – датчик подлежит замене.

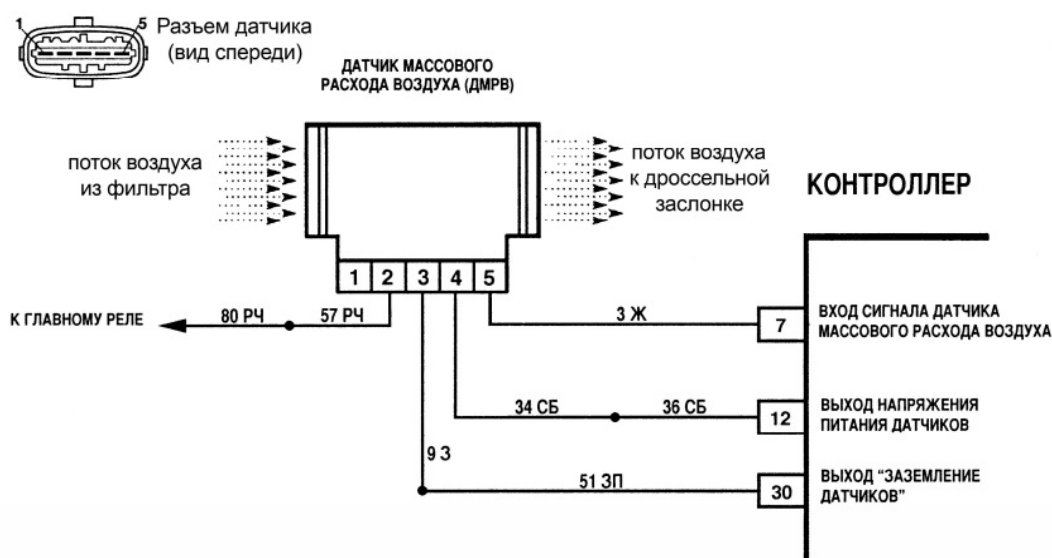


Рис. 2.24. Схема подключения датчика массового расхода воздуха

3. Диагностирование ДМРВ с помощью сканера

С помощью диагностических тестеров регистрируется напряжение ДМРВ – *ADC_MAF* (датчик массового расхода воздуха, В).

Также отображаются результаты расхода воздуха:

– *JAIR* – массовый расход воздуха, кг/ч;

– *JGBC* – цикловой расход воздуха, мг/такт.

При наличии признаков выхода из строя ДМРВ следует провести диагностирование уровня сигнала датчика.

Низкий уровень сигнала может означать следующее:

- ДМРВ не подключен;
- отсоединение разъема датчика, обрыв в цепи подключения датчика;
- обрыв «массы» в цепи, появление следов окисления;
- обрыв сигнальных проводов или неправильное подключение;
- неисправность блока управления двигателем.

О наличии неисправности в работе ДМРВ могут сообщать следующие коды ошибок:

- **P0100** – повреждение электрической цепи подключения датчика;
- **P0102** – на блок управления автомобилем начал поступать низкий сигнал, который зафиксирован на входе электролинии ДМРВ; ошибка фиксируется, если частота вращения коленчатого вала выше 560 мин^{-1} и расход воздуха ниже $2,5 \text{ кг/ч}$;
- **P0103** – критически высокий сигнал, зафиксированный на входе электролинии ДМРВ; ошибка фиксируется, если в течение 1 с расход воздуха превышает пороговое значение, зависящее от частоты вращения коленчатого вала.

При наличии кода ошибки P0100 нужно проверить проводку на целостность, поскольку возможно случайное отсоединение разъёма либо повреждение электроконтактов. Перечислим наиболее распространенные причины возникновения ошибки P0100 ДМРВ:

- ослабление или коррозия электрических контактов разъема;
- повреждение электрических проводов;
- повреждение или неисправность самого датчика.

Наиболее распространенные причины возникновения ошибки P0102 ДМРВ:

- слишком низкое (по сравнению со значением, указанным в технических условиях производителя) напряжение в цепи датчика;
- засорение воздушного фильтра, что приводит к ограничению потока воздуха от фильтра к датчику;
- слишком близкое расположение электрических проводов или самого ДМРВ к компонентам с более высоким напряжением (таким

как генератор, провода зажигания и т. д.), что может вызвать помехи, влияющие на сигнал, отправляемый на контроллер автомобиля;

- загрязнение или частичное засорение датчика углеродом (сажей);

- ненадлежащее функционирование датчика, вследствие чего он отправляет неверные сигналы на контроллер автомобиля.

При наличии кода ошибки P0102 необходимо выключить зажигание, затем измерить мультиметром сопротивление между контактом «5» колодки жгута и «массой».

Возможно следующее:

- а) сопротивление более 100 кОм – обрыв провода 3ж или неисправен контроллер;

- б) сопротивление около 0 Ом – замыкание провода 3ж на «массу» или неисправен контроллер;

- в) сопротивление 4 – 6 кОм – ДМРВ неисправен.

При наличии кода ошибки P0102 следует проверить электропроводку и состояние контактов разъёма проводки.

Возникновение кода ошибки P0103 может быть вызвано несколькими причинами:

- источником проблем высокого выходного напряжения, требуемого для нормальной работы блока управления двигателем, могут быть сигналы других датчиков;

- проводка или сам МАФ-сенсор расположены близко к высоковольтным компонентам;

- неисправность генератора;

- воздухозаборник или корпус воздушного фильтра могут иметь трещины, из-за которых в систему попадает дополнительный неучтенный воздух; кроме того, могут быть не полностью затянуты хомуты на трубках подачи воздуха перед датчиком расхода воздуха.

При наличии кода ошибки P0103 нужно при включенном зажигании измерить мультиметром напряжение между контактом «5» колодки жгута и «массой». Если значение напряжения отлично от 0 В, произошло замыкание провода 3ж на источник питания или неисправен контроллер, если нет – ДМРВ неисправен.

4. Диагностирование ДМРВ с помощью осциллографа

По осциллограмме можно отследить два важных момента:

- скорость реакции ДМРВ можно оценить по времени переходного процесса выходного сигнала при подаче питания на датчик;
- выходное напряжение датчика при нулевом расходе воздуха (двигатель остановлен).

4.1. Включить зажигание и записать напряжение на ДМРВ при незаведенном двигателе. Для большей точности следует снять ДМРВ и закрыть его крышками. Делается это для того, чтобы надежно исключить движение воздуха через расходомер.

Осциллограмма исправного ДМРВ при подаче питания показана на рис. 2.25.

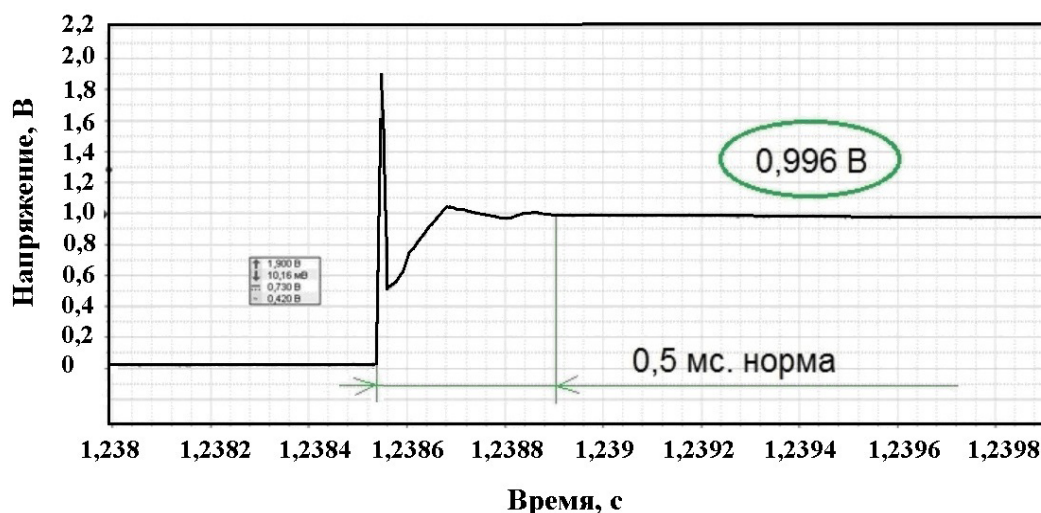


Рис. 2.25. Осциллограмма выходного напряжения исправного ДМРВ при подаче питания

Время переходного процесса составляет 0,5 мс. Выходное напряжение при нулевой подаче воздуха равно 0,996 В.

Осциллограмма неисправного ДМРВ при подаче питания приведена на рис. 2.26. Время переходного процесса такого датчика в десятки раз больше, чем исправного, а значит, время реакции самого датчика будет значительно снижено. Выходное напряжение такого ДМРВ при остановленном двигателе равно 1,13 В, что говорит об отклонении сигнала от нормы. Двигатель с неисправным датчиком в значительной степени теряет «приемистость», имеет затрудненный пуск и повышенный расход топлива.

Допуск, в частности для расходомера ВАЗ, составляет 0,996 – 1,04 В. При измерении относительно другой «массы» (например, на

АКБ) эти цифры могут быть другими, поэтому измерения нужно проводить относительно «массы» ДМРВ.

4.2. Запустить двигатель. Разброс напряжения на выходе с расходомера на холостом ходу в общем случае составляет от 1,2 до 1,5 В.

4.3. Резко открыть дроссельную заслонку и дать двигателю раскрутиться до отсечки частоты вращения. После этого дроссельную заслонку можно закрыть.

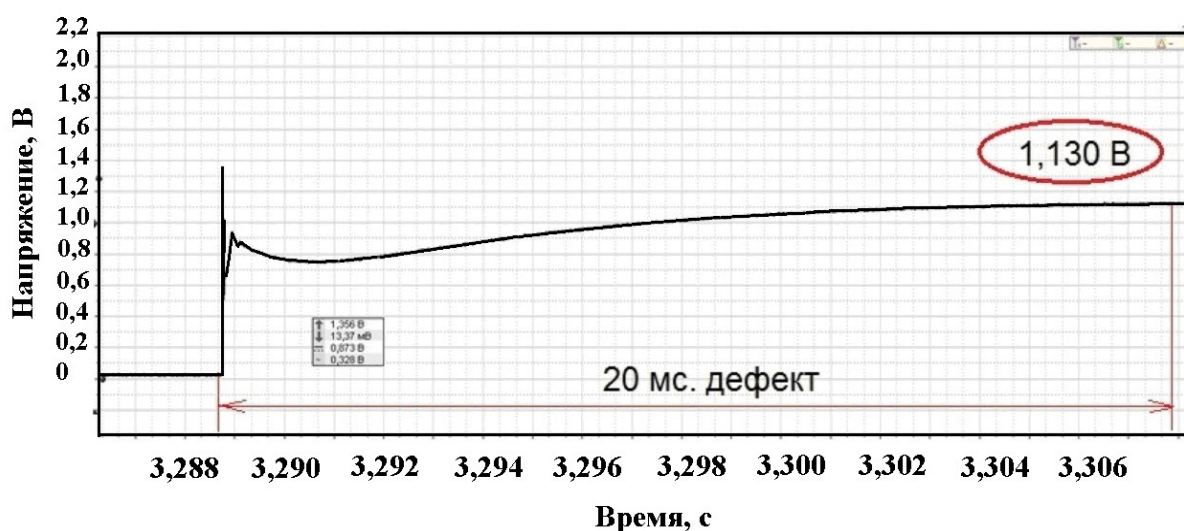


Рис. 2.26. Осциллограмма выходного напряжения неисправного ДМРВ при подаче питания

4.4. Остановить процесс записи осциллограммы.

4.5. Проанализировать полученные осциллограммы и сделать заключение о техническом состоянии исследуемого расходомера воздуха.

При анализе полученных осциллограмм необходимо обратить внимание на следующие положения.

Максимальное напряжение, соответствующее максимальному расходу перед отсечкой: норма – 3,9 – 4,1 В; менее 3,6 – расходомер не соответствует требованиям технической документации; больше 4,3 – ДМРВ в хорошем состоянии. Общее время разгона – 1 – 1,3 с.

Величина первого импульса (максимума) – не менее 60 % от максимального напряжения. Первый импульс обусловлен наличием разрежения перед открытием дросселя. Если разрежение нормальное и впускной тракт не забит, первый максимум будет таким, как на рис. 2.27. Наличие пульсации на холостом ходу и при разгоне объясняется пульсациями потока воздуха на впуске.

Осциллограмма «изношенного» ДМРВ при резком открытии дроссельной заслонки приведена на рис. 2.27.

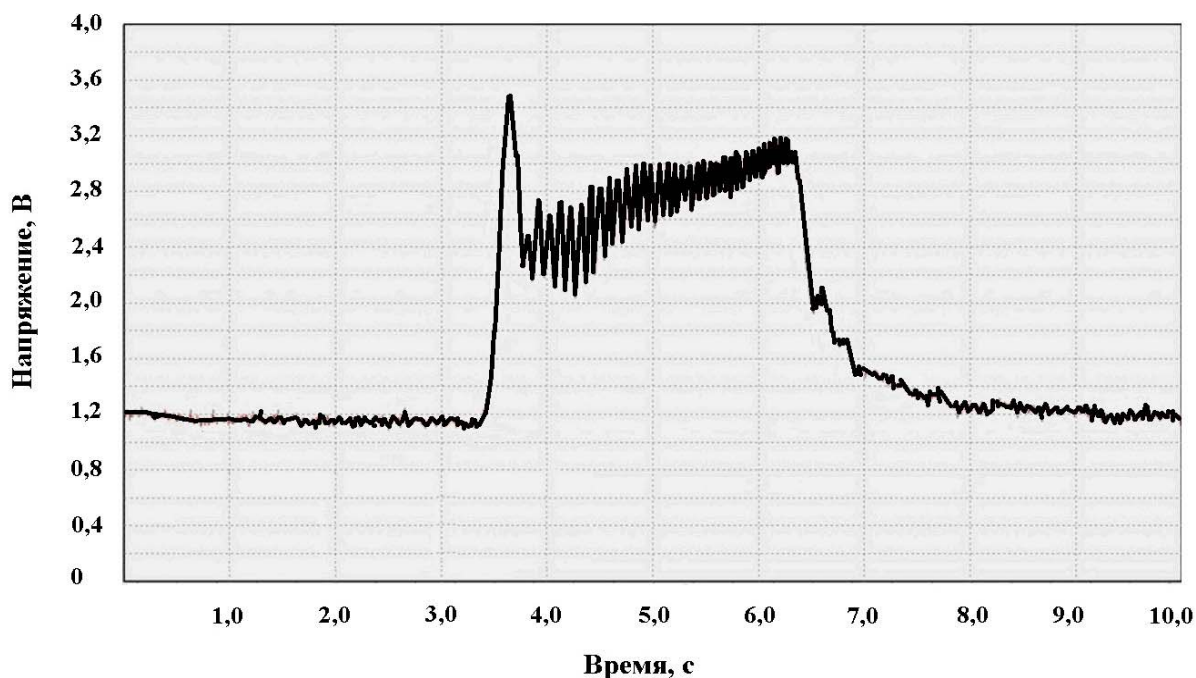


Рис. 2.27. Осциллограмма выходного напряжения «изношенного» ДМРВ при резком открытии дроссельной заслонки

При значительном загрязнении чувствительного элемента датчика скорость реакции на изменение воздушного потока снижается, форма осциллограммы становится более «сглаженной».

Контрольные вопросы

1. Расскажите о назначении автомобильного расходомера воздуха.
2. В чем заключается термоанемометрический принцип измерения расхода воздуха?
3. С помощью чего компенсируется изменение температуры окружающей среды при работе расходомера?
4. Приведите характеристику термоанемометрического расходомера.
5. Назовите основные причины выхода из строя автомобильных расходомеров.
6. По каким признакам можно определить отклонения в работе расходомера?
7. Как проверить расходомер воздуха на неработающем двигателе?

8. Какие коды ошибок свидетельствуют о неисправности расходомера?

9. Как проверить расходомер воздуха в составе работающего двигателя?

Лабораторная работа № 4

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ КОНЦЕНТРАЦИИ КИСЛОРОДА (λ -ЗОНДОВ)

Цель работы – изучение принципов действия, конструкции, методов и средств диагностирования датчиков концентрации кислорода (λ -зондов).

Задачи работы

1. Ознакомиться с принципами действия λ -зондов.
2. Изучить конструкцию и особенности работы λ -зондов.
3. Практически ознакомиться с порядком проведения диагностирования λ -зонда на двигателе.

Общие сведения

В современных автомобильных двигателях с системами впрыскивания топлива и трехкомпонентными каталитическими нейтрализаторами необходимо достаточно точно контролировать состав ТВС для обеспечения высокоэффективной работы нейтрализатора. Это достигается с помощью поддержания коэффициента избытка воздуха на постоянном уровне ($\alpha = 1$), что гарантирует экономию топлива и снижение уровня содержания токсичных веществ в отработавших газах. Для этого применяются так называемые **датчики концентрации кислорода (λ -зонды)**, устанавливаемые в выпускной системе двигателя и генерирующие электрический сигнал определенного уровня в зависимости от концентрации свободного кислорода в ОГ.

При изменении концентрации кислорода в отработавших газах датчик концентрации кислорода (λ -зонд) формирует выходное напряжение, которое изменяется приблизительно от 0,1 В (при высо-

ком содержании кислорода – бедная смесь) до 0,9 В (при низком содержании кислорода – богатая смесь).

Сигнал от λ -зонда используется в контроллере двигателя для коррекции длительности открытого состояния форсунок и поддержания тем самым стехиометрического состава топливовоздушной смеси. Если смесь бедная (низкая разность потенциалов на выходе датчика), то в контроллере двигателя вырабатывается команда на обогащение смеси. Если смесь богатая (высокая разность потенциалов), то дается команда на обеднение смеси.

В настоящее время существует два типа датчиков концентрации кислорода – на основе ZrO_2 и TiO_2 . Оба датчика дают практически одинаковые результаты, хотя они и не взаимозаменяемы. Внешний вид датчиков представлен на рис. 2.28. Первые имеют чувствительный элемент из диоксида циркония ZrO_2 , вторые – из диоксида титана TiO_2 . Оба датчика реагируют на парциальное давление кислорода в выпускной системе, но физические принципы их действия различаются.

Циркониевый датчик можно рассматривать как гальванический элемент, генерирующий различные выходные напряжения в зависимости от концентрации кислорода в ОГ.

Принцип действия титанового кислородного датчика отличается от принципа работы циркониевого датчика. Чувствительный элемент такого датчика изменяет сопротивление в зависимости от содержания кислорода скачкообразно: от малого (ме-

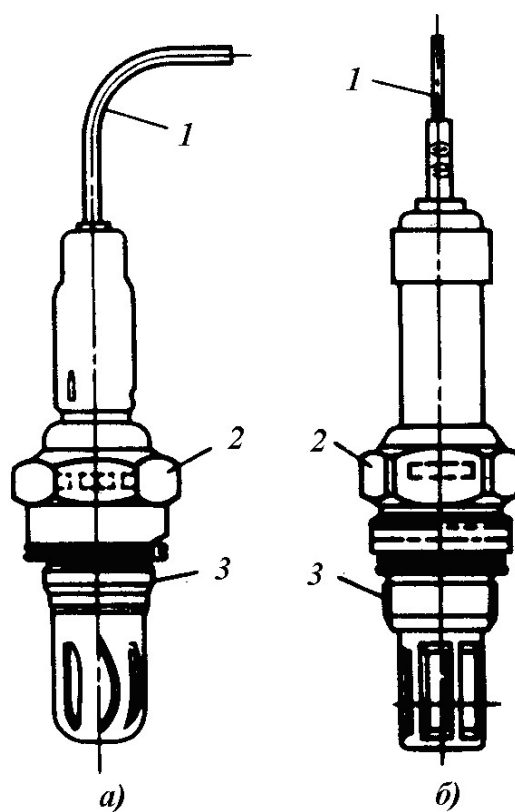


Рис. 2.28. Датчики концентрации кислорода: а – на основе ZrO_2 ; б – на основе TiO_2 ; 1 – выходной кабель; 2 – корпус; 3 – резьбовая часть

нее 1 кОм) – при богатой смеси к большому (более 20 кОм) – при обедненной смеси. Характеристика выходного сигнала датчика и схема преобразования изменения сопротивления в изменение напряжения приведены на рис. 2.29.

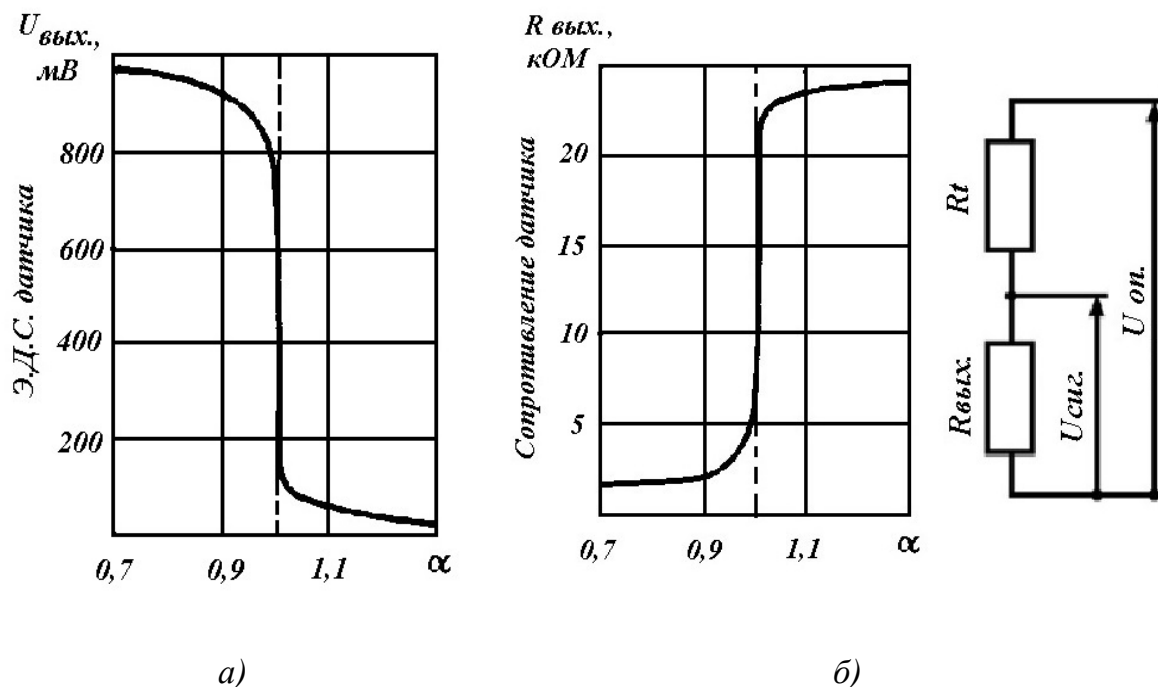
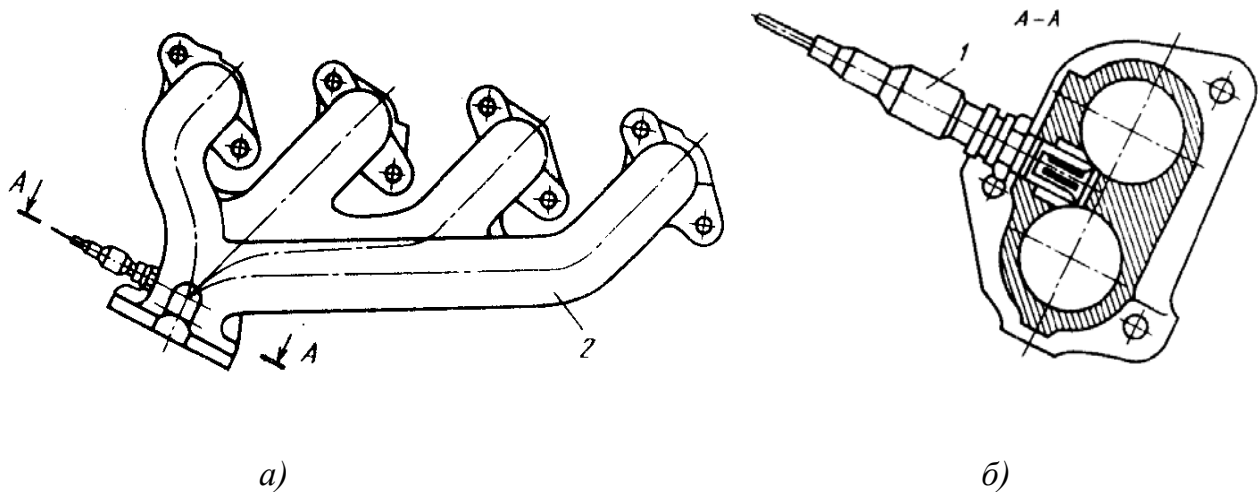


Рис. 2.29. Характеристика выходных параметров датчиков концентрации кислорода: а – на основе ZrO_2 ; б – на основе TiO_2

Обычно λ -зонд начинает работать при температуре не ниже $300\text{ }^\circ\text{C}$. Поэтому для быстрого прогрева датчик после пуска холодного двигателя размещают как можно ближе к головке цилиндра. Как правило, его устанавливают в месте соединения ветвей впускного коллектора (рис. 2.30). В то же время слишком близкое расположение λ -зонда к выпускным каналам головки цилиндра может вызвать его перегрев при больших нагрузках двигателя. Максимальная рабочая температура датчика составляет $800\dots 850\text{ }^\circ\text{C}$ (кратковременно допустим перегрев до $930\text{ }^\circ\text{C}$).

Для быстрого прогрева датчика после пуска двигателя встроен нагревательный элемент.



*Рис. 2.30. Установка датчика кислорода в выпускном коллекторе:
 а – внешний вид выпускного коллектора; б – крепление датчика
 на коллекторе; 1 – датчик; 2 – выпускной коллектор*

По способу подключения существует несколько разновидностей датчиков концентрации кислорода (рис. 2.31):

а) датчик с одним потенциальным выводом и заземляемым корпусом. От потенциального вывода сигнал поступает в контроллер двигателя. В качестве второго сигнального провода используется «масса» автомобиля;

б) датчик с двумя потенциальными выводами. Здесь измерительная цепь датчика не связана с «массой», а используется второй провод;

в) датчик с тремя выводами, на одном из которых – измерительный сигнал, два провода – для питания электронагревателя датчика. В качестве измерительной «земли» используется «масса» автомобиля;

г) датчик с четырьмя выводами. Здесь выводы и нагревателя, и датчика изолированы.

			
Без нагрева		С нагревом	
1 провод	2 провода	3 провода	4 провода
Черный - сигнал	Черный - сигнал Серый - масса	Черный - сигнал Два белых - нагрев. элемент	Черный - сигнал Серый - масса Два белых - нагрев. элемент

Рис. 2.31. Назначение выводов циркониевых λ -зондов

В табл. 2.2 приведены основные рабочие показатели современных датчиков кислорода (λ -зондов).

Табл. 2.2. Основные рабочие показатели современных датчиков кислорода (λ -зондов)

Показатель	Значения показателей при температуре ОГ, °С	
	350	850
Уровень сигнала при богатой смеси ($\alpha = 0,97$, выброс CO = 1 %), мВ	850 ± 70	710 ± 70
Уровень сигнала при бедной смеси ($\alpha = 1,1$), мВ	20 ± 50	55 ± 30
Время переходного процесса от богатой смеси к бедной (600...300 мВ), мс	Менее 100	Менее 100
Время переходного процесса от бедной смеси к богатой (300...600 мВ), мс	Менее 100	Менее 60

На современных бензиновых двигателях с непосредственным впрыском бензина, работающих на обедненных смесях, а также на дизелях для контроля и управления составом смеси используются широкополосные зонды.

Широкополосные датчики имеют две ячейки – измерительную ячейку и ячейку накачки. С помощью измерительной ячейки измеряется содержание кислорода в ОГ, находящегося в камере детектирования, и затем сравнивается с заданной величиной (450 мВ).

Если эта величина отличается, то ячейка накачки включает ток накачки, при этом в камеру детектирования поступают ионы кислорода до тех пор, пока величина напряжения измерительной ячейки не будет снова соответствовать 450 мВ. Ток накачки является измерительной величиной, которая почти линейно описывает точный состав ТВС. При стехиометрической смеси эта величина равна нулю. Функциональная схема и характеристика широкополосного датчика даны на рис. 2.32 и 2.33.

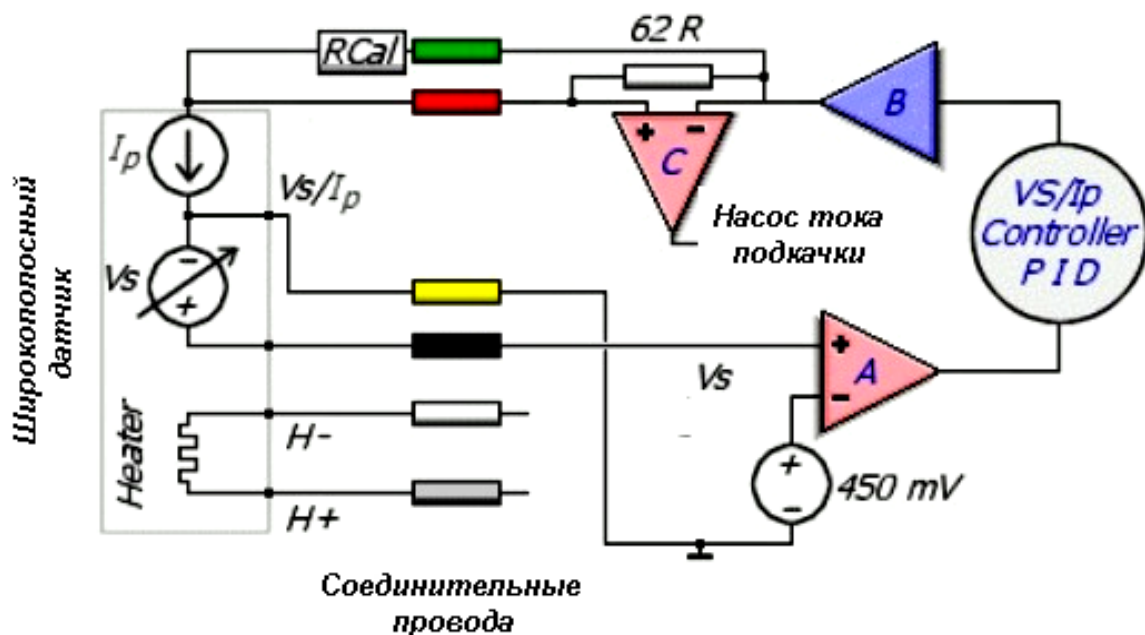


Рис. 2.32. Функциональная схема широкополосного датчика состава ТВС

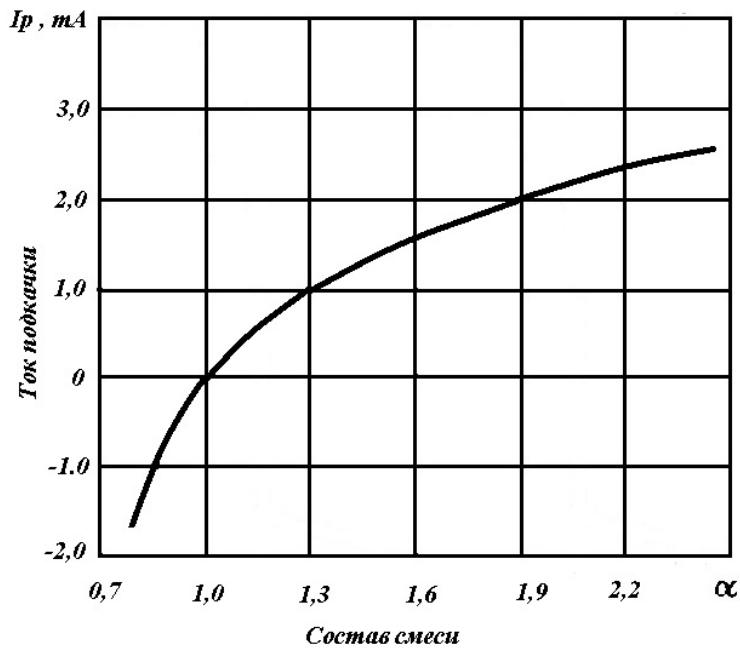


Рис. 2.33. Характеристика широкополосного датчика состава ТВС

Диагностирование датчика концентрации кислорода (λ -зонда) с помощью мультиметра

Простейшим способом диагностирования датчика считается его проверка с помощью цифрового мультиметра с высоким входным сопротивлением в режиме измерения постоянного напряжения. Для этого двигатель прогревают до рабочей температуры охлаждающей жидкости и через переходник подключаются к сигнальному проводу λ -зонда (или к двум проводам – в зависимости от модификации датчика). Подключение мультиметра к датчику кислорода показано на рис. 2.34.

Если мультиметр в процессе измерения покажет среднее значение напряжения (450...500 мВ), то нельзя сразу делать вывод о работоспособности или неработоспособности датчика, поскольку симметричный выходной сигнал исправного λ -зонда будет усредняться мультиметром до указанных значений. Для дальнейшей проверки следует отсоединить вакуумный шланг от воздушной камеры стабилизатора давления топлива. Топливовоздушная смесь при этом должна обогатиться за счет повышения давления в системе, и исправный λ -зонд должен на это отреагировать повышением среднего уровня сигнала до 550...650 мВ.

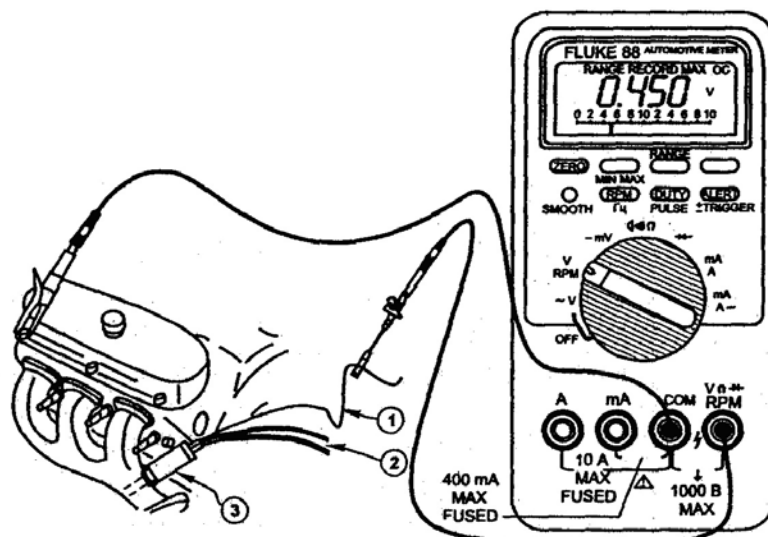


Рис. 2.34. Подключение мультиметра к датчику кислорода: 1 – сигнальный провод; 2 – провода нагревателя; 3 – датчик

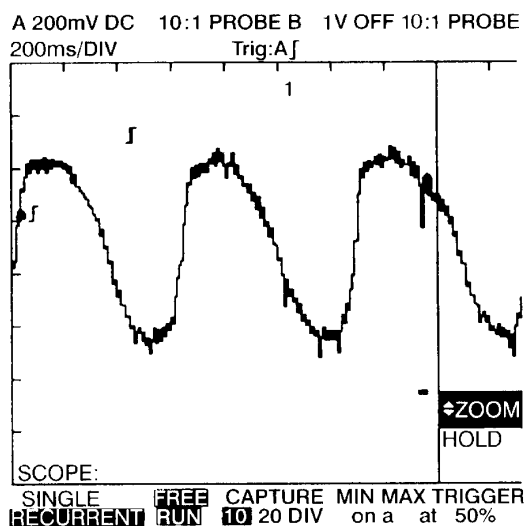
Если же при экспресс-проверке λ -зонда с помощью мультиметра среднее значение сигнала мало (менее 350 мВ) или велико (более 550 мВ), то, возможно, двигатель в процессе измерений работал соответственно на бедной или богатой ТВС. В этом случае заключение о пригодности датчика кислорода сделать нельзя. Следует выяснить причину изменений состава смеси. Для бедной смеси такими причинами могут быть неконтролируемые протечки воздуха во впускной тракт, засорение топливного фильтра или форсунки и др. Богатая смесь может быть вызвана неисправностью стабилизатора давления топлива, расходомера воздуха и т. п.

Диагностирование датчика кислорода с помощью осциллографа

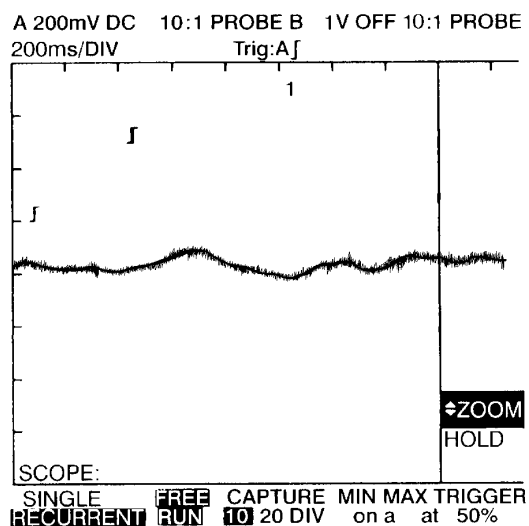
Более достоверную информацию о работоспособности λ -зонда можно получить только с помощью осциллографа.

Осциллограф подключается к выходу датчика, двигатель прогревается до нормальной температуры с включенным контуром обратной связи по сигналу λ -зонда. Осциллограммы выходного сигнала датчика кислорода для различных случаев показаны на рис. 2.35.

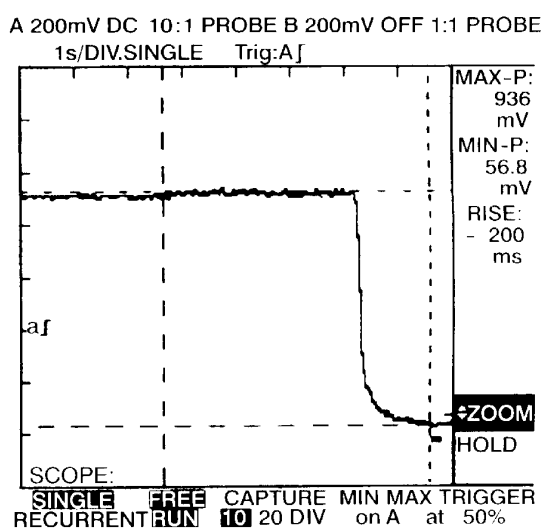
У исправного датчика (см. рис. 2.35, а) колебания сигнала равномерные с крутыми фронтами и частотой 0,5...10 Гц. При этом максимальный уровень сигнала составляет 750...800 мВ, а минимальный – ниже 200 мВ.



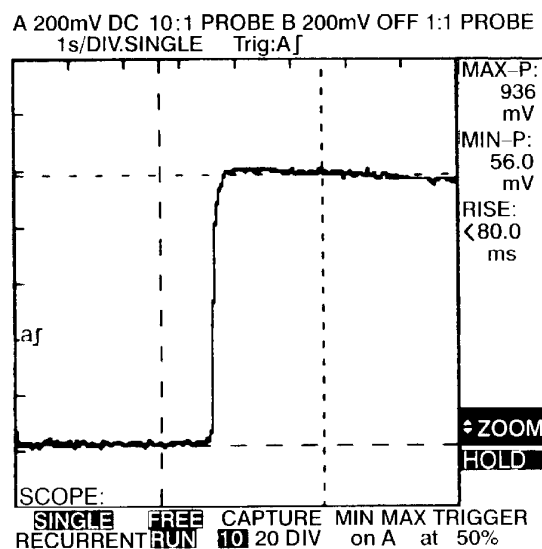
a)



б)



в)



г)

Рис. 2.35. Осциллограммы выходного сигнала датчика кислорода для различных случаев: а – датчик исправен и выполняет свои функции; б – датчик неисправен и требует замены; в – датчик хорошо отрабатывает переходный процесс от богатой к бедной смеси; г – датчик хорошо отрабатывает переходный процесс от бедной к богатой смеси

При неисправности выходной сигнал датчика (если он есть) практически не меняется (колебания отсутствуют) на протяжении достаточно длительного промежутка времени и в среднем составляет 400...600 мВ. Такой датчик, безусловно, подлежит замене (см. рис. 2.35, б).

При резком отпуске педали акселератора исправный датчик реагирует на изменение состава смеси буквально за доли секунды (см. рис. 2.35, в). Аналогичная картина наблюдается и при резком нажатии педали акселератора и обогащении смеси (см. рис. 2.35, г).

Такой датчик хорошо выполняет свои функции в цепи обратной связи для поддержания стехиометрического состава смеси на заданных режимах работы двигателя.

На рис. 2.36 представлены осциллограммы выходного сигнала датчика кислорода при ускорении и торможении автомобиля на испытательном тормозном стенде. Топливная смесь, соответственно, обогащается или обедняется.

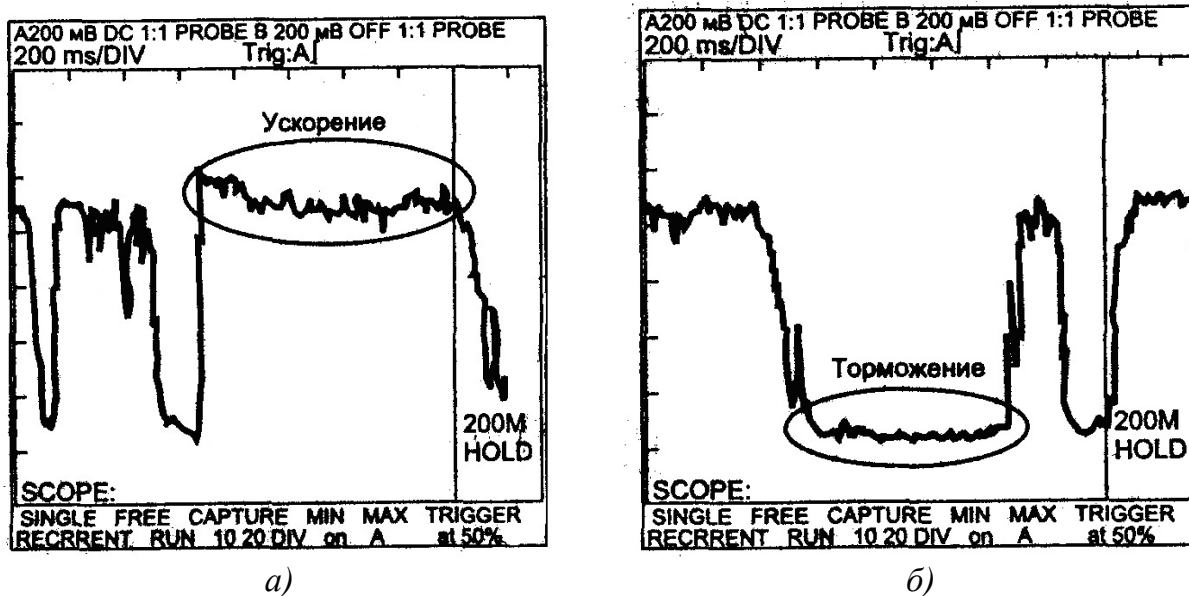


Рис. 2.36. Выходной сигнал датчика кислорода: а – при обогащении смеси при ускорении; б – при обеднении смеси при торможении

В соответствии с современным стандартом бортовой диагностики в системе управления должны быть установлены два λ -зонда – один на входе трехкомпонентного каталитического нейтрализатора, второй – на выходе. Сравнение сигналов этих двух датчиков позволяет подсистеме диагностики выявить неработающий нейтрализатор и выдать соответствующий код неисправности. Если водитель длительное время не воспринимает этот сигнал, то у современных автомобилей предусмотрено принудительное выключение двигателя до устранения неисправности нейтрализатора.

На рис. 2.37 показаны осциллограммы выходных напряжений двух λ -зондов – на входе и выходе каталитического нейтрализатора.

Современные датчики кислорода имеют ресурс около 160 000 км пробега автомобиля при нормальных, а не экстремальных условиях эксплуатации.

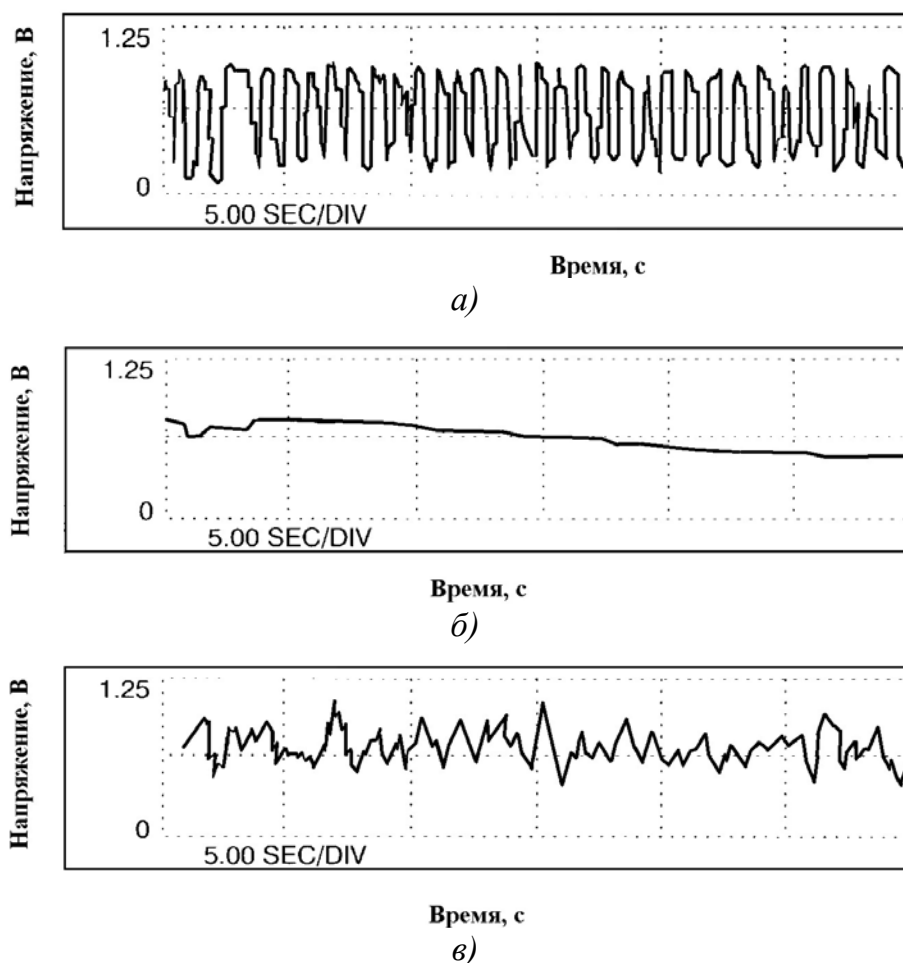


Рис. 2.37. Осциллограммы сигналов датчиков кислорода, установленных до и после каталитического нейтрализатора: а – сигнал датчика на входе нейтрализатора; б – сигнал датчика на выходе исправного нейтрализатора; в – сигнал датчика на выходе неисправного нейтрализатора

Основными причинами преждевременного выхода из строя λ -зондов могут быть:

- длительный перегрев датчика (при температурах более 900 °С) из-за неисправностей двигателя (поздние углы опережения зажигания, работа на обедненных смесях и т. п.);
- работа на этилированном бензине (тетраэтилсвинец вызывает быстрое «отравление» датчика);
- наличие в выпускной системе кремния (входящего в состав силиконовых герметиков);
- закоксование датчика из-за недопустимо большого содержания в ОГ частиц сгорающего моторного масла;
- засорение датчика частицами сажи при длительной работе на очень богатой топливовоздушной смеси;

– попадание в выпускную систему антифриза из системы охлаждения двигателя, приводящее также к «отравлению» датчика.

Один из первых и наиболее заметных симптомов выхода из строя λ -зонда – повышенный расход топлива.

Диагностирование датчика концентрации кислорода с помощью сканера

Наиболее просто диагностируется λ -зонд с помощью сканера. Процедура диагностирования включает следующие шаги:

1. Подключить сканер к диагностическому разъему автомобиля.
2. В режиме холостого хода прогреть двигатель до нормальной рабочей температуры и затем повысить частоту вращения вала примерно до 2500 мин⁻¹.
3. Убедиться, что система управления двигателем работает в замкнутом режиме.
4. Установить на сканере режим записи параметров λ -зонда и произвести запись.
5. Просмотреть запись и определить параметры выходного сигнала датчика.
6. При исправности системы топливоподачи и λ -зонда амплитуда сигнала должна равномерно колебаться с частотой 3...10 Гц (чем выше частота сигнала, тем надежнее работа системы обратной связи) при постоянной скорости вращения вала двигателя. Нижний уровень сигнала λ -зонда должен находиться в пределах 100...300 мВ, верхний – 600...900 мВ. Форма фронтов сигнала у исправного датчика должна быть крутой.

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретической частью работы.
2. Практически ознакомиться с конструкцией и особенностями предложенных преподавателем образцов λ -зонда.
3. Проверить датчик на работающем двигателе с помощью мультиметра, осциллографа, сканера.
4. Подготовить отчет о работе.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение автомобильного λ -зонда?
2. Опишите принцип действия датчика концентрации кислорода на основе ZrO_2 .

3. Опишите принцип действия датчика концентрации кислорода на основе TiO_2 .
4. В чем принципиальное различие датчиков концентрации кислорода на основе ZrO_2 и на основе TiO_2 ?
5. В каком месте выпускной системы автомобиля целесообразнее устанавливать датчик кислорода и почему?
6. Сколько выводов проводов имеют современные датчики кислорода?
7. Каково назначение широкополосного датчика кислорода?
8. Опишите принцип работы широкополосного датчика кислорода.
9. На каких двигателях применяются широкополосные датчики кислорода?
10. Назовите основные причины выхода из строя датчиков кислорода.
11. Перечислите основные коды неисправностей, связанных с неисправной работой датчика кислорода.
12. Опишите методику диагностирования датчиков концентрации кислорода на основе ZrO_2 на автомобиле.
13. К каким последствиям в работе двигателя приведет выход из строя датчика кислорода?

Лабораторная работа № 5

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА

Цель работы – изучение принципов действия и конструкции автомобильных датчиков частоты вращения коленчатого вала, определение их основных характеристик.

Задачи работы

1. Изучить принцип действия и конструкцию датчиков частоты вращения коленчатого вала.
2. Экспериментально определить влияние частоты вращения объекта на выходной сигнал датчика (при постоянном зазоре между датчиком и объектом).

3. Изучить методику и провести диагностирование датчиков частоты вращения вала на двигателе.

Общие сведения

Датчик частоты вращения коленчатого вала автомобилей представляет собой датчик синхронизации при работе систем впрыска и зажигания. На основании сигналов ДПКВ блок управления определяет положение коленчатого вала относительно ВМТ в первом и четвертом цилиндрах, частоту и направление вращения.

По результатам измерения сигналов ДПКВ блок управления формирует сигналы управления топливными форсунками и моментом зажигания, управляет включением топливного электрического насоса и обеспечивает показания тахометра.

Для определения углового положения и частоты вращения коленчатого вала двигателя в системах электронного управления могут быть использованы датчики, построенные на различных физических принципах действия.

На практике для определения частоты вращения коленчатого вала наиболее часто применяются датчики на основе эффекта электромагнитной индукции. Такой индуктивный датчик (рис. 2.38) состоит из катушки, связанной с ней сердечника и постоянного магнита.

На двигателе такой датчик обычно устанавливается с некоторым зазором вблизи зубьев венца маховика двигателя или вблизи специального диска – диска синхронизации с прямоугольными зубьями

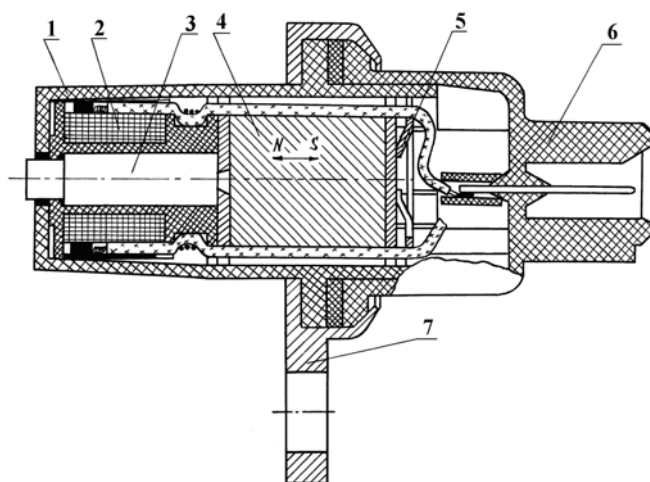


Рис. 2.38. Конструкция типичного индуктивного датчика перемещения: 1 – корпус; 2 – катушка; 3 – сердечник; 4 – постоянный магнит из феррита бария; 5 – кольцо пружинное; 6 – разъем датчика со штекерами; 7 – фланец крепления датчика

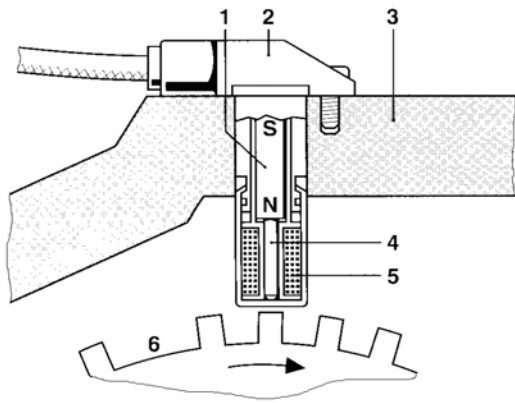


Рис. 2.39. Схема размещения индуктивного датчика вблизи спецдиска: 1 – постоянный магнит; 2 – корпус индуктивного датчика; 3 – элемент крепления датчика; 4 – сердечник; 5 – катушка; 6 – диск синхронизации

ного сопротивления цепи. При приближении зуба шестерни, создающего импульсы потока, магнитное сопротивление уменьшается и магнитный поток увеличивается (рис. 2.40).

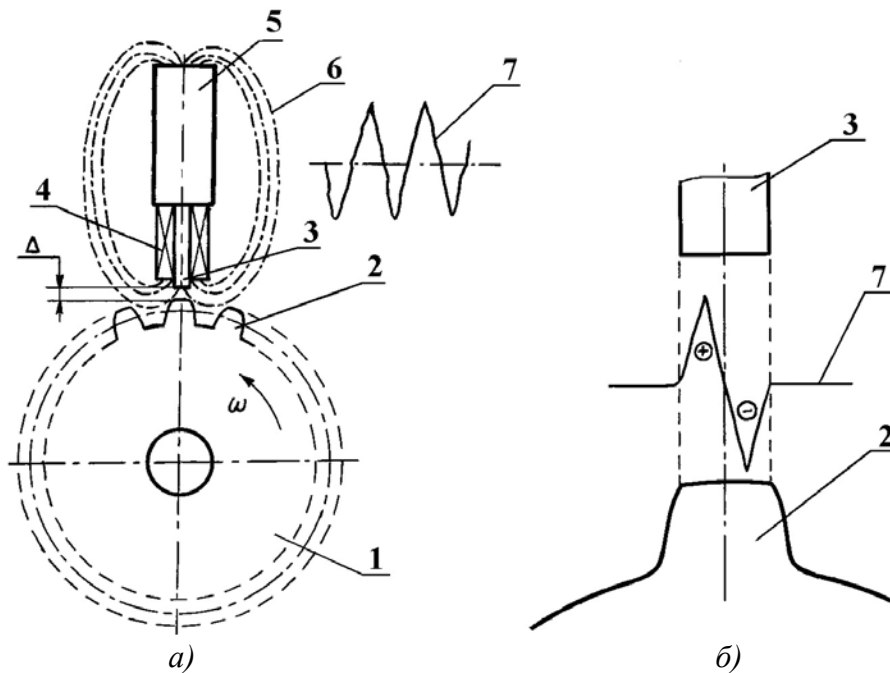


Рис. 2.40. Схема формирования сигнала индуктивного датчика: а – при его взаимодействии с зубьями шестерни (спецдиска); б – связь формы сигнала с геометрией зуба; 1 – зубчатая шестерня (спецдиск); 2 – зуб; 3 – сердечник датчика; 4 – катушка; 5 – постоянный магнит; 6 – магнитные потоки; 7 – выходной сигнал датчика; ω – угловая скорость вращения шестерни; Δ – зазор между сердечником и зубом шестерни

(рис. 2.39). Диск имеет, как правило, число зубьев $z = (60 - 2)$, т. е. два зуба у него удалены. Это позволяет определять не только частоту вращения вала, но и положение ВМТ первого цилиндра.

Датчик может рассматриваться как замкнутая магнитная цепь при установке его на двигатель (корпус – постоянный магнит – зубья шестерни – корпус). Постоянный магнит создает магнитный поток в указанной цепи. Величина этого потока зависит от напряженности поля магнита и магнитного сопротивления цепи.

При этом в катушке датчика индуцируется напряжение $U = N \frac{d\Phi}{dt}$, где N – некоторый постоянный коэффициент, зависящий от конструктивных особенностей датчика; $\frac{d\Phi}{dt}$ – градиент магнитного сопротивления Φ по времени t .

Полярность выходного напряжения датчика зависит от направления скорости изменения магнитного поля, которое определяется полярностью постоянного магнита, направлением навивки проводника в катушке и тем, уменьшается или увеличивается магнитное сопротивление при вращении объекта.

Направление вращения зубчатой шестерни, создающей импульсы напряжения, не оказывает влияние на полярность выходного сигнала. Напряжение на выходе датчика пропорционально количеству витков катушки и скорости изменения магнитного потока. Следовательно, выходное напряжение датчика пропорционально окружной скорости зубчатой шестерни и скорости изменения магнитного сопротивления.

Выходной сигнал датчика представляет собой пикообразный двухполярный импульс, симметричный относительно горизонтальной оси (см. рис. 2.40). Абсолютные значения ширины импульса и высоты пика изменяются в зависимости от частоты вращения зубчатой шестерни и различны для разных датчиков. Однако точка, в которой пикообразный импульс пересекает горизонтальную ось, может быть определена с большой точностью, если использовать детектор пересечения нулевой точки. При этом также и положение вертикальной оси зуба шестерни (или спецдиска) определяется очень точно.

Использование современных материалов для постоянных магнитов позволяет выполнить датчик очень надежным, компактным и нечувствительным к вибрациям.

Индуктивные датчики перемещения нашли широкое применение в автомобильной электронике благодаря ряду положительных особенностей. К ним можно отнести:

- простоту установки на двигателе;
- прочность и надежность конструкции;
- возможность применения без усилителя и блока питания;
- широкий температурный диапазон работы: $-40 \dots +150$ °С.

Схема лабораторной установки для определения характеристик датчиков представлена на рис. 2.41.

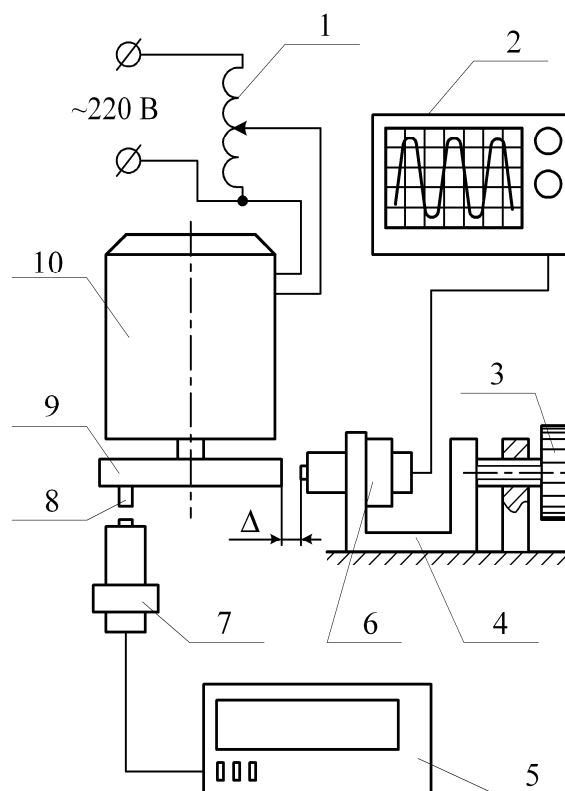


Рис. 2.41. Схема лабораторной установки для исследования индуктивных датчиков: 1 – ЛАТР; 2 – осциллограф; 3 – регулировочный винт; 4 – подвижная платформа; 5 – электронный частотомер; 6, 7 – индуктивные датчики; 8 – штифт; 9 – зубчатая шестерня; 10 – электродвигатель

Зубчатая шестерня 9 приводится во вращение электродвигателем 10, частота вращения которого может плавно изменяться в диапазоне $600 \dots 6000 \text{ мин}^{-1}$ с помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТР) 1.

Исследуемый индуктивный датчик 6 устанавливается на подвижной платформе 4, которая может плавно перемещаться по горизонтали с помощью винта 3 с мелким шагом резьбы. При перемещении платформы 4 изменяется зазор Δ между датчиком и зубьями шестерни. Зазор Δ может точно задаваться и контролироваться с помощью набора автомобильных пластинчатых щупов. Частота вращения

шестерни 9 измеряется при помощи второго индуктивного датчика 7, установленного с постоянным зазором вблизи специального маркерного штифта 8 шестерни 9. Выходной сигнал второго датчика подается на вход электронного частотомера 5. Сигнал исследуемого датчика выводится на электронный осциллограф 2.

Порядок выполнения работы

1. Определение характеристик датчиков на стенде

1.1. Ознакомиться с принципом действия и конструкцией индуктивных датчиков перемещения.

1.2. Изучить лабораторную установку.

1.3. По указанию преподавателя взять конкретный индуктивный датчик и закрепить его на лабораторной установке.

1.4. Выставить определенный зазор Δ между датчиком и зубьями шестерни и определить зависимость амплитуды выходного сигнала от частоты вращения шестерни ($1000 \dots 4000 \text{ мин}^{-1}$).

1.5. Провести аналогичные измерения с несколькими другими зазорами Δ .

1.6. Построить графики следующих зависимостей:

$U_{\text{вых}} = f(\Delta)$ при $n = \text{const}$ для различных частот вращения n ;

$U_{\text{вых}} = f(n)$ при $\Delta = \text{const}$ для различных значений Δ .

1.7. Проанализировать полученные зависимости и результаты испытаний в связи с принципом работы датчика.

2. Диагностирование датчиков на автомобиле

Нарушения в работе ДПКВ сопровождаются неустойчивой работой двигателя на холостом ходу. При отказе ДПКВ работа систем питания и зажигания невозможна.

Отсутствие сигнала с ДПКВ контроллер управления воспринимает как признак остановки коленчатого вала. В этом случае блок управления вносит в свою оперативную память код неисправности и зажигает контрольную лампу *Check Engine*.

Среди признаков неисправности, указывающих на возможную поломку ДПКВ, встречаются:

- ухудшение динамики автомобиля;
- нестабильная частота вращения вала двигателя;
- двигатель глохнет самопроизвольно;
- детонация в момент нажатия педали акселератора;

- двигатель «дергается» и троит;
- двигатель не запускается.

Отображаемые коды ошибки ДПКВ расшифровываются следующим образом:

P0335 – ошибка угловой синхронизации; фиксируется, если коленчатый вал проворачивается и за один оборот коленчатого вала контроллер считывает меньше или больше 58 зубьев на задающем диске шкива коленчатого вала.

P0336 – ошибка фиксируется, если коленчатый вал проворачивается и за один оборот коленчатого вала контроллер определяет смещение опорной метки на один зуб от начала отсчета.

Для проверки датчика необходимо выполнить следующие действия.

2.1. Выключить зажигание, отсоединить колодку жгута от контроллера, измерить мультиметром сопротивление между контактами «48» и «49» колодки жгута (рис. 2.42).

Если сопротивление 750 Ом и более – неисправны соединительные провода 85 Б, 86 Б или датчик.

Если сопротивление 550 Ом и менее – провода 85 Б, 86 Б замкнуты между собой или неисправен датчик.

Если сопротивление в пределах 550 – 750 Ом – проворачивать коленчатый вал стартером, измеряя с помощью мультиметра или осциллографа напряжение между контактами «48» и «49» колодки жгута.

Если напряжение ниже 0,3 В – возможные причины: неисправны соединения, неисправен датчик, увеличен зазор между задающим диском и датчиком.

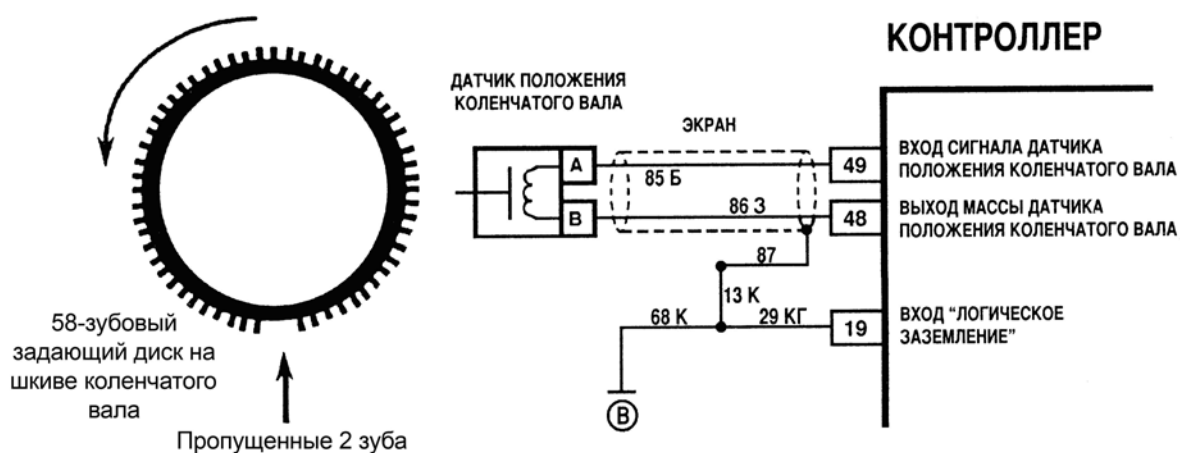


Рис. 2.42. Схема подключения датчика положения коленчатого вала

Если напряжение выше 0,3 В – присоединить колодку жгута к контроллеру, очистить с помощью диагностического тестера коды неисправностей в оперативной памяти контроллера.

Проворачивать коленчатый вал в течение 10 с или до пуска двигателя. При повторной фиксации кода ошибки P0335 либо P0336 проверить состояние задающего диска. Если задающий диск исправен – заменить контроллер.

2.2. Более точно выполнить проверку ДПКВ можно на работающем двигателе, подключив осциллограф параллельно его выводам. На экране отобразится амплитуда ЭДС, генерируемой датчиком. Пример такой осциллограммы приведен на рис. 2.43.

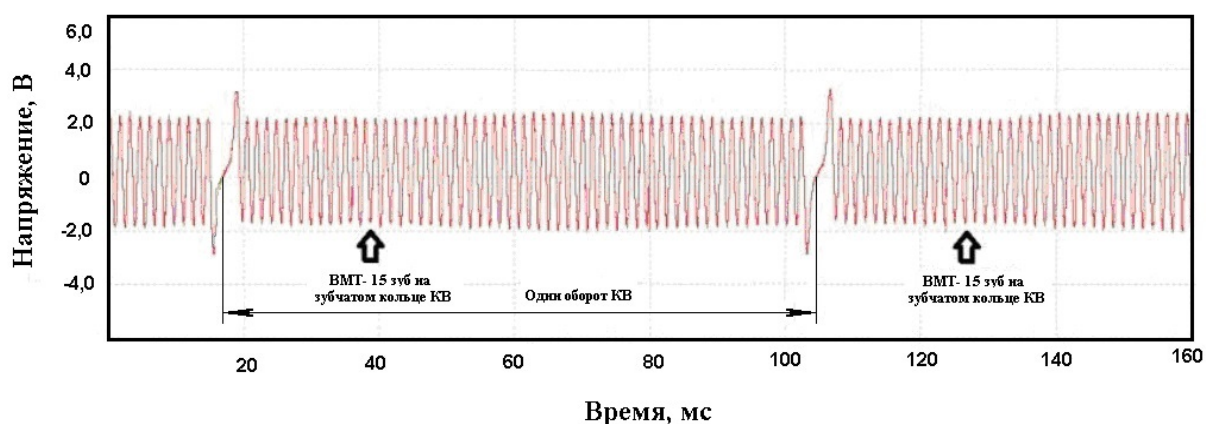


Рис. 2.43. Осциллограмма сигнала ДПКВ

Синусоидальный сигнал должен быть с равными верхними и нижними границами, а также равными разделительными интервалами, указывающими на прохождение контрольного участка. Если таких пауз больше или края осциллограммы неровные, значит, у маховика (задающего диска) обломаны или сильно стертые некоторые зубья. Волнообразные границы сигнала свидетельствуют о биениях задающего диска относительно датчика либо о плохом закреплении датчика. Это ведет к некорректной работе блока управления. В этом случае требуется замена венца маховика либо задающего диска.

Контрольные вопросы

1. Опишите принцип действия индуктивных датчиков перемещения.
2. Раскройте преимущества индуктивных датчиков перемещения.

3. Для каких целей используются индуктивные датчики в системах управления автомобильными двигателями?
4. Опишите лабораторную установку для исследования индуктивных датчиков.
5. Расскажите об особенностях работы индуктивных датчиков.
6. Проанализируйте полученные экспериментальные зависимости работы индуктивного датчика и свяжите их с принципом его действия.
7. Каковы преимущества и недостатки индуктивных датчиков?
8. Какие коды ошибок характеризуют неисправности в работе датчика частоты вращения коленчатого вала?
9. Опишите методику диагностирования рассматриваемых датчиков.

Лабораторная работа № 6

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ПОЛОЖЕНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОГО ВАЛА

Цель работы – изучение принципов действия и конструкции автомобильных датчиков положения распределительного вала (ДПРВ), определение их основных характеристик.

Задачи работы

1. Изучить принцип действия и конструкцию датчиков положения распределительного вала.
2. Экспериментально определить влияние частоты вращения объекта на выходной сигнал датчика.
3. Изучить методику и провести диагностирование датчиков положения распределительного вала на автомобиле.

Общие сведения

Датчик положения распределительного вала предназначен для определения его углового положения относительно положения коленчатого вала двигателя. Информация, поступающая от ДПРВ, используется системой управления двигателем для управления впрыском топлива и зажиганием. Функционально датчик связан с датчиком

частоты вращения коленчатого вала двигателя. Внешний вид датчика представлен на рис. 2.44.



Рис. 2.44. Внешний вид ДПРВ

Работа датчика положения распределительного вала основана на эффекте Холла. Это явление возникновения в электрическом проводнике разности потенциалов на краях проводника (напряжение Холла), помещенного в поперечное магнитное поле, при условии протекания электрического тока перпендикулярно направлению поля. Физически это обозначает возникновение напряжения на боковых гранях проводящего вещества при поднесении к нему магнита (рис. 2.45). Возникшее напряжение зависит от трёх факторов: силы тока, напряжённости магнитного поля и типа проводника.

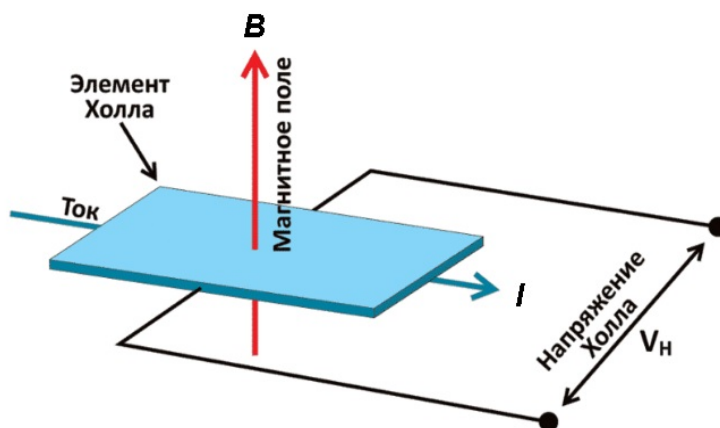


Рис. 2.45. Схема эффекта Холла

Магнитное поле создается постоянным магнитом, расположенным в датчике. Изменение магнитного поля происходит при замыкании магнитного зазора репером (металлическим зубом). Репер располагается на зубчатом колесе распределительного вала или на специальном задающем диске, закрепленном на валу. При прохождении репера мимо датчика в нем возникает импульс напряжения, передаваемый в электронный блок управления.

На основании этих сигналов блок управления двигателем распознает положение поршня первого цилиндра в верхней мертвой точке такта сжатия и обеспечивает впрыск бензина и зажигание топливоздушной смеси. Далее фазированный впрыск топлива выполняется согласно порядку работы цилиндров.

В случае если датчик распредвала выходит из строя (электронный блок управления получает от него некорректную информацию или вовсе не получает ее), то программно заложен переход в аварийный режим, который подразумевает использование попарно-параллельной (групповой) подачи топлива в двигатель. Это приводит к двум негативным последствиям:

- небольшой потере мощности двигателя, особенно при езде в критических режимах (разгоне, езде под нагрузкой);

- увеличению расхода топлива приблизительно на 10...20 % (зависит от мощности двигателя, его конструктивных особенностей, а также условий эксплуатации).

Датчики положения распределительного вала используются и в системе управления регулируемы фазами газораспределения. В этом случае их устанавливают на распределительных валах впускных и выпускных клапанов (рис. 2.46).

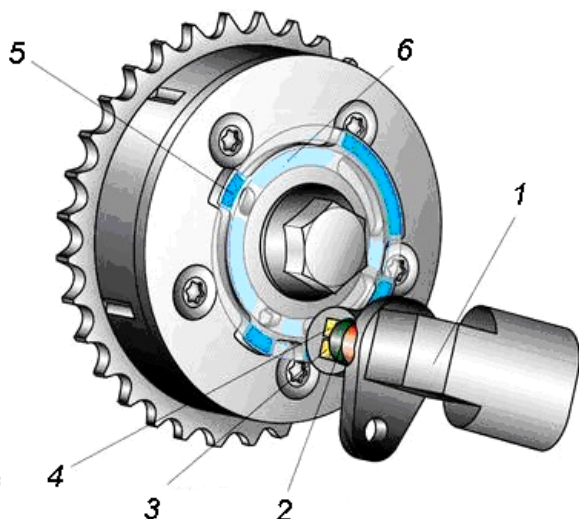


Рис. 2.46. Расположение датчика Холла в системе регулирования фаз газораспределения: 1 – датчик распределительного вала; 2 – постоянный магнит; 3 – элемент Холла 1; 4 – элемент Холла 2; 5 – дорожка 1; 6 – дорожка 2

В системе управления дизелем сигналы датчиков используются для определения положения поршня первого цилиндра двигателя в ВМТ такта сжатия. За счет этого достигается точная идентификация положения распределительного вала относительно коленчатого вала и, соответственно, быстрый пуск дизеля и устойчивая его работа на всех режимах.

При возникновении неисправности ДПРВ (отсутствии сигнала) система управления двигателем в своей работе использует информацию

от датчика частоты вращения коленчатого вала. Двигатель продолжает работать и даже может повторно запускаться после остановки.

Признаками неисправности таких датчиков могут служить:

- проблемы с запуском двигателя (как холодного, так и прогретого);
- неустойчивая работа двигателя, «плавающие» рабочие и холостые обороты двигателя;

- «провалы» в движении автомобиля, потеря динамических характеристик;
- при сбросе педали акселератора двигатель глохнет;
- увеличенный расход топлива (на 10...20 %);
- активируется сигнальная лампа на приборной панели *Check Engine*.

Порядок выполнения работы

Диагностирование датчика распредвала с помощью мультиметра

Алгоритм выполнения проверки датчика мультиметром следующий:

1. Взять мультиметр и переключить его в режим измерения постоянного напряжения в диапазоне до 20 В.
2. Отсоединить разъем от датчика, отщелкнув фиксатор.
3. Демонтировать датчик из его посадочного места.
4. С помощью мультиметра проверить наличие питания на разъемах. Для этого необходимо включить зажигание (но не запускать двигатель). На разъеме датчика 21110-3706040 автомобиля ВАЗ (и на многих других) контакт *A* соответствует «массе», контакт *C* – плюсовой провод (идет от реле управления), контакт *B* – сигнальный провод (средний) (рис. 2.47). У разъема датчика 21120-3706040 контакт *A* соответствует «массе», контакт *B* – плюсовой провод от реле управления, контакт *C* – сигнальный провод.

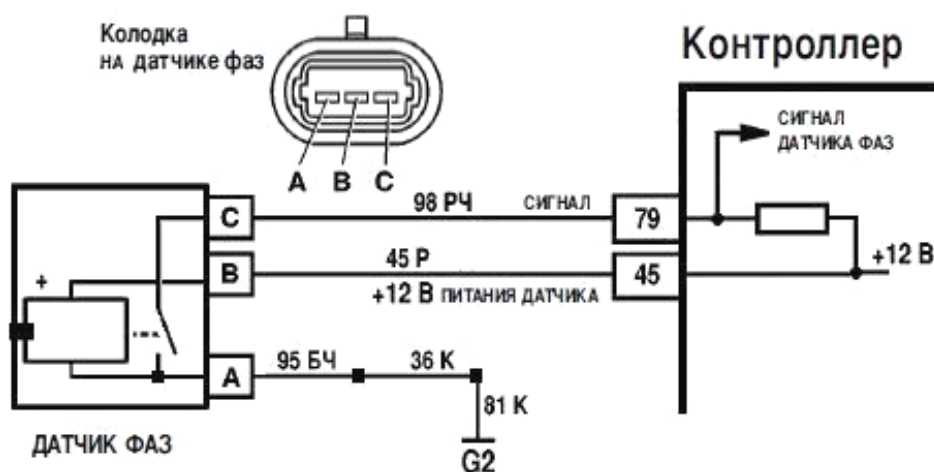


Рис. 2.47. Схема подключения датчика фаз 21120-3706040 к контроллеру

5. Если питания на разъеме нет, то причиной этого может быть неисправная проводка (повреждение изоляции, разрыв проводов), выход из строя управляющего реле, неисправность электронной системы управления (контроллера).

6. Проверка датчика 21110-3706040.

6.1. Подсоединить датчик для проверки по приведенной на рис. 2.48 схеме.

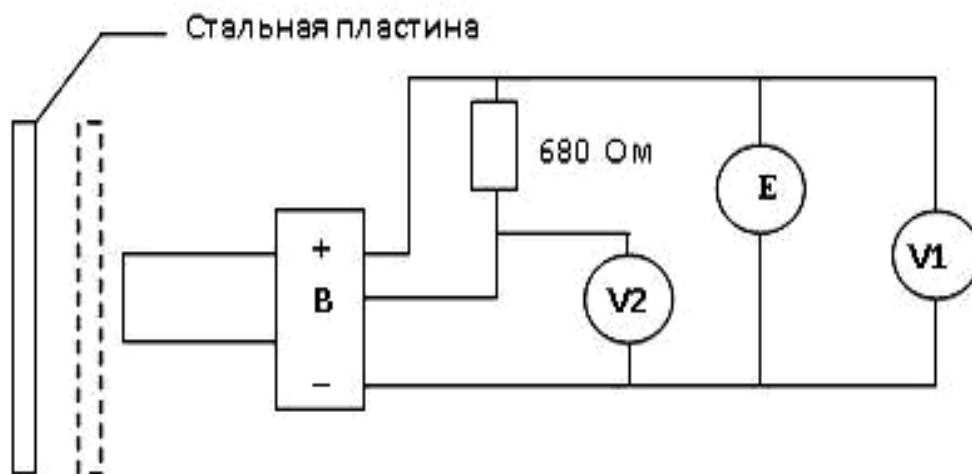


Рис. 2.48. Схема подключения для проверки датчика фаз 21110-3706040

6.2. Выставить по вольтметру $V1$ на блоке питания E напряжение $(13,5 \pm 0,5)$ В, напряжение на контакте B датчика должно быть не менее $0,9U_{\text{пит}}$.

6.3. Поднести к торцу датчика стальную пластину из магнитомягкого материала, как показано на рис. 2.48. Датчик должен сработать, что определяется по изменению напряжения на контакте B (должно быть не более 0,4 В).

6.4. Убрать стальную пластину, при этом напряжение на контакте B датчика должно измениться до значения не менее $0,9U_{\text{пит}}$.

7. Проверка датчика 21120-3706040.

7.1. Подсоединить датчик для проверки по приведенной на рис. 2.49 схеме.

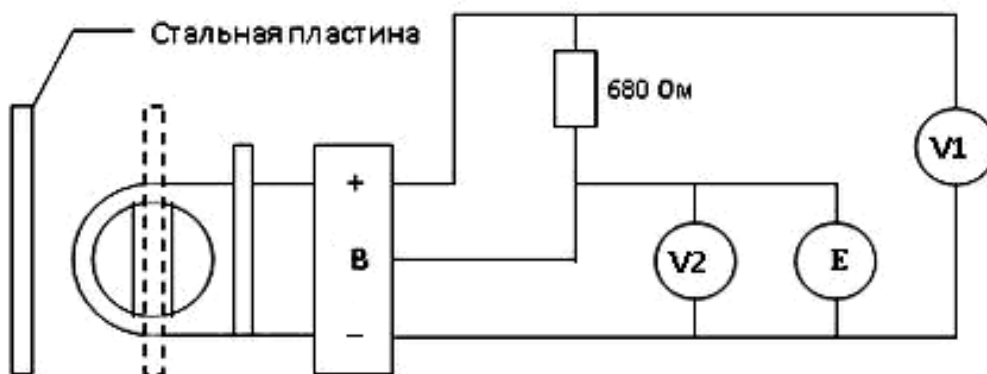


Рис. 2.49. Схема подключения для проверки датчика фаз 21120-3706040

7.2. Выставить по вольтметру $V2$ на блоке питания E напряжение $(13,5 \pm 0,5)$ В, напряжение на контакте B должно быть не более 0,4 В.

7.3. Поднести к торцу датчика стальную пластину из магнитомягкого материала шириной не менее 20 мм, длиной не менее 80 мм и толщиной 0,5 мм, как показано на рис. 2.49, поместив ее в щель корпуса. Напряжение на контакте B датчика должно измениться и быть не менее $0,9 U_{пит.}$

7.4. Убрать стальную пластину, при этом напряжение на контакте B датчика должно измениться до значения не более 0,4 В.

Проверка ДПРВ с помощью сканера

О наличии неисправности в работе ДПРВ могут сообщать следующие коды ошибок:

P0340 – неисправность цепи датчика положения распределительного вала. Условия формирования ошибки P0340:

- от датчика распредвала не поступают сигналы в течение более 5 с вращения стартера;
- не поступают сигналы от датчика распредвала на электронный блок управления при частоте вращения двигателя от 600 мин^{-1} и более.

Основные причины возникновения ошибки двигателя P0340:

- повреждение проводки датчика распределительного вала;
- повреждение датчика распределительного вала;
- некорректная работа контроллера.

P0341 – ошибка датчика положения распредвала; сигнализирует о том, что датчик положения распредвала выдает неверный сигнал.

При работе двигателя коленчатый вал, на котором и создается крутящий момент, соединяется зубчатым ремнем либо цепью с шестеренками распредвала. Последний открывает либо закрывает впускные или выпускные клапаны с помощью кулачков, расположенных на нем, которые при вращении нажимают на клапаны, открывая их. При такой ошибке контроллер не знает точного положения клапанов в данный момент, следовательно, не знает, какую форсунку открывать, в какой цилиндр подавать искру. В аварийном режиме он вычисляет это, собирая информацию с других датчиков, но достаточной точности при таком способе не добиться, что приводит к проблемам в работе двигателя. Так что при ошибке P0341 можно продолжать движение до гаража, дома либо автосервиса, но при первой же возможности необходимо разобраться в причинах и устранить поломку.

P0342 – низкий уровень сигнала ДПРВ. Данный код ошибки указывает на то, что контроллер получил ошибочный или слабый сигнал от входной цепи датчика положения распределительного вала.

Датчик положения распределительного вала рассчитывает частоту вращения и положение распределительного вала при вращении и отправляет сигнал на модуль управления АКПП. Контроллер использует полученную информацию для управления впрыском топлива и моментом зажигания. Если контроллер получит ошибочный или слабый сигнал от датчика положения распределительного вала, он не сможет выполнять необходимые регулировки.

Наиболее распространенные причины возникновения ошибки P0342:

- низкий уровень заряда или полный разряд аккумуляторной батареи;
- короткое замыкание или обрыв проводов датчика положения распределительного вала;
- неисправность стартерного электродвигателя;
- неисправность системы пуска двигателя;
- неисправность датчика положения распределительного вала.

P0343 – высокий подаваемый датчиком сигнал. Данный код ошибки – общий код ошибки, который указывает на слишком высокое напряжение в цепи датчика положения распределительного вала.

Наиболее распространенные причины возникновения ошибки P0343:

- попадание моторного масла или влаги на сигнальный провод датчика положения распределительного вала;
- неисправность датчика положения распределительного вала;
- износ или повреждение провода заземления;
- износ или повреждение провода питания;
- неисправность стартера;
- низкий уровень заряда или полный разряд аккумуляторной батареи;
- неисправность контроллера.

P0344 – подаваемый датчиком сигнал слабый, прерывистый. Данный код ошибки может появиться, если компьютер автомобиля не получит или получит ошибочный (прерывистый) входной сигнал от датчика положения распределительного вала.

Наиболее распространенные причины возникновения ошибки P0344:

- короткое замыкание или обрыв проводов датчика положения распределительного вала;
- неисправность ДПРВ;
- плохое электрическое соединение в цепи датчика положения распределительного вала;
- неисправность стартерного двигателя;
- низкий уровень заряда или полный разряд аккумуляторной батареи;
- наличие неисправности в системе пуска двигателя.

P0365 – нет сигнала в цепи датчика положения распредвала. Данный код ошибки указывает на то, что компьютер автомобиля обнаружил неисправность в электрической цепи датчика “В” положения распределительного вала, расположенного на стороне выпуска головки блока цилиндров.

Наиболее распространенные причины возникновения ошибки P0365:

- неисправность датчика положения распределительного вала;
- коррозия или повреждение проводов и соединителей датчика вследствие утечки моторного масла;

- короткое замыкание или обрыв цепи датчика положения распределительного вала;
- неисправность блока управления;
- неисправность датчика положения коленчатого вала (данный датчик необходимо менять вместе с датчиком положения распределительного вала).

Проверка ДПРВ с помощью осциллографа

1. Отсоединить разъем от датчика, отщелкнув фиксатор.
2. Подключить щупы осциллографа к контакту С (см. рис. 2.47) на разъеме датчика положения распределительного вала и «массе» автомобиля.
3. Включить зажигание, прокрутить коленчатый вал стартером, затем записать осциллограмму сигнала ДПРВ.

Напряжение на выходе датчика фаз должно циклически изменяться от значения, близкого к 0 (при прохождении прорези задающего диска впускного распредвала через датчик), до напряжения, близкого к напряжению АКБ (при прохождении через датчик кромки задающего диска).

Пример осциллограммы исправного датчика ДПРВ приведен на рис. 2.50. С помощью одновременной регистрации сигналов ДПРВ и ДПКВ можно определить правильность синхронизации коленчатого и распределительного валов. Момент заднего фронта сигнала ДПРВ должен соответствовать строго определенному номеру «зуба» от пропущенного на кривой датчика ДПКВ.

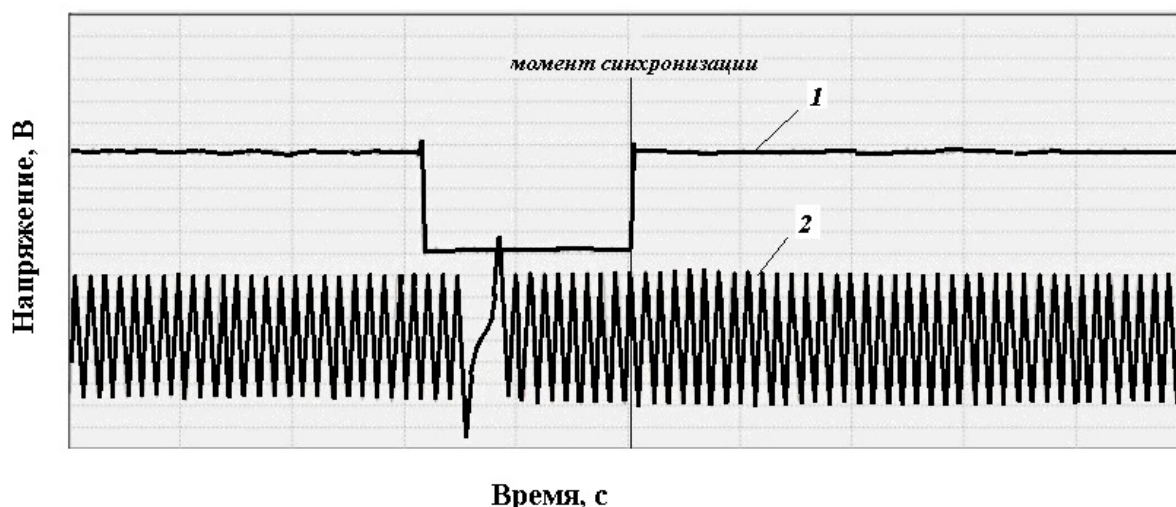


Рис. 2.50. Осциллограмма выходного напряжения ДПРВ (1) и ДПКВ (2)

Контрольные вопросы

1. Назовите основное назначение датчика положения распределительного вала.
2. Какие процессы в двигателе синхронизируются с помощью ДПРВ?
3. Объясните, как используется эффект Холла в работе ДПРВ.
4. Приведите схему подключения ДПРВ.
5. Объясните использование ДПРВ в системах регулирования фаз газораспределения.
6. Назовите основные причины выхода из строя ДПРВ.
7. Перечислите признаки, по которым можно определить неисправности ДПРВ.
8. Опишите методику проверки ДПРВ с помощью мультиметра.
9. Перечислите коды ошибок, характеризующих неисправности в работе ДПРВ.
10. Опишите методику проверки ДПРВ с помощью осциллографа.

Лабораторная работа № 7

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

Цель работы – изучение принципов действия и конструкции автомобильных датчиков перемещения, определение их основных характеристик и методов диагностирования.

Задачи работы

1. Изучить принцип действия и конструкцию датчиков перемещения – датчика положения дроссельной заслонки (ДПДЗ) и датчика положения педали акселератора.
2. Экспериментально определить влияние углового перемещения объекта на выходной сигнал датчика.
3. Изучить методику и провести диагностирование датчиков перемещения на автомобиле.

Общие сведения

Для измерения положения различных элементов в автомобильных системах чаще всего используют потенциометрические датчики угловых перемещений. Этот тип датчиков характеризуется наличием подвижных механических контактов, перемещение которых вдоль длины переменного резистора изменяет его сопротивление пропорционально положению контактов. До недавнего времени контактные датчики положения сохраняли лидирующие позиции на автомобильном рынке, чему способствовали такие значительные достижения потенциометрической технологии, как малые размеры корпуса и низкая цена.

Указанный способ измерения перемещения реализован в датчиках положения дроссельной заслонки и педали акселератора.

Датчик положения дроссельной заслонки

Датчик положения дроссельной заслонки (*TPS – Throttle Position Sensor*) предназначен для определения степени ее открытия. Указанный датчик преобразует угловое положение дросселя в напряжение постоянного тока в пределах, ограниченных двумя крайними положениями: от полного открытия дроссельной заслонки до ее полного закрытия.

Система управления двигателем на основе информации, поступающей с названного датчика, рассчитывает степень открытия дроссельной заслонки и осуществляет основные функции управления двигателем на динамичных режимах разгона-торможения автомобиля:

- идентификацию режима работы (степень открытия заслонки);
- регулирование соотношения воздуха и топлива в смеси;
- коррекцию увеличения мощности;
- автоматическое задавание угла опережения зажигания.

Датчики положения дроссельной заслонки выпускаются в двух вариантах: потенциометрические и бесконтактные. Датчик первого типа представляет собой резистор потенциометрического типа, который устанавливается на корпусе дроссельной заслонки.

К движущейся поворотной втулке, жестко механически связанной с валом управляющего привода, прикрепляется подвижный рычаг – токосъемник, одновременно осуществляющий скользящий

электрический контакт на специально нанесенном резистивном слое, как правило, с помощью контактирующих щеток (рис. 2.51).

При перемещении скользящего контакта по радиусу токопроводящего сектора поверх резистивного слоя потенциометра выходное сопротивление R датчика изменяется в зависимости от угла поворота дроссельной заслонки φ . Потенциометрическое напряжение, благодаря пропорциональной связи между длиной проволоки или дорожки с их электрическим сопротивлением и в соответствии с законом Ома, представляет собой линейное напряжение постоянного тока $U_{\text{вых}}$. Стандартное подключение подвижного контакта выполняется с помощью второй контактной дорожки, состоящей из того же резистивного материала. Для защиты от перегрузки, калибровки нулевой точки и градиента потенциала на измерительные дорожки потенциометра подается напряжение через небольшие добавочные последовательно соединенные резисторы. Форма характеристики может адаптироваться с помощью ширины измерительных дорожек потенциометра.

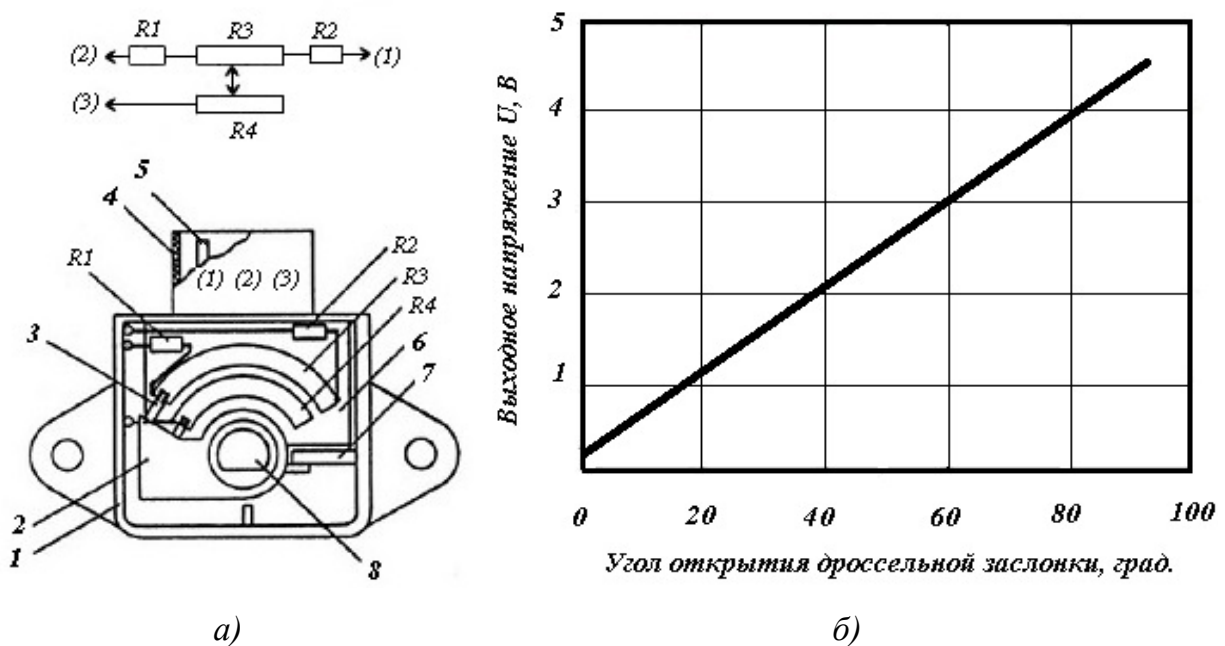


Рис. 2.51. Датчик положения дроссельной заслонки: а – конструкция; б – характеристика; 1 – корпус; 2 – поворотная втулка; 3 – токо-съемник; 4 – штекерная колодка; 5 – контакт; 6 – печатная плата; 7 – упор; 8 – ось дроссельной заслонки; R_1 , R_2 , R_3 , R_4 – сопротивления

Выходным сигналом датчика является напряжение переменной величины на контакте С: 0,3...0,7 В – при полностью закрытой дроссельной заслонке, 4,05...4,75 В – при полностью открытой дроссельной заслонке (рис. 2.52).

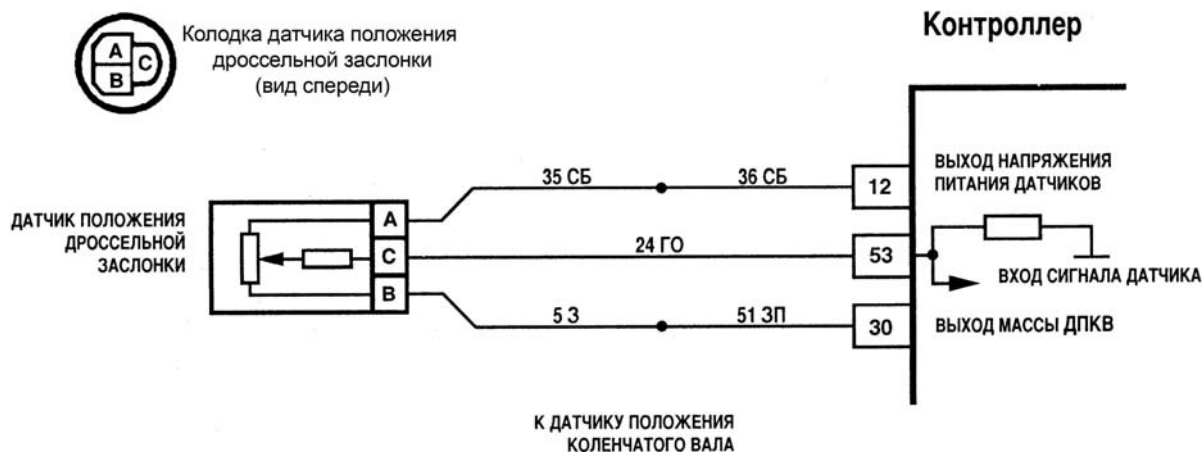


Рис. 2.52. Схема подключения датчика положения дроссельной заслонки

Измеряя напряжение сигнала ДПДЗ, контроллер определяет текущее положение и скорость открытия или закрытия дроссельной заслонки.

К недостаткам потенциометрических датчиков положения относят чувствительность к загрязнениям (пыли) и ограниченный срок службы вследствие износа контактных дорожек. Для устранения этих

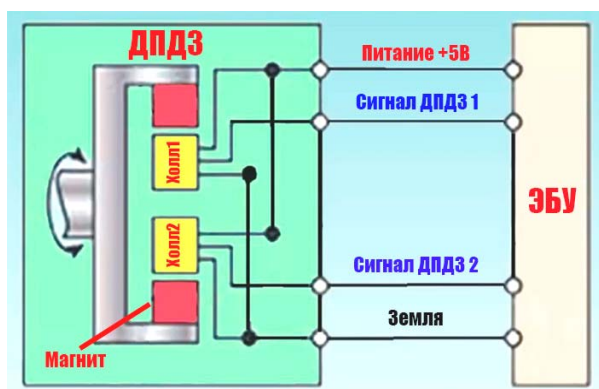
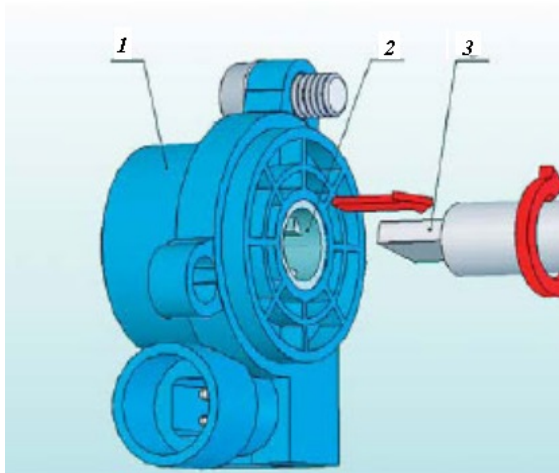


Рис. 2.53. Схема датчика положения дроссельной заслонки на основе элементов Холла

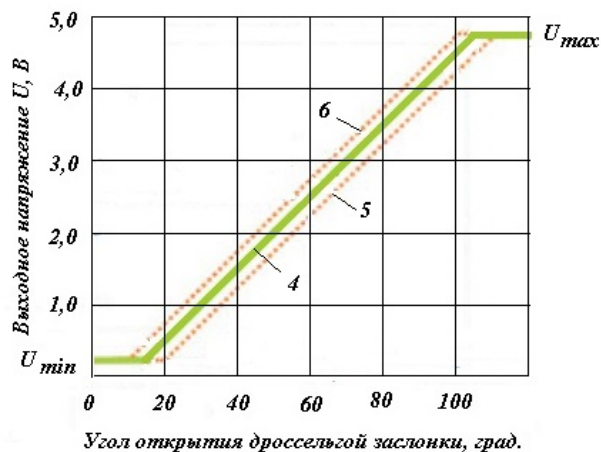
недостатков в настоящее время широко используют бесконтактные датчики, в частности основанные на эффекте Холла.

На месте подвижных контактов подобного датчика расположены постоянные магниты, а в корпусе – интегральные датчики Холла, которые считывают изменения магнитного поля при перемещении магнита и преобразуют значе-

ние показаний в электрический сигнал (рис. 2.53). Внешний вид данного датчика и его рабочая характеристика приведены на рис. 2.54.



а)



б)

Рис. 2.54. Бесконтактный датчик положения дроссельной заслонки на основе элементов Холла: а – внешний вид; б – характеристика; 1 – корпус; 2 – поворотная втулка; 3 – вал привода заслонки; 4 – идеальная выходная характеристика; 5, 6 – границы допусков нелинейности

Характерными признаками неисправности ДПДЗ (при исправной механической части двигателя) могут служить:

- нестабильные («плавающие») обороты холостого хода;
- двигатель может произвольно заглохнуть при работе на холостом ходу;
- двигатель глохнет во время переключения передач, либо после перехода с какой-либо передачи на нейтральную передачу;
- во время езды имеются «провалы» и рывки, в частности при разгоне;
- ощутимо снижается мощность двигателя, падают динамические характеристики автомобиля;
- на приборной панели активируется сигнальная лампа *Check Engine* вследствие определения ошибок, связанных с неисправностями ДПДЗ.

О наличии неисправности в работе ДПДЗ могут сообщать следующие коды ошибок:

P0122 – низкий уровень сигнала ДПДЗ. Ошибка фиксируется, если двигатель работает и напряжение сигнала ДПДЗ менее 0,2 В.

P0123 – высокий уровень сигнала ДПДЗ. Ошибка фиксируется, если напряжение сигнала ДПДЗ более 4,8 В.

Методика диагностирования ДПДЗ

Проверить трос привода дроссельной заслонки на заедание, привод – на исправность.

При наличии кода ошибки P0122:

а) отсоединить колодку жгута от ДПДЗ, включить зажигание, измерить мультиметром напряжение питания ДПДЗ между контактом *A* колодки жгута и «массой» (см. рис. 2.52). В случае если напряжение не равно 4,9...5,1 В, то причина – обрыв или замыкание на «массу» проводов «35 СБ» и «36СБ» (неисправность сопровождается ошибками по датчику температуры и датчику массового расхода воздуха) или неисправен контроллер;

б) измерить мультиметром напряжение между контактами *C* и *A* колодки жгута. В случае если напряжение не равно 4,9...5,1 В, то причина – обрыв провода «24 ГО», в противном случае – ДПДЗ неисправен.

При наличии кода ошибки P0123 включить зажигание, измерить мультиметром напряжение между контактом *C* колодки жгута и «массой». Возможно следующее:

а) напряжение более 10 В – провод «24ГО» замкнут на источник напряжения или неисправен контроллер;

б) напряжение 4,9...5,1 В – замыкание провода «24ГО» или проводов «35СБ» и «36СБ», в противном случае – неисправен контроллер;

в) напряжение около 0 В. Измерить напряжение между клеммой «+» аккумуляторной батареи и контактом *B* колодки жгута. В случае если напряжение менее 10 В, то причина – обрыв проводов «53», «513П» или неисправен контроллер, в противном случае – неисправен ДПДЗ.

Датчик положения педали акселератора

Датчик определяет положение педали акселератора, на основании показаний которого блок управления двигателем устанавливает определенное положение дроссельной заслонки двигателя с искровым зажиганием или величину цикловой подачи топлива дизеля. Таким образом двигатель получает необходимую мощность.

Датчик положения и педаль акселератора чаще всего объединены в составе модуля электронной педали газа (рис. 2.55).



Рис. 2.55. Конструктивное исполнение датчиков педали акселератора:
а – выносной; б – подвесной; в – с нижним креплением

Конструктивно датчик положения педали акселератора представляет собой измеритель углового перемещения.

Для оценки положения педали акселератора используются контактные и бесконтактные датчики перемещения, аналогичные конструкции ДПДЗ.

В контактных потенциометрических датчиках положения педали акселератора для диагностирования и случаев появления сбоев в работе применяется второй (дополнительный) датчик, являющийся частью системы контроля. Выходное напряжение на втором потенциометре составляет половину напряжения на первом потенциометре, что позволяет иметь два независимых сигнала для облегчения распознавания дефектов (рис. 2.56).

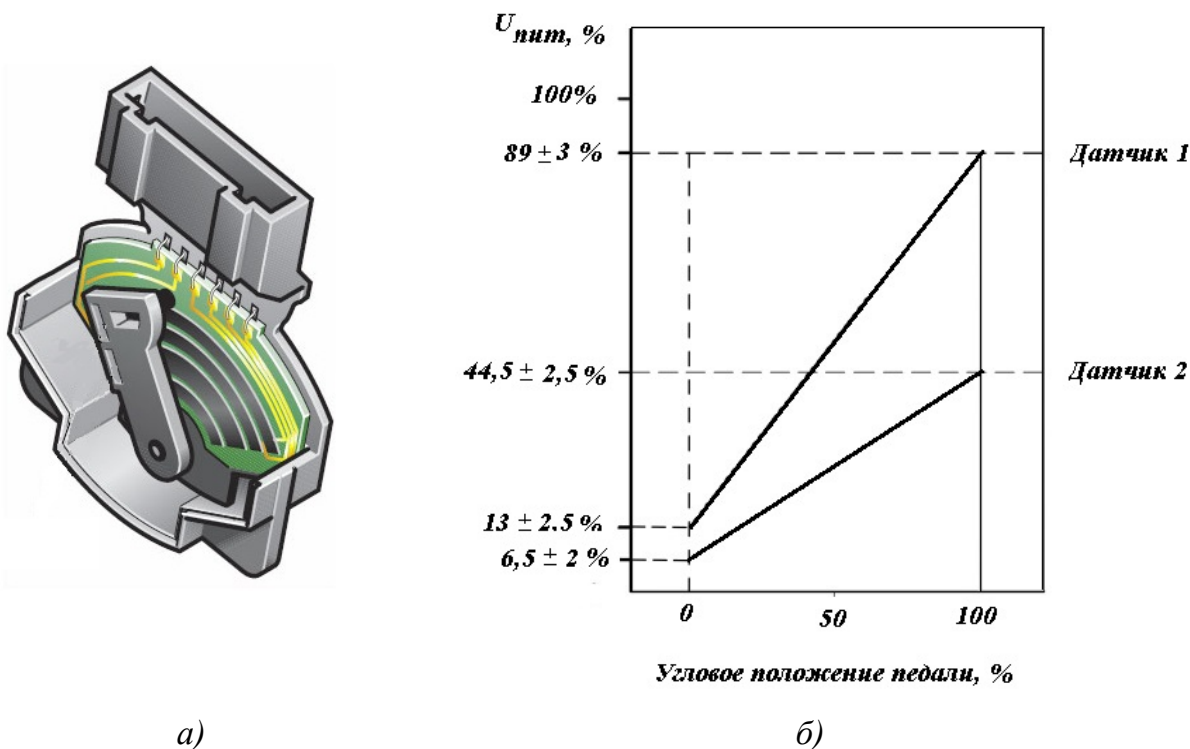


Рис. 2.56. Датчик положения педали акселератора:
 а – внешний вид потенциометров; б – характеристика

Схема подключения датчика положения педали акселератора дизельного двигателя ЯМЗ-540 приведена на рис. 2.57. В некоторых конструкциях датчиков вместо второго потенциометра имеется выключатель режима холостого хода, который подает в блок управления сигнал о соответствующем положении педали (холостой ход). В автомобилях с автоматической трансмиссией датчик оснащен дополнительным выключателем, который дает информацию о максимальном нажатии на педаль газа (сигнал *Kick-Down*).

Из бесконтактных датчиков перемещения для оценки положения педали акселератора используют угловой датчик Холла и индуктивный датчик.

В угловом датчике Холла на валу педали газа расположен постоянный магнит. При его повороте магнитные линии с разной интенсивностью пересекают датчик Холла, фиксируя текущее положение педали акселератора. Помимо измерения интенсивности магнитного поля, в ряде конструкций датчиков Холла для оценки перемещения используется направление магнитного поля.

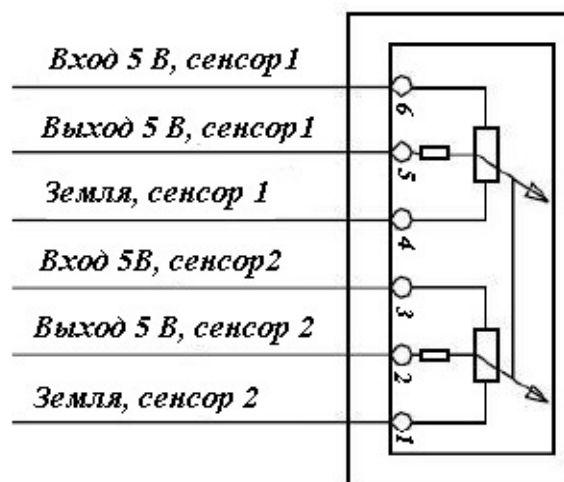


Рис. 2.57. Схема подключения датчика положения педали акселератора

Применение бесконтактных датчиков повышает точность измерений и обеспечивает высокое быстродействие.

Диагностирование датчиков положения с помощью мультиметра

Диагностирование датчика положения проводят в следующем порядке:

- 1) не снимая разъем с датчика, подключить красный щуп тестера к сигнальному проводу датчика, а черный – к проводу заземления;
- 2) включить зажигание, но не запускать двигатель;
- 3) убедиться в том, что дроссельная заслонка полностью закрыта;
- 4) мультиметр должен отображать значение в диапазоне 0,2...1,5 В в зависимости от конкретного автомобиля;
- 5) плавно полностью открыть дроссельную заслонку.

Убедитесь в том, что напряжение постепенно увеличивается, когда вы медленно открываете дроссельную заслонку.

Исправный ДПДЗ должен выдавать напряжение в диапазоне 0,5...4,5 В в зависимости от положения дроссельной заслонки. Сигнал при повороте дроссельной заслонки должен меняться плавно, без скачков и провалов.

Если в определенных положениях заслонки наблюдаются скачки напряжения или оно «зависает» на одном уровне, данный ДПДЗ работает неправильно, поэтому его необходимо заменить.

При отсутствии выходного сигнала необходимо проверить наличие опорного напряжения и «массы» на клеммах соединительного разъема датчика.

Диагностирование датчиков положения с помощью сканера

Отображаемые коды ошибок:

P1122 – низкий уровень сигнала с датчика положения педали (1-я дорожка);

P1123 – высокий уровень сигнала с датчика положения педали (1-я дорожка);

P1222 – низкий уровень сигнала с датчика положения педали (2-я дорожка);

P1223 – высокий уровень сигнала с датчика положения педали (2-я дорожка);

P1221 – предел диапазона разности 1-й и 2-й дорожек датчика положения педали.

Условие отображения кодов неисправностей P1122, P1123, P1222, P1223 – напряжение с датчика меньше 0,2 В или больше 4,78 В.

Если определены ошибки P1122, P1123, то расчет положения дросселя ведется по показаниям 2-й дорожки; ошибки P1222, P1223 – по показаниям 1-й дорожки.

Условия отображения кода неисправности P1221 – процент открытия педали, рассчитанный по 1-й дорожке, и процент открытия педали, рассчитанный по 2-й дорожке, отличаются больше чем на 3,0 %.

Диагностирование датчиков положения с помощью осциллографа

При проверке рассматриваемых датчиков положения наиболее информативным оказывается применение автомобильных цифровых запоминающих осциллографов. На рис. 2.58 и 2.59 приведены осциллограммы выходного напряжения датчиков положения дроссельной заслонки и педали акселератора. По осциллограмме сразу видно, исправен датчик или нет. Наличие провалов или скачков в выходном напряжении датчика положения дроссельной заслонки приводит к неправильной работе системы управления двигателем и ухудшению

ездовых характеристик. Провалы и броски в выходном сигнале датчика положения дроссельной заслонки могут иметь длительность порядка миллисекунд и не обнаруживаться с помощью вольтметра. Они появляются при износе резистивного слоя или ползунка в потенциометрическом датчике.

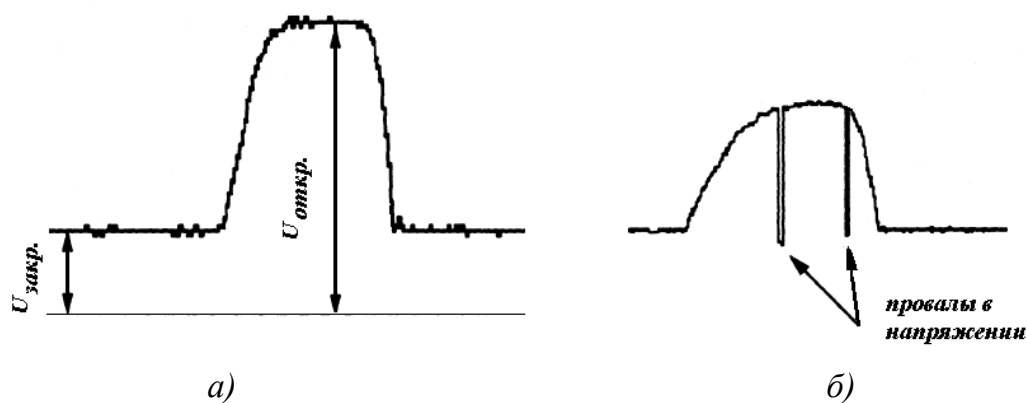


Рис. 2.58. Осциллограмма выходных сигналов ДПДЗ: а – исправного; б – дефектного

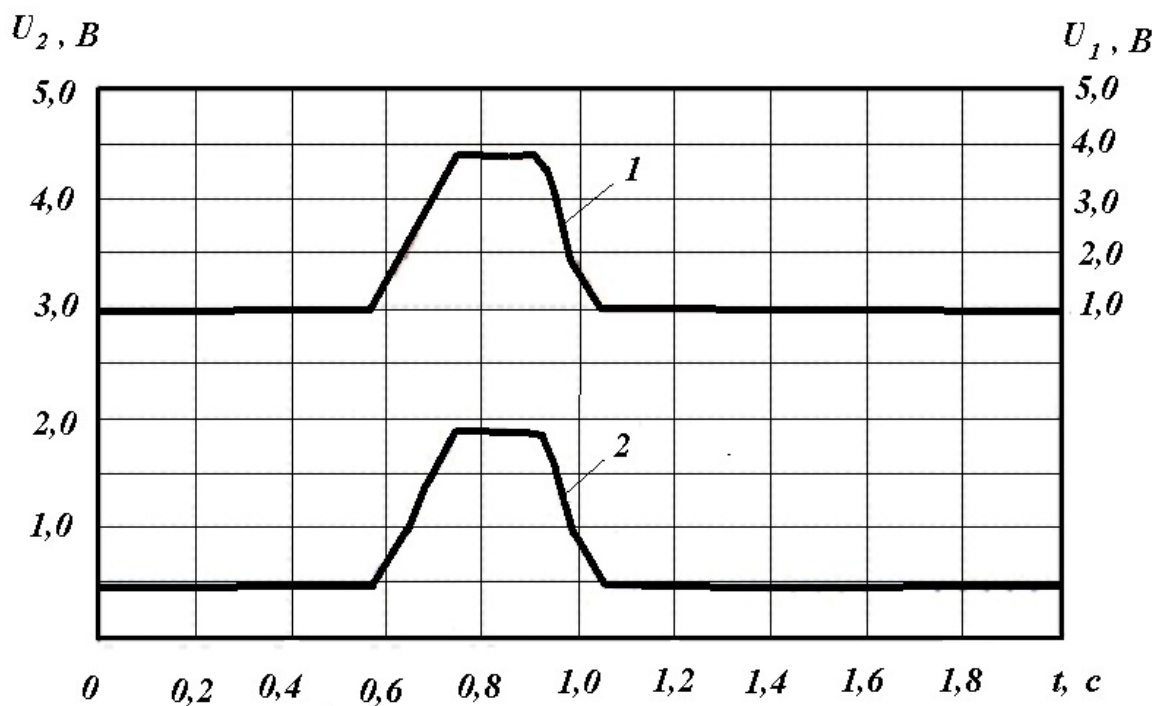


Рис. 2.59. Осциллограмма выходных сигналов датчика положения педали акселератора: 1 – выходное напряжение первого потенциометра; 2 – выходное напряжение второго потенциометра

Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с теоретической частью работы.
2. Практически ознакомиться с конструкцией и особенностями предложенных преподавателем образцов датчиков положения дроссельной заслонки и датчиков положения педали акселератора.
3. Проверить датчики положения с помощью мультиметра.
 - 3.1. Для датчика положения дроссельной заслонки:
 - в соответствии с электрической схемой, приведенной на рис. 2.52, к контактам *A* и *B* датчика, используя лабораторный блок питания, подать опорное напряжение ($5 \pm 0,2$) В;
 - замерить выходное напряжение между контактами *B* и *C*;
 - поворачивая поворотную втулку датчика через равные угловые промежутки, фиксировать выходное напряжение между контактами *B* и *C* до положения, соответствующего максимальному открытию дроссельной заслонки;
 - по полученным данным построить характеристику (см. рис. 2.51).
 - 3.2. Для датчика положения педали акселератора:
 - в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.57, к контактам каждого из двух потенциометров, используя лабораторный блок питания, подать опорное напряжение ($5 \pm 0,2$) В;
 - замерить выходное напряжение между контактами 5-4 и 2-1;
 - нажимая на педаль акселератора, через равные угловые промежутки фиксировать выходное напряжение между контактами 5-4 и 2-1 (до положения максимального перемещения педали);
 - по полученным данным построить характеристику.
4. Проверить датчики положения с помощью осциллографа.
 - 4.1. Для датчика положения дроссельной заслонки:
 - в соответствии с электрической схемой, приведенной на рис. 2.52, к контактам *A* и *B* датчика, используя лабораторный блок питания, подать опорное напряжение ($5 \pm 0,2$) В.
 - подключить измерительные щупы осциллографа к контактам *B* и *C*;
 - плавно поворачивая поворотную втулку датчика от исходного состояния до положения, соответствующего максимальному открытию дроссельной заслонки, записать осциллограмму выходного напряжения.

- 4.2. Для датчика положения педали акселератора:
- в соответствии со схемой, представленной на рис. 2.58, к контактам каждого из двух потенциометров, используя лабораторный блок питания, подать опорное напряжение ($5 \pm 0,2$) В;
 - подключить измерительные щупы двухканального осциллографа к контактам 5-4 и 2-1;
 - плавно нажимая на педаль акселератора, снять осциллограмму выходных сигналов с обоих потенциометров.
5. Проанализировать полученные результаты.
6. Подготовить отчет о работе.

Контрольные вопросы

1. Каково назначение датчиков положения дроссельной заслонки?
2. Опишите принцип действия потенциометрического ДПДЗ.
3. Раскройте особенности конструкции датчиков на основе элементов Холла.
4. В чем вы видите преимущества ДПДЗ на основе элементов Холла?
5. Опишите основные неисправности ДПДЗ.
6. Опишите методику диагностирования ДПДЗ.
7. Опишите методику диагностирования датчика положения педали акселератора.

Лабораторная работа № 8

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ДАТЧИКОВ ТЕМПЕРАТУРЫ

Цель работы – изучение конструкции, основных характеристик и методов диагностирования автомобильных датчиков температуры.

Задачи работы

1. Изучить конструктивное исполнение датчиков температуры, применяемых в электронных системах управления автомобильными двигателями.
2. Ознакомиться с методикой определения их градуировочных характеристик.
3. Изучить методы диагностирования датчиков температуры.

Общие сведения

Для управления двигателем обычно используется информация о температуре охлаждающей жидкости, воздуха на впуске, моторного масла, топлива и отработавших газов.

Датчик температуры охлаждающей жидкости установлен в системе охлаждения. На основе его сигнала рассчитывается температура охлаждающей жидкости, необходимой для управления работой двигателя (диапазон измерений от -40 до $+130$ °С).

Датчик температуры воздуха устанавливается в тракте всасывания воздуха. На основе его сигнала происходит адаптация различных контуров управления, таких как система управления цикловой подачей топлива, рециркуляция отработавших газов, контроль давления наддува и др. (диапазон измерений от -40 до $+120$ °С).

Датчик температуры моторного масла установлен в системе смазки. Его сигнал кроме функций контроля используется также при расчете интервалов между техническими обслуживаниями (диапазон измерений от -40 до $+170$ °С).

Датчик температуры топлива встроен в контур низкого давления системы топливоподачи дизельного топлива. С помощью его данных рассчитывается точное количество впрыскиваемого топлива (диапазон измерений от -40 до $+120$ °С).

Датчик температуры отработавших газов устанавливается в системе выпуска в местах с максимальной температурой. Он используется в замкнутом контуре управления очистки отработавших газов жидкости (диапазон измерений от -40 до $+1000$ °С).

В автомобильной технике для контроля в качестве датчиков температуры традиционно использовались либо полупроводниковые терморезисторы (термисторы), либо термометры сопротивления, выполненные обычно в виде катушки с намотанным на нее проводом.

Термочувствительные элементы подобных датчиков размещаются в металлической капсуле, снабженной штекерами для включения датчика в измерительную цепь.

Преимуществом терморезисторов, изготовленных из различных полупроводниковых материалов (спеченные окислы Ni, Co, Si), считается высокое значение их температурного коэффициента сопротивления (ТКС), достигающее до $0,03$ град⁻¹, что позволяет повысить чувствительность датчиков. При этом ТКС может иметь как положитель-

ное, так и отрицательное значение, что и определяет вид градуировочной кривой датчика.

В то же время термисторы часто имеют нестабильные и нелинейные характеристики и подвержены старению. Особенности технологии изготовления полупроводниковых терморезисторов обуславливают, как правило, значительный разброс их номинального значения от образца к образцу (обычно $\pm 10\%$, в особых вариантах исполнения – не менее $\pm 5\%$).

Несмотря на указанные особенности, сегодня полупроводниковые датчики температуры нашли широкое применение в автомобильных системах управления. Типичные датчики температуры охлаждающей жидкости двигателя и воздуха на впуске показаны на рис. 2.60.

Датчик температуры воздуха имеет малогабаритный чувствительный элемент, более восприимчивый к температуре окружающей среды. В отличие от полупроводников такие металлы, как платина, вольфрам, никель, медь, обладают очень высокой стабильностью. По имеющимся данным, нестабильность негерметизированных металлических терморезисторов за 25 000 ч работы не превышает $\pm 5\%$.

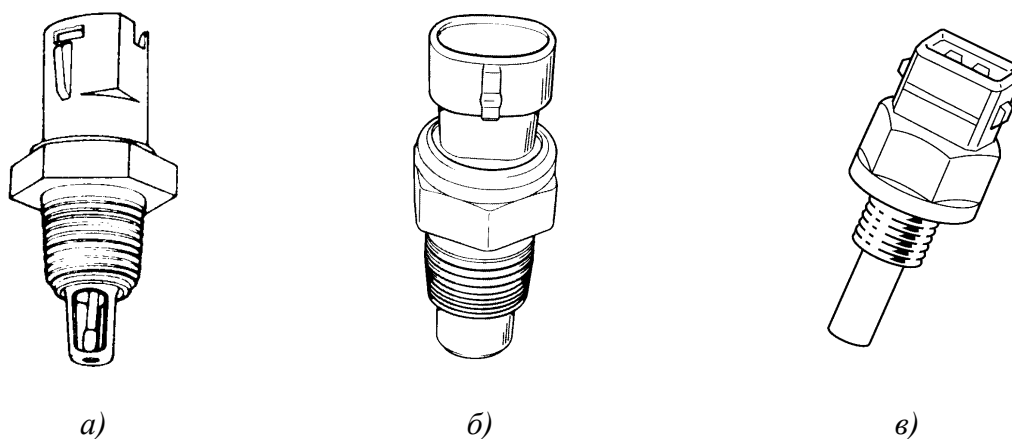


Рис. 2.60. Внешний вид типичных датчиков температуры, используемых в системах управления двигателем: а – воздуха на впуске; б, в – охлаждающей жидкости

Для выполнения термочувствительных элементов автомобильных датчиков температуры, применяемых в автомобильных системах контроля, раньше, как правило, использовали медную проволоку. Недостатками этого технического решения можно назвать

низкую чувствительность меди к изменению температуры (ТКС меди – $0,0039 \text{ град}^{-1}$), а также невысокую технологичность конструкции. Для систем управления двигателем такие датчики не применяются.

Хорошо известные термоэлектрические датчики (термопары) имеют низкую технологичность, сложную вторичную аппаратуру и, следовательно, высокую стоимость. Для автомобильных систем контроля и управления подобные датчики, по-видимому, малоперспективны.

Термочувствительные ферриты и конденсаторы, в которых используется зависимость соответственно магнитной и диэлектрической проницаемости от температуры, нетехнологичны и сложны для массового производства. Их применение в автомобильных системах управления возможно при резком снижении стоимости производства.

Датчики температуры на основе кварцевых резонаторов сложны, имеют высокую стоимость. Вследствие этого они не применяются и, видимо, не будут применяться в автомобильных системах управления и контроля.

Особо следует остановиться на датчиках, в основу которых положены **металлополимерные чувствительные элементы (МПЧЭ)**, обладающие значительными перспективами благодаря своим преимуществам: высокой технологичности, стабильности, малой инерционности, простоте конструкции.

Конструктивно МПЧЭ представляют собой терморезистор из металлической (никелевой) фольги толщиной несколько десятков микрометров, защищенный снаружи слоем полиимидного лака. Толщина полиимидной изоляции совпадает с толщиной фольги. Сам терморезистор выполнен в виде решетки, которая травится из фольги по микроэлектронной технологии (методом фотолитографии). Групповая технология изготовления таких терморезисторов обеспечивает низкую стоимость изделий, высокую технологичность при массовом производстве, идентичность характеристик элементов. Физико-механические свойства полиимидного лака гарантируют надежную работу элементов в диапазоне $-195...+300 \text{ }^\circ\text{C}$ (кратковременно – до $+500 \text{ }^\circ\text{C}$). Эти МПЧЭ обладают достаточной механической прочностью (функции измерительного и силового элементов конструкции

разделены), гибкостью, стойкостью к агрессивным средам (маслам, бензинам, различным растворителям, кислотам, щелочам и др.). Они не требуют применения редких и дорогостоящих материалов и не подвержены старению.

Разработка и использование МПЧЭ в различных датчиках (для измерения температуры, уровня, расхода и др.) – перспективное направление в конструировании датчиков.

Перспективными также считаются **интегральные датчики температуры**, представляющие собой термочувствительные элементы на одном кристалле с периферийными схемами (усилители и др.). Такие датчики находят применение в автомобильной технике, что обусловлено достижением требуемой стабильности и снижением стоимости при повышении технологичности производства.

Интегральные датчики температуры удобны тем, что обеспечивают выходной сигнал в виде напряжения (рис. 2.61), не требуя при этом вспомогательных схем преобразования сигнала.

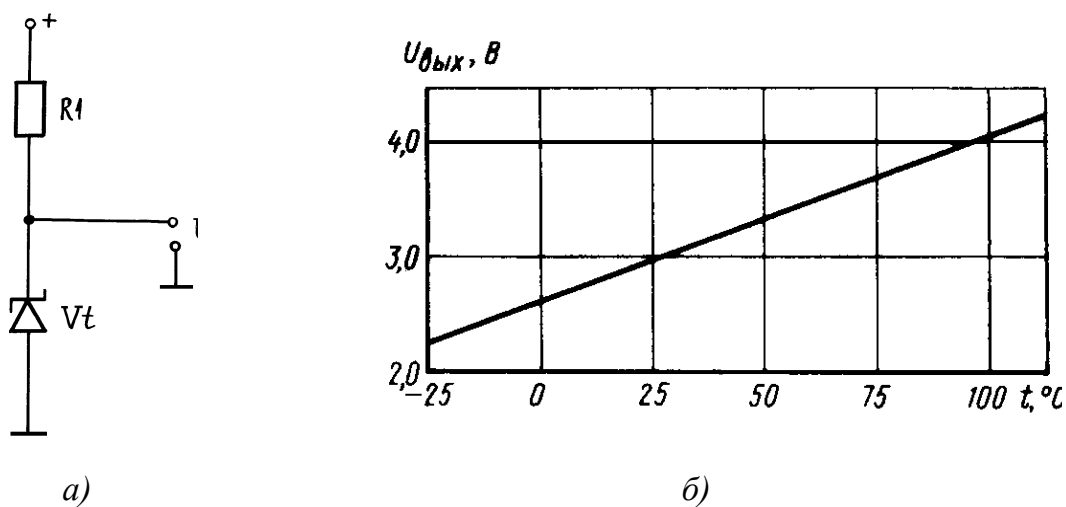


Рис. 2.61. Интегральный датчик температуры: а – схема включения; б – градуировочная характеристика; $R1$ – токоограничивающий резистор; V_t – интегральный датчик

Для датчиков температуры любой конструкции и принципа действия важнейшими характеристиками считаются стабильность, чувствительность и быстродействие.

Стабильность определяется воспроизводимостью первоначальной градуировочной характеристики через определенное время эксплуатации.

Чувствительность предопределяет разрешающую способность датчика и выступает важнейшим показателем пригодности датчика для конкретной системы управления.

Быстродействие датчиков обусловлено температурной инерционностью конструкции и условиями теплообмена датчика и среды.

Корпус датчика выполняет функцию передачи измеряемой температуры от потока к чувствительному элементу, от которого далее электрический сигнал передается уже к измерительному прибору. Если существует точное равенство между температурой чувствительного элемента и средой, то датчик имеет идеальные динамические характеристики. В реальных конструкциях подобное невозможно, так как материал корпуса датчика всегда имеет конечную теплоемкость и всегда будет существовать разность температур между чувствительным элементом и средой.

Одна из основных задач конструирования датчиков температуры – уменьшение влияния температурных градиентов. Отклонения реальной характеристики датчика от идеальной учитываются соответствующими статической и динамической характеристиками.

Постоянная времени датчика является функцией нескольких величин:

$$\tau = \frac{\rho_d v_d C_d}{\lambda S + \alpha_d S + \lambda_k S_k},$$

где ρ_d – средняя плотность датчика; v_d – объем датчика; C_d – средняя теплоемкость датчика; λ – коэффициент теплопроводности стенки корпуса датчика; S – площадь теплоприемника; α_d – эквивалентный коэффициент радиационного теплового потока датчика; λ_k – коэффициент теплопроводности элементов крепления датчика; S_k – площадь элементов крепления датчика.

В соответствии с приведенной формулой снижение постоянной времени датчика температуры достигается выбором его рациональных размеров и тепловоспринимающей поверхности, а также подбором материала корпуса датчика с необходимыми физическими свойствами.

В последнее время широко используются датчики температуры с корпусом из полимерных материалов. Такие датчики имеют малые массу и габариты, низкую стоимость, они долговечны и обладают стойкостью к коррозии и устойчивостью к различным агрессивным средам.

Лабораторная установка для определения характеристик датчиков температуры

Лабораторная установка для определения характеристик датчиков температуры (рис. 2.62) включает в себя камеру 6, заполненную моторным маслом. В крышке камеры в резьбовых гнездах установлены исследуемые датчики 8, подключаемые поочередно с помощью переключателя 1 к омметру 2. В крышке также установлена эталонная термопара 4, соединенная с измерителем температуры 3. Вся камера 6 подогревается с помощью плоского нагревательного элемента 7. Для уменьшения градиентов температуры по объему камеры предусмотрена специальная вращающаяся лопастная мешалка 5.

В процессе проведения экспериментов постепенно нагревают масло в камере 6 и при его определенных температурах, фиксируемых с помощью эталонной термопары 4 и измерителя температуры 3, поочередно подключают датчики 8 к омметру 2.

Обычно в качестве начальной принимается комнатная температура (18...25 °С). К концу опытов температуру масла доводят до 100...120 °С. Таким образом, для каждого датчика определяют зависимость его сопротивления R от температуры среды t , в которой он находится.

Установка позволяет получить также динамическую кривую изменения сигнала датчика температуры (рис. 2.63). Для этого выбранный датчик, охлажденный до комнатной температуры, быстро погружают

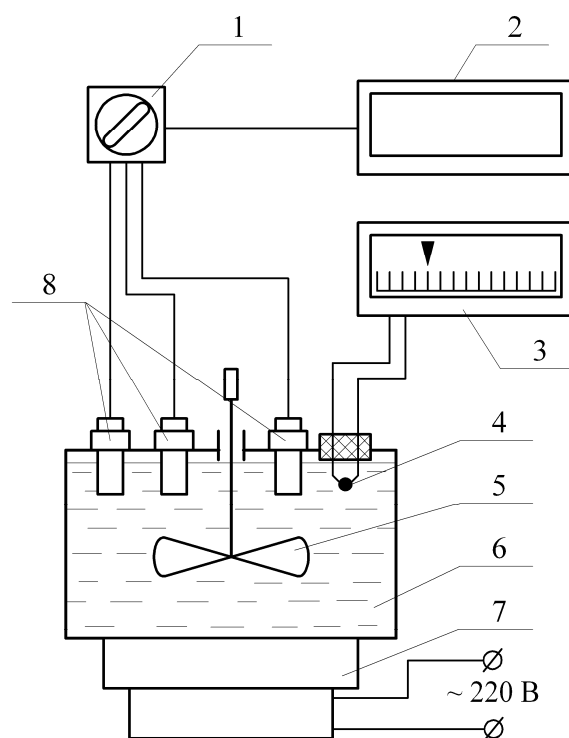


Рис. 2.62. Схема лабораторной установки: 1 – переключатель; 2 – омметр; 3 – измеритель температуры; 4 – эталонная термопара; 5 – лопастная мешалка; 6 – камера; 7 – нагревательный элемент; 8 – исследуемые датчики

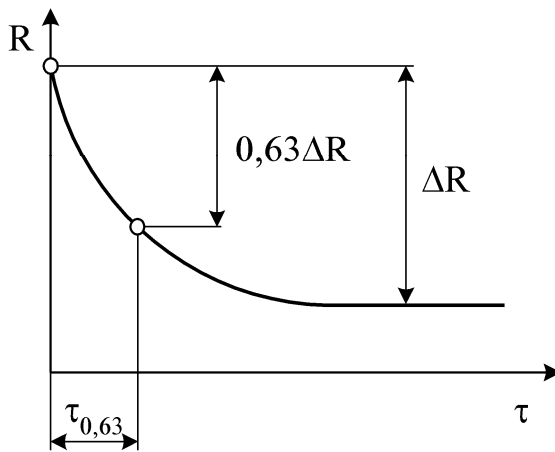


Рис. 2.63. Графическое определение постоянной времени $\tau_{0,63}$ датчика с отрицательным ТКС по динамической кривой изменения его сигнала

в нагретое масло (100...120 °С) через специальное увеличенное отверстие в крышке камеры б.

При этом через равные промежутки времени (обычно 5...10 с) фиксируют показания омметра 2 до тех пор, пока они не достигнут установившегося значения (различия в показаниях омметра не должны превышать 5 % на протяжении 30 с). По полученным данным строят динамическую кривую $R = f(\tau)$ и определяют графическим путем постоянную времени датчика $\tau_{0,63}$ (см. рис. 2.63).

Диагностирование датчиков температуры охлаждающей жидкости с помощью мультиметра

С помощью мультиметра проверяется сопротивление терморезистора на отключенном от жгута датчике. Выходное напряжение на датчике измеряется на подключенном жгуте. Оба указанных значения должны соответствовать спецификации на датчик. Пример характеристики датчика температуры приведен в табл. 2.3.

Табл. 2.3. Характеристика датчика температуры охлаждающей жидкости

$T_{о.ж}, ^\circ\text{C}$	$R, \text{ Ом}$	$U_{\text{вых}}, \text{ В}$
-40	>100000	4,95
-8	14628	4,68
0	9420	4,52
10	5670	4,25
20	3520	3,89
30	2238	3,46
40	1459	2,97
50	973	2,47
60	667	2,00
70	467	1,59
80	332	1,25
90	241	0,97
100	177	0,75

Диагностирование датчиков температуры охлаждающей жидкости с помощью сканера

С помощью сканера регистрируется напряжение датчика температуры охлаждающей жидкости (ДТОЖ) – *ADC_TW* (датчик температуры охлаждающей жидкости, В), получаемое при подаче на ДТОЖ от контроллера опорного напряжения. Также отображается вычисляемый контроллером параметр, характеризующий тепловой режим двигателя (*TWAT* – температура охлаждающей жидкости, °С).

При обнаружении системой самодиагностики неисправности ДТОЖ контроллер переходит на резервный режим работы – включается вентилятор системы охлаждения, устанавливается повышенная частота вращения коленчатого вала в режиме холостого хода. Признаком неисправности ДТОЖ может служить повышенная частота вращения коленчатого вала в режиме холостого хода. При отказе ДТОЖ также затруднен пуск двигателя и наблюдается повышенный расход топлива.

Отображаемые коды ошибок:

P0117 – низкий уровень сигнала ДТОЖ. Ошибка фиксируется, если двигатель работает и напряжение сигнала ДТОЖ соответствует температуре ниже –40 °С.

P0118 – высокий уровень сигнала ДТОЖ. Ошибка фиксируется, если двигатель работает и напряжение сигнала ДТОЖ соответствует температуре выше +135 °С.

При наличии кода ошибки P0117 выключить зажигание, отсоединить колодку жгута от ДТОЖ.

Переключить контакты колодки жгута переключкой (рис. 2.64), включить зажигание. Проконтролировать температуру охлаждающей жидкости (*TWAT*) по показаниям сканера:

а) температура ниже 135 °С: снять переключку, соединить переключкой контакт В с «массой». В случае если температура ниже 135 °С, то причина – обрыв провода «150» или неисправен контроллер, в противном случае – обрыв проводов «63», «513П» или неисправен контроллер;

б) температура выше 135 °С: снять переключку, измерить мультиметром напряжение между контактами А и В колодки жгута. Если

напряжение не равно 5 В, значит, провод «150» замкнут на источник питания, если 5 В – ДТОЖ неисправен.

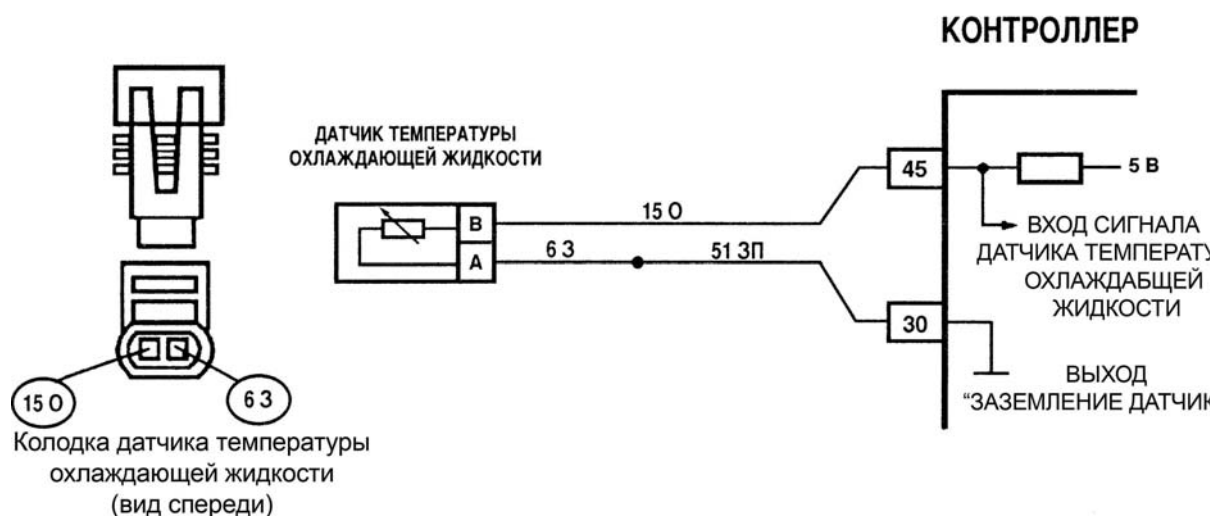


Рис. 2.64. Схема подключения датчика температуры ОЖ

При наличии кода ошибки P0118 выключить зажигание, отсоединить колодку жгута от ДТОЖ.

Включить зажигание. Контролировать температуру охлаждающей жидкости (*TWAT*) по показаниям сканера. Если температура выше $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, значит, провод «150» замкнут на «массу» или на провода «63» и «513П» или неисправен контроллер, в противном случае – неисправен ДТОЖ.

Порядок выполнения работы

1. Изучить конструктивные особенности автомобильных датчиков температуры, отобранных по указанию преподавателя. Кратко описать особенности датчиков.
2. Ознакомиться с конструкцией и возможностями лабораторной установки для определения характеристик датчиков температуры.
3. Для каждого из датчиков определить зависимость его сопротивления R от температуры среды t , в которой он находится. Данные эксперимента занести в таблицу.
4. По полученным в эксперименте данным построить зависимости $R = f(t)$ для каждого из датчиков. Далее определить по ним чув-

ствительность датчиков $\delta = \Delta R / \Delta t$, кОм/°С, в начале и в конце диапазона измерения температуры.

5. У одного из датчиков (по указанию преподавателя) определить постоянную времени $\tau_{0,63}$. Для этого необходимо получить динамическую кривую изменения сигнала датчика температуры. По результатам этого опыта построить кривую $R = f(\tau)$ и графически определить постоянную времени $\tau_{0,63}$.

*Зависимость сопротивления датчиков
от температуры*

Температура среды в камере, °С	Сопротивление датчиков, кОм	
	датчик 1	датчик 2
0		
10		
20		
30 и т. д.		

6. Выполнить диагностирование датчика температуры охлаждающей жидкости с помощью сканера на моторном стенде.

7. По результатам работы сделать вывод и оформить отчет.

Контрольные вопросы

1. Перечислите основные требования, предъявляемые к автомобильным датчикам температуры.

2. Проанализируйте особенности, преимущества и недостатки датчиков температуры различных принципов действия. Опишите конструкцию типичных автомобильных датчиков температуры.

3. Дайте характеристику различным материалам для изготовления резистивных чувствительных элементов датчиков температуры.

4. Опишите лабораторную установку для исследования датчиков.

5. Проанализируйте, от каких факторов зависит быстродействие датчиков температуры.

6. Проведите анализ полученных в работе зависимостей $R = f(t)$, $\delta = \Delta R / \Delta t$, $R = f(\tau)$.

7. Назовите и охарактеризуйте важнейшие показатели работы датчиков температуры.

8. Как меняется сопротивление датчика от температуры?

9. Как отразится на работе двигателя обрыв сигнального провода от датчика температуры охлаждающей жидкости?

10. Как отразится на работе двигателя замыкание на «массу» сигнального провода от датчика температуры охлаждающей жидкости?

11. Как проводится диагностирование датчиков температуры с помощью мультиметра?

12. Как проводится диагностирование датчиков температуры с помощью автомобильного сканера?

Лабораторная работа № 9

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ФОРСУНОК ДЛЯ ВПРЫСКА БЕНЗИНА

Цель работы – изучение конструкции электромагнитных форсунок различных типов, определение их рабочих характеристик – методов диагностирования.

Задачи работы

1. Изучить принцип действия и конструкцию существующих типов электромагнитных форсунок для впрыскивания бензина, производимых различными фирмами.

2. На лабораторном стенде снять рабочую характеристику конкретного образца электромагнитной форсунки.

3. Изучить методы диагностирования форсунок.

Общие сведения

Электромагнитная форсунка для впрыска бензина представляет собой быстродействующий гидравлический дозирующий клапан с электромагнитным приводом запирающего элемента (рис. 2.65). Она предназначена для дозированной подачи топлива и его распыления во впускном трубопроводе в зоне впускного клапана (рис. 2.66).

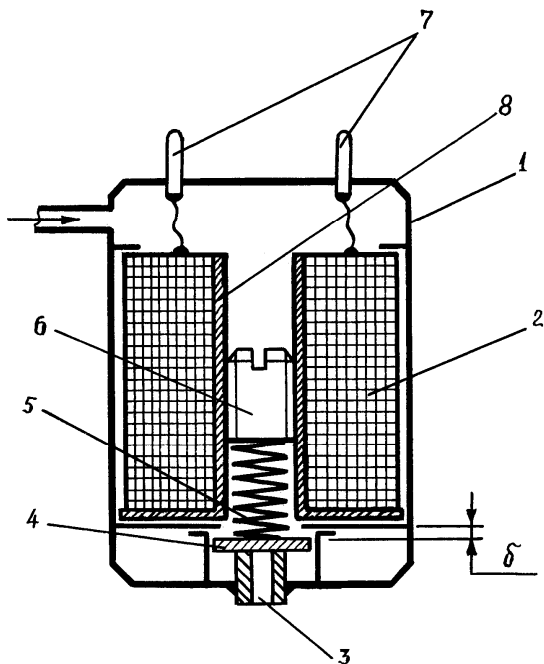


Рис. 2.65. Упрощенная принципиальная схема электромагнитной форсунки для впрыскивания бензина: 1 – корпус форсунки; 2 – обмотка электромагнита; 3 – канал распылителя; 4 – запирающий элемент клапана; 5 – возвратная пружина; 6 – регулировочный винт; 7 – выходные контакты; 8 – магнитопровод; δ – рабочий зазор в клапанном узле

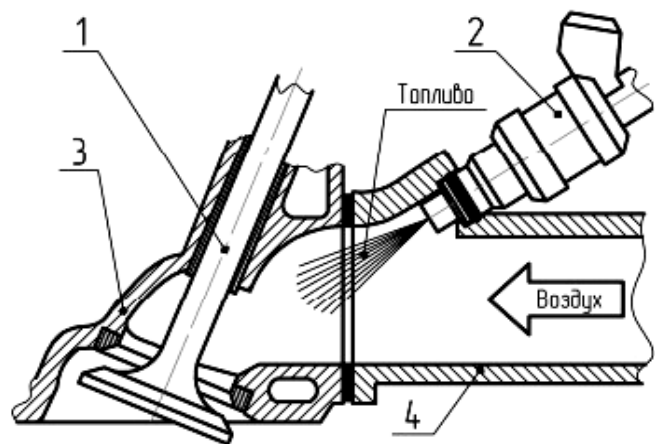


Рис. 2.66. Схема расположения форсунки во впускном трубопроводе: 1 – впускной клапан; 2 – электромагнитная форсунка; 3 – головка блока цилиндров; 4 – впускной трубопровод

Распылители форсунок устанавливаются в предусмотренные для этого отверстия во впускном трубопроводе двигателя. К топливной рампе каждая форсунка подключается при помощи гидравлического разъема, который находится в верхней части её корпуса. Форсунки крепятся к топливной рампе при помощи специальных фикси-

рующих устройств – пружинных скоб. Герметичность соединений форсунки с топливной рампой и впускным трубопроводом обеспечивается за счет применения уплотнительных колец круглого сечения. Фильтр в приемном канале форсунки защищает её от загрязнений, содержащихся в топливе.

Принцип действия всех электромагнитных форсунок (независимо от их конструкции) практически одинаков.

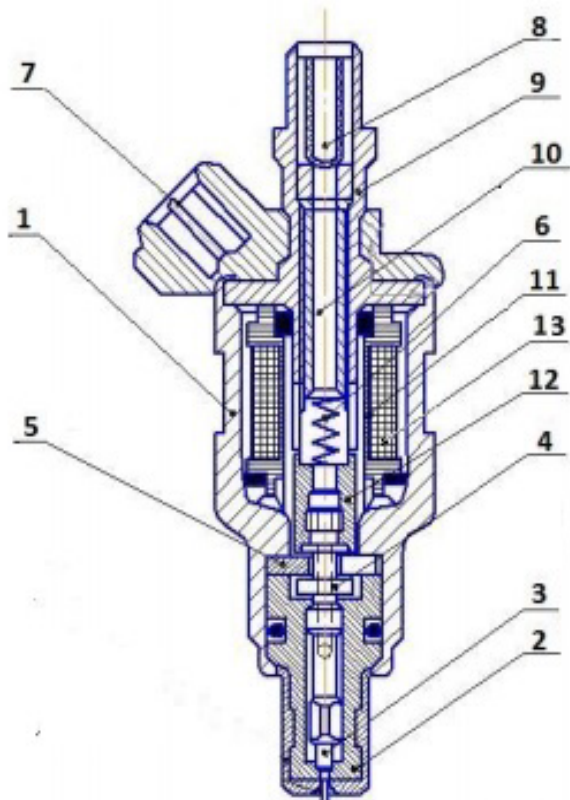


Рис. 2.67. Устройство форсунки для впрыска бензина: 1 – корпус; 2 – распылитель; 3 – клапан; 4 – упорный бурт; 5 – упорная шейка; 6 – пружина клапана; 7 – разъем; 8 – предохранительный фильтр; 9 – штуцер; 10 – регулировочный винт пружины; 11 – сердечник электромагнита; 12 – якорь электромагнита; 13 – катушка электромагнита

На рис. 2.67 показана конструкция форсунки для впрыска бензина.

Полость форсунки постоянно находится под давлением топлива 0,25 – 0,35 МПа. При отсутствии питания на обмотке катушки под действием пружины 6 клапан 3 (игла) закрывает сопловое отверстие распылителя 2. При подаче на обмотку электромагнита прямоугольного электрического импульса определенной длительности τ возникает тяговая сила, и якорь 12, преодолевая усилие пружины 6, втягивается в сердечник, открывая клапан 3. Проточный канал распылителя открывается, и топливо начинает поступать во впускной коллектор и при открытом впускном клапане – в цилиндр. При постоянном давлении топлива перед форсункой впрыскиваемое его количество будет определяться длительностью открытия клапана форсунки.

Электрическая схема подключения форсунок к контроллеру представлена на рис. 2.68.

При работе бензинового двигателя на один из выводов 3 обмотки электромагнита форсунки подается питание с напряжением, равным напряжению бортовой сети. Второй (управляющий) вывод 4 подключен к коллектору силового транзистора в контроллере. Транзистор выполняет роль быстродействующего переключателя. В нужный момент и на определенное время транзистор «открывается», и второй вывод обмотки электромагнита подключается к «массе», через обмотку

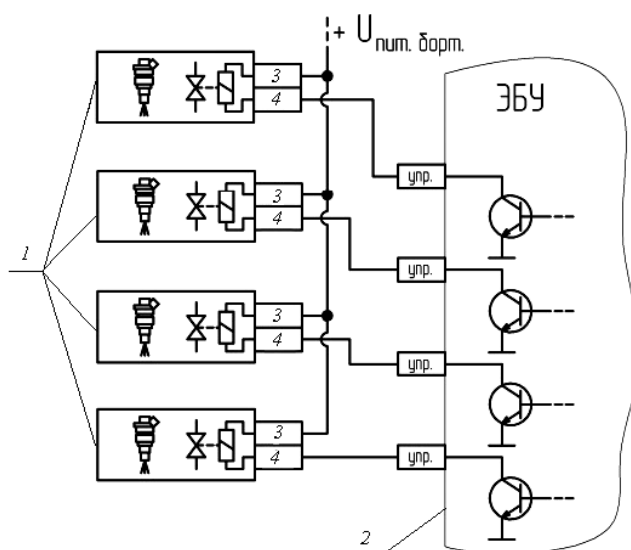


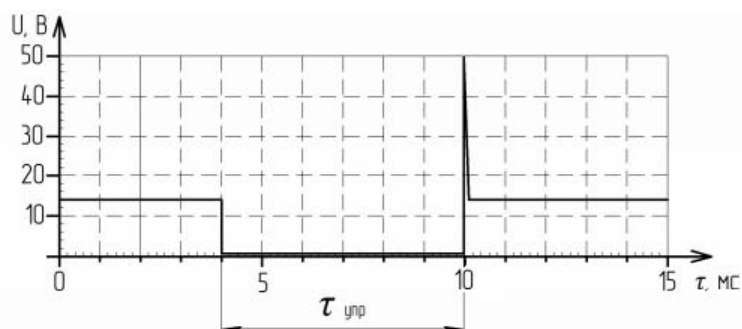
Рис. 2.68. Электрическая схема подключения форсунок к контроллеру: 1 – электромагнитные форсунки; 2 – электронный блок управления; 3 – вывод форсунки для подключения питания; 4 – управляющий вывод форсунки

начинает протекать электрический ток, клапан форсунки открывается. При этом напряжение на управляющем выводе обмотки электромагнита относительно «массы» будет близко к нулю. При отключении управляющего вывода обмотки электромагнита от «массы» электрический ток, протекающий через обмотку, прерывается, клапан форсунки закрывается. После завершения переходных процессов в цепи управления форсункой устанавливается постоянное напряжение, равное напряжению бортовой сети.

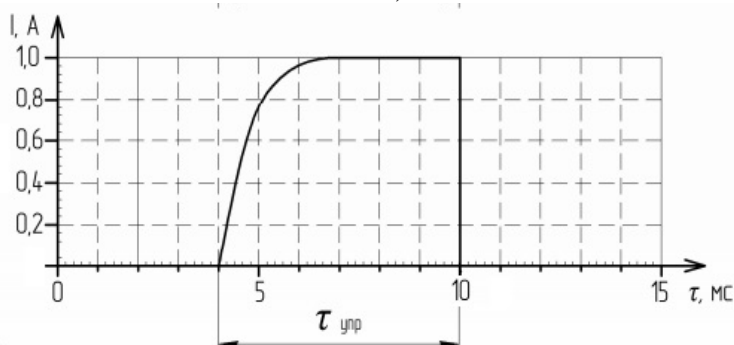
Время, в течение которого управляющий вывод электромагнита форсунки подключен к «массе», определяет длительность управляющего импульса. От ее величины, а также давления топлива на входе форсунки, давления воздуха во впускном трубопроводе, расходной характеристики зависит количество впрыскиваемого топлива за цикл.

Однако, как видно из осциллограммы параметров работы форсунки, моменты начала и окончания процесса впрыска не соответствуют началу и окончанию действия управляющего электрического импульса (рис. 2.69). Это объясняется тем, что после подачи управ-

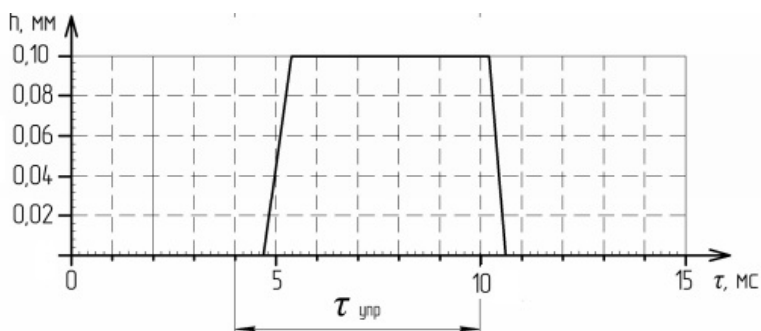
ляющего электрического импульса на форсунку в обмотке электромагнита возникает ЭДС самоиндукции. Она, в свою очередь, препятствует нарастанию электрического тока в обмотке и, соответственно, нарастанию магнитного потока в системе. Из-за этого нарастание усилия, действующего на якорь, замедляется. Кроме того, якорь вместе с иглой обладают определенной массой, поэтому при их ускоренном движении возникают силы инерции, приложенные к ним и направленные против движущей силы. В результате клапан форсунки открывается с задержкой.



а)



б)



в)

Рис. 2.69. Пример осциллограммы параметров работы форсунки: а – управляющее напряжение на выводах обмотки; б – сила тока, протекающего через обмотку; в – ход иглы форсунки; $\tau_{\text{упр}}$ – длительность управляющего импульса

При отключении управляющего вывода электромагнита форсунки от «массы» быстро убывает магнитный поток, пронизывающий катушку электромагнита (за счет резкого уменьшения силы тока). При этом в обмотке появляется ЭДС самоиндукции (ее пиковое значение достигает 50 В и более), препятствующая этому убыванию. Это обстоятельство (с учетом действия инерционных сил) приводит к задержке закрытия клапана форсунки.

В системах топливоподачи с электронным управлением форсунки выполняют две основные функции:

– дозируют топливо в соответствии с длительностью электрических управляющих импульсов, формируемых электронным блоком управления (контроллером) по определенному алгоритму в зависимости от режимных параметров работы двигателя;

– распыливают топливо до частиц требуемых размеров для достижения необходимой гомогенизации топливовоздушной смеси.

В отличие от карбюраторных систем подачи топлива в системах впрыска бензина применение электромагнитных форсунок позволяет разделить эти две основные функции органов топливоподачи и совершенствовать их независимо друг от друга.

По величине сопротивления обмотки электромагнита форсунки можно подразделить на низкоомные (сопротивление 1,3...3,0 Ом) и высокоомные (12...16 Ом). При испытаниях форсунок первого вида на их обмотку нельзя подавать напряжение более 5 В во избежание сгорания обмотки. На высокоомные форсунки можно подавать напряжение до 12 В. Это не относится к импульсным режимам управления форсункой. Так, при использовании форсирующего импульса для более быстрого открытия форсунки токи в течение 1,0...1,5 мс могут значительно превышать те, которые допустимы для данной форсунки при ее статическом открытии.

По величине рабочего давления топлива форсунки также можно разделить на два типа: первый рассчитан на давление топлива 70...200 кПа, такие форсунки применяют для систем центрального впрыска топлива (ЦВТ); второй тип предназначен для систем распре-

деленного впрыска топлива (РВТ) и работает при давлениях топлива 250...380 кПа.

Назначение форсунки определяет и угол конуса распыливания топлива – для ЦВТ он составляет 50...55°, для РВТ – 20...25°.

Для оценки рабочих свойств электромагнитных форсунок используют различные виды испытаний. Наиболее распространены:

– **статическая проливка форсунок** (при полном постоянном открытии клапана);

– **калибровка форсунок** (определение цикловых подач на различных режимах работы форсунки, задаваемых оператором).

При первом виде испытаний определяется статическая производительность $q_{cтi}$:

$$q_{cтi} = \frac{\Delta Q_i}{\tau},$$

где ΔQ_i – количество топлива, определенного за время замера объемным способом (для i -й форсунки), см³; τ – время замера, с.

Во втором виде испытаний определяется цикловая подача форсунки $q_{ци}$ при выбранных значениях частоты f и длительности $\tau_э$ управляющих электрических импульсов:

$$q_{ци} = \frac{\Delta Q_i}{z},$$

где z – число циклов срабатываний форсунки за время замера τ .

Серия измерений $q_{ци}$ при фиксированных величинах f и различных $\tau_э$ дает возможность построить характеристику форсунки, т. е. зависимость $q_{ци} = \varphi(\tau_э)$.

Кроме того, можно определить неравномерность подачи топлива δ_i различными форсунками, входящими в комплект:

$$\delta_i = \frac{q_{ци} - \bar{q}_{ци}}{\bar{q}_{ци}} \cdot 100 \%,$$

где $\bar{q}_{ци}$ – средняя цикловая подача топлива форсунками в данном ком-

плекте, $\bar{q}_{ци} = \frac{1}{i} \sum q_{ци}$.

Для оценки основных рабочих параметров форсунки используется ее характеристика – зависимость величины цикловой подачи топлива g_{τ} от длительности τ управляющего электрического импульса (рис. 2.70):

$$g_{\tau} = f(\tau).$$

По характеристике конкретной форсунки легко определить ее рабочий диапазон, соответствующий линейной зависимости цикловой подачи топлива и постоянному диапазону погрешности дозирования.

Герметичность форсунок проверяется под давлением топлива. У неработающей форсунки, находящейся под давлением, не должно образовываться на носике распылителя и срываться с него более одной капли топлива (примерно 3 мм^3) в минуту. Для последних поколений форсунок этот показатель не должен превышать одной капли в две минуты (т. е. менее $1,5 \text{ мм}^3/\text{мин}$).

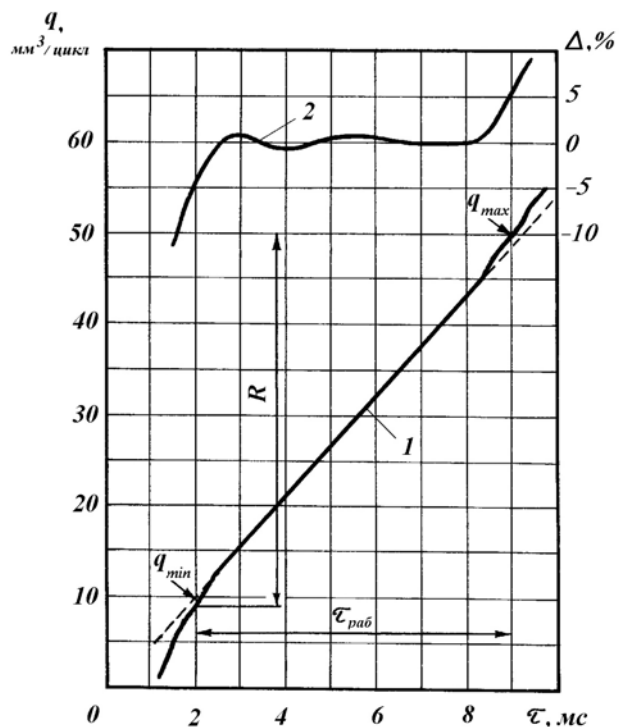


Рис. 2.70. Рабочая характеристика форсунки: 1 – цикловая подача g_{τ} ; 2 – Δ -погрешность дозирования топлива, %; R – динамический диапазон работы форсунки (кратность цикловых подач); %; $\tau_{\text{раб}}$ – рабочий диапазон длительностей управляющих электрических импульсов

Диагностирование форсунок

Вместе с бензином в топливную систему могут попадать загрязняющие вещества. Для очистки устанавливаются фильтры, которые улавливают загрязнения размером более 20 мк. Такие фильтры предусмотрены как на топливной магистрали, так и в самой форсунке. В составе бензина есть тяжелые фракции. Они оседают на седлах форсунок, а со временем превращаются в смолистые

наросты. Это приводит к ухудшению работы форсунок или полному их отказу.

Когда двигатель перестаёт работать, лёгкие фракции топлива испаряются на горячих поверхностях. Тяжёлые фракции оседают на деталях, в том числе форсунках. Запорный конус со временем уже не может плотно сесть в седло, следовательно, герметичность форсунки нарушается. Это приводит к перебоям при запуске двигателя, так как давление в топливной магистрали снижается. Смолистые отложения засоряют сопло форсунки. В результате количество топлива, выброшенного форсункой в каждый рабочий акт, уменьшается.

Также изменяется форма распыла форсунки. Распылитель имеет свои нормы и допуски. Твёрдые загрязнения приводят к образованию факела неправильной формы, появляются подтёки топлива. Часто отложения образуются интенсивнее на отдельных форсунках, при этом нагрузка на более «чистые» увеличивается.

Наиболее распространенная неисправность электромагнитных форсунок – их загрязнение. Форсунки – самые теплонагруженные детали топливной подсистемы, а значит, они являются основными объектами накопления смолистых отложений.

Основные признаки загрязнения форсунок:

- затруднённый пуск двигателя;
- остановка двигателя;
- неустойчивая работа двигателя на холостом ходу и переходных режимах;
- «провалы» при резком нажатии на педаль газа;
- ухудшение динамики разгона двигателя и потеря мощности;
- увеличение расхода топлива;
- появление детонации при разгоне вследствие обеднения смеси и повышения температуры в камере сгорания;
- пропуски искрообразования;
- хлопки в выпускной системе;
- быстрый выход из строя свечей зажигания, кислородного датчика (λ -зонда) и каталитического нейтрализатора ОГ;

– повышение токсичности отработавших газов (СО и СН).

Загрязнение форсунок становится особенно заметно с наступлением холодов. Когда испаряемость топлива ухудшается, появляются проблемы с пуском холодного двигателя.

Существует несколько методов диагностирования работоспособности электромагнитных форсунок. Все они делятся на две основные группы: без демонтажа и с демонтажем.

1. Диагностирование форсунок без демонтажа

Эта группа проверки работоспособности электрофорсунки предусматривает контроль по следующим критериям:

– сопротивление обмотки возбуждения – этот параметр необходим для определения состояния управляющей обмотки форсунки на предмет выявления обрыва или межвиткового замыкания в электрической цепи обмотки;

– шум работы форсунки – подобный контроль производится стетоскопом на слух и необходим для косвенного определения степени загрязненности форсунки. Чем меньше слышны стуки (щелчки) работы клапана форсунки, тем выше степень загрязнения её подвижных частей.

2. Диагностирование форсунок с их демонтажем

Критерии работоспособности второй группы, контролируемые при стендовых испытаниях снятых с двигателя форсунок:

– **производительность** – характеризует способность пропускать заданное количество топлива при номинальном его давлении на входе в форсунку;

– **угол факела распыла** и дисперсия частиц топлива – характеризуется диаметром распределённых частиц по факелу распыленного топлива;

– **герметичность** – обеспечивает способность удерживать топливо от просачивания между сопряженными поверхностями при заданном давлении топлива.

Устройство и функциональные возможности стенда SMC-3002E для диагностирования и ультразвуковой очистки электромагнитных форсунок

Стенд *SMC-3002E* (рис. 2.71) предназначен для ультразвуковой очистки и тестирования одновременно до 12 форсунок (шесть – в режиме очистки и шесть – в режиме тестового диагностирования). Стендом управляют со встроенной панели управления (рис. 2.72). При этом стенд обеспечивает имитацию любых режимов работы двигателя и автоматически контролирует все проводимые тесты благодаря современному процессору, встроенному в его электронную схему.

Стенд позволяет проводить следующие работы:

- очистку электромагнитных форсунок;
- проверку форсунок на герметичность;
- оценку производительности и качества распыления топлива;
- диагностирование электрической части форсунки (определение рабочего напряжения форсунок, наличие короткого замыкания, обрыва в цепи обмотки катушки).



Рис. 2.71. Стенд для испытания и промывки форсунок SMC-3002E: 1 – обратный штуцер; 2 – бак для чистящей жидкости; 3 – мерные колбы; 4 – разъёмы подключения к форсункам; 5 – подсветка; 6 – быстроразъёмные соединения; 7 – панель управления; 8 – ванна ультразвуковой очистки форсунок



Рис. 2.72. Панель управления стенда SMC-3002E:
 1 – кнопка выбора программ; 2 – кнопка перелистывания программ; 3 – кнопка выбора канала, по которому подается управляющий сигнал; 4 – индикатор частоты вращения и номера теста форсунок; 5 – индикатор времени тестирования и номера программы; 6 – светодиодные индикаторы состояния процесса; 7 – манометр; 8 – регулятор давления; 9 – кнопка включения/выключения насоса; 10 – кнопка запуска теста; 11 – кнопка запуска выбранной программы; 12 – кнопка сброса всех текущих процессов и программ; 13 – кнопка включения подсветки; 14 – кнопка ввода (подтверждения) программы

Порядок выполнения работы

1. Изучить принцип функционирования, классификацию и характеристики форсунок, предоставленных преподавателем.
2. Ознакомиться с устройством и функциональными возможностями стенда SMC-3002E.
3. Изучить меры безопасности и предосторожности при диагностировании и очистке форсунок в ультразвуковой ванне.
4. Проанализировать последовательность выполнения всех технологических операций на стенде в соответствии с руководством по его эксплуатации.

5. На форсунках, бывших в эксплуатации, замерить сопротивление обмоток катушек.
6. Установить форсунки на стенд.
7. Провести полный цикл тестирования форсунок на всех возможных режимах.
8. Определить техническое состояние испытанных форсунок по результатам проведенного комплексного гидравлического теста, сравнив полученные параметры с нормативными значениями.
9. При необходимости очистить комплект форсунок в ультразвуковой ванне.
10. Повторно провести тестирование очищенных форсунок на одном выбранном режиме.
11. По полученным результатам оценить эффективность очистки.
12. Проанализировать полученные результаты и оформить отчет.

Контрольные вопросы

1. Опишите принцип действия электромагнитных форсунок.
2. Что понимается под характеристикой форсунки?
3. Под каким давлением находится топливо во внутренней полости форсунки?
4. Опишите электрическую схему подключения форсунок к электронному блоку управления.
5. Объясните несовпадение времени начала и окончания действия управляющего электрического импульса и времени начала и окончания процесса впрыска.
6. Объясните характер протекания тока через обмотку катушки форсунки при подаче управляющего импульса.
7. Как определяется цикловая подача форсунки?
8. Каким образом можно провести диагностирование форсунок без демонтажа с двигателя?
9. Опишите устройство стенда диагностирования и ультразвуковой очистки электромагнитных форсунок и его возможности.
10. Проанализируйте полученную характеристику конкретной форсунки.
11. Дайте сравнительный анализ конструкций форсунок различных типов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Используя многолетний опыт работы, авторы в лабораторном практикуме постарались осветить основные вопросы испытания и диагностики автомобильных и тракторных двигателей, а также их узлов и компонентов. Однако эти вопросы настолько обширны и многогранны, что изложить их все в рамках одного издания невозможно. Кроме того, изучить все аспекты в этой области за учебным столом не представляется возможным. Для становления специалиста необходима практика, практика и еще раз практика, естественно, в совокупности с теорией.

Авторы очень надеются, что для студентов этот лабораторный практикум станет первым шагом в практической деятельности и вдохновит их на дальнейшее приобретение профессиональных знаний, умений и навыков.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ*

1. ГОСТ 14846-81. Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний. – М. : Изд-во стандартов, 1982. – 42 с.
2. ГОСТ 18509-88. Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний. – М. : Госстандарт, 1983. – 77 с.
3. ГОСТ Р 41.96-99. Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения двигателей с воспламенением от сжатия для установки на сельскохозяйственных и лесных тракторах в отношении выброса загрязняющих веществ этими двигателями. – М. : Госстандарт, 1999. – 62 с.
4. ГОСТ 24028-2013. Двигатели внутреннего сгорания поршневые. Дымность отработавших газов. Нормы и методы определения. – М. : Стандартинформ, 2014. – 15 с.

*Приводится в авторской редакции.

5. Автомобильный справочник : пер. с англ. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : За рулем, 2012. – 1280 с.

6. Селиванов, Н. И. Испытания автотракторных двигателей : учеб. пособие / Н. И. Селиванов. – Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2014. – 220 с.

7. Салмин, В. В. Автомобильные двигатели : практикум / В. В. Салмин, Р. Н. Москвин, В. В. Борсук. – Пенза : Пензен. гос. ун-т архитектуры и строительства, 2013. – 144 с.

8. Новое семейство бензиновых двигателей EA211 (материал по программе самообучения VAG № 511). – М. : ФОЛЬКСВАГЕН Групп Рус, 2013. – 64 с.

9. Драгомиров, С. Г. Лабораторный практикум по курсу «Системы электронного управления автомобильными двигателями» / С. Г. Драгомиров, П. В. Абрамов. – Владимир : Ред.-издат. комплекс ВлГУ, 2004. – 98 с.

10. Ютт, В. Е. Электронные системы управления ДВС и методы их диагностирования : учеб. пособие для вузов / В. Е. Ютт, Г. Е. Рузавин. – М. : Горячая линия-Телеком, 2007. – 104 с.

11. Системы управления бензиновыми двигателями : пер. с нем. – 1-е рус. изд. – М. : За рулем, 2005. – 432 с.

12. Диагностика и обслуживание электромагнитных форсунок бензиновых ДВС : метод. указания к лаб. работе по курсам: «Эксплуатация наземных транспортно-технологических средств»; «Основы диагностики наземных транспортно-технологических средств» / сост.: М. В. Григорьев, А. А. Далидович. – М. : МАДИ, 2018. – 52 с.

13. Яковлев, В. Ф. Диагностика электронных систем управления автомобильными двигателями : учеб. пособие / В. Ф. Яковлев. – Самара : Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 122 с.

14. Журавский, Б. В. Устройство, функционирование и диагностирование электронной системы управления бензинового двигателя [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Б. В. Журавский, Л. Н. Тышкевич ; Каф. эксплуатации и ремонта автомобилей. – Омск : СибАДИ, 2017. – 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). – Загл. с этикетки диска. – ISBN 978-5-93204-974-1.

15. Иванов, А. К. Диагностика двигателей. Лабораторный практикум на диагностическом комплексе FSA 740 : учеб. пособие / А. К. Иванов. – СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2011. – 30 с.

16. Системы питания двигателей внутреннего сгорания : метод. указания к лаб. и практ. работам по профилю подгот. «Двигатели внутреннего сгорания» / сост. Ю. П. Макушев. – Омск : СибАДИ, 2012.

17. Диагностика двигателя. Датчики электронной системы управления двигателем : метод. указания / сост.: Е. А. Салыкин, Д. С. Березюков, В. А. Семенов. – Волгоград : ИУНЛ ВолгГТУ, 2011. – 24 с.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мигаль, В. Д. Автомобильные двигатели внутреннего сгорания. Параметры и системы управления : учеб. пособие / В. Д. Мигаль. – Харьков : Майдан, 2016. – 320 с.

2. Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей : учеб. пособие. В 3 т. Т. 1. Объекты и методы диагностирования / В. Д. Мигаль. – Харьков : Майдан, 2014. – 459 с.

3. Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей : учеб. пособие. В 3 т. Т. 2. Неисправности, параметры и средства диагностики / В. Д. Мигаль. – Харьков : Майдан, 2014. – 403 с.

4. Мигаль, В. Д. Техническая диагностика автомобильных двигателей : учеб. пособие. В 3 т. Т. 3. Практические основы диагностирования / В. Д. Мигаль. – Харьков : Майдан, 2014. – 444 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

Определения основных показателей двигателей в соответствии со стандартами Российской Федерации

1. В соответствии с ГОСТ 14846-81 «Двигатели автомобильные. Методы стендовых испытаний» приняты следующие определения и обозначения основных показателей работы автомобильных двигателей.

Мощность нетто N_n – эффективная мощность, снятая с коленчатого вала двигателя, изготовленного, отрегулированного и обкатанного в соответствии с технической документацией, при полностью открытом дросселе у двигателя с искровым зажиганием и при полной подаче топлива у дизеля с укомплектованностью по обязательному перечню серийным оборудованием, их обслуживающим.

Мощность брутто N_b – эффективная мощность, снятая с коленчатого вала двигателя без установки серийного оборудования, его обслуживающего.

Номинальная мощность нетто $N_{ном.н}$ – установленная техническими условиями на двигатель мощность нетто при работе двигателя с номинальной частотой вращения.

Номинальная мощность брутто $N_{ном.б}$ – установленная техническими условиями на двигатель мощность брутто при работе двигателя с номинальной частотой вращения.

Номинальная частота вращения n_n – частота вращения коленчатого вала, установленная техническими условиями на двигатель для номинальной мощности.

Минимальная рабочая частота вращения n_{min} – наименьшая частота вращения коленчатого вала при полностью открытом дросселе (полной подаче топлива), при которой двигатель работает устойчиво не менее 10 мин.

Максимальная рабочая частота вращения n_{max} – наибольшая частота вращения коленчатого вала при полностью открытом дросселе (полной подаче топлива), установленная в технических условиях на двигатель.

2. В соответствии с ГОСТ 18509-88 «Дизели тракторные и комбайновые. Методы стендовых испытаний» приняты следующие опре-

деления и обозначения основных показателей работы тракторных и комбайновых дизелей.

Номинальная мощность N_n – назначаемая предприятием-изготовителем эффективная мощность дизеля при номинальной частоте вращения, полной подаче топлива и стандартных атмосферных условиях, температуре и плотности топлива; дизель, установленный на испытательном стенде, должен быть без вентилятора, воздухоочистителя, глушителей шума впуска и выпуска, искрогасителя, выпускной трубы и нейтрализатора отработавших газов, а также без оборудования, потребляющего мощность дизеля, но его не обслуживающего.

Эксплуатационная мощность $N_{еэ}$ – назначаемая предприятием-изготовителем эффективная мощность дизеля при номинальной частоте вращения, полной подаче топлива и стандартных атмосферных условиях, температуре и плотности топлива; дизель, установленный на испытательном стенде, должен быть укомплектован всем оборудованием, его обслуживающим, независимо от того, установлено оно на дизеле или на тракторе, или комбайне, для которого этот дизель предназначен; оборудование, не обслуживающее дизель, но потребляющее его мощность, должно быть отключено или снято, а в том случае, если это не предусмотрено конструкцией, должно работать без нагрузки.

Максимальная мощность $N_{еmax}$ – наибольшее значение эффективной мощности установленного на испытательном стенде дизеля, снятое при полной подаче топлива.

Предельная мощность $N_{епр}$ – наибольшее значение эффективной мощности установленного на испытательном стенде дизеля, снятое при безотказной работе в течение 15 мин при постоянной частоте вращения со стабильными мощностью и расходом топлива. При определении $N_{епр}$ дизель должен иметь такую же комплектацию, как при определении $N_{ен}$. Регулятор частоты вращения и ограничитель подачи топлива должны быть сняты или отключены.

Мощность нетто N_e^{Net} – эффективная мощность установленного на испытательном стенде дизеля, снятая при полной подаче топлива; дизель, установленный на испытательном стенде, должен быть укомплектован только оборудованием, его обслуживающим (в том числе радиатором системы охлаждения). Мощность нетто при давлении су-

ного воздуха 99 кПа и температуре окружающего воздуха 20 °С называется приведенной мощностью нетто N_e^{Net} .

Максимальная мощность нетто $N_e^{\text{Net max}}$ – наибольшее значение мощности нетто, полученное во время испытаний.

Номинальная частота вращения n_n – частота вращения коленчатого вала дизеля, при которой предприятием-изготовителем назначаются номинальная и эксплуатационная мощности.

Расход масла на угар m_y – масса масла, безвозвратно расходуемого дизелем за единицу времени и удаляемого из цилиндров вместе с отработавшими газами и продувочным воздухом.

3. Для автотракторных двигателей всех типов общепринятыми являются следующие определения.

Максимальная частота вращения холостого хода $n_{x.x.max}$ – наибольшая частота вращения холостого хода, установленная в технических условиях на двигатель.

Минимальная частота вращения холостого хода $n_{x.x.min}$ – минимальная частота вращения холостого хода, установленная в технических условиях на двигатель и обеспечивающая устойчивую работу двигателя на холостом ходу не менее 10 мин.

Частота вращения n_m – частота вращения, при которой двигатель развивает максимальный крутящий момент M_{kmax} , установленный техническими условиями.

Расход топлива G_T – масса топлива, расходуемого двигателем за единицу времени на заданном режиме.

Удельный расход топлива g_e – масса топлива, расходуемого двигателем за единицу времени, отнесенная к соответствующей мощности, развиваемой двигателем.

Крутящий момент M_k – средний за цикл момент, передаваемый от коленчатого вала двигателя силовой передаче машины.

Образцы протоколов для записи результатов испытаний двигателей

При испытаниях бензиновых двигателей используется следующая форма протокола.

Протокол испытаний №																									
Дата:		Топливо:					Двигатель:																		
Описание испытаний (характеристики):		$iVh=$ дм ³					Впускная система:																		
		$V_0=$ мм рт ст					Свечи:																		
							Испытания пров.:																		
n , мин ⁻¹	$M_{кв}$, Н·м	Топливо			Положение дросселя		Масло		Температура, °С			Компоненты ОГ ДО нейтрализатора					Компоненты ОГ ПОСЛЕ нейтрализатора					θ_3 , °П.К.В.	G_B , кг/ч		
		Δg_T г	t_T с	p_T кг/см	$\Delta p_{рес}$ дел.	$\Phi_{др1}$ %	p_M кг/см ²	t_M °С	t_B	$t_{ож}$	$t_{ог}$	CO %	CH ч.н.м.	CO ₂ %	O ₂ %	NO _x ч.н.м.	CO %	CH ч.н.м.	CO ₂ %	O ₂ %	NO _x ч.н.м.				

При испытаниях дизелей используется иная форма протокола для записи результатов испытаний.

Протокол испытаний №																									
Дата:		Топливо:					Двигатель:																		
Описание испытаний (характеристики):		$iVh=$ дм ³					Распылитель форсунки:																		
		$V_0=$ мм рт ст					Угол опережения впрыска:																		
							Толщина шайбы под форсунку:																		
							Выступление форсунки:																		
							Испытания пров.:																		
n , мин ⁻¹	$P_{вес}$, кгс·м	Топливо			Масло		Температура, °С			Компоненты ОГ						G_B , кг/ч									
		Δg_T г	t_T с	p_T кг/см ²	p_M кг/см ²	t_M °С	t_B	$t_{ож}$	$t_{ог}$	CO %	CH ч.н.м.	CO ₂ %	Дымность % м ⁻¹	NO _x ч.н.м.	O ₂ %										

Основные термины и определения теории рабочих процессов поршневых двигателей

Действительный цикл поршневого двигателя внутреннего сгорания – совокупность периодически повторяющихся тепловых, химических и газодинамических процессов, в результате которых термохимическая энергия топлива преобразуется в механическую работу.

Индикаторная мощность N_i – мощность, развиваемая газами в цилиндре двигателя,

$$N_i = L_i/\tau,$$

где L_i – индикаторная работа за цикл; τ – продолжительность одного рабочего цикла.

Среднее индикаторное давление P_i – условное, постоянное по величине избыточное давление, которое, действуя на поршень в течение одного хода, совершает работу, равную индикаторной работе L_i газов за весь цикл,

$$L_i = P_i F S,$$

где F – площадь поршня; S – ход поршня.

Среднее эффективное давление P_e – условное, постоянное по величине избыточное давление, которое, действуя на поршень в течение одного хода, совершает работу, равную эффективной работе L_e газов за весь цикл,

$$L_e = P_e F S,$$

где F – площадь поршня; S – ход поршня.

Среднее эффективное давление P_e представляет собой часть индикаторного давления P_i , соответствующую эффективной работе двигателя.

Среднее давление механических потерь p_m – условная величина; представляет собой часть среднего индикаторного давления P_i , соответствует работе, необходимой для преодоления механических потерь в двигателе.

Эффективная работа L_e – работа, получаемая практически на коленчатом валу двигателя.

Коэффициент избытка воздуха α – отношение действительного количества воздуха, находящегося в топливовоздушной смеси, к

тому его количеству, которое теоретически необходимо для полного сгорания имеющегося в ней топлива,

$$\alpha = G_B / l_0 G_T,$$

где G_B – количество воздуха (часовой расход воздуха), действительно поступившего в двигатель; l_0 – количество воздуха, теоретически необходимого для сгорания 1 кг топлива (кг возд./кг топл.); G_T – количество топлива (часовой расход топлива), потребляемого двигателем.

Коэффициент избытка воздуха α не тождествен принятому в зарубежной литературе коэффициенту λ , т. е. $\alpha \neq \lambda$. По определению λ – это отношение количества воздуха, фактически потребляемого двигателем, отнесенное к 1 кг топлива, поступающего в двигатель: $\lambda = G_B / G_T$. Величина λ дается в виде дроби, например $\lambda = 16:1$ или $\lambda = 12,5:1$. Для бензинового двигателя стехиометрический состав смеси выразится так: $\lambda = 15,1:1$, в то время как в отечественной литературе это выражается как $\alpha = 1,0$.

Коэффициент наполнения η_v – отношение количества воздуха, действительно поступившего в цилиндры двигателя, к тому его количеству, которое бы теоретически могло разместиться в рабочем объеме двигателя при данных условиях на впуске (температуре и давлении):

$$\eta_v = G_{в.дейст} / G_{в.теор},$$

где $G_{в.дейст}$ – количество воздуха (часовой расход воздуха), действительно поступившего в двигатель; $G_{в.теор}$ – количество воздуха, которое бы теоретически могло разместиться в рабочем объеме двигателя, $G_{в.теор} = iV_h\rho$, где i – число цилиндров двигателя; V_h – рабочий объем одного цилиндра; ρ – плотность воздуха на впуске при реальных давлении (P_0 или P_k) и температуре (T_0 или T_k).

Коэффициент наполнения η_v – относительная величина и не характеризует массовое наполнение цилиндров.

**Параметры и показатели двигателей, установленных
на моторных стендах кафедры ТДиЭУ**

Основные показатели и параметры автомобильного двигателя ВАЗ-21114*

Параметр	Единица измерения	Значение
Количество цилиндров и их расположение	шт.	4, рядное
Ход поршня/диаметр цилиндра	мм	75,6/82
Рабочий объем двигателя	см ³	1600
Количество клапанов на цилиндр	шт.	2
Степень сжатия	–	9,8
Номинальная частота вращения	мин ⁻¹	5200
Номинальная мощность по ГОСТ 14846-81, нетто	кВт (л. с.)	59 (80,3)
Максимальный крутящий момент по ГОСТ 14846-81, нетто (при частоте вращения вала)	Н·м (мин ⁻¹)	120 (2700...2900)
Штатная система нейтрализации ОГ, экологический класс	–	3-компонентный КН, Евро-4

*Четырехтактный двигатель жидкостного охлаждения с распределенным впрыском бензина.

Основные показатели и параметры дизеля ТМЗ-520Д*

Параметр	Единица измерения	Значение
Количество цилиндров и их расположение	шт.	1, наклонное (под углом 30° к горизонтали)
Тип охлаждения двигателя	–	Воздушное
Ход поршня/диаметр цилиндра	мм	92/85
Рабочий объем двигателя	см ³	520
Количество клапанов	шт.	2
Степень сжатия	–	(21,5±1,0)
Номинальная частота вращения	мин ⁻¹	3600
Номинальная мощность, нетто	кВт (л. с.)	9,5 (13,0)
Максимальный крутящий момент, нетто (при частоте вращения вала)	Н·м (мин ⁻¹)	26,5 (2500)
Штатная система нейтрализации ОГ	–	–

*Четырехтактный дизель воздушного охлаждения многоцелевого назначения.

Основные показатели и параметры автомобильного дизеля ЗМЗ-51432*

Параметр	Единица измерения	Значение
Количество цилиндров и их расположение	шт.	4, рядное
Тип охлаждения двигателя	–	Жидкостное
Ход поршня/диаметр цилиндра	мм	94/87
Рабочий объем двигателя	см ³	2235
Количество клапанов на цилиндр	шт.	4
Степень сжатия	–	19,0
Номинальная частота вращения	мин ⁻¹	3800
Номинальная мощность, нетто	кВт (л. с.)	81 (110)
Максимальный крутящий момент, нетто (при частоте вращения вала)	Н·м (мин ⁻¹)	270 (1300...2800)
Штатная система нейтрализации ОГ, экологический класс	–	3-компонентный КН, Евро-4

*С непосредственным впрыском топлива, системой CR, турбонаддувом и промежуточным охлаждением наддувочного воздуха, с рециркуляцией ОГ.

Основные показатели и параметры тракторного дизеля Д-144*

Параметр	Единица измерения	Значение
Количество цилиндров и их расположение	шт.	4, рядное
Тип охлаждения двигателя	–	Воздушное
Ход поршня/диаметр цилиндра	мм	120/105
Рабочий объем двигателя	см ³	4150
Количество клапанов на цилиндр	шт.	2
Степень сжатия	–	16,7
Номинальная частота вращения	мин ⁻¹	1500
Номинальная мощность, нетто	кВт (л. с.)	27,2 (37,0)
Максимальный крутящий момент, нетто (при частоте вращения вала)	Н·м (мин ⁻¹)	192 (1300)
Штатная система нейтрализации ОГ	–	–

*С непосредственным впрыском топлива, механической системой управления топливоподачей (ТНВД).

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ

M_k – крутящий момент двигателя, Н · м

n – частота вращения вала, мин⁻¹

G_T, G_B – расходы топлива и воздуха, кг/ч

B_0 – атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)

P_k – давление наддува, кПа (МПа)

P_M – давление масла в системе смазки, кПа (МПа)

t_0 – температура окружающего воздуха, °С

$t_{o.ж}, t_M$ – температура охлаждающей жидкости и масла, °С

$t_{o.г}$ – температура отработавших газов, °С

δ_0 – относительная влажность воздуха, %

τ_T – время расхода заданной мерной дозы топлива, с

τ – тактность двигателя (2 – для двухтактного и 4 – для четырехтактного)

δ – относительная погрешность измерения, %

P_e – среднее эффективное давление, МПа

i – число цилиндров

V_h – рабочий объем цилиндра, л

ΔG_T – заданная мерная доза топлива, г

g_e – удельный эффективный расход топлива, г/(кВт · ч)

α – коэффициент избытка воздуха

l_0 – количество воздуха, теоретически необходимого для полного сгорания 1 кг топлива, кг возд./кг топл.

η_v – коэффициент наполнения

n_{\min} – минимальная частота вращения вала, мин⁻¹

$n_{\text{ном}}$ – номинальная частота вращения вала, мин⁻¹

$n_{x.x.\min}$ – минимальная частота вращения вала на холостом ходу, мин⁻¹

$n_{x.x.\max}$ – максимальная частота вращения вала на холостом ходу, мин⁻¹

Δp – разрежение во впускном трубопроводе, кПа (мм рт. ст.)
 $\varphi_{др}$ – угловое положение дроссельной заслонки, град
 N_e – эффективная мощность двигателя, кВт
 $N_{e\max}$ – максимальная мощность двигателя, кВт
 $g_{ц}$ – цикловая подача топлива, мг/цикл
 θ – угол опережения впрыска топлива в дизелях, °п.к.в. (градусов поворота коленчатого вала)
 N_t – потери мощности на трение, кВт
 N_i – индикаторная мощность двигателя, кВт
 P_i – среднее индикаторное давление, МПа
 p_m – среднее давление механических потерь, МПа
АКБ – аккумуляторная батарея
ВМТ и НМТ – верхняя и нижняя мертвые точки
ВСХ – внешняя скоростная характеристика
ГУР – гидравлический усилитель рулевого управления
ДМРВ – датчик массового расхода воздуха
ДПДЗ – датчик положения дроссельной заслонки
ДПКВ – датчики положения коленчатого вала
ДПРВ – датчик положения распределительного вала
ДТОЖ – датчик температуры охлаждающей жидкости
КПД – коэффициент полезного действия
КН – каталитический нейтрализатор
МПЧЭ – металлополимерный чувствительный элемент
ОГ – отработавшие газы
ОЖ – охлаждающая жидкость
СТД – средства технического диагностирования
СТО – станция технического обслуживания
ТВС – топливовоздушная смесь
ТНВД – топливный насос высокого давления

ТКС – температурный коэффициент сопротивления

ТО – техническое обслуживание

УЗСК – угол замкнутого состояния контактов

УОЗ – угол опережения зажигания

ЦПГ – цилиндропоршневая группа

ЧСХ – частичная скоростная характеристика

ЭДС – электродвижущая сила

СО – оксид углерода

СН – углеводороды

NO_x – оксиды азота

СО₂ – диоксид углерода

CR – система *Common Rail*

Учебное издание

ДРАГОМИРОВ Сергей Григорьевич
ШАРАПОВ Александр Минахбетович

СТЕНДОВЫЕ ИСПЫТАНИЯ И ДИАГНОСТИКА
АВТОМОБИЛЬНЫХ И ТРАКТОРНЫХ ПОРШНЕВЫХ
ДВИГАТЕЛЕЙ

Лабораторный практикум

Редактор Е. А. Лебедева
Технический редактор Ш. В. Абдуллаев
Корректор Н. В. Пустовойтова
Компьютерная верстка Е. А. Кузьминой
Выпускающий редактор А. А. Амирсейидова

Подписано в печать 24.12.2021.
Формат 60 × 84/16. Усл. печ. л. 12,79. Тираж 50 экз.

Заказ

Издательство

Владимирского государственного университета
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых.
600000, Владимир, ул. Горького, 87.