BOSCH

Автомобильная Техника

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

УЗЛЫ И АГРЕГАТЫ

Первое издание

издательство За рулем

Robert Bosch GmbH

Ottomotor-Management

2.
vollständig überarbeitete
und erweiterte Auflage

BOSCH

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

Первое издание

Перевод с немецкого

издательство За рулем
http://knigi.zr.ru

ОК 005-93, т. 2; 953750
УДК 621.4: 629.113.01
ББК 39.35
С40

Главный редактор Михаил Бирюков
Ведущий редактор Виктор Маслов
Перевод Наталья Панкратова
Рецензенты Георгий Дугин
Анатолий Ревонченков

Системы управления бензиновыми двигателями. Перевод с немецкого.
С40 Первое русское издание. — М.: ООО «Книжное издательство «За рулем», 2005. — 432 с.: ил.

ISBN 5-9698-0025-2

Книга содержит подробные описания систем управления бензиновым двигателем, дает представление о методах их диагностики, а также о способах снижения токсичности отработавших газов. Многие разделы сопровождаются историческими сведениями. Подробный предметный указатель и список сокращений делают это издание хорошим справочным пособием для всех, кто интересуется устройством и работой систем управления двигателей с искровым зажиганием.

Издание адресовано инженерам-двигателистам, работникам транспортных предприятий и станций технического обслуживания, преподавателям и студентам технических учебных заведений.

Редакция и/или издатель не несут ответственности за несчастные случаи, травматизм и повреждения техники, произошедшие в результате использования данного руководства, а также за изменения, внесенные в конструкцию заводом-изготовителем.

Воспроизведение в любой форме настоящего издания или любой его части запрещается без предварительного разрешения обладателя авторских прав.

УДК 621.4: 629.113.01
ББК 39.35

Ottomotor-Management
© Robert Bosch GmbH, 2003 P.O. Box 10 60 50, D-70049 Stuttgart, Federal Republic of Germany
© ООО «Книжное издательство «За рулем», перевод на русский язык, 2005

ISBN 5-9698-0025-2 (рус.)
ISBN 3-528-13877-7 (нем.)

Предисловие

Николаус Август Отто разработал четырехтактный двигатель внутреннего сгорания (ДВС) с искровым зажиганием, пригодный для использования на первых автомобилях конца XIX столетия. Вскоре этот двигатель начал свое триумфальное шествие, сделав возможным широкое распространение автомобилей. Установленные на современных автомобилях бензиновые ДВС (с искровым зажиганием) работают по тому же принципу и носят имя своего изобретателя.

В начале автомобильной эры появилась проблема, связанная с зажиганием рабочей смеси. Решить ее удалось Роберту Бошу, когда он усовершенствовал используемое Отто для стационарных двигателей инерционное магнитоэлектрическое импульсное зажигание. Было разработано зажигание от магнето, благодаря чему двигатель с искровым зажиганием смог работать с большей частотой вращения коленчатого вала. Это позволило выполнить требования, предъявляемые к автомобильным двигателям. Разработанные также на фирме Bosch высоковольтное зажигание от магнето со свечой зажигания («отметившей» в 2002 г. столетний юбилей) и батарейное зажигание отвечали возросшим требованиям и обеспечивали надежное воспламенение топливовоздушной (рабочей) смеси.

Начиная с 70-х годов XX века назрела необходимость дальнейших усовершенствований в области моторостроения, прежде всего по причине все более строгого законодательства в отношении токсичности отработавших газов (ОГ). Важную роль в стремлении повысить мощность и комфорт и уменьшить выбросы вредных веществ начала играть электроника. Фирмой Bosch были разработаны системы, соответствовавшие новым требованиям. Важное значение имело внедрение систем впрыска, а также усовершенствованного зажигания, которые были объединены в новую систему управления двигателем Motronic. В эту систему постоянно вводились все новые и новые подсистемы, например электронное управление дроссельной заслонкой (EGAS). Расширение функций системы Motronic для управления двигателем с искровым зажиганием с непосредственным впрыском топлива в камеру сгорания представляло собой очередной серьезный технический прорыв фирмы Bosch.

В этой книге объединены выпуски серии «Знание: автомобильная техника». Описаны конструкции различных систем управления двигателем и принципы их работы, а также работы их компонентов. В ретроспективном обзоре также рассмотрены прежние системы управления двигателем, различные системы впрыска и зажигания, которые все еще встречаются на старых автомобилях.

Еще одной темой этой книги является законодательство по ограничению токсичности отработавших газов (ОГ), оказывающее значительное влияние на функционирование систем Motronic. Эта глава дает представление о комплексности и сложности предписаний, зафиксированных в законодательстве.

До момента применения системы Motronic на автомобиле, необходимы серьезные затраты на ее разработку. Поэтому одна из глав книги описывает путь создания таких систем на фирме Bosch вплоть до их серийного производства.

Подробное содержание, а также перечень ключевых слов и сокращений делают эту книгу идеальным справочником по теме «Управление бензиновыми двигателями».

Содержание

История автомобилестроения 10
История создания автомобиля 10
Пионеры автомобилестроения 12
Дело жизни Роберта Боша 14
Общее устройство двигателей с искровым зажиганием 16
Принцип действия 16
Детонационное сгорание 20
Крутящий момент и мощность 23
КПД двигателя 24
Удельный расход топлива 26
Виды топлива для двигателей с искровым зажиганием 28
Управление работой двигателя с искровым зажиганием 34
Технические требования 34
Управление наполнением цилиндров 36
Приготовление рабочей смеси 39
Зажигание 42
История создания систем управления двигателем с искровым зажиганием 45
Общий обзор 45
Механические системы 46
Электронные системы 47
Система управления двигателем Motronic 50
Системы управления наполнением цилиндров зарядом рабочей смеси 51
Управление наполнением цилиндров зарядом воздуха 51
Регулируемые фазы газораспределения 53
Управляемое движение заряда 56
Рециркуляция ОГ 57
Динамический наддув 58
Механический наддув 61
Турбонаддув 63
Охлаждение наддувочного воздуха 66
Обзор систем впрыска топлива 67
Обзор 67
История разработки систем смесеобразования 69
Развитие систем впрыска топлива 77
Система D-Jetronic 77
Система K-Jetronic 83
Система KE-Jetronic 93
Система L-Jetronic 95
Система Mono-Jetronic 110
Подача топлива 132
Обзор 132
Подача топлива в системах с впрыском во впускной трубопровод 132
Подача топлива в системах с непосредственным впрыском 134
Система улавливания и рециркуляции испарений топлива 135
Топливный электроприводный насос 137
Топливный фильтр 139
Топливная рейка 140
Регулятор давления топлива 141
Демпфер давления топлива 141
Топливный бак 143
Топливопроводы 143
Впрыскивание топлива во впускной трубопровод 144
Обзор 144
Принцип действия 144
Электромагнитные форсунки 145
Виды впрыскивания топлива 148
Непосредственное впрыскивание топлива 150
Обзор 150
Принцип работы 150
Топливная рейка 151
Насос высокого давления 152
Клапан регулировки давления 154
Форсунка высокого давления 154
Процесс сгорания 157
Подготовка рабочей смеси 158
Условия работы 159
Обзор систем зажигания 162
Обзор 162
У истоков создания системы зажигания 164
Развитие батарейных систем зажигания 173
Индуктивная система зажигания ...181
Конструкция 181
Принцип работы 182
Области применения 182
Задающий каскад зажигания 183
Катушка зажигания 183

Распределение напряжения 184
Свеча зажигания 186
Соединительные и противопомеховые средства 187
Напряжение зажигания 187
Энергия зажигания 188
Момент зажигания 190
Катушки зажигания 191
Функции 191
Требования 192
Базовая конструкция и принцип работы 192
Варианты исполнения 197
Электронные катушки зажигания 203
Электрические параметры 205
Разработка катушек с использованием методов моделирования 207
Производство катушек зажигания 208
Свечи зажигания 209
Функции 209
Применение 210
Требования 211
Конструкция 212
Материалы электродов 215
Типы свечей зажигания 216
Зазор между электродами 217
Положение искры 218
Диапазоны рабочих температур свечи 219
зажигания 219
Выбор свечей зажигания 221
Характеристики свечей зажигания 225
Варианты исполнения 227
Маркировочные коды свечей зажигания 233
Разработка свечей зажигания на базе методов моделирования 233
Изготовление свечей зажигания 235
Система управления двигателем Motronic 238
Обзор системы 238
Система M-Motronic 244
Система ME-Motronic 252
Система MED-Motronic 257
Датчики 263
Применение на автомобилях 263
Датчики температуры 265
Датчик уровня топлива в топливном баке 266
Расходомер с потенциометром 267
Датчик положения дроссельной заслонки 268
Датчик положения педали газа 269
Фазный датчик Холла 271
Индуктивный датчик для системы транзисторного зажигания 273
Датчик Холла в транзисторной системе зажигания 274
Индуктивный датчик частоты вращения коленчатого вала 275
Пьезоэлектрический датчик детонации двигателя 276
Микромеханические датчики давления 277
Толстопленочные датчики давления 280
Датчики высокого давления 281
Датчик скоростного напора (массового расхода) воздуха LMM ...283
Термоанемометрический расходомер воздуха с горячей проволокой HLM 286
Термопленочный датчик массового расхода воздуха HFM2 287
Термопленочный датчик массового расхода воздуха HFM5 288
Двухступенчатый лямбда-зонд (датчик концентрации кислорода) ...290
Планарный широкополосный лямбда-зонд LSU4 294
Электронный блок управления 296
Условия работы 296
Конструкция 296
Обработка данных 296
Электронное управление и регулирование 303
Обзор 303
Подсистемы и основные функции ...304
Электронная диагностика 314
Самодиагностика 314
Система бортовой диагностики (OBD) 317
Система OBD: общие требования 318
Система OBD: управление системой диагностики (DSM) 320
Система OBD: диагностика отдельных узлов 322
Обмен данными между электронными системами автомобиля 336
Обзор системы 336
Последовательная передача данных с помощью шины CAN 336
Перспективы 341

Эмиссия отработавших газов 342
Обзор 342
Основные компоненты эмиссии 343
Побочные продукты сгорания 344
Факторы, влияющие на эмиссию вредных веществ 346
Снижение эмиссии вредных веществ 350
Обзор 350
Добавочная термическая обработка 350
Каталитическая очистка отработавших газов 352
Обзор 352
Окислительный каталитический нейтрализатор 352
Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор 353
Каталитический нейтрализатор с накопителем NO_X 356
Контур лямбда-управления 358
Нагревание каталитического нейтрализатора 360
Получение патента 362
Нормы предельно допустимой токсичности отработавших газов 363
Обзор 363
Стандарт CARB 365
Нормы EPA 369
Стандарты ЕС 371
Испытательные ездовые циклы США 375
Европейский ездовой цикл 377
Ездовые циклы в Японии 378
Проверка автомобилей на эмиссию отработавших газов 379
Проверка эмиссии паров топлива 382
Технология технического обслуживания 384
Обзор 384
Диагностика бортовых блоков управления 386
Диагностика системы зажигания 390
Диагностика катушек зажигания 391
Обслуживание свечей зажигания 394
Проверка токсичности отработавших газов (AU) 401
Принцип измерения состава отработавших газов 403
Разработка электронного блока управления 405
Обзор 405
Разработка аппаратной части 409
Разработка функций 413
Разработка программного обеспечения 415
Адаптация к условиям применения 419
Предметный указатель 428
Сокращения, принятые в литературе по устройству систем управления 430

Авторы

Общее устройство двигателей с искровым зажиганием
Dipl.-Ing. Michael Oder,
Dr.-Ing. Rainer Ortmann,
Dipl.-Ing. Werner Häming,
Dipl.-Ing. Werner Hess.

Управление работой двигателя с искровым зажиганием
Dipl.-Ing. Michael Oder,
Dipl.-Ing. Walter Gollin.

Системы управления наполнением цилиндров зарядом рабочей смеси
Dipl.-Ing. Georg Mallebrein,
Dipl.-Ing. Christian Köhler,
Dipl.-Ing. Oliver Schlesiger,
Dipl.-Ing. Michael Bäuerle.

Подача топлива
Dr. Thomas Frenz,
Dr.-Ing. Dieter Lederer,
Dipl.-Ing. Albert Gerhard,
Dipl.-Betriebsw. Michael Ziegler,
Dipl.-Ing. (FH) Eckhard Bodenhausen,
Dipl.-Ing. (FH) Annette Wittke,
Dipl.-Ing. (FH) Bernd Kudicke.

Впрыскивание топлива во впускной трубопровод
Dipl.-Ing. (FH) Klaus Joos.

Непосредственное впрыскивание топлива
Dipl.-Ing. Michael Oder,
Dipl.-Ing. Helmut Rembold.

Индуктивная система зажигания
Dipl.-Ing. Walter Gollin.

Катушки зажигания
Dipl.-Ing. (FH) Klaus Lerchenmüller,
Dipl.-Ing. (FH) Markus Weimert,
Dipl.-Ing. Tim Skowronek.

Свечи зажигания
Dipl.-Ing. Erich Breuser.

Система управления двигателем Motronic
Dipl.-Ing. Bernhard Mencher,
Dipl.-Ing. Christian Köhler,
Dipl.-Red. Ulrich Michelt.

Электронный блок управления
Dipl.-Ing. Adolf Fritz,
Dipl.-Ing. Martin Kaiser.

Электронное управление и регулирование
Dr.-Ing. Jürgen Haag.

Электронная диагностика
Dr.-Ing. Matthias Knirsch,
Dr.-Ing. Matthias Tappe,
Dr. Michael Eggers.

Эмиссия отработавших газов
Dipl.-Ing. Eberhard Schnaibel,
Dipl.-Ing. Christian Köhler.

Снижение эмиссии вредных веществ
Dipl.-Ing. Christian Köhler.

Каталитическая очистка отработавших газов
Dipl.-Ing. Eberhard Schnaibel.

Нормы предельно допустимой токсичности отработавших газов
Dr. Michael Eggers,
Dr.-Ing. Gerold König.

Технология технического обслуживания
Dipl.-Ing. Rainer Rehage,
Dipl.-Ing. (FH) Volker Engel,
Dipl.-Ing. (FH) Hans-Günther Weiβhaar,
Rainer Heinzmann,
Karl-Heinz Vocke.

Разработка электронного блока управления
Dipl.-Ing. Adolf Fritz,
Dipl.-Phys. Lutz Reuschenbach,
Dipl.-Ing. (FH) Bert Scheible,
Dipl.-Ing. Eberhard Frech.

Другие авторы
Dipl.-Phys. Patentanwalt Ralf-Holger Behrens (Patentwesen),
Dietrich Kuhlgatz
(Lebenswerk von Robert Bosch)

В подготовке книги принимали участие и другие сотрудники фирмы Robert Bosch GmbH.

История автомобилестроения

Мобильность передвижения с давних пор играла для человека большую роль. Почти в каждую эпоху предпринимались попытки найти средства, при помощи которых можно было бы перевозить людей на большие расстояния с максимально возможной скоростью. Благодаря созданию надежных ДВС, работающих на жидком топливе, мечта об автомобиле (от греческого autos — сам и латинского mobilis — подвижный) стала явью.

История создания автомобиля

Создание автомобиля, без которого теперь нельзя представить себе мир, стало возможным благодаря многим предшествующим этому изобретению, открытиям и разработкам.

• Примерно 3500 лет до н. э.

Изобретение колеса (приписывается шумерам).

• Примерно 1300 г.

Усовершенствование карет и экипажей с такими элементами, как устройство управления, подвеска колес и амортизирование.

• 1770 г.

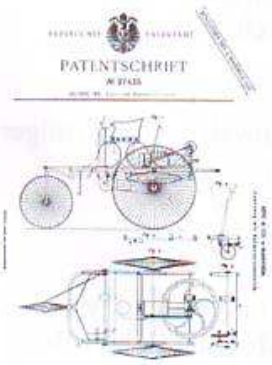
Появление паромобиля Жозефа Кюньо.

• 1801 г.

Изобретение Этьеном Ленуаром ДВС, работающего на светильном газе.

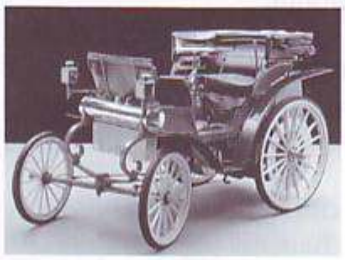
• 1870 г.

Создание Николаусом Отто четырехтактного ДВС с искровым зажиганием.



Патент, выданный Карлу Бенцу 29 января 1886 г., был основан не на видоизмененном экипаже, а представлял собой самостоятельную цельную конструкцию. (Источник: DaimlerChrysler Classic. Архив концерна)

Карл Бенц останется в истории как изобретатель первого автомобиля. С его патента начинается бурное развитие автомобилей с ДВС. Но общественное мнение разделилось. Сторонники новой эпохи восхваляли автомобиль как воплощение прогресса, в то время как большая часть населения протестовала против неприятных побочных явлений — пыли, газа, шума, возросшей опасности несчастных случаев, возникающих от действий бесцеремонных водителей. И все же победное шествие автомобиля уже нельзя было остановить.



Первый автомобиль Даймлера, 1894 г. (Источник: DaimlerChrysler Classic. Архив концерна)

Покупка автомобиля представляла собой тогда смелый шаг. В те времена практически отсутствовала дорожная сеть, про ремонтные мастерские нечего было и думать, бензин продавался в аптеке, а запасные части изготавливались кустарным способом на месте. Тем более следует упомянуть первую поездку на дальнее расстояние, осуществленную Бертой Бенц в 1888 году. Она оказалась, видимо, и первой женщиной за рулем моторизованного средства передвижения, которая к тому же смогла подтвердить надежность автомобиля, преодолев на нем невероятный по тем временам путь более чем в 100 км от Мангейма до Пфорцхайма на юго-западе Германии.

Первую поездку на экипаже, приводимом в движение двигателем, приписывают Жозефу Кюньо (1770 г.). Его трехколесная громоздкая деревянная повозка с паровой машиной могла двигаться 12 мин после одной заправки воды

Но вначале — кроме Бенца — лишь некоторые предприниматели в Германии оценили значение моторизованных экипажей. «Взрослым» автомобиль сделали французы. Панар и Левассор использовали лицензию на двигатели Даймлера для производства во Франции собственных автомобилей. Именно Рене Панару мы обязаны такими конструктивными решениями как рулевое колесо, расположенная под углом рулевая колонка, педаль сцепления, пневматические шины и трубчатый радиатор.

В последующие годы фирмы-автопроизводители — такие как Peugeot, Citroën, Renault, Fiat, Ford, Rolls-Royce, Austin и другие — стали расти как грибы

после дождя. Готлиб Даймлер, продававший свои двигатели практически по всему миру, оказал немалое влияние на это стремительное развитие.

Первые автомобили по своей конструкции еще сильно похожи на кареты и конные экипажи, однако они были очень быстро усовершенствованы и получили облик автомобилей. Но все же каждый автомобиль тогда производился вручную. Все изменилось с введением конвейера на заводах Генри Форда в 1913 г. Своей моделью Ford T он произвел революцию в автомобилестроении в Америке. Начиная с этого времени автомобиль перестал быть предметом роскоши. Крупносерийное производство способствовало резкому снижению стоимости, благодаря чему автомобиль стал доступен массам. Андре Ситроен и Адам Опель были первыми, кто создал конвейер в Европе, однако этот способ производства прижился здесь только с середины 20-х годов.

Автопроизводители быстро поняли, что они должны учитывать желания клиентов, чтобы иметь успех на рынке. Победы на автогонках использовались как реклама. В представлении зрителей с рекордом скорости накрепко связывались образы профессиональных водителей и марки их автомобилей. Кроме того, производители стремились расширять модельный ряд автомобилей. Благодаря этому в течение десятилетий образовалось подлинное многообразие стилей и типов автомобилей, ориентированных как на дух времени, так и на экономические и политические веяния. К примеру,

автомобили с обтекаемыми формами не нашли своего покупателя перед второй мировой войной — тогда была эпоха представительских автомобилей. Разрабатывались такие эксклюзивные модели как Mercedes-Benz 500 K, Rolls-Royce Phantom III, 855 Horch или Bugatti Royale.

Вторая мировая война оказала очень большое влияние на разработку малолитражных автомобилей. VW-Kafer был сконструирован Фердинандом Порше и производился в Вольфсбурге. По окончании войны спрос существовал главным образом на малогабаритные и недорогие автомобили. Производители отреагировали на эту потребность, что привело к появлению таких автомобилей как Goliath GP 700, Lloyd 300, Citroën 2 CV, Trabant, Izetta или Fiat 500 C (называемый итальянцами «Topolino» — «мышка»). Автомобили производили теперь по новым стандартам, большее значение придавая техническому совершенству и прежде всего разумному соотношению цены и качества.

Сегодня уже нельзя отказаться от надувных подушек безопасности, антиблокировочных и противобуксовочных систем, электронных систем управления и «умных» датчиков из-за растущего числа участников дорожного движения и более высоких, по сравнению с прошедшими десятилетиями, скоростей. Автомобиль постоянно совершенствуется благодаря инновационным направлениям развития автомобильной индустрии и возросшим требованиям рынка. Однако, и сейчас существуют области, представляющие собой настоящий вызов даже для умов будущего. Одним из примеров такого вызова является дальнейшее сокращение загрязнений окружающей среды путем использования альтернативных источников энергии (например, топливных элементов).

Автомобиль Ford T, нежно прозваный американцами «Tin Lizzie» («жестянка Лиззи»), был изготовлён более чем в 15 млн. экземплярах. Этот рекорд был побит лишь в 70-х годах благодаря модели VW-Käfer («Жук» фирмы Volkswagen) (источники: Ford, Volkswagen AG)

Прототипы показывают, как могли бы выглядеть автомобили завтрашнего дня. (источник: Peugeot).

Бельгиец Камиль Женатци был первым человеком, преодолевшим на автомобиле в 1899 г. рубеж скорости в 100 км/ч. Сегодня автомобильный рекорд скорости составляет 1227,9 км/ч.

Mercedes-Benz 500 K Cabriolet C, 1934 года выпуска (источник: DaimlerChrysler Classic Архив концерна)

Пионеры автомобилестроения

Николаус Август Отто (1832–1891 гг.) родился в Хольцхаузене (Германия). Рано заинтересовавшись техникой, он, помимо своей основной деятельности коммивояжера по оптовой торговле продуктами, занимался разработкой газовых двигателей.

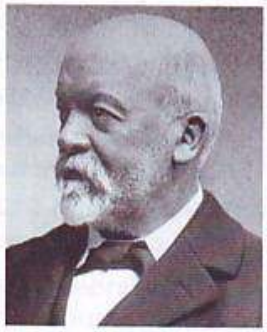
Начиная с 1862 г., Отто полностью сосредоточился на разработке своего двигателя. Ему удалось улучшить газовый двигатель французского инженера Этьена Ленуара, за что получил золотую медаль в 1867 г. на Парижской всемирной выставке. Вместе с Даймлером и Майбахом он разработал двигатель внутреннего сгорания, основанный на изобретенном им в 1861 г. четырехтактном принципе. В наши дни этот двигатель известен как «двигатель Отто». В 1884 г. он изобрел зажигание от магнето, благодаря чему стала возможной работа двигателей на бензине. Это новшество составило основу для того, что позже стало делом жизни Роберта Боша.

Заслуга Отто состоит в том, что он первым построил четырехтактный двигатель внутреннего сгорания и доказал его превосходство над всеми предшествующими типами двигателей.

Так как в разработке и совершенствовании автомобиля участвовало большое количество людей, приведенный здесь перечень фамилий ни в коем случае не претендует на полноту

1866: Николаус Август Отто (источник: Deutz AG) получает патент на атмосферный газовый двигатель

Готлиб Даймлер (1834–1900 гг.) — уроженец Шорндорфа (Германия). Он изучал машиностроение в Штутгартском политехникуме (сегодня — Университет Штутгарта). В 1865 г. он познакомился с талантливым инженером Вильгельмом Майбахом, и с тех пор их связывало постоянное сотрудничество. Наряду с изобретением первого мотоцикла (названного «Reitrad» — «верховое колесо») Даймлер занимался разработкой ДВС, пригодного для использования на автомобилях. В 1889 году Даймлер и Майбах представили в Париже первый «Stahlradwagen» — «автомобиль со стальными колесами», — приводимый в движение двухтактным V-образным двигателем. Уже через год Даймлер начал поставлять свой двигатель за рубеж. Так, в 1891 г. Арман Пежо на автомобиле, оснащенном двигателем Даймлера, с успехом принял участие в гонке Париж-Брест-Париж, тем самым доказав надежность нового мотора.



Вильгельм Майбах (источник: MTU Friedrichshafen GmbH)

Готлиб Даймлер (источник: DaimlerChrysler Classic. Архив концерна)

Заслуга Даймлера состоит в постоянном совершенствовании двигателя Отто и применении его в разных странах.

Вильгельм Майбах (1846–1929 гг.) родился в Хайльбронне (Германия). Получил образование чертежника и некоторое время спустя работал конструктором на фирме Gasmotoren Deutz AG (основанной Отто). Еще при жизни его называли «королем конструкторов».

Майбах переделал изобретенный Отто ДВС и довел его до серийного производства. Среди прочего он изобрел водяное охлаждение, жиклерный карбюратор и двойное зажигание. В 1900 г. Майбах сконструировал революционный по тем временам гоночный автомобиль, использовав легкие сплавы. Этот автомобиль был разработан по инициативе австрийского бизнесмена Елинека. Он заказал 36 автомобилей с условием, что модель будет названа по имени его дочери — Mercedes.

Конструкторский талант Майбаха был источником вдохновения для существующей тогда автомобильной индустрии. С его смертью закончилось время пионеров автомобилестроения.

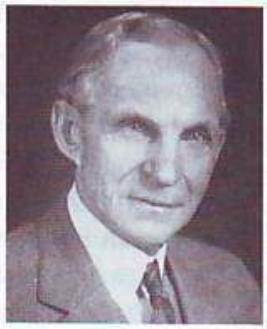
Карл Фридрих Бенц (1844–1929 гг.) родился в Карлсруэ (Германия). Изучал машино-

строение в политехникуме в Карлсруэ (сегодня — Университет Карлсруэ). В 1871 г. он основал в Мангейме чугунолитейную фабрику.

Независимо от Даймлера и Майбаха он также способствовал использованию ДВС на автомобилях. После того как утратили силу важнейшие права Отто на патент четырехтактного двигателя, Бенц разработал, наряду с собственным четырехтактным двигателем, испарительный карбюратор, электрическое зажигание, сцепление, водяное охлаждение, а также оригинальную конструкцию механизма переключения передач. В 1886 г. он зарегистрировал патент и представил общественности свой моторизованный экипаж. До 1900 г. Бенц предложил более 600 типов конструкций. На заводах Бенца с 1894 по 1901 гг. производили модель Velo, которая стала первым крупносерийным автомобилем мира, учитывая, что общее количество произведенных экземпляров составило около 1200. В 1926 г. компании Бенца и Даймлера объединились, в результате чего образовалась фирма Daimler-Benz AG.

Заслуга Бенца состоит в изобретении и промышленном производстве первого автомобиля.

Генри Форд (1863–1947 гг.) — уроженец Дирборна, штат Мичиган (США). Начав свою карьеру в 1891 г. в качестве инженера в Edison Illuminating Company, Форд посвятил себя усовершенствованию ДВС.



Братья Дюрие собрали в 1893 г. первый автомобиль в Америке. В ответ на это Форд уже в 1896 г. разработал свой автомобиль Quadricycle Runabout, которому суждено было стать исходной базой для многочисленных последующих конструкций. В 1908 г. Форд выпустил легендарную модель T, которая с 1913 г. собиралась на конвейере. С 1921 г. Форд господствовал на автомобильном рынке в США, причем доля его автомобилей составляла около 55 % всего производства автомобилей в стране.

Имя Генри Форда является символом автомобилизации Америки. Благодаря ему автомобиль стал доступен широким слоям населения.

Рудольф Кристиан Карл Дизель (1858–1929 гг.) родился в Париже. Уже в 14 лет Дизель решил стать инженером. Он окончил политехникум Мюнхена с лучшей успеваемостью за все время существования этого заведения.

В 1892 г. Дизель получил патент на названный позже в его честь «дизельный двигатель». Эти моторы быстро распространились в качестве стационарных и корабельных двигателей. На первый грузовик дизельный двигатель был установлен в 1908 г., но завоевание этим двигателем мира легковых автомобилей заняло десятилетия. Только в 1936 г. дизель был серийно установлен на автомобиле модели Mercedes 260 D. В наши дни дизельные двигатели усовершенствованы настолько, что на рынке находятся в совершенно равных условиях с двигателями с искровым зажиганием.

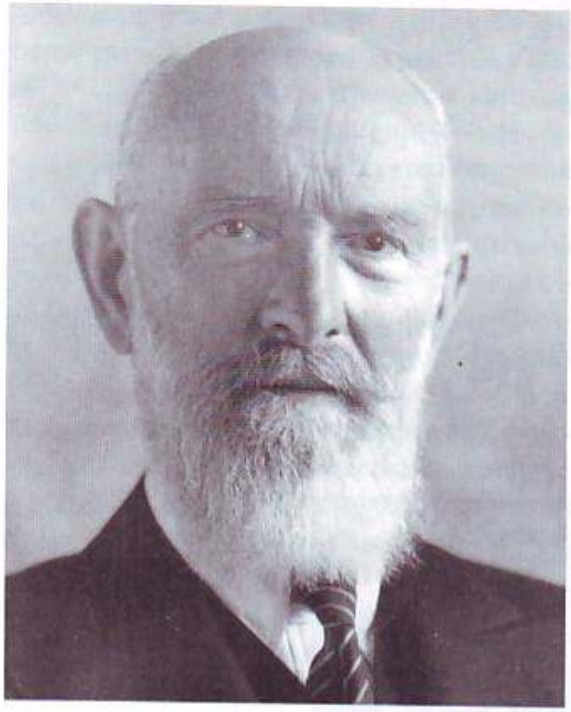
Благодаря высокому КПД своего двигателя, Дизель внес существенный вклад в создание экономичных ДВС. За счет выдачи лицензий на производство своих двигателей Дизель смог выйти на международный рынок, но при жизни так и не получил достойного признания.

1886 г.: Бенц вошел в мировую историю как изобретатель первого автомобиля с ДВС. (источник: DaimlerChrysler Classic Архив концерна)

Рудольф К. К. Дизель (источник: исторический архив MAN AG)

Генри Форд (источник: Ford)

Дело жизни Роберта Боша (1861–1942 гг.)



«Мне всегда была невыносима мысль, что кто-нибудь при проверке моих изделий сможет доказать, что я произвожу что-то низкосортное. Поэтому я всегда пытался выпускать в свет только такие изделия, которые бы выдержали любые технические проверки, так сказать были бы лучшими из хорошего».

Роберт Бош (Источник: архив Bosch)

Роберт Бош родился 23 сентября 1861 г. в Альбеке под Ульмом (Германия). Происходил из зажиточной крестьянской семьи. После того как Бош получил образование механика по точной обработке деталей, он работал на различных предприятиях, углубляя свои технические познания, а также приобретая коммерческий опыт. По окончании семестра в качестве вольнослушателя по предмету «Электротехника» в Техническом Институте Штутгарта он уехал в США, чтобы работать в компании Edison Illuminating. Позднее он работал на английской фирме Siemens Brothers.

В 1886 г. Бош открыл в Штутгарте «Мастерскую по точной механике и электротехнике». Он нанял еще одного механика, а также взял ученика. Вначале Бош занимался установкой и ремонтом телефонов, телеграфов, громоотводов и прочих подобных устройств. Его стремление к быстрому нахождению решений, касающихся новых проблем, и в эти дни, и позже постоянно давало ему преимущество перед конкурентами.

ROB. BOSCH
Rothebühlstr. 75 B.
Telephone, Haustelegraphen.
Fachmännische Prüfung und Anlegung von Blitzableitern. (37
Anlegung und Reparatur elektr. Apparate, sowie aller Arbeiten der Feinmechanik.

Первая реклама в штутгартской ежедневной газете «Дер Беобахтер», 1887 г.

Изобретенное Бошем в 1897 г. низковольтное зажигание от магнето представляло собой — в отличие от ненадежных моделей-предшественников — настоящую революцию. Этот продукт стал исходным пунктом стремительного расширения предприятия Роберта Боша. Ему всегда удавалось гармонично сочетать целевую направленность развития бизнеса с потребностями людей. В социальной области Бош считался идущим впереди своего времени.

Бош как пионер в области техники изобрел и довел до серийного производства следующие продукты:

- низковольтное зажигание от магнето;
- высоковольтное зажигание от магнето для двигателей, работающих при повышенных оборотах коленчатого вала (сконструировано сотрудником фирмы Готлобом Гонольдом);
- свечу зажигания;
- распределитель зажигания;
- аккумулятор для легкового автомобиля и мотоцикла;
- стартер;
- генератор;
- систему освещения с первой электрической фарой;
- автомобильный радиоприемник (производился на фирме Ideal-Werken, с 1938 г. — на фирме Blaupunkt);
- первую систему освещения для велосипедов;
- звуковой сигнал;
- батарейное зажигание;
- сигнал поворота семафорного типа (высмеиваемый первое время после создания как типичный продукт германского заорганизованного духа, впоследствии незаменимый как указатель направления движения).

Здесь можно перечислить и много других разработок, в том числе и в обще-

ственной сфере. Они показывают, что Бош во многом опередил свое время. Его устремленный вперед дух в значительной степени повлиял на совершенствование автомобиля.

С ростом парка автомобилей стремительно увеличивалась потребность в ремонтных автомастерских. В 20-х г. Роберт Бош начал систематическое развитие повсеместной клиентской службы. В 1926 г. эти мастерские получили единое название, зарегистрированное как товарный знак — «Служба Бош».

Не менее высокие требования Бош предъявлял и к решению социальных проблем. В 1906 г. он ввел 8-часовой рабочий день и обеспечивал своим рабочим высокую заработную плату. В 1920 г. он пожертвовал один миллион марок для поддержки технического образования сотрудников. Производство пятисоттысячного магнето стало для него поводом ввести короткий рабочий день в субботу. Дальнейшим улучшением социальных условий стали обеспечение в старости, рабочие места для инвалидов и гарантирование отпуска. Бош любил повторять: «Профессия и учебная практика — лучшие воспитатели, чем голая теория». В 1913 г. он открыл учебную мастерскую, в которой могли обучаться 104 ученика.

В середине 1914 г. имя «Бош» уже было известно по всему миру, но на годы бурного развития фирмы между 1908 и 1940 гг. пришлись две мировые войны. До 1914 г. 86 % всех изготовленных в Штутгарте изделий уходили за рубеж. Бош мог продолжать расширение компании благодаря крупным армейским заказам, но получение прибыли таким образом не импонировало ему, поскольку было связано с трагическими событиями этих лет. В ответ на это он пожертвовал 13 миллионов рейхсмарок на социальные нужды.

Повторное завоевание международных позиций давалось фирме после первой мировой войны с трудом. Например, в США фабрики компании Bosch, а также торговые знаки были конфискованы и проданы ame-

риканскому предприятию. Помимо всего прочего это означало и то, что под именем Bosch появлялись изделия, которые не были произведены компанией Боша. Только в конце 20-х г. Бош вернул себе все права и смог снова открывать в США филиалы. Непреклонная решимость Боша преодолевать трудности вернула фирму на мировой рынок.

Еще один пример иллюстрирует социальную политику Боша: в 1936 г. он пожертвовал средства на строительство больницы, торжественно открытой в 1940 г. В своей речи на ее открытии Бош подчеркнул, что он выступает за социальное сотрудничество: «Важна каждая работа, даже самая незаметная. Никто не должен полагать, что его работа лучше, чем работа любого другого сотрудника».

Роберт Бош, предприниматель, бывший пионером как в технической, так и в социальной области, умер в 1942 г. И в наши дни он считается примером человека с устремленным вперед духом творчества, неустанным прилежанием, предприимчивостью и поддержкой образования. Его опыт, осознание в отношении прогресса были такими: «Знание, умение, желание важны, но решающим для успеха является их гармоничное сочетание».

В 1964 г. был основан Фонд Роберта Боша ГмбХ, к задачам которого относятся помощь в здравоохранении, благотворительная помощь, образование, воспитание, поддержка искусства, культуры, а также гуманитарные и общественные науки. Благодаря Фонду идеалы Роберта Боша продолжают свою жизнь.

Первый филиал фирмы на лондонской Стоур Стрит. (источник: архив фирмы Bosch)

«Каждому — свой автомобиль». Этот лозунг Бош провозгласил еще в 1931 г. в газете «Магнето Боша», издаваемой для сотрудников фирмы

Общее устройство двигателей с искровым зажиганием

Двигатель с искровым зажиганием, называемый также двигателем Отто[1], является двигателем внутреннего сгорания с принудительным зажиганием от постороннего источника, сжигающим рабочую смесь и тем самым преобразующим содержащуюся в топливе химическую энергию в кинетическую.

В течение долгого времени задачу приготовления рабочей смеси выполнял карбюратор. Он обеспечивает поступление во впускной трубопровод этой смеси, которая затем всасывается в цилиндр за счет насосного действия движущегося вниз поршня.

Предписания закона по соблюдению нормативов предельных значений токсичности отработавших газов (ОГ) способствовали внедрению системы впрыска, которая делает возможным более точное дозирование топлива. При впрыске топлива во впускной трубопровод рабочая смесь создается во впускном трубопроводе — как и в карбюраторных системах.

Дополнительные преимущества, особенно в отношении расхода топлива и увеличения мощности, принесла разработка системы непосредственного впрыска. По этой технологии топливо впрыскивается в нужный момент непосредственно в камеру сгорания.

Принцип действия

Сгорание рабочей смеси обеспечивает получение возвратно-поступательного перемещения поршня 8 (рис. 1) в цилиндре 9. Действующий по такому принципу двигатель называется поршневым.

[1] Назван по имени Николауса Августа Отто (1832–1891 гг.), который в 1878 году на Парижской всемирной выставке впервые представил общественности двигатель с искровым зажиганием, работающий по четырехтактному принципу

Шатун 10 преобразует эти возвратно-поступательные движения во вращение коленчатого вала 11. Маховик, расположенный на конце коленчатого вала, уменьшает неравномерность этого вращения.

Принцип работы четырехтактного двигателя

Большинство используемых в автомобилях ДВС работают по четырехтактному циклу.

При четырехтактном цикле управление наполнением цилиндров рабочей смесью и выпуском продуктов сгорания происходит за счет клапанов 5 и 6, которые открывают и закрывают впускные и выпускные отверстия в блоке цилиндров и таким образом управляют подачей рабочей смеси и выпуском ОГ.

1. Такт впуска

От верхней мертвой точки (ВМТ) поршень в цилиндре движется вниз, увеличивая объем камеры сгорания 7 в цилиндре. Благодаря этому в камеру сгорания через открытый впускной клапан 5 поступают свежий воздух (при непосредственном впрыске) либо свежая рабочая смесь (при впрыске во впускной трубопровод).

В нижней мертвой точке (НМТ) объем камеры сгорания достигает своей максимальной величины ($V_h + V_c$).

2. Такт сжатия

Впускной и выпускной клапаны закрыты. Поднимающийся поршень сжимает рабочую смесь. У двигателей с впрыском во впускной трубопровод рабочая смесь заполняет камеру сгорания уже в конце такта впуска. У двигателей с непосредственным впрыском топливо впрыскивается в камеру сгорания в определенный момент — в зависимости от режима работы — только в конце такта сжатия.

В ВМТ объем камеры сгорания достигает своей минимальной величины (объем сжатия V_c).

3. Рабочий ход

Еще до того как поршень достигает ВМТ, свеча зажигания 2 в заранее заданный момент (угол опережения зажигания) воспламеняет рабочую смесь. Прежде чем рабочая смесь воспламенится, поршень уже проходит ВМТ.

Впускной и выпускной клапаны при этом по-прежнему закрыты. Высвобождающаяся теплота сгорания повышает давление в цилиндре, которое и толкает поршень вниз.

4. Такт выпуска

Незадолго до прохождения поршнем НМТ открывается выпускной клапан 6. Находящиеся под высоким давлением горячие газы вытесняются из цилиндра поднимающимся вверх поршнем.

Соответственно, после двух оборотов коленчатого вала новый рабочий цикл начинается снова тактом впуска.

Фазы газораспределения

Кулачки, расположенные на впускном 3 и выпускном 1 распределительных валах, открывают и закрывают впускной и выпускной клапаны. У двигателей с одним распределительным валом имеющиеся на нем кулачки через рычажный механизм обеспечивают перемещение клапанов.

Фазы газораспределения указывают момент закрытия и открытия клапанов относительно положения коленчатого вала. Поэтому фазы газораспределения указываются в градусах коленчатого вала. Газовые потоки и колебания используются для лучшего наполнения и освобождения камеры сгорания. Поэтому в определенном положении коленчатого вала фазы открытия клапанов перекрываются.

Коленчатый вал, в свою очередь, приводит во вращение распределительный вал посредством зубчатого ремня, цепи или системы шестерен. Рабочий цикл при четырехтактном цикле происходит за два оборота коленчатого вала. Поэтому частота вращения распределительного вала составляет лишь половину частоты вращения коленчатого вала. Тем самым, передаточное отношение между коленчатым и распределительным валами составляет 2:1.

На диаграмме фаз газораспределения (рис. 2) показаны фазы открытия и закрытия впускных и выпускных клапанов.

1 Рабочий цикл четырехтактного двигателя с искровым зажиганием (на примере двигателя со впрыском во впускной трубопровод и раздельными распределительными валами привода впускных и выпускных клапанов)

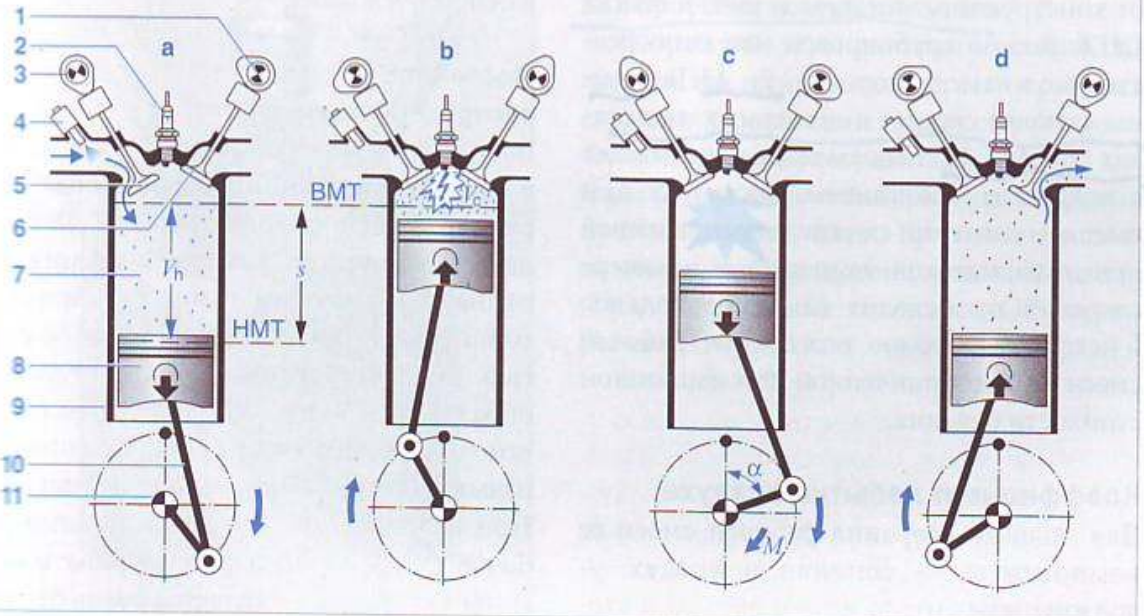


Рис. 1

- a — такт впуска
- b — такт сжатия
- c — рабочий такт
- d — такт выпуска
- 1. Распределительный вал привода выпускных клапанов
- 2. Свеча зажигания
- 3. Распределительный вал привода впускных клапанов
- 4. Форсунка
- 5. Впускной клапан
- 6. Выпускной клапан
- 7. Камера сгорания
- 8. Поршень
- 9. Цилиндр
- 10. Шатун
- 11. Коленчатый вал
- M — крутящий момент
- α — угол поворота коленчатого вала
- s — ход поршня
- V_h — рабочий объем цилиндра
- V_c — объем сжатия

2 Диаграмма фаз газораспределения четырехтактного двигателя

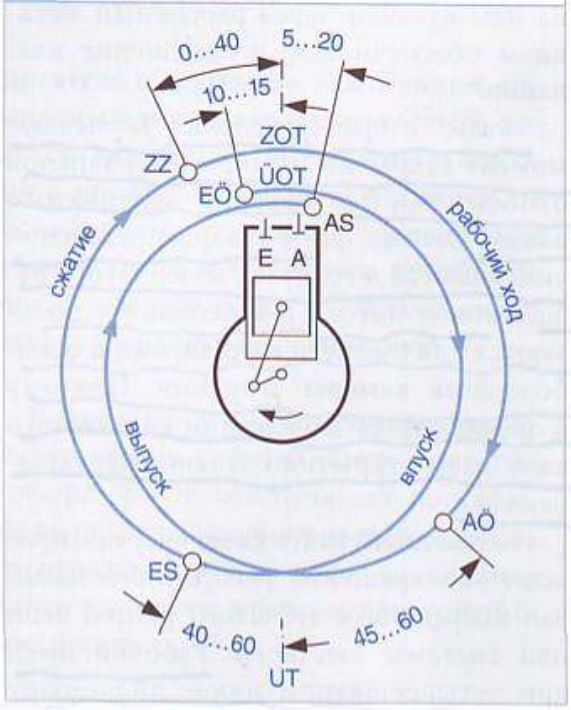


Рис. 2
E — впускной клапан
EÖ — открытие впускного клапана
ES — закрытие впускного клапана
A — выпускной клапан
AÖ — открытие выпускного клапана
AS — закрытие выпускного клапана
OT — ВМТ
ÜOT — перекрытие клапанов в ВМТ
ZOT — угол опережения зажигания до ВМТ
UT — НМТ
ZZ — момент зажигания

Сжатие

Из рабочего объема цилиндра V_h и объема сжатия Vc рассчитывается степень сжатия $\varepsilon = (V_h + V_c)/V_c$.

Степень сжатия двигателя оказывает существенное влияние на:

- производимый крутящий момент;
- вырабатываемую мощность;
- расход топлива;
- эмиссию вредных веществ с ОГ.

Степень сжатия ε составляет у двигателей с искровым зажиганием в зависимости от конструкции двигателя и вида впрыска (во впускной трубопровод или непосредственно в камеру сгорания) 7...13. Величины степени сжатия в дизельных двигателях (ε = 14...24) невозможны в двигателях с искровым зажиганием, поскольку при высоком давлении сжатия и возникающей при этом высокой температуре в камере сгорания происходит самопроизвольное и неконтролируемое возгорание рабочей смеси из-за ограниченной детонационной стойкости бензина.

Коэффициент избытка воздуха

Для полного сгорания рабочей смеси ее компоненты — топливо и воздух — должны находиться друг с другом в стехиометрической пропорции, которая достигается тогда, когда для сгорания 1 кг топлива расходуется 14,7 кг воздуха.

Коэффициент избытка воздуха λ указывает, насколько фактически имеющееся в рабочей смеси количество воздуха отличается от теоретически необходимого:

$$\lambda = \frac{\text{имеющаяся в наличии масса воздуха}}{\text{теоретически необходимое количество воздуха}}$$

Таким образом, в стехиометрическом составе смеси λ составляет 1,0.

Обогащение смеси топливом приводит к величинам λ, меньшим 1. При обеднении смеси налицо избыток воздуха, величина λ больше 1. Начиная с определенного предела, смесь доходит до границ устойчивой работы при обедненной смеси. Слишком бедная смесь не способна воспламеняться.

Распределение смеси в камере сгорания

Гомогенное распределение смеси

У двигателей с впрыскиванием топлива во впускной трубопровод рабочая смесь равномерно (гомогенно) распределена по всей камере сгорания с одним и тем же коэффициентом избытка воздуха λ (рис. 3a). Гомогенное распределение смеси характерно и для двигателей, работающих на обедненных смесях при эксплуатации в особых условиях.

Послойное распределение смеси

Воспламеняемая рабочая смесь с $\lambda \approx 1$ в момент зажигания располагается вокруг электродов свечи зажигания. Остальное пространство камеры сгорания заполнено негорючим газом без примеси топлива или очень бедной рабочей смесью. Соответствующая стратегия смесеобразования, когда горючий объем смеси заполняет только часть камеры сгорания, называется послойным зарядом (рис. 3b). При использовании этой концепции рабочая смесь — если рассматривать всю камеру сгорания — является очень бедной

до $\lambda \approx 10$). Эксплуатация двигателя в таком обедненном режиме позволяет достичь низкого расхода топлива.

Использование способа послойного заряда эффективно только в сочетании с непосредственным впрыском топлива, т. к. реализация этого способа зависит от возможности впрыскивания топлива непосредственно в камеру сгорания как раз перед моментом зажигания.

3 Распределение рабочей смеси по объему камеры сгорания

Воспламенение рабочей смеси и распространение фронта пламени

Свеча зажигания поджигает искровым разрядом рабочую смесь. Надежное воспламенение происходит при коэффициенте избытка воздуха, находящемся в диапазоне $\lambda \approx 0{,}75\ldots1{,}3$. При подходящих параметрах потока вблизи электродов свечи зажигания могут воспламеняться и бедные смеси с $\lambda \leq 1{,}7$.

После воспламенения образуется фронт пламени, скорость распространения которого увеличивается с повышением давления сгорания и снижается в конце фазы сгорания. В среднем скорость распространения пламени составляет 15…25 м/с.

Скорость распространения пламени представляет собой результат сложения скорости подачи рабочей смеси и скорости ее сгорания. Она зависит от коэффициента избытка воздуха λ. Скорость сгорания достигает своего максимума при незначительно обогащенной смеси с $\lambda \approx 0{,}8\ldots0{,}9$. В этом случае выполняются условия, необходимые для получения идеального цикла с подводом тепла при постоянном объёме (см. раздел «КПД двигателя»). Повышенная скорость сгорания обеспечивает эффективную работу двигателя при полной нагрузке и высоких оборотах коленчатого вала.

Хороший термодинамический КПД получается при высоких температурах сгорания, достигаемых при коэффициенте избытка воздуха, равном $\lambda \approx 1{,}05\ldots1{,}1$. Однако высокие температуры сгорания при обедненной смеси приводят к повышенному образованию оксидов азота (NO_x), содержание которых в ОГ строго регламентируется.

Рис. 3
a — гомогенное распределение смеси
b — послойное распределение смеси

Детонационное сгорание

При определенных условиях в двигателях с искровым зажиганием могут возникать нарушения процесса сгорания — самопроизвольное воспламенение и детонация — с характерным «звуком», ограничивающие рост мощности двигателя и термодинамический КПД. Такие нежелательные процессы называют «детонационным сгоранием». Оно является следствием самовозгорания свежей смеси, еще не охваченной фронтом пламени. Поршни, подшипники, головка блока цилиндров и прокладка головки блока цилиндров при этом подвергаются значительным механическим и температурным нагрузкам из-за возникающих при детонационном сгорании высоких температур и пиков давления. Продолжительное детонационное сгорание приводит к прогоранию днища поршней и повреждению клапанов, а также к задирам поршней, что ведет к разрушению двигателя.

Последствия детонации

Возникновение детонационного сгорания

Свеча зажигания воспламеняет рабочую смесь в конце такта сжатия незадолго до достижения поршнем ВМТ. До полного воспламенения смеси в зависимости от числа оборотов проходит несколько миллисекунд, так что основное сгорание происходит после ВМТ.

Фронт пламени распространяется от свечи зажигания. При подъеме поршня возрастает давление, а из-за сгорания смеси в камере сгорания образуется дополнительное повышение температуры и давления. Это приводит к дальнейшему сжатию еще не сгоревшей рабочей смеси. Температура сжатой смеси может подняться настолько, что в отдельных местах она воспламеняется самопроизвольно (рис. 1). Результатом этого являются детонация и неконтролируемое сгорание.

Скорость создаваемого при этом сгорании фронта пламени превышает скорость фронта пламени, исходящего от свечи зажигания (около 20 м/с) примерно в 10-100 раз. При данном неконтролируемом сгорании возникают волны сжатия, по сферическому фронту распространяющиеся от центра сгорания. Эти волны сжатия воздействуют на стенки цилиндра, производя в двигателе типичные металлические стуки высоких тонов («звон»).

Дополнительные фронты пламени могут исходить и из горячих мест в камере сгорания. При этом речь тогда идет о так называемом калильном зажигании. Причиной этого могут быть, например, свечи зажигания со слишком низким калильным числом, которые в ходе эксплуатации могут нагреться недопустимо сильно. Такое сгорание приводит к детонационному сгоранию в тех случаях, когда воспламенение смеси начинается уже до действительного момента зажигания.

Детонационное сгорание («стук двигателя») может возникать при любых оборотах коленчатого вала. Однако на высоких оборотах оно уже не воспринимается на слух, поскольку стуки от детонационного сгорания заглушаются шумом от работы двигателя.

Факторы, влияющие на возникновение детонационного сгорания

Очень ранний угол опережения зажигания: давление в камере сгорания и тем самым подъем температуры достигают тем больших значений, чем раньше свеча зажигания воспламеняет смесь.

Высокая плотность заряда в цилиндре: чем выше потребный крутящий момент двигателя, тем больше плотность заряда в цилиндре. Это может приводить к повышенным температурам при сжатии.

Сорт топлива: топливо с более низким октановым числом отличается пониженной детонационной стойкостью. Поэтому необходимо заправлять автомобиль тем сортом бензина, который предписан производителем.

Слишком большая степень сжатия: например, если установлена более тонкая, чем предусмотрено конструкцией, прокладка головки блока цилиндров, результатом чего будет увеличенная степень сжатия. Это ведет к более высоким температурам и давлению смеси при сжатии.

Незначительное повышение давления сжатия происходит также в результате отложений и нагарообразования в камере сгорания.

Недостаточное охлаждение: неэффективное охлаждение двигателя влияет на повышение температуры смеси в камере сгорания.

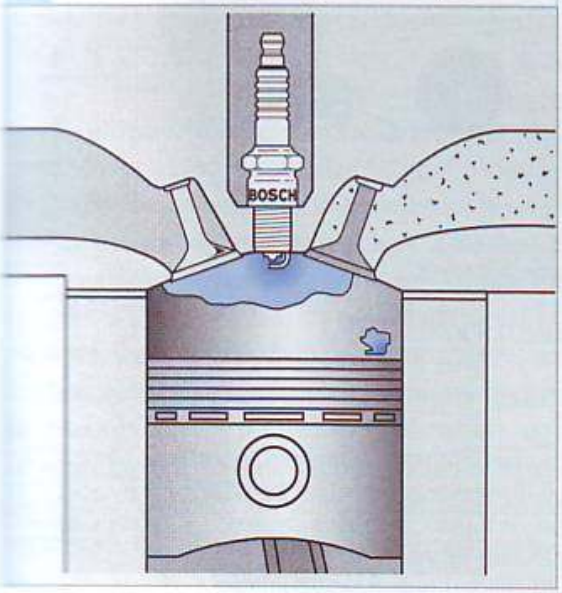
Неприемлемая геометрия: неудачная геометрия камеры сгорания, а также несоответствующее завихрение рабочей смеси (как следствие неудачной геометрии впускного трубопровода) также повышают вероятность возникновения детонационного сгорания.

Детонационное сгорание при непосредственном впрыске бензина

При работе двигателя с непосредственным впрыском на гомогенной смеси он ведет себя по отношению к детонационному сгоранию так же, как и двигатель с впрыском во впускной трубопровод. Однако при непосредственном впрыске, благодаря высокой теплоте испарения топлива в цилиндре, воздух охлаждается сильнее, чем при впрыске во впускной трубопровод.

На режиме работы с послойным распределением заряда рабочая смесь находится только вблизи свечи зажигания. Остальной объем камеры сгорания заполнен воздухом или инертным газом, поэтому отсутствует опасность самопроизвольного воспламенения и не может возникнуть детонационное сгорание. Однако и очень бедная рабочая смесь, которая может находиться в остальном объеме камеры сгорания, не воспламеняется самопроизвольно. Для бедных смесей необходима значительно большая энергия зажигания, чем для смесей со стехиометрической пропорцией топлива и воздуха в смеси. Поэтому в случае послойного распределения заряда детонационное сгорание не возникает.

Возникновение детонационного сгорания



Предотвращение продолжительного детонационного сгорания

Для надежного предотвращения детонационного сгорания на всех рабочих режимах в системах зажигания, не имеющих датчиков детонации, поддерживается интервал безопасности к предельному значению момента зажигания, равный примерно 5–8° угла поворота коленчатого вала.

Системы зажигания, характеризующиеся выявлением детонации, используют один или несколько датчиков детонации, регистрирующих наличие акустических колебаний в двигателе. По электрическому сигналу датчиков электронный блок управления двигателем распознает отдельные случаи детонационного сгорания. При поступлении подобных сигналов он изменяет угол опережения зажигания соответствующего детонировавшего цилиндра в направлении запаздывания, и тем самым предотвращает продолжительное детонационное сгорание. При исчезновении детонационного сгорания угол опережения зажигания снова медленно сдвигается в направлении опережения. Это производится до тех пор, пока не будет достигнут угол опережения зажигания, соответствующий параметрической характеристике, или пока от датчика не поступит повторный сигнал о детонационном сгорании. Регулирование угла опережения зажигания производится отдельно для каждого цилиндра.

Процессы слабого детонационного сгорания, возникающие и при наличии системы регулирования угла опережения зажигания в зависимости от детонации при сгорании, не вредят двигателю. Напротив, это приводит к тому, что отложения,

Методы снижения расхода топлива при эксплуатации

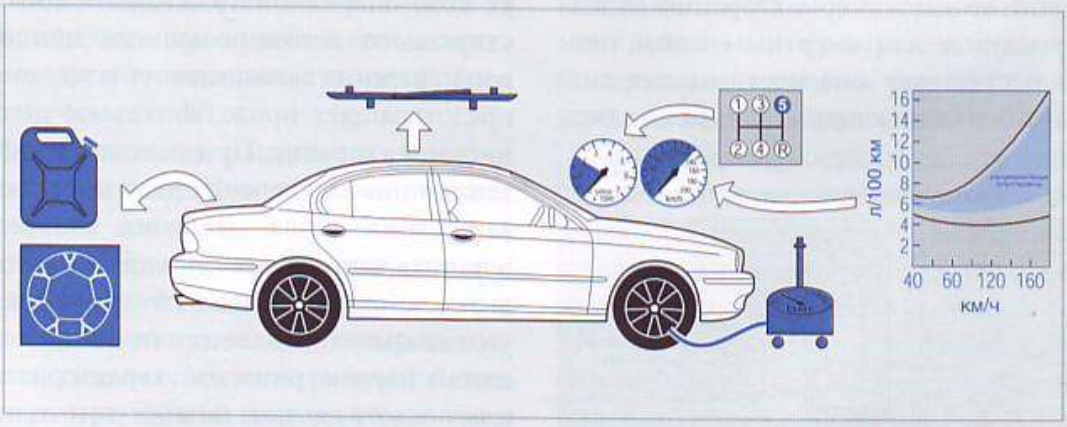
Действительный расход топлива

Расход топлива , указываемый производителем, вычисляется при стандартном тесте на токсичность ОГ (ездовой цикл), благодаря чему эти показатели для всех автомобилей являются сравнимыми.

Существенно уменьшить установленный таким образом расход топлива может каждый водитель, например, изменением стиля вождения. Приведенные ниже меры позволяют снизить расход топлива по сравнению с «усредненным» показателем при повседневной эксплуатации автомобиля примерно на 20–30 %. При этом возможное снижение расхода топлива зависит от многих факторов, например от условий движения (по городским улицам, по шоссе), поэтому попытки качественно оценить вклад каждого из факторов в экономию топлива не всегда являются целесообразными.

Факторы, влияющие на снижение расхода топлива:

- давление воздуха в шинах (повышенное давление в шинах полностью загруженного автомобиля дает экономию около 5 %);
- ускорение при большой нагрузке и низких оборотах коленчатого вала (переключать на повышенную передачу следует при 2000 мин$^{-1}$);
- движение на наивысшей возможной передаче (с полной нагрузкой можно двигаться и при оборотах коленчатого вала ниже 2000 мин$^{-1}$);
- предотвращение чередования торможения и повторного ускорения за счет предусмотрительного стиля вождения;
- использование способа прикрытия дросселя при движении накатом;
- выключение зажигания при длительных перерывах в движении, например перед светофорами с долгими фазами красного света или на железнодорожных переездах (расход топлива за 3 мин холостого хода составляет столько же, сколько за 1 км пути);
- использование синтетических моторных смазочных масел с улучшенными показателями вязкости (экономия, по данным производителей, — около 2 %).



Факторы, способствующие повышенному расходу топлива:

- повышенный вес автомобиля, вызванный, например, размещением тяжелого груза в багажнике (дополнительный расход — около 0,3 л/100 км);
- высокая скорость движения;
- повышенное аэродинамическое сопротивление, вызванное установкой багажника на крыше;
- включение дополнительных электрических потребителей, например, обогрева заднего стекла, противотуманных фар (дополнительный расход — около 1 л/1 кВт нагрузки);
- засорившийся воздушный фильтр и свечи зажигания с образовавшимся на электродах нагаром (необходимо следить за интервалами их замены).

Мощность и Крутящий момент

образующиеся в камере сгорания под воздействием присадок к топливу и моторного масла (например, на впускных и выпускных клапанах), отслаиваются от стенок камеры и сгорают либо выбрасываются вместе с ОГ.

Преимущества систем с датчиком детонации

Благодаря надежному распознаванию процессов детонационного сгорания возможно достижение большей степени сжатия у двигателей с регулированием угла опережения зажигания. Также при регулировании угла опережения зажигания с упреждением детонации отпадает необходимость в соблюдении интервала безопасности по отношению к пределу развития детонационного сгорания — управление угла опережения зажиганием обеспечивает выбор «best case» (лучший случай) вместо «worst case» (худший случай). Контроль за детонацией:

- снижает расход топлива;
- повышает крутящий момент и мощность;
- делает возможной эксплуатацию двигателя на топливе с различным октановым числом.

Крутящий момент и мощность

Физическая величина крутящего момента M равна произведению силы F на плечо s:

$$M = F \cdot s.$$

Конструкция кривошипно-шатунного механизма обеспечивает преобразование возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленчатого вала. Сила, действующая на поршень под давлением воспламененной рабочей смеси, передается через шатун на шейку коленчатого вала. Усилие на шатуне преобразуется в крутящий момент, величина которого зависит от радиуса кривошипа. В ВМТ поршня направление действия силы и рычаг силы параллельны, поэтому эффективный рычаг силы здесь равен нулю. Угол опережения зажигания должен устанавливаться таким образом, чтобы воспламенение смеси происходило при увеличивающемся плече силы (0–90° угла поворота коленчатого вала). Тогда крутящий момент будет максимальным.

На рис. 1 показаны характеристики мощности и крутящего момента, типичные для двигателя с впрыском во впускной трубопровод, в зависимости от оборотов коленчатого вала. Эти диаграммы обычно приводятся в отчетах об испытаниях автомобилей. С увеличением оборотов коленчатого вала крутящий момент растет до максимального значения M_{max}. При дальнейшем повышении оборотов коленчатого вала он начинает снижаться, поскольку наполнение цилиндров рабочей смесью ограничено переходными сечениями впускных клапанов.

Одним из направлений развития моторостроения является создание двигателей, которые могли бы развивать максимальный крутящий момент уже на малых оборотах коленчатого вала — около

1 Характеристики мощности и крутящего момента на примере двигателя с искровым зажиганием с впрыском во впускной трубопровод

Рис. 1
M_{max} — максимальный крутящий момент
P_{nenn} — номинальная мощность
n_{nenn} — частота вращения коленчатого вала при номинальной мощности

2000 мин$^{-1}$, поскольку именно в этом диапазоне частот расход топлива минимален. Этим требованиям удовлетворяют двигатели с турбонаддувом.

Производимая двигателем мощность P растет с увеличением крутящего момента M и частоты вращения коленчатого вала n:

$$P = 2 \cdot n \cdot M.$$

Мощность двигателя возрастает до тех пор, пока не достигает номинальной мощности $P_{ном}$ при номинальной частоте вращения коленчатого вала $n_{ном}$. При дальнейшем увеличении оборотов коленчатого вала мощность начинает снижаться, поскольку в этом диапазоне частот происходит резкое падение крутящего момента.

Оснащение автомобиля трансмиссией с изменяемыми передаточными отношениями необходимо для обеспечения соответствия указанных скоростных характеристик условиям движения автомобиля.

КПД двигателя

Термический КПД

В механическую работу двигатель преобразует не всю химическую энергию топлива. Часть поступающей энергии неизбежно теряется, так что КПД двигателя всегда составляет менее 100 % (рис. 1). Одним из звеньев в показателях эффективности двигателя является его термический КПД.

Рабочая диаграмма (p-V-диаграмма)

Соотношение давления и объема при рабочем цикле четырехтактного двигателя отражает p-V-диаграмма.

Идеальный цикл с подводом теплоты при постоянном объеме

На рис. 2 (кривая A) показаны такт сжатия и рабочий ход идеального цикла, описываемого законами Бойля-Мариотта и Гей-Люссака. При движении поршня от НМТ к ВМТ (кривая 1–2) рабочая смесь сжимается без поступления теплоты (закон Бойля-Мариотта). Затем смесь сгорает в условиях повышения давления (кривая 2–3) и при постоянном объеме (закон Гей-Люссака).

При движении поршня от ВМТ (точка 3) к НМТ (точка 4) объем камеры сгорания увеличивается. Давление сгоревших газов снижается и при этом не происходит отдачи теплоты (закон Бойля-Мариотта). Затем продукты сгорания охлаждаются при постоянном объеме (закон Гей-Люссака) до тех пор, пока не будет достигнуто первоначальное состояние (точка 1).

Площадь диаграммы, ограниченная точками 1–2–3–4, соответствует полученной во время рабочего цикла работе. В точке 4 открывается выпускной клапан, и газы, находящиеся еще под давлением, выходят из цилиндра. Поскольку кривошипно-шатунный механизм ограничивает процесс расширения конечной величиной $V_c + V_h$, площадь 1-4-5 непосредственно не может быть использована. За счет применения турбонаддува можно использовать площадь 1-4-5', находящуюся выше линии атмосферного давления.

Действительная p-V-диаграмма

Так как основные условия для получения идеального цикла с подводом тепла при постоянном объеме не могут быть выдержаны при реальной эксплуатации двигателя, действительная p-V-диаграмма (рис. 2, кривая B) с диаграммой для идеального цикла не совпадает.

Повышение термического КПД

Термический КПД увеличивается при повышении степени сжатия. При более высокой степени сжатия давление в цилиндре в конце такта сжатия выше, благодаря чему увеличивается и ограниченная p-V-диаграммой площадь, представляющая собой энергию, произведенную в процессе сгорания. При выборе степени сжатия следует учитывать детонационную стойкость топлива.

У двигателей с впрыском во впускной трубопровод топливо впрыскивается на закрытый впускной клапан, где оно находится до момента попадания в цилиндр. При образовании рабочей смеси испаряются маленькие капельки топлива. Для осуществления этого процесса необходима тепловая энергия, поступающая из воздушной массы и от стенок впускного трубопровода. У двигателей с непосредственным впрыском топливо впрыскивается непосредственно в камеру сгорания. Необходимая для его испарения энергия в данном случае поступает из находящегося в камере сгорания воздуха, который вследствие этого охлаждается. Поэтому рабочая смесь имеет более низкую температуру по сравнению со смесью, получаемой при впрыске во впускной трубопровод, и, соответственно, может быть сильнее сжата.

Потери теплоты

Вырабатываемая при сгорании рабочей смеси теплота разогревает стенки цилиндра. Часть тепловой энергии излучается и, тем самым, теряется. При непосредственном впрыске послойный заряд смеси окружен не участвующими в сгорании газами. Эта газовая оболочка препятствует передаче теплоты стенкам цилиндра, и тем самым снижает потери.

Дополнительные потери возникают в результате неполного сгорания конденсирующегося на стенках цилиндра топлива. При непосредственном впрыске эти потери также уменьшаются при работе с послойным зарядом из-за изолирующего действия газовой оболочки. Также потери вызывает остаточная теплота ОГ.

Потери при $\lambda = 1$

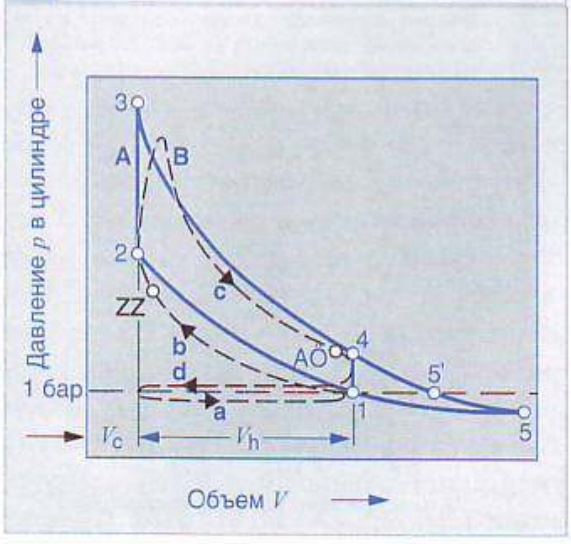
КПД идеального процесса (цикл при постоянном объеме) повышается с увеличением коэффициента избытка воздуха. Однако при $\gamma > 1{,}1$ сгорание с ростом γ протекает все медленней и медленней, что вызвано снижением скорости распространения фронта пламени при бедных смесях. Это, в свою очередь, отрицательно сказывается на величине КПД. В конечном итоге максимальный КПД достигается в диапазоне $\gamma = 1{,}1$ — $1{,}3$. Поэтому у гомогенной смеси с $\gamma = 1$ КПД ниже, чем у смеси с избытком воздуха. Но при использовании трехкомпонентного каталитического нейтрализатора для действенной очистки ОГ обязательно необходима смесь с $\gamma = 1$.

Потери при газообмене

При такте впуска всасывается воздух, количество которого регулируется путем открытия дроссельной заслонки. Во впускном трубопроводе создается пониженное давление, против которого работает двигатель. Непосредственный впрыск топлива снижает эти потери при дросселировании, поскольку дроссельная заслонка широко

1 Диаграмма потерь и полезной работы двигателя с искровым зажиганием при $\gamma = 1$

2 Диаграмма в координатах p-V при рабочем цикле двигателя



A — идеальный цикл с подводом теплоты при постоянном объеме
B — действительная p-V диаграмма
a — впуск
b — сжатие
c — рабочий ход
d — выпуск
ZZ — момент зажигания
АЦ — выпускной клапан открыт

открыта и на холостом ходу, и при частичной нагрузке, а крутящий момент регулируется изменением колличества топлива.

В такте выпуска ОГ должны быть вытолкнуты из цилиндра, на что также затрачивается работа.

Потери на трение

Потери на трение возникают в результате взаимодействия всех движущихся частей в двигателе и вспомогательных агрегатах, например при трении поршневых колец о стенки цилиндра, трении в подшипниках, приводе генератора и т. п.

Удельный расход топлива

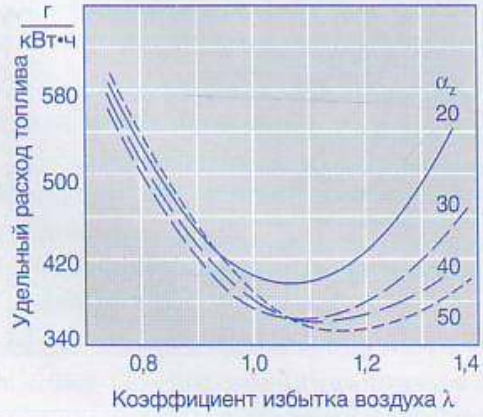
Удельный расход топлива be равен массе топлива (в граммах), расходуемой двигателем при совершении работы. Поэтому величина be говорит не только о расходе топлива, но и является более точной мерой энергии, извлекаемой из топлива, в отличие от менее информативных данных о расходе топлива, выражаемых в л/ч или л/100 км.

Влияние коэффициента избытка воздуха

Гомогенное распределение смеси

При гомогенном распределении смеси удельный расход топлива сначала снижается при увеличении коэффициента избытка воздуха λ (рис. 1). Это снижение в диапазоне до λ = 1,0 объясняется тем, что богатая рабочая смесь сгорает не полностью из-за недостатка воздуха.

1 Влияние коэффициента избытка воздуха λ и угла опережения зажигания α_z на удельный расход топлива при гомогенном распределении смеси



При эксплуатации на обедненных смесях (λ > 1) должно быть обеспечено большее открытие дроссельной заслонки для получения заданного крутящего момента. Такое открытие дроссельной заслонки, а также более высокий термический КПД при работе на обедненных смесях приводят к снижению удельного расхода топлива.

При дальнейшем увеличении λ скорость распространения фронта пламени в обедненной смеси снижается. Возникающая в связи с этим задержка воспламенения должна быть компенсирована путем регулировки угла зажигания в сторону его опережения.

Если λ продолжает расти, достигается граница эксплуатации на режиме обедненной смеси, что приводит к неполному сгоранию (перебоям воспламенения). Это, в свою очередь, ведет к резкому увеличению расхода топлива. Значение λ, при котором устанавливается граница эксплуатации, зависит от конструктивных особенностей двигателя.

Послойное распределение рабочей смеси

Двигатели с непосредственным впрыском могут работать при высоких значениях λ на режиме послойного распределения рабочей смеси. Топливо в камере сгорания находится только в послойном заряде непосредственно у свечи зажигания, где величина λ составляет около 1.

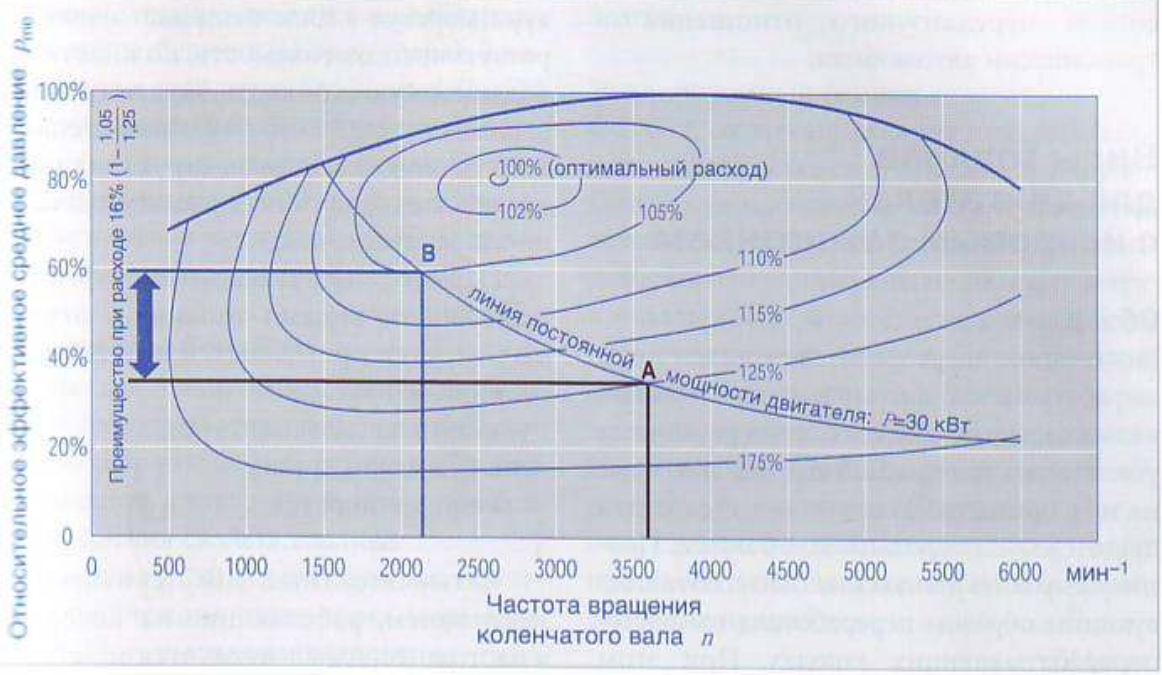
Остальная часть камеры сгорания наполнена воздухом и инертным газом (за счет рециркуляции ОГ). Связанное с этим большое открытие дроссельной заслонки приводит к снижению насосных потерь при газообмене. Это и термодинамические эффекты обеспечивают значительное снижение удельного расхода топлива.

Влияние угла опережения зажигания

Гомогенное распределение смеси

Для каждой точки цикла имеется оптимальная фаза в процессе сгорания со своим определенным моментом зажигания (рис. 1). Любое отклонение от значения момента зажигания приводит к увеличению удельного расхода топлива.

2 Параметрическая характеристика расхода топлива бензинового двигателя при гомогенном распределении смеси



Характеристики двигателя:
4-цилиндровый двигатель с искровым зажиганием
Рабочий объем двигателя:
V_H = 2,3 л
Мощность:
P = 110 кВт при 5400 мин$^{-1}$
Максимальный крутящий момент:
M = 22 Н·м при 3700–4500 мин$^{-1}$
Среднее эффективное давление:
p_{me} = 12 бар (100 %)

Крутящий момент M и мощность P рассчитываются по формулам:
$M = V_H \cdot p_{me} / 0{,}12566$
$P = M \cdot n / 9549$

M в Н·м
V_H в дм^3
p_{me} в барах
n в мин$^{-1}$
P в кВт

Послойное распределение

У двигателей с непосредственным впрыском в режиме послойного распределения смеси вариации угла опережения зажигания ограничены. Искра должна проскочить, когда рабочая смесь достигнет свечи зажигания. Поэтому оптимальный угол опережения зажигания зависит от момента впрыскивания топлива.

Оптимизация расхода топлива

Двигатели с искровым зажиганием, работающие на гомогенных смесях, должны эксплуатироваться при $\lambda = 1$, для того чтобы каталитический нейтрализатор ОГ мог работать в оптимальных условиях. Поэтому снижение удельного расхода топлива может осуществляться не за счет изменения γ, а только за счет изменения угла опережения зажигания. При определении угла опережения зажигания необходимо находить компромисс между низким расходом топлива и низким содержанием вредных веществ в ОГ на выпуске из камеры сгорания. Так как высокая эффективность работы каталитического нейтрализатора по очистке ОГ от токсичных компонентов достигается после его нагрева, то говорить о топливной экономичности можно только после прогрева двигателя до нормальных рабочих температур.

Диаграмма расхода топлива

Испытания двигателя на динамометрическом стенде дают возможность измерить удельный расход топлива в зависимости от среднего эффективного давления и частоты вращения коленчатого вала. Результаты измерений заносят на параметрическую диаграмму расхода топлива (см. рис. 2). Точки с одинаковым удельным расходом топлива соединяют друг с другом для получения кривых, напоминающих раковину. Поэтому их еще называют раковинообразными кривыми (конхоидами).

Диаграмма показывает, что самый низкий удельный расход топлива устанавливается при высоком среднем эффективном давлении p_{me} при частоте вращения коленчатого вала около 2600 мин$^{-1}$.

Среднее эффективное давление является и мерой крутящего момента M. Поэтому в диаграмму можно внести кривые мощности P, имеющие форму гиперболы. На диаграмме видно, что одинаковая мощность вырабатывается при различных значениях оборотов коленчатого вала и крутящего момента (рабочие точки A и B). Однако удельный расход топлива в этих рабочих точках весьма различен. Точка B соответствует более низкой частоте вращения и большему крутящему моменту, чем точка A. Режим работы

двигателя может быть сдвинут к точке А, что достигается за счет выбора более высокого передаточного отношения в трансмиссии автомобиля.

Виды топлива для двигателей с искровым зажиганием

Обзор

Важнейшим энергоносителем, из которого вырабатывается автомобильное топливо, является нефть. Она состоит из различных углеводородных соединений. Однако не все из них пригодны в качестве топлива для двигателей с искровым зажиганием. Поэтому сырая нефть должна быть соответствующим образом переработана на нефтеперерабатывающих заводах. При этом имеются два варианта такой переработки:

- разделение на компоненты путем прямой перегонки;
- преобразование (например крекинг, риформинг) имеющихся компонентов с получением новых углеводородных соединений с другими свойствами.

На рис. 1 даны структуры важнейших молекул углеводородов. Линейная структура молекул в виде цепи дает очень хорошую воспламеняемость, но низкую детонационную стойкость. Такая структура с дополнительными боковыми цепями, а также кольцеобразная структура молекул обеспечивают более высокую детонационную стойкость.

Наряду с получаемыми из нефти минеральными видами топлива в отдельных случаях применяются и иные виды топлива, например:

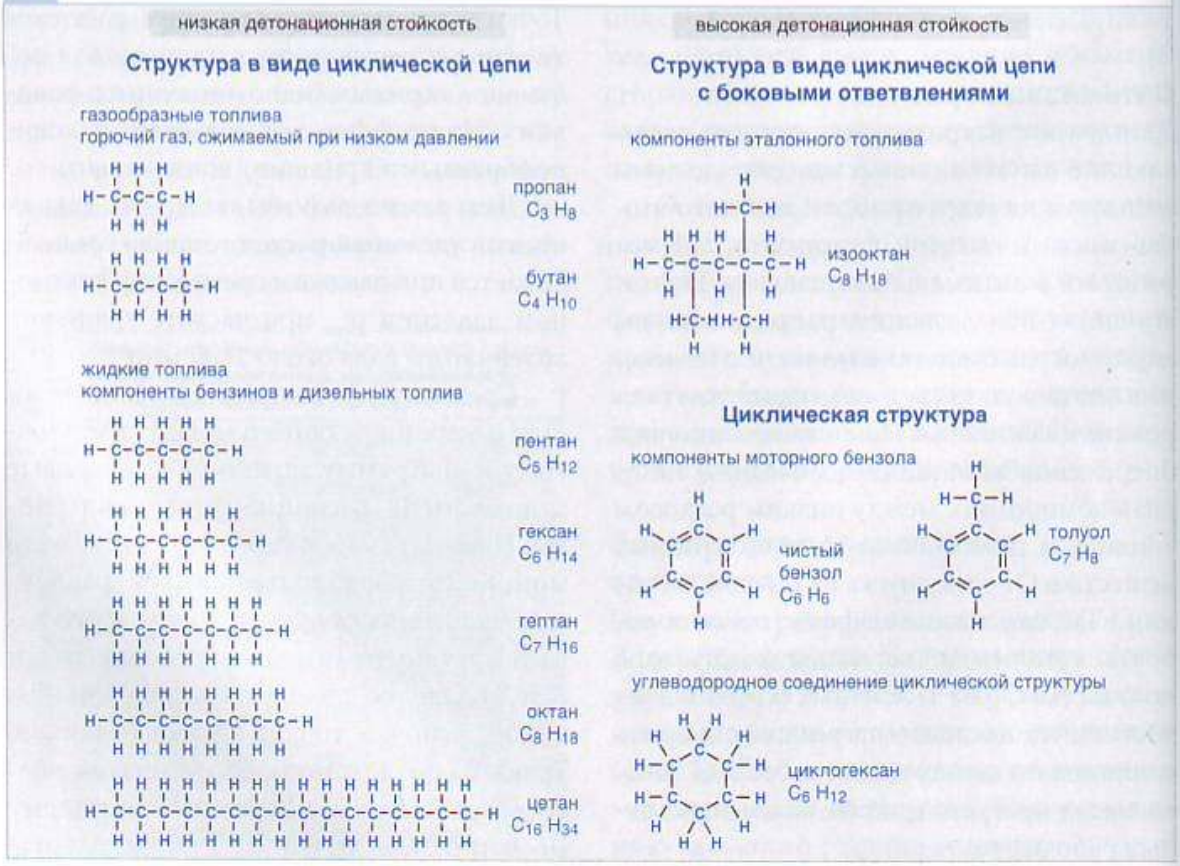
- спирты (метанол, этанол);
- сжиженный газ;
- природный газ.

Четырехтактные ДВС с искровым зажиганием, работающие на водороде, в настоящее время находятся на стадии испытаний.

Нормы, устанавливающие характеристики топлива

Различные национальные нормы качества устанавливают минимальные требования к характеристикам топлива для двигателей

1 Структура молекул углеводородов (примеры)



с искровым зажиганием. Европейский стандарт EN 228 регламентирует характеристики неэтилированного, т.е. не содержащего свинца, бензина («Евро-супер»). В национальном стандарте Германии DIN EN 228 представлены виды неэтилированного бензина «нормаль» и «супер премиум».

Спецификация топлива для двигателей с искровым зажиганием в США приведена в стандарте ASTM D4814.

Компоненты бензина

Топливо для двигателей с искровым зажиганием состоит из углеводородов с добавками из кислородосодержащих, органических компонентов, а также другими присадками для улучшения свойств топлива.

Бензины подразделяются на обычные регулярного типа или «нормаль» (АИ-92) и высококачественные типа «супер» (АИ-95). Бензин типа «супер» имеет улучшенную детонационную стойкость для применения в двигателях с повышенной степенью сжатия. Кроме того, для летнего и зимнего периодов эксплуатации, а также для различных регионов применяются бензины с различными показателями испаряемости.

Неэтилированный бензин (не содержащий свинца) (EN 228)

Применение каталитических нейтрализаторов для очистки ОГ предполагает использование неэтилированного бензина, поскольку свинец повреждает имеющийся в таком нейтрализаторе каталитический слой из благородных металлов, а также выводит из строя лямбда-зонд, используемый для контроля за составом ОГ.

Неэтилированные виды бензинов представляют собой смесь из высококачественных, высокооктановых компонентов (например, платформатов, алкилатов и изомеризатов). Для повышения детонационной стойкости бензинов в них могут добавляться не содержащие свинец присадки. Для этого подходят эфиры, например метилтретбутилэфир (MTBE) в концентрации около 3–15 %, а также спирты (2–3 % метанола, высшие спирты).

Содержание свинца в бензине с 2000 г. законодательно ограничено величиной 5 мг/л.

Этилированный бензин

С 2000 г. содержащие свинец виды бензинов не допускаются к продаже в Европе. Они могут продаваться лишь в исключительных случаях в течение некоторого переходного периода. Однако по всему миру в отдельных странах еще продается бензин, содержащий свинец. Хотя его доля постоянно сокращается.

Содержащиеся в таком бензине алкилы свинца раньше были среди прочего необходимы для смазки выпускных клапанов. Однако производимые с 80-х годов прошлого века двигатели более в такой смазке не нуждаются.

Характеристики

Теплота сгорания, теплотворная способность

Энергетическое содержание топлива характеризуют показатели чистой теплоты сгорания Hu (ранее называлась низшей) и полной теплоты сгорания Ho (ранее называлась высшей). В таком топливе как бензин, в продуктах сгорания которого имеется вода, значение имеет только чистая теплота сгорания Hu (теплотворная способность водяного пара, образующегося при сгорании смеси).

Кислородсодержащие топлива (оксигенаты) — спирты, эфиры, метилэфиры кислот жирного ряда — обладают более низкой теплотворной способностью, чем чистые углеводороды, поскольку кислород, связанный в их структуре межатомными соединениями, не принимает участие в сгорании. Для достижения мощности, сравнимой с получаемой при использовании чистых углеводородов, кислородсодержащего топлива необходимо сжечь в значительно большем количестве, т.е. при их использовании возрастает расход топлива.

Плотность

Европейский стандарт EN 228 ограничивает допустимый диапазон плотностей для топлива значениями 720–775 кг/м^3.

Из-за повышенного содержания ароматических веществ плотность бензина марки «супер» выше, чем плотность бензина «нормаль». Бензин «супер» имеет в этом случае также несколько большую теплотворную способность.

Детонационная стойкость

Детонационная стойкость топлива для двигателей с искровым зажиганием оценивается октановым числом. Чем выше октановое число, тем большей детонационной стойкостью обладает топливо. Существуют два метода определения октанового числа: исследовательский (RON) и моторный (MON).

RON, MON

Октановое число, определенное по исследовательскому методу (RON), характеризует детонационную стойкость бензинов при использовании их в двигателях, работающих в условиях неустановившихся режимов (разгонов). Его можно считать основным показателем детонационной стойкости бензина.

Октановое число, определенное по моторному методу (MON), характеризует детонационную стойкость бензинов при высокой частоте вращения коленчатого вала.

Моторный метод отличается от исследовательского предварительным подогревом смеси, бóльшим числом оборотов коленчатого вала и изменяемой регулировкой момента зажигания, что обеспечивает более высокие термические нагрузки исследуемого топлива. Значения октановых чисел, полученных по методу MON, для данной марки топлива всегда ниже соответствующих значений, определенных по методу RON.

Численное значение октанового числа указывает, сколько объемных процентов изооктана C_8H_{18} (триметилпентан) находится в смеси с n-гептаном C_7H_{17}, которая имеет в опытном двигателе ту же детонационную характеристику, что и исследуемое топливо. При этом обладающему наибольшей детонационной стойкостью изооктану присваивается октановое число 100, а склонному к детонации n-гептану — 0.

Повышение детонационной стойкости

Детонационная стойкость бензина, получаемого прямой перегонкой, невелика. Топливо с необходимым октановым числом получают только после добавления определенных компонентов, обладающих повышенной детонационной стойкостью. При этом на всем температурном интервале кипения должен обеспечиваться самый

Таблица 1 — Основные регламентируемые свойства топлива для двигателей с искровым зажиганием (по стандарту EN 228, действующему с 1 января 2000 г.)

Требования	Единица	Показатель
Детонационная стойкость для бензина		
«супер», min	RON/MON	95/85
«нормаль», min[1]	RON/MON	91/82,5
«супер плюс»[1]	RON/MON	98/88
Плотность	кг/м³	720–775
Сера, max	мг/кг	150
Бензол, max	% по объему	1
Свинец, max	мг/л	5
Испаряемость		
давление насыщенных паров летом, min/max	кПа	45/60
давление насыщенных паров зимой, min/max	кПа	60/90[1]
объем испарения при 70 °C летом, min/max	% по объему	20/48
объем испарения при при 70 °C зимой, min/max	% по объему	22/50
объем испарения при при 100 °C, min/max	% по объему	46/71
объем испарения при при 150 °C, min/max	% по объему	75/–
температура окончания кипения, max	°C	210
VLI[2] на переходный период[3], max		1150[1]

[1] Данные для Германии;
[2] VLI — индекс образования паровой пробки;
[3] весной и осенью.

высокий из возможных уровень содержания в топливе октанового компонента.

Углеводороды с циклической структурой молекул (ароматические соединения), а также с цепной структурой с ответвлениями (изопарафины) обладают большей детонационной стойкостью, чем молекулы с прямой цепной структурой (n-парафины). Добавки в виде кислородсодержащих компонентов (метанол, этанол, метилтретбутилэфир) увеличивают октановое число, однако эти спиртовые соединения обладают высокой химической активностью, что может вызывать проблемы, связанные с коррозией деталей топливной системы.

Испаряемость

Для обеспечения высоких характеристик двигателя параметры испаряемости топлива должны соответствовать определенному комплексу жестких требований. С одной стороны, в топливе должно быть достаточное количество легколетучих компонентов, гарантирующих уверенный холодный пуск. С другой стороны, испаряемость не должна быть слишком высокой, иначе при повышенных температурах возникнут проблемы как с пуском прогретого двигателя, так и во время движения автомобиля (паровые пробки). Кроме того, потери топлива на испарение следует как можно больше ограничивать с целью защиты окружающей среды.

Для описания испаряемости существует несколько различных показателей. В стандарте EN 228 регламентированы 10 различных классов испаряемости, различающихся по давлению насыщенных паров, кривой точек кипения и индексу образования паровой пробки (VLI). Некоторые страны, в зависимости от конкретных климатических условий, включают специальные отдельные классы испаряемости в свои национальные стандарты.

Кривая разгонки

Определенные участки на кривой разгонки топлива оказывают большое влияние на его характеристики. Эти участки могут быть определены по объему испарившегося топлива при трех установленных значениях температур. Объем топлива, испарившегося при температурах до 70°C, должен быть достаточным для обеспечения легкого пуска холодного двигателя, но не очень большим для предотвращения образования пузырьков пара на прогретом двигателе. Доля топлива, испарившегося при температурах до 100°C, определяет, наряду с характеристикой прогрева, прежде всего приемистость двигателя, работающего при нормальной температуре. Объем топлива, испарившегося при температурах до 150°C, должен быть достаточным для снижения до минимума разжижения моторного масла при смазывании холодного двигателя.

Давление топливных паров

Давление паров топлива, измеряемое при 38°C (100°F), согласно стандарту EN 13016-1, является показателем безопасности при заправке топливного бака бензином. Другим способом оценки давления топливных паров является метод Рейда. Предельно допустимый уровень давления паров топлива составляет, например для Германии, летом 60 кПа, зимой 90 кПа.

Для описания сбоев, возникающих при работе впрысковых двигателей в результате образования паровых пробок, гораздо важнее знать давление паров топлива при высоких температурах (80–100°C). В настоящее время проводятся исследования в этой области и разрабатываются соответствующие стандарты.

Добавки метанола к топливу приводят к значительному росту давления паров топлива при высоких температурах.

Соотношение паровой и жидкой фаз в топливе

Этот параметр показывает склонность топлива к образованию паровых пробок. Он выражается через объем паровой фазы, возникшей из определенного объема топлива, при заданной температуре.

При работе двигателя в условиях пониженного атмосферного давления (например, при движении автомобиля на большой высоте над уровнем моря), сопровождающейся ростом температуры, происходит увеличение соотношения паровой и жидкой фаз в топливе,

что может привести к перебоям в работе. Стандарт ASTM D4814 регламентирует соотношение паровой и жидкой фаз в бензинах.

Индекс образования паровой пробки (VLI)
Этот параметр представляет собой арифметическую сумму давления паров топлива по Рейду (в кПа × 10) и давления паров той доли топлива, которая испарилась при температурах до 70°C. Оба эти показателя в уравнении являются абсолютными величинами, а последний может быть получен из кривой кипения и умножен на 7. Индекс образования паровой пробки лучше, чем обычные параметры описывает свойства топлива с точки зрения его пусковых характеристик (при горячем пуске двигателя).

Индекс образования паровой пробки и соотношение паровой и жидкой фаз в топливе хорошо коррелируют между собой в случае, когда топливо не содержит добавок спиртов.

Содержание серы

На ДВС с непосредственным впрыском используется каталитический накопительный нейтрализатор ОГ. Содержащаяся в топливе сера в виде сульфатов осаждается в этом нейтрализаторе и химически деактивирует каталитический слой. Сульфатацию можно ликвидировать путем разогрева нейтрализатора, однако этот процесс негативно сказывается на топливной экономичности двигателя.

Также содержание серы необходимо сокращать в перспективных видах топлива и для снижения до нормированного уровня выбросов диоксида серы SO_2. Необходимо стремиться к тому, чтобы доля серы в объеме топлива не превышала 10 частей на миллион.

Присадки

Наряду со структурой углеводородной основы (компоненты перегонки), качество топлива в значительной степени определяют присадки (добавки). По большей части используются комбинации присадок из отдельных компонентов с различным действием.

При определении оптимальных концентраций присадок требуется большая точность. Они не должны иметь отрицательных побочных действий. Вот почему их дозирование и смешивание должны осуществлять производители топлива. Это происходит — в зависимости от марки топлива — при наполнении автозаправщиков на нефтеперерабатывающем заводе.

Присадки, препятствующие старению топлива
Добавляемые к топливу средства защиты от старения повышают стабильность топлива при хранении, особенно при использовании компонентов крекинга. Такие присадки предотвращают окисление топлива кислородом воздуха и препятствуют возникновению каталитической реакции с ионами металлов деталей (деактивация металлов).

Присадки, поддерживающие чистоту в системе подачи топлива
Поддержание чистоты всей системы подачи топлива (регулятор подачи топлива, насосы, впускные клапаны, форсунки) обеспечивает сохранение оптимальных регулировок и подготовку требуемой рабочей смеси, тем самым, бесперебойную эксплуатацию двигателя и минимизацию содержания вредных веществ в ОГ. Для достижения этого в топливо следует добавлять эффективные моющие присадки (присадки-детергенты).

Ингибиторы коррозии
Наличие в топливе воды может привести к коррозии в системе подачи топлива. Эффективным средством защиты от коррозии является добавление в топливо присадок, образующих защитные водостойкие слои.

Экологически безопасные топлива

Ведомства по охране окружающей среды и законодатели утверждают для топлива все более строгие нормы, обеспечивающие низкие показатели эмиссии испарений топлива и вредных веществ в ОГ (эко-бензин, бензин, полученный методом риформинга). Для этого предписываются,

например, более строгие показатели давления топливных паров, содержания ароматических соединений, бензолов и серы, а также специальные требования к точке конца кипения. В США является обязательным добавление к таким видам топлива присадок для предотвращения отложений в системе подачи топлива.

Альтернативные виды топлива для ДВС

Для работы на альтернативных видах топлива автомобили необходимо особым образом переоборудовать. Поскольку для работы на сжиженном нефтяном газе можно модернизировать любой автомобиль с ДВС, в Германии двигатели с искровым зажиганием переоборудуют для работы на двух видах топлива.

Сжиженный нефтяной газ (СНГ)

Сжиженный нефтяной газ, состоящий, в основном, из пропана и бутана, имеет ограниченное применение в качестве автомобильного топлива. СНГ является побочным продуктом переработки и очистки сырой нефти и может быть сжижен под давлением 2–20 бар, в зависимости от соотношения пропана/бутана и температуры. СНГ отличается повышенным октановым числом (RON > 100). Использование высококачественных смесей СНГ и воздуха позволяет снизить эмиссию токсичных компонентов в ОГ до минимального уровня, чего нельзя добиться при использовании бензина. Кроме того, СНГ для ДВС не содержит соединений свинца и серы.

Сжатый природный газ (СПГ)

Большие запасы природного газа делают перспективным его применение в качестве топлива для автомобилей. При этом оборудование для работы на СПГ практически идентично применяемому для СНГ.

Основным компонентом СПГ является метан (CH_4), содержание которого составляет от 80 до 99 %. Остаток состоит из инертных газов, таких как углекислый газ, азот, насыщенные углеводороды.

Природный газ транспортируется либо в виде СПГ под давлением 160–200 бар (при этом он может перевозиться на относительно небольшие расстояния), либо в изотермической емкости при –162 °C. Из-за высоких затрат на сжижение природный газ практически повсюду используется в сжатом виде.

Автомобили, работающие на природном газе, отличаются низкой эмиссией CO_2, что обусловлено приемлемым соотношением водорода и углерода, составляющим почти 4:1 (у бензина — 2,3:1), и проистекающим отсюда изменением объемов образующихся основных продуктов сгорания CO_2 и H_2O. Кроме того, при сгорании природного газа почти не образуются твердые частицы и при использовании трехкомпонентного каталитического нейтрализатора обеспечивается очень низкая эмиссия вредных веществ: NO_x, CO и NMHC (углеводородов за вычетом метана). Метан классифицируется как нетоксичный и поэтому не входит в число вредных компонентов ОГ.

Спирты

В качестве альтернативных видов топлива для ДВС могут применяться спирты (прежде всего, метанол и этанол). Метанол можно производить из имеющихся в большом количестве углеродсодержащих видов сырья, таких как уголь, природный газ, тяжелый дистиллят нефти и т. д. Этанол получают в некоторых странах (например, в Бразилии, США) из биомасс (сахарного тростника, зерновых культур) и используют в качестве топлива или добавки к нему.

Поскольку сети снабжения метанолом еще не получили своего развития, двигатели и системы управления двигателями должны быть сконструированы для обеспечения возможности их работы по двухтопливной схеме.

Оптимальная очистка ОГ для двигателей, работающих на таких смесях, возможна при использовании каталитических нейтрализаторов и специальных лямбда-зондов.

Теплотворная способность и некоторые другие характеристики спиртов отличаются от бензиновых, поэтому для эксплуатации на спиртах необходимо переоборудование автомобилей.

Управление работой двигателя с искровым зажиганием

Определяющую роль в современном автомобиле играют электронные системы управления и регулирования. Постепенно шаг за шагом они вытеснили механические системы (например датчик-распределитель зажигания). Лишь электроника делает возможным соблюдение все более строгих предписаний законодательства по выбросам вредных веществ с ОГ.

Технические требования

Одной из целей при разработке ДВС является обеспечение как можно более низких показателей расхода топлива и токсичности ОГ при одновременном получении более высокой мощности двигателя.

Сокращение расхода топлива возможно лишь за счет повышения общего КПД двигателя. В частности, на холостом ходу и при частичной нагрузке двигатель с искровым зажиганием и впрыском во впускной трубопровод работает с низким КПД. Учитывая, что холостой ход и частичная нагрузка используются при эксплуатации двигателя чаще всего, необходимо повышать КПД именно на этих режимах, не допуская при этом снижения достаточно высокого КПД в верхнем диапазоне нагрузок. Это требование можно выполнить благодаря применению непосредственного впрыска.

Еще одно предъявляемое к двигателю требование состоит в том, чтобы он вырабатывал высокий крутящий момент уже при низких оборотах коленчатого вала, для того чтобы автомобиль мог быстро разгоняться. Тем самым, крутящий момент является наиболее важной характеристикой при управлении работой двигателя с искровым зажиганием.

Крутящий момент двигателя

Создаваемая двигателем мощность P определяется крутящим моментом M на коленчатом валу и частотой вращения коленчатого вала n. Крутящий момент на коленчатом валу, передаваемый сцеплению, равняется крутящему моменту, создаваемому в процессе сгорания топлива, за вычетом механических потерь на трение, насосных потерь при газообмене и потерь на привод вспомогательного оборудования (рис. 1).

Момент, создаваемый в процессе сгорания рабочей смеси, определяется:

- массой воздуха, поступающего в цилиндры для обеспечения процесса сгорания на момент закрытия впускных клапанов;

1 Распределение крутящего момента в силовой передаче

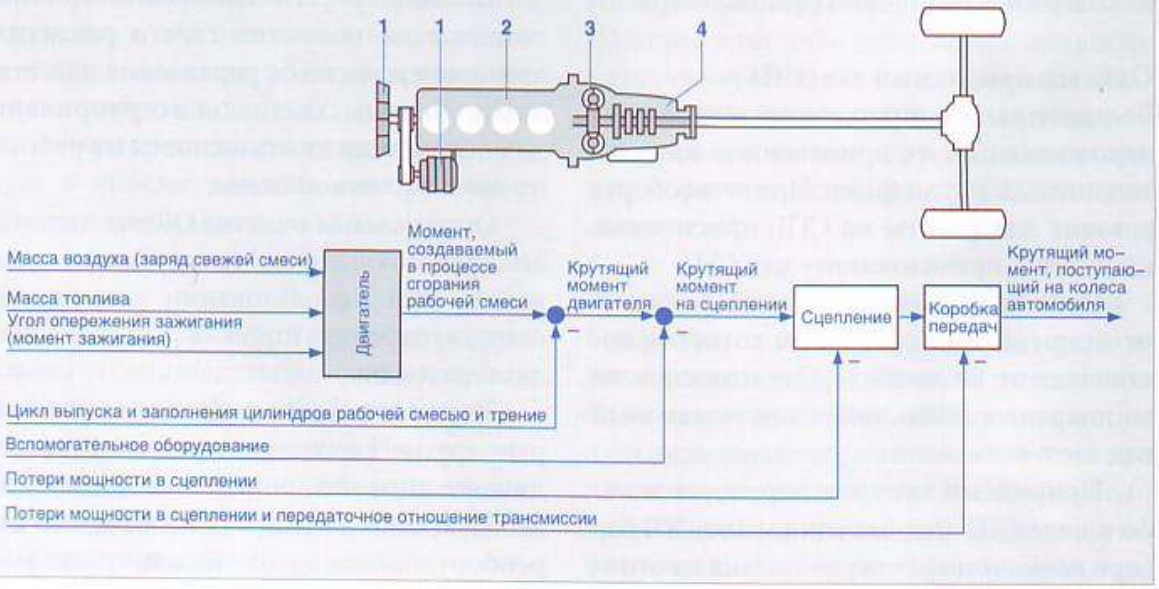


Рис. 1
1. Вспомогательное оборудование (генератор, кондиционер и т. д.)
2. Двигатель
3. Сцепление
4. Коробка передач

- массой топлива, поступающего в цилиндры на момент закрытия впускных клапанов;
- моментом зажигания.

В перспективе доля двигателей с непосредственным впрыском будет увеличиваться. Эти двигатели работают на режимах с избытком воздуха в смеси (эксплуатация на обедненной смеси), когда в цилиндрах находится часть воздуха, никак не влияющая на крутящий момент. В этом случае гораздо большее влияние на крутящий момент имеет количество впрыскиваемого топлива.

Функции системы управления работой двигателя

Одной из функций управления работой двигателя является регулирование вырабатываемого двигателем крутящего момента. Для этого в различных подсистемах (управление наполнением, образованием рабочей смеси, зажигание) производится управление всеми влияющими на крутящий момент параметрами. Цель такого управления состоит в том, чтобы обеспечить получение крутящего момента, необходимого водителю, и одновременно выполнять требования по токсичности ОГ, расходу топлива, повышению мощности, комфорту и безопасности. Эти задачи можно решить только путем применения электронных систем.

В процессе выполнения этих задач система управления работой двигателя в условиях длительной эксплуатации постоянно производит диагностику и информирует водителя о выявленных неполадках. Кроме того, подобная диагностика упрощает техническое обслуживание автомобиля.

Подсистема «управление наполнением цилиндров рабочей смесью»

В обычных системах впрыска, не оснащенных системой управления работой двигателя, водитель непосредственно управляет открытием дроссельной заслонки путем нажатия на педаль газа. Тем самым он устанавливает количество всасываемого в цилиндры воздуха.

В системе управления работой двигателя, имеющей электронно-управляемую педаль газа (EGAS), состав рабочей смеси, поступающей в цилиндры, регулируется дроссельной заслонкой, положение которой изменяется согласно управляющим сигналам, подаваемым рассматриваемой подсистемой. Для этого предусмотрен датчик положения педали «газа», сигнал от которого поступает в подсистему «управление наполнением цилиндров» для определения такого наполнения цилиндров, которое необходимо для выработки требуемого крутящего момента, и открывает приводимую электрически дроссельную заслонку на соответствующую величину.

Подсистема «образование рабочей смеси»

Данная подсистема рассчитывает на режиме гомогенного распределения смеси при определенном коэффициенте избытка воздуха λ массу топлива, соответствующую необходимому наполнению цилиндров воздухом, и по этим данным определяет требуемые продолжительность и момент впрыска. При непосредственном впрыске в условиях работы на обедненной смеси, к которым в основном относится режим послойного распределения смеси, действуют иные правила. В данном случае не всасываемая масса воздуха, а требуемая водителем величина крутящего момента определяет количество впрыскиваемого топлива.

Подсистема «зажигание»

Эта подсистема определяет угол поворота коленчатого вала, при котором должно происходить воспламенение рабочей смеси.

Управление наполнением цилиндров

Задачей управления подачей горючей смеси в цилиндры является координация работы систем, влияющих на состав смеси в цилиндре.

Состав заряда рабочей смеси

Газовая смесь, находящаяся в цилиндре при закрытии впускных клапанов, называется зарядом цилиндра. Он состоит из поступившей свежей рабочей смеси и остаточных ОГ.

Для того чтобы определять величину, не зависящую от рабочего объема двигателя, было введено понятие «относительный заряд». Он устанавливается как отношение фактического заряда к заряду в стандартных условиях (p_o = 1013 гПа, T_o = 273 К).

Свежая рабочая смесь

Компонентами поступающей в цилиндр свежей смеси являются свежий воздух и находящееся в нем топливо (рис. 1). При впрыске во впускной трубопровод все топливо полностью перемешивается со свежим воздухом еще перед впускным клапаном. В системах с непосредственным впрыском топливо впрыскивается непосредственно в камеру сгорания.

Основная часть свежего воздуха поступает в цилиндр с потоком воздуха 6, 7 через дроссельную заслонку 13 и впускной клапан 11. Дополнительный воздух может проходить через систему улавливания паров топлива.

1 Заряд смеси в цилиндре двигателя с искровым зажиганием

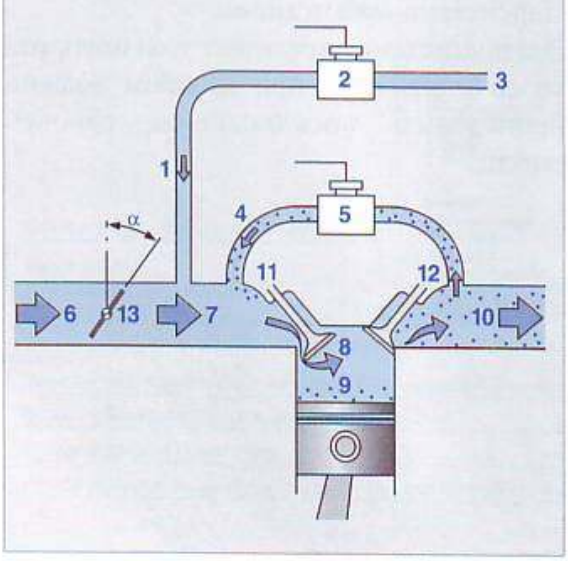


Рис. 1
1. Воздух и пары топлива (из системы улавливания паров топлива)
2. Продувочный клапан с изменяемой площадью поперечного сечения
3. Подсоединение к системе улавливания паров топлива
4. Рециркуляция ОГ
5. Клапан в системе рециркуляции ОГ с изменяемой площадью поперечного сечения
6. Поток воздуха (при атмосферном давлении p_u)
7. Поток воздуха (при давлении во впускном трубопроводе p_s)
8. Наполнение свежим зарядом (при давлении в камере сгорания p_B)
9. Остаточные ОГ (при давлении в камере сгорания p_B)
10. ОГ (при давлении в выпускном коллекторе p_A)
11. Впускной клапан
12. Выпускной клапан
13. Дроссельная заслонка

α — угол открытия дроссельной заслонки

При гомогенном распределении смеси ($\lambda \leq 1$) поступающий через дроссельную заслонку и находящийся в цилиндре после закрытия впускных клапанов 11 воздух является главным фактором производимой во время сгорания работы поршня и, тем самым, вырабатываемого двигателем крутящего момента. В этом случае крутящий момент и нагрузка двигателя зависят от заряда. На режиме работы с обедненной смесью (послойное распределение смеси), напротив, крутящий момент (нагрузка двигателя) напрямую зависит от массы впрыскиваемого топлива.

На режиме эксплуатации с обедненной смесью масса воздуха может различаться даже при одинаковом крутящем моменте. Меры по повышению максимальных крутящего момента и мощности двигателя почти всегда обуславливают увеличение заряда до максимально возможного значения. Теоретически максимальная величина заряда определяется рабочим объемом двигателя.

Остаточные ОГ

Количество остаточных ОГ — это та доля заряда в цилиндре, которая уже участвовала в процессе сгорания. При этом существует принципиальное различие между внутренними и внешними остаточными ОГ. Внутренние остаточные ОГ — это газы, оставшиеся после сгорания в цилиндре или поступившие обратно в цилиндр из выпускного коллектора при одновременно открытых впускном и выпускном клапанах (т. е. во время перекрытия клапанов). Внешние остаточные ОГ образуют газы, направляемые из выпускного коллектора во впускной трубопровод через открытый клапан системы рециркуляции ОГ.

В то время как доля внутренних остаточных ОГ регулируется, главным образом, изменением фаз газораспределения при газообмене (выпускной клапан закрывается, впускной открывается), доля

внешних остаточных ОГ изменяется путем открытия клапана в системе рециркуляции ОГ.

Остаточные ОГ состоят из инертных газов[1)] и — при работе на обедненных смесях — из не участвующего в процессе сгорания воздуха. Инертные газы в остаточных ОГ не принимают непосредственного участия в процессе сгорания во время следующего рабочего цикла, однако влияют на воспламенение и протекание процесса сгорания.

Благодаря этому можно снизить эмиссию оксидов азота (NO_x) путем целенаправленного сохранения определенного количества инертных газов в остаточных ОГ.

Для достижения требуемого крутящего момента необходимо компенсировать объем наполнения свежей смесью, вытесненный инертным газом, путем большего открытия дроссельной заслонки. Тем самым снижаются насосные потери при газообмене в двигателе, следствием чего является снижение расхода топлива.

Управление наполнением цилиндров свежим зарядом

Впрыск во впускной трубопровод

Крутящий момент, вырабатываемый двигателем с впрыском во впускной трубопровод, пропорционален массе заряда свежей смеси. Управление крутящим моментом производится через дроссельную заслонку, регулирующую поток всасываемого воздуха. Если дроссельная заслонка открыта не полностью, всасываемый воздух дросселируется, и, тем самым, снижается вырабатываемый двигателем крутящий момент. Этот эффект дросселирования зависит от положения заслонки, а значит, от поперечного сечения впускного отверстия при открытии дроссельной заслонки. Максимальный крутящий момент достигается при полном открытии дроссельной заслонки.

На рис. 2 показана принципиальная взаимосвязь между наполнением цилиндра зарядом свежей смеси и частотой вращения коленчатого вала в зависимости от угла открытия дроссельной заслонки.

[1)] Находящиеся в камере сгорания газы, не принимающие участия в сгорании.

Непосредственный впрыск

Для двигателей с непосредственным впрыском при работе на режиме гомогенного распределения смеси ($\lambda \leq 1$), т. е. не в условиях с обедненной смесью, действуют те же пропорции, что и при впрыске во впускной трубопровод.

Дроссельная заслонка для снижения потерь при дросселировании остается широко открытой и при частичной нагрузке. В идеальном случае при полностью открытой дроссельной заслонке — как на режиме полной нагрузки — не возникает вообще никаких потерь при дросселировании. Для уменьшения крутящего момента на режиме частичной нагрузки требуется ограничить участие в процессе сгорания поступающего в цилиндры воздуха. При эксплуатации на режимах с избытком воздуха ($\lambda>1$) часть поступившего воздуха остается в цилиндре в виде остаточных ОГ или выводится из цилиндра во время такта выпуска. Поэтому при работе на обедненных смесях величина крутящего момента определяется не наполнением цилиндра воздухом, а поступившим в него количеством топлива.

2 Характеристики работы дроссельной заслонки на двигателе с искровым зажиганием
------- Промежуточные положения дроссельной заслонки

Газообмен

Замена отработавшего заряда (ОГ) свежим происходит посредством согласованного во времени открытия и закрытия впускных и выпускных клапанов. Кулачки распределительного вала определяют моменты открытия и закрытия клапанов (фазы газораспределения), а также характеристику подъема клапанов. Благодаря этому производится воздействие на процесс газообмена, и, тем самым, на количество свежей смеси, поступающей для сгорания.

Перекрытие клапанов, т. е. перекрытие фаз открытия впускных и выпускных клапанов, имеет решающее влияние на остающуюся в цилиндре массу остаточных ОГ. Тем самым определяется и доля инертных газов в свежем заряде цилиндра для следующего рабочего хода. В этом случае говорят о внутренней рециркуляции ОГ.

Доля инертных газов в заряде может быть увеличена за счет внешней рециркуляции ОГ. Клапан в системе рециркуляции ОГ соединяет впускной трубопровод и выпускной коллектор. Управляя этим клапаном, следовательно, можно регулировать долю инертных газов в заряде в зависимости от режима работы двигателя.

Коэффициент наполнения цилиндра

Коэффициент наполнения цилиндра определяется отношением полного объема заряда, поступившего в цилиндр за весь рабочий цикл, к теоретическому заряду, определяемому ходом поршня. При определении коэффициента наполнения цилиндра рассматривается только объем ОГ, действительно оставшихся в цилиндре. Подаваемая в цилиндр свежая смесь, которая во время перекрытия клапанов не участвует в процессе сгорания, в данном случае не учитывается.

Для безнаддувных ДВС коэффициент наполнения цилиндра составляет 0,6 — 0,9. Он зависит от конструкции впускного трубопровода, формы камеры сгорания, поперечного сечения отверстий для впускного и выпускного клапанов и фаз газораспределения.

Наддув

Крутящий момент, который может быть получен при работе на гомогенной смеси ($\lambda \leq 1$), пропорционален массе свежего заряда, поступившего в цилиндры. Поэтому максимальный крутящий момент можно увеличить за счет предварительного сжатия воздуха перед поступлением в цилиндры (наддув). Благодаря наддуву коэффициент наполнения цилиндра можно увеличить до величин, больших 1.

Динамический наддув

Наддув можно получить, используя динамические эффекты во впускном трубопроводе. Коэффициент наддува зависит от конструкции впускного трубопровода и характеристик работы двигателя (в основном, от частоты вращения коленчатого вала и наполнения цилиндров). При использовании регулируемой геометрии впускного трубопровода динамический наддув может обеспечивать увеличение максимального заряда в широком эксплуатационном диапазоне.

Механический наддув

Еще большее повышение плотности воздуха на впуске достигается при помощи нагнетателей с механическим приводом от коленчатого вала двигателя. Сжатый воздух нагнетается в цилиндры через впускной трубопровод.

Турбонаддув с использованием энергии ОГ

В отличие от механического наддува привод турбонагнетателя осуществляется за счет отработавших газов (энергия которых в безнаддувных двигателях остается невостребованной), а не от коленчатого вала.

Приготовление рабочей смеси

В системе «приготовление рабочей смеси» производится расчет необходимой массы топлива, соответствующей массе всасываемого воздуха. Дозирование топлива производится форсунками.

Топливовоздушная смесь

Для эффективной работы двигателя с искровым зажиганием требуется использование рабочей смеси с определенным соотношением воздуха и топлива. Идеальное теоретически полное сгорание смеси происходит при пропорции воздуха и топлива, равной 14,7 : 1. Такое соотношение называется стехиометрическим. Это означает, что, например, для сгорания 1 кг топлива требуется 14,7 кг воздуха или, если это выразить в объемных единицах, топливо объемом 1 л полностью сгорает в присутствии 9500 л воздуха.

Коэффициент избытка воздуха

Для обозначения степени отличия действительной топливовоздушной смеси от теоретически необходимой (стехиометрической) используется коэффициент избытка воздуха λ (в отечественной практике обозначается буквой α — прим. ред.).

При $\lambda = 1$ масса подаваемого в цилиндры воздуха равна теоретически необходимой.

При $\lambda < 1$ имеется дефицит воздуха, т.е. смесь является обогащенной. Обогащение смеси топливом необходимо при пуске холодного двигателя — для компенсации того количества топлива, которое конденсируется на холодных стенках впускного трубопровода (при впрыске во впускной трубопровод) и цилиндра, а значит не участвует в сгорании.

При $\lambda > 1$ имеется избыток воздуха, т.е. смесь является обедненной. Максимально достижимое значение λ, соответствующее границе устойчивой работы двигателя на обедненных смесях, в большой степени зависит от конструкции двигателя и применяемой системы смесеобразования. За этой границей возникают перебои в сгорании, сопровождаемые неравномерной работой двигателя, возрастает расход топлива и падает мощность.

У двигателей с непосредственным впрыском, характеризуемых другими условиями сгорания, степень предельно допустимого обеднения смеси значительно ниже. Эти двигатели на режиме неполной нагрузки могут работать при гораздо бóльших коэффициентах избытка воздуха.

Условия работы на разных смесях

Гомогенная смесь ($\lambda \leq 1$): в двигателях с впрыском во впускной трубопровод топливовоздушная смесь всасывается в цилиндры во время такта впуска через открытый впускной клапан. Результатом этого является практически гомогенное распределение смеси в камере сгорания.

Это возможно и на двигателях с непосредственным впрыском, когда топливо впрыскивается в камеру сгорания во время такта впуска.

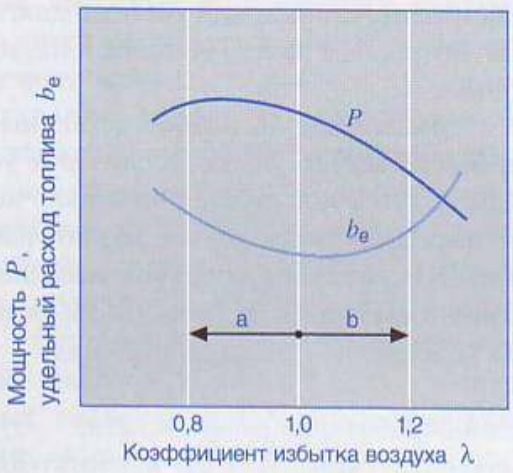
Гомогенно-обедненная смесь ($\lambda > 1$): рабочая смесь с определенным избытком воздуха распределяется в камере сгорания однородно (гомогенно).

Послойный заряд: этот и описанные ниже режимы возможны только на двигателях с непосредственным впрыском. Топливо впрыскивается лишь незадолго до момента зажигания. Оно располагается в виде ограниченного объема смеси вблизи свечи зажигания.

Гомогенно-послойная смесь: дополнительно к послойному заряду на всем пространстве камеры сгорания находится гомогенно-распределенная обедненная смесь. Это распределение смеси достигается посредством двойного впрыска.

Гомогенно-антидетонационная смесь: и в этом случае благодаря двойному впрыску достигается такое распределение смеси, которое практически предотвращает детонационное сгорание.

1 Влияние коэффициента избытка воздуха λ на мощность двигателя P и удельный расход топлива b_e при гомогенной смеси



2 Влияние коэффициента избытка воздуха λ на содержание вредных веществ в ОГ, не подвергаемых очистке, при гомогенной смеси

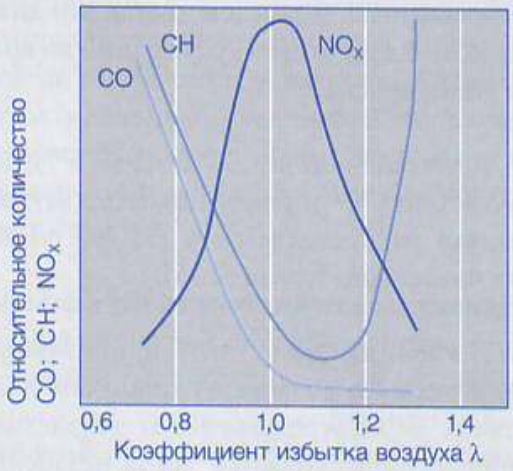


Рис. 1
a — богатая смесь (дефицит воздуха)
b — бедная смесь (избыток воздуха)

Послойный заряд с разогревом каталитического нейтрализатора: задержка впрыскивания топлива ведет к быстрому разогреву нейтрализатора.

Удельный расход топлива, мощность и токсичность ОГ

Впрыскивание топлива во впускной трубопровод

Двигатели с впрыском во впускной трубопровод развивают максимальную мощность при 5–15 % дефицита воздуха в смеси (λ = 0,95–0,85) и обеспечивают минимальный расход топлива при 10–20% избытка воздуха (λ = 1,1–1,2). На рис. 1 и 2 показаны зависимости мощности и удельного расхода топлива, а также токсичности ОГ от коэффициента избытка воздуха. Из этих графиков можно сделать вывод о том, что не существует идеального коэффициента избытка воздуха, при котором все указанные факторы были бы наилучшими. Оптимальный расход топлива при оптимальной мощности достигается при λ = 0,9–1,1.

Для каталитической очистки ОГ при помощи трехкомпонентного каталитического нейтрализатора обязательным условием является поддержание λ = 1 при условии, что двигатель имеет рабочую температуру. Для поддержания λ необходимо точно определять поступающую в цилиндры массу воздуха и количество впрыскиваемого топлива.

Наряду с точным дозированием впрыскиваемого топлива для оптимизации протекания процесса сгорания необходимо получение гомогенной смеси, что обеспечивает хорошее распыление топлива. Если это требование не выполняется, то на стенках впускного трубопровода или камеры сгорания конденсируются капли топлива. Полностью они не сгорают, следствием чего является повышение эмиссии углеводородов с ОГ.

Непосредственное впрыскивание топлива

При непосредственном впрыскивании топлива и в условиях гомогенной смеси при λ ≤ 1 действуют те же пропорции соотношения топлива и воздуха, что и при впрыскивании топлива во впускной трубопровод. При послойном распределении смеси, напротив, рабочая смесь имеет практически стехиометрическую пропорцию только в облаке заряда вблизи свечи зажигания. За пределами этой области цилиндр наполнен воздухом и инертными газами. С учетом всего объема камеры сгорания соотношение воздуха и топлива в смеси оказывается большим (λ > 1).

Поскольку при этом рабочей смесью заполнена не вся камера сгорания, крутящий момент и максимальная мощность имеют более низкие значения. Для достижения большей максимальной мощности необходимо, чтобы вся камера сгорания — как при впрыске во впускной трубопровод — была заполнена гомогенной смесью.

В зависимости от характера протекания процесса и распределения смеси в камере сгорания при работе на обедненных смесях создаются условия, при которых ОГ не могут быть очищены от оксидов азота с помощью трехкомпонентного каталитического нейтрализатора. Это требует дополнительных мер по очистке ОГ от оксидов азота при помощи каталитического нейтрализатора накопительного типа.

Режимы работы двигателя

При некоторых режимах работы двигателя потребность в топливе сильно отличается от постоянного расхода прогретого двигателя, а потому необходима корректировка состава смеси.

Пуск и прогрев двигателя

При пуске холодного двигателя поступающая в цилиндры рабочая смесь обедняется. Это происходит из-за недостаточного перемешивания всасываемого воздуха с топливом, низкой испаряемостью топлива и сильной конденсацией капель топлива на еще холодных стенках впускного трубопровода (при впрыске во впускной трубопровод) и цилиндра. Для компенсации этого эффекта и облегчения пуска холодного двигателя в момент пуска в рабочую смесь должно добавляться дополнительное количество топлива.

До тех пор пока двигатель не прогрелся, смесь необходимо обогащать и после запуска. Вышесказанное относится и к двигателям с непосредственным впрыском. Работа на обедненной смеси с послойным ее распределением возможна только при достижении рабочей температуры двигателя и зависит от конструктивных особенностей двигателя и условий сгорания смеси.

Режим холостого хода и работы в условиях частичной нагрузки

После достижения рабочей температуры двигатели с впрыском во впускной трубопровод эксплуатируются на режимах холостого хода и частичной нагрузки исключительно со стехиометрической смесью. Напротив, двигатель с непосредственным впрыском должен как можно чаще работать в условиях послойного распределения смеси. На режимах холостого хода и частичной нагрузки это возможно, благодаря чему обеспечивается наименьший расход топлива — при эксплуатации с обедненной смесью на этих рабочих режимах можно сэкономить до 40 % топлива.

Работа при полной нагрузке

На этом режиме соотношения воздуха и топлива в смеси как при впрыске во впускной трубопровод, так и при непосредственном впрыске различаются незначительно. При полностью открытой дроссельной заслонке может потребоваться обогащение смеси. Благодаря этому, как показано на рис. 1, можно добиться максимальных значений крутящего момента или мощности.

Режим разгона и торможения

Склонность топлива к испаряемости при впрыске во впускной трубопровод сильно зависит от давления в трубопроводе. Из-за этого вблизи впускных клапанов на стенках трубопровода происходит образование пленки топлива. Скачки давления во впускном трубопроводе, например при быстрых изменениях открытия дроссельной заслонки, приводят к тому, что толщина этой пленки увеличивается. При резком разгоне давление во впускном трубопроводе повышается, склонность топлива к испаряемости, соответственно, растет, и пленка топлива на стенках становится толще. Итак, поскольку часть впрыскиваемого топлива конденсируется на стенках в виде пленки, смесь на короткое время обедняется, до тех пор пока толщина этой пленки не стабилизируется. Аналогично, резкое замедление приводит к обогащению смеси, поскольку из-за понижения

давления во впускном трубопроводе интенсивность образования пленки топлива на стенках уменьшается. Для достижения наилучших динамических характеристик и обеспечения необходимого для оптимальной работы каталитического нейтрализатора постоянного соотношения воздуха и топлива в смеси применяется корректировка смеси в зависимости от температуры (переходная компенсация).

Такая пленка топлива также может образовываться на стенках цилиндров. Но на прогретом двигателе конденсация здесь весьма незначительна.

Движение накатом

При движении накатом подача топлива отсекается (система отключения подачи топлива при движении накатом). Благодаря этому экономится топливо, а также осуществляется защита каталитического нейтрализатора от перегрева, вызванного неполным сгоранием.

Зажигание

Задачей системы зажигания является воспламенение сжатой рабочей смеси в точно установленный момент.

Система зажигания

В двигателях Отто воспламенение рабочей смеси производится электрической искрой, проскакивающей между электродами свечи зажигания. На таких ДВС используются, главным образом, индуктивные системы зажигания, которые аккумулируют необходимую для зажигания энергию в катушке зажигания. Требуемая величина энергии определяет период времени, в течение которого должна заряжаться находящаяся под током катушка зажигания (угол замкнутого состояния контактов). Прерывание тока от катушки при определенном значении угла поворота коленчатого вала (угол опережения зажигания) приводит к возникновению искры и, тем самым, к воспламенению рабочей смеси.

В современных системах зажигания управление всеми процессами производится при помощи электроники.

Момент зажигания

Установка угла опережения зажигания

После момента зажигания проходит примерно 2 мс, прежде чем рабочая смесь полностью сгорит. Следовательно, момент зажигания должен быть выбран так, чтобы основной процесс сгорания и вместе с ним пик давления в цилиндре происходили вскоре после прохождения поршнем ВМТ. Таким образом, с увеличением частоты вращения коленчатого вала угол опережения зажигания следует корректировать в сторону установки «раннего зажигания».

Кроме того, на протекание процесса сгорания влияет наполнение цилиндра зарядом смеси. При незначительном наполнении цилиндра фронт пламени распространяется медленнее. Поэтому в этом случае угол опережения зажигания следует также увеличивать.

Влияние угла опережения зажигания

Угол опережения зажигания существенным образом влияет на эксплуатацию двигателя. Он определяет:

- создаваемый двигателем крутящий момент;
- токсичность ОГ;
- расход топлива.

1 Диаграмма изменения угла опережения зажигания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и относительного наполнения цилиндров воздухом

Угол опережения зажигания выбирается таким, чтобы эксплуатационные характеристики были, по возможности, оптимизированы. Кроме того, при работе двигателя не должно появляться длительное детонационное сгорание.

Основная регулировка угла опережения зажигания

В системах зажигания с электронным управлением применяется диаграмма изменения угла опережения зажигания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и наполнения цилиндров зарядом рабочей смеси (рис. 1). Эта диаграмма хранится в памяти системы управления двигателем и обеспечивает основную регулировку угла опережения зажигания.

Определенное количество показателей, обычно равное 16, образуют опорные точки диаграммы. Для каждой пары показателей в памяти блока управления хранится соответствующее значение угла опережения зажигания. Следовательно, диаграмма содержит 256 устанавливаемых показателей для угла опережения зажигания. Путем линейной интерполяции между двумя опорными точками диаграммы число показателей для угла опережения зажигания увеличивается до 4096.

Электронное регулирование угла опережения зажигания посредством этой диаграммы делает возможным определение оптимального угла опережения зажигания для каждого рабочего состояния двигателя. Эти диаграммы рассчитываются на основе информации, полученной при испытаниях двигателя на динамометрическом стенде.

Дополнительные корректировки угла опережения зажигания

Обедненная смесь хуже воспламеняется, следовательно, при работе на такой смеси требуется большее время для достижения основной фазы процесса сгорания, соответственно, смесь должна воспламеняться раньше. Поэтому установка угла опережения зажигания должна производиться в зависимости от состава смеси, т.е. от изменения коэффициента избытка воздуха.

Также на выбор угла опережения зажигания влияет температура охлаждающей жидкости системы охлаждения двигателя. Поэтому необходимо производить также установку угла опережения зажигания в зависимости от этой температуры. Информация об этих установках угла опережения зажигания внесена в память блока управления. Дополнительные регулировки сдвигают основной угол опережения зажигания на определенную величину в направлении как «раннего», так и «позднего» зажигания.

Специальные значения угла опережения зажигания

Определенные режимы работы, например холостой ход или отключение подачи топлива при движении накатом, требуют установки углов опережения зажигания, отличающихся от зафиксированных на диаграмме. Для этого в памяти блока управления хранятся специальные кривые изменения угла опережения зажигания.

Регулирование угла опережения зажигания в зависимости от детонации при сгорании

Детонация — явление, возникающее при установке слишком раннего угла опережения зажигания. При этом после момента начала обычного процесса сгорания происходит самовоспламенение еще не охваченной фронтом пламени остаточной смеси (несгоревшей рабочей смеси) из-за высокого давления в камере сгорания. Следующее за этим воспламенение несгоревшей рабочей смеси протекает мгновенно, приводя к быстрому нарастанию давления. Вызываемая этим процессом ударная волна распространяется в цилиндре, воздействует на стенки и становится слышна по меньшей мере при низкой частоте вращения коленчатого вала и низком уровне общего шума двигателя. На высоких частотах вращения шумы, производимые двигателем, перекрывают звуки детонационного сгорания.

Ударные волны и повышенные термические нагрузки при длительном детонационном сгорании могут стать причиной механических повреждений деталей двигателя. Для предотвращения подобных явлений у современных двигателей (со впрыском во впускной трубопровод и с непосредственным впрыском), работающих с сильно сжимаемой смесью, установка угла опережения зажигания в зависимости от детонации при сгорании входит в стандартные функции системы управления двигателем. При появлении детонационного сгорания, сигнал о котором поступает с датчиков детонации, блок управления устанавливает угол опережения зажигания в направлении «позднего» зажигания для того цилиндра, в котором датчик распознал детонационное сгорание. Для достижения максимального КПД двигателя основная регулировка угла опережения зажигания (калибровочная характеристика) должна выполняться строго на границе детонационного сгорания.

У двигателей с непосредственным впрыском детонационное сгорание возникает только при работе на гомогенных смесях. При послойном распределении смеси в крайних зонах камеры сгорания, за пределами послойного заряда, не находится никакой горючей смеси, поэтому двигатель в этих условиях к детонационному сгоранию не склонен.

Угол замкнутого состояния контактов

Энергия, аккумулированная в катушке зажигания, зависит от продолжительности протекания через нее электрического тока. Следует точно соблюдать время, требуемое для создания необходимой энергии зажигания в катушке, для того чтобы не подвергать ее термическим перегрузкам. Поэтому угол замкнутого состояния контактов, связанный с углом поворота коленчатого вала, зависит от частоты его вращения.

При расчете угла замкнутого состояния контактов необходимо также учитывать и напряжение аккумуляторной батареи, влияющее на величину электрического тока в катушке зажигания.

Продолжительность замкнутого состояния контактов учитывается на диаграмме, на осях x и y которой нанесены напряжение аккумуляторной батареи и частота вращения коленчатого вала.

История создания систем управления двигателем с искровым зажиганием

Принцип действия двигателя с искровым зажиганием существенно не изменялся, начиная с первого его применения на автомобиле более ста лет назад. И все же современный двигатель с искровым зажиганием имеет мало общего со своим предшественником. Конструкция двигателей постоянно развивалась. Они становились мощнее, а за последние три десятилетия — менее вредными для окружающей среды и одновременно более экономичными. Значительное влияние на это развитие оказал переход с механического управления двигателем на электронное.

Общий обзор

В табл. 1 дана краткая история развития важнейших систем управления двигателем с искровым зажиганием, созданных фирмой Bosch. На рис. 1 показано, как шло развитие блоков управления двигателем благодаря прогрессу в микроэлектронике.

1 Развитие систем управления двигателем с искровым зажиганием фирмы Bosch (примеры)

1965 г.	Электронное (транзисторное) зажигание
1967 г.	D-Jetronic (электронная система впрыска, управление давлением во впускном трубопроводе)
1973 г.	K-Jetronic (гидромеханическая система впрыска)
1973 г.	L-Jetronic (электронная система впрыска с датчиком расхода воздуха)
1979 г.	M-Motronic (первая комбинированная система зажигания и впрыска топлива)
1981 г.	LH-Jetronic (электронная система впрыска с датчиком расхода воздуха)
1982 г.	KE-Jetronic (K-Jetronic с электронным управлением дополнительными функциями)
1982 г.	Электронная система зажигания
1982 г.	Система ограничения детонации
1986 г.	Электронное управление мощностью двигателя (электронное управление педалью газа (EGAS))
1987 г.	Mono-Jetronic (система управления двигателем с впрыскиванием топлива над дроссельной заслонкой через форсунку во впускном трубопроводе)
1989 г.	Mono-Motronic (система управления двигателем с впрыскиванием топлива над дроссельной заслонкой через форсунку во впускном трубопроводе и подачей управляющих импульсов на катушку зажигания)
1994 г.	ME-Motronic (Motronic с электронным управлением педалью газа (EGAS))
2000 г.	MED-Motronic (Motronic для двигателей с непосредственным впрыском)

1 Примеры блоков управления

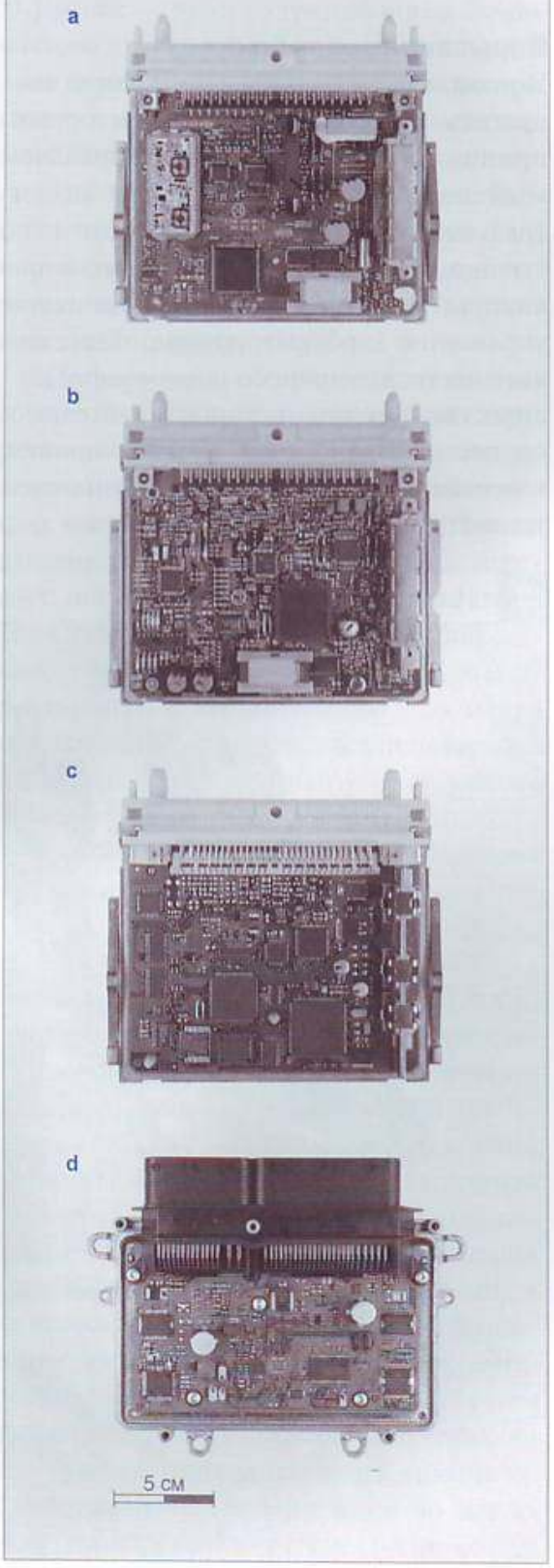


Рис. 1
a — блок управления электронной системы впрыска LH3.2-Jetronic с 8-битным микроконтроллером
b — блок управления электронной системы зажигания EZ129K, произведенный в 1992 г., с 8-битным микроконтроллером
c — блок управления системы Motronic M4.4, произведенный в 1995 г., с 8-битным микроконтроллером, совмещенными в едином корпусе системами LH и электронного зажигания, а также дополнительными функциями, например, встроенной бортовой диагностикой (OBD)
d — блок управления системы Motronic ME9, произведенный в 2002 г., с 32-битным контроллером, имеющий меньшие размеры по сравнению с M4.4, несмотря на значительно расширенные функции, в частности, электронное управление педалью «газа» (EGAS)

Таблица 1

Механические системы

До конца 60-х годов прошлого века управление двигателем с искровым зажиганием осуществлялось чисто механически. У таких систем, по существу, имеются всего два регулируемых параметра: количество подаваемого топлива и угол опережения зажигания.

Впрыскивание топлива

Поначалу системы впрыска не могли выпустить более простой карбюраторный принцип смесеобразования. Управляемый педалью газа карбюратор задает требуемое количество топлива в соответствии с количеством всасываемого в цилиндры воздуха. Однако, механическое управление карбюратором не обеспечивает настолько точного дозирования количества топлива, которое необходимо сегодня. Именно этот фактор привел к замене карбюраторных систем на системы впрыска.

Система K-Jetronic

Эта гидромеханическая система впрыска обеспечивает впрыскивание топлива во впускной трубопровод через отдельные форсунки, располагаемые перед каждым цилиндром (многоточечная система впрыска). Дозирование топлива производится механически, когда форсунка открывается и закрывается в зависимости от давления топлива. Датчик расхода воздуха измеряет объем всасываемого в двигатель воздуха и воздействует непосредственно на управляющий плунжер в специальном распределителе топлива, что позволяет регулировать давление и, тем самым, количество топлива, которое поступает в цилиндры.

При этом могут быть учтены и дополнительные факторы, влияющие на количество впрыскиваемого топлива, например, температура.

Преимущество такой механической системы впрыска перед электронными состоит в ее невысокой стоимости.

2 Компоненты системы K-Jetronic

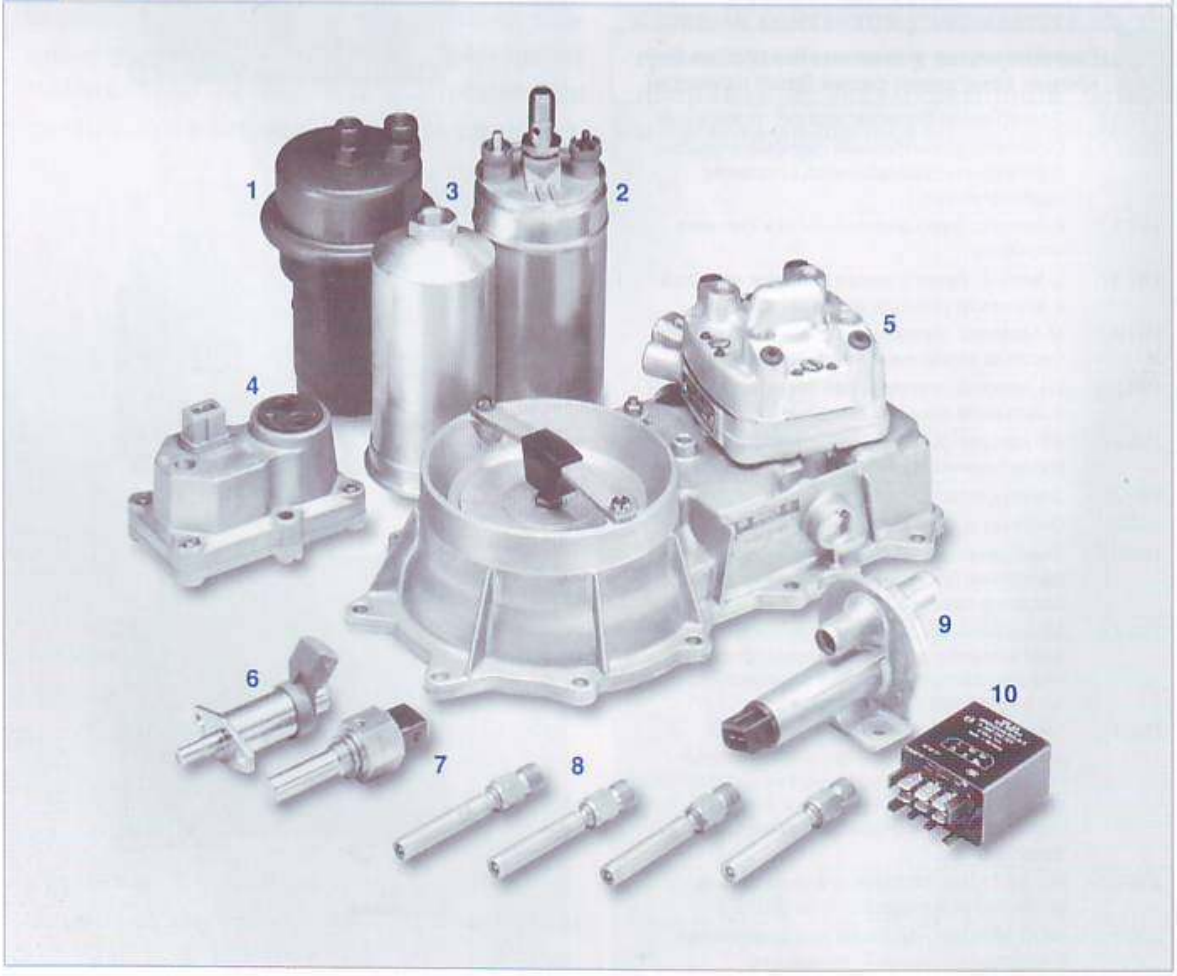


Рис. 2

1. Аккумулятор топлива
2. Топливный насос с электроприводом
3. Топливный фильтр
4. Регулятор прогрева двигателя
5. Блок контроля состава смеси с датчиком расхода воздуха и дозатором топлива
6. Пусковая форсунка
7. Термореле
8. Форсунки
9. Устройство для подачи дополнительного воздуха
10. Электронное реле управления

Системы зажигания

Система зажигания с использованием катушки зажигания (батарейное зажигание)

В такой системе энергия, необходимая для получения разряда между электродами свечи зажигания, аккумулируется в катушке зажигания. Высокое напряжение зажигания создается путем трансформации индуктированного напряжения при прерывании прохождения электрического тока через катушку (механическое размыкание контактов). Напряжение зажигания подается через датчик-распределитель на отдельные свечи зажигания.

Центробежный регулятор опережения зажигания с вакуумным устройством диафрагменного типа, а также контакты прерывателя являются необходимыми элементами этой системы. Благодаря их взаимодействию можно регулировать момент зажигания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки на двигатель.

Серийное производство такой системы зажигания началось в 1934 г. В последующие годы она быстро вытеснила зажигание с помощью магнето, применявшееся ранее для получения импульсов высокого напряжения.

Электронное (транзисторное) зажигание

Первым электронным элементом, использованным в управлении двигателем, был транзистор. Он заменил быстро выходившие из строя механические контакты прерывателя в датчике-распределителе зажигания. Тем самым, было исключено влияние обгорания контактов прерывателя на угол опережения зажигания.

Транзисторная система зажигания начала применяться с 1965 г. Однако в течение еще нескольких лет на автомобилях применялось механическое регулирование опережения зажигания и угла замкнутого состояния контактов.

Электронные системы

Постепенно для управления впрыском и зажиганием стала использоваться электроника. В настоящее время системы с механическим управлением не производятся.

Системы впрыска топлива

Система D-Jetronic

D-Jetronic — это электронно управляемая система прерывистого впрыскивания топлива через одну форсунку (одноточечная система впрыска). Давление впрыскиваемого топлива остается постоянным, а количество определяется продолжительностью импульсов впрыскивания. Эта фаза впрыскивания зависит от оборотов коленчатого вала и противодавления во впускном трубопроводе.

Информацию об оборотах коленчатого вала блок управления получает от двух, расположенных в датчике-распределителе зажигания, необслуживаемых размыкающих контактов, сдвинутых на 180°. Датчик давления во впускном трубопроводе передает информацию о нагрузке двигателя. Температура двигателя и воздуха определяется термодатчиками и служит для корректировки номинального момента впрыскивания топлива, рассчитываемого на основе данных о нагрузке и частоте вращения коленчатого вала.

Система D-Jetronic сконструирована из аналоговых электронных схем.

Система L-Jetronic

В системе L-Jetronic, в отличие от D-Jetronic, моменты впрыскивания топлива рассчитываются, исходя из оборотов коленчатого вала и поступившего во впускной трубопровод объема воздуха. Для этого непосредственно за дроссельной заслонкой расположен датчик расхода воздуха, подающий в блок управления соответствующий сигнал. Так как объем поступившего воздуха зависит ото всех изменений, происходящих с двигателем (например износ, нагарообразование в камере сгорания), то тем самым имеется возможность получения более точного состава смеси по сравнению с методом измерения давления во впускном трубопроводе в системе D-Jetronic.

3 Элементы системы L-Jetronic

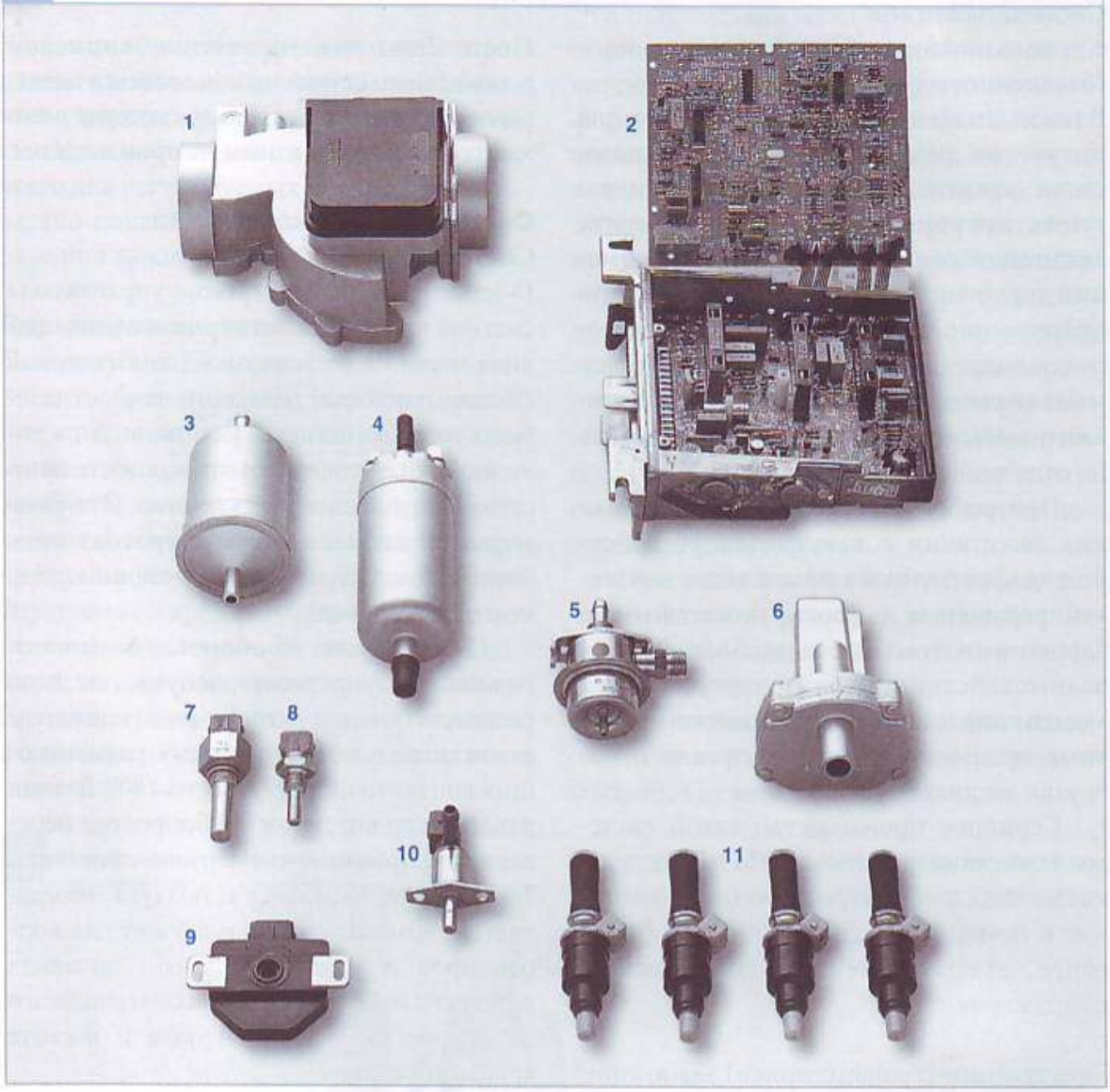


Рис. 3
1. Датчик расхода воздуха
2. Электронный блок управления
3. Топливный фильтр
4. Топливный насос с электроприводом
5. Регулятор давления топлива
6. Устройство подачи дополнительного воздуха
7. Термореле
8. Датчик температуры
9. Датчик углового положения дроссельной заслонки
10. Пусковая форсунка
11. Форсунки

Данные об оборотах коленчатого вала блок управления системы L-Jetronic получает от контактов в датчике-распределителе зажигания, а при бесконтактной системе зажигания — от вывода 1 катушки зажигания.

Система L-Jetronic сконструирована на основе аналоговой технологии. Следующая разработка — система L3-Jetronic — делает возможным производить обработку данных в цифровом виде. Благодаря этому можно использовать дополнительные функции с лучшими возможностями корректировки.

Система KE-Jetronic

Система KE-Jetronic базируется на хорошо зарекомендовавшей себя системе K-Jetronic с включением в нее электронного блока управления, регулятора давления в системе и электрогидравлического корректора давления для управления составом рабочей смеси. Благодаря электронной регулировке дозирования топлива стало возможным улучшить при подготовке смеси корректировку ее состава с учетом внешних условий и рабочего режима двигателя.

Система LH-Jetronic

По существу, система LH-Jetronic отличается от L-Jetronic способом измерения нагрузки: вместо объема подаваемого воздуха измеряется массовый расход воздуха.

Тем самым информация, поступающая с датчика, не зависит от плотности воздуха, на которую влияют температура и давление.

4 Обзор систем управления двигателем

Обозначение системы		Тип впрыскивания топлива	Основной регулируемый параметр
D	Jetronic	одновременный (последовательный в LH4.1)	давление во впускном трубопроводе
L			объем/масса воздуха
MONO		центральный	положение дроссельной заслонки/ частота вращения коленчатого вала
K		непрерывный	объем воздуха
KE		непрерывный с электронной корректировкой	объем воздуха
KE	Motronic		объем воздуха
MONO		центральный	положение дроссельной заслонки/ частота вращения коленчатого вала
ML		одновременный/ последовательный	объем/масса воздуха
M			объем воздуха
MP			давление во впускном трубопроводе
ME		последовательный	масса воздуха
MED			масса воздуха

Рис. 4
Эта таблица дает представление о системах управления двигателем, разработанных фирмой Bosch, в ходе их развития

Система Mono-Jetronic

Система Mono-Jetronic представляет собой систему с впрыскиванием топлива через одну форсунку (одноточечная система впрыска) центрального расположения с электромагнитным управлением.

Эта система является более дешевой по сравнению с прежними системами впрыска топлива через одну форсунку, что позволило внедрить электронный впрыск топлива на автомобилях среднего и малого классов.

Зажигание

Применение микроконтроллеров позволило заменить механическое регулирование угла опережения зажигания электронным. Зависящие от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала значения угла опережения зажигания могут быть внесены в память программного накопителя блока управления системой зажигания. Тем самым угол опережения зажигания поддерживается постоянным в течение продолжительного времени без учета влияния быстроизнашивающихся деталей.

Электронные системы зажигания используются совместно с электронными системами впрыска. На новых автомобилях эти системы использовались до 1998 г., а в наши дни системы зажигания и впрыска топлива интегрированы в систему Motronic.

Электронная система зажигания

Электронная система зажигания управляет оконечным каскадом зажигания. Данные по углу замкнутого состояния контактов датчика-распределителя и углу опережения зажигания хранятся в памяти программного блока (система зажигания с управлением по оптимизированному отображению процесса зажигания). Дополнительные показатели, например, температура охлаждающей жидкости или температура подаваемого воздуха, учитываются при расчете угла опережения зажигания.

Полупроводниковая система зажигания без датчика-распределителя

Данная система обходится без механического высоковольтного датчика-распределителя зажигания. Распределение напряжения происходит электронным способом в блоке управления системой зажигания. Высоковольтное напряжение генерируется несколькими катушками зажигания.

Система управления двигателем Motronic

Электронный впрыск и электронное зажигание сделали возможным разработку двигателей, которые, с одной стороны, стали более мощными, а с другой — обеспечили соблюдение более жестких требований по ограничению токсичности ОГ. Растущая миниатюризация электронных деталей и схем привела к появлению все более мощных микроконтроллеров и полупроводниковых чипов со значительно большим объемом памяти. В результате стало возможным задачи, выполняемые системой электронного впрыска и электронной системой зажигания с программным управлением, возложить на единственный микроконтроллер. Тем самым, разработчикам представилась возможность объединить обе системы — электронный впрыск и электронное зажигание — в одном блоке управления. Так появилась система Motronic.

Система M-Motronic

Система M-Motronic начала серийно выпускаться еще в 1979 г. Она совместила в себе функциональность системы многоточечного впрыска Jetronic с электронной системой зажигания с программным управлением. Тем самым стало возможным отличительное согласование дозирования топлива и управления зажиганием.

Благодаря стремительному прогрессу в полупроводниковой технологии быстродействие микроконтроллеров становилось все выше, а емкость запоминающих устройств программных накопителей данных и чипов — все больше. Таким образом, в систему M-Motronic можно было интегрировать все большее число функций (например, контроль за детонацией или регулирование давления наддува для турбонагнетателя). Такие функции, как рециркуляция ОГ или система вентиляции топливного бака, снижающие токсичность ОГ и эмиссию топливных паров, стали обязательными требованиями. Благодаря этому система M-Motronic превратилась в комплексную систему управления двигателем.

Система KE-Motronic

В самом начале применения системы M-Motronic ее использование было возможно только на автомобилях высшего класса из-за высокой стоимости электроники и элементов системы впрыска. Требования по соблюдению норм токсичности ОГ привели к развитию более простых систем Motronic, используемых на автомобилях среднего и малого классов.

Система KE-Motronic представляет собой объединенную в одном блоке управления комбинацию электронно-механической системы впрыска KE-Jetronic и электронной системы зажигания с программным управлением.

Система Mono-Motronic

Упрощение системы Mono-Motronic, по сравнению с M-Motronic, состояло в том, что здесь использовалась единственная форсунка центрального расположения, впрыскивающая топливо во впускной трубопровод. Тем самым система впрыска Mono-Motronic соответствовала системе Mono-Jetronic.

Система ME-Motronic

Система ME-Motronic, начало серийного производства которой приходится на 1994 г., базируется на системе M-Motronic. Дополнительно здесь применяется электронное управление мощностными параметрами двигателя (отдельно производимое с 1986 г.). В этой системе, называемой также EGAS (электронное управление педалью «газа»), традиционный привод дроссельной заслонки через трос Боудена заменен электрически регулируемой дроссельной заслонкой и дополнительным датчиком положения педали «газа», расположенным в педальном узле.

Система MED-Motronic

Система MED-Motronic (начало серийного производства — 2000 г.) отличается от ME-Motronic расширенной функциональностью непосредственного впрыска. Большая сложность выполнения задач по управлению и регулированию требуют применения микроконтроллера с очень высокой вычислительной способностью.

Системы управления наполнением цилиндров зарядом рабочей смеси

Для двигателя с искровым зажиганием, работающего на гомогенных смесях, решающим фактором для создания крутящего момента, а тем самым и мощности, является количество воздуха на впуске. Поэтому, наряду с дозированием топлива, особое значение имеют системы, влияющие на наполнение цилиндра зарядом смеси. Некоторые из этих систем могут влиять и на содержание инертных газов в заряде смеси, а тем самым и на состав ОГ.

Управление наполнением цилиндров зарядом воздуха

Для сгорания топлива необходим кислород, который двигатель получает из подводимого воздуха. У двигателей с внешним приготовлением смеси (впрыскивание топлива во впускной трубопровод), а также с непосредственным впрыскиванием топлива, работающих на гомогенной смеси при $\lambda = 1$, создаваемый крутящий момент напрямую зависит от поступающей массы воздуха. Воздушным потоком, всасываемым в цилиндры, и тем самым наполнением цилиндра управляет дроссельная заслонка, находящаяся во впускном трубопроводе.

Обычные системы

В обычных системах (рис. 1) дроссельная заслонка 3 имеет механический привод. Изменение положения педали «газа» 1 передается на дроссельную заслонку через тросовый привод или систему тяг 2. Угловое положение дроссельной заслонки влияет на площадь поперечного сечения открытой части впускного тракта 4, таким образом изменяется поток воздуха 5, поступающего в цилиндры, и тем самым создаваемый крутящий момент.

Из-за более высоких потерь на трение холодному двигателю ему необходимо большее количество воздуха и топлива. Также повышенная потребность в воздухе появляется при подключении компрессора кондиционера, с тем чтобы компенсировать снижение мощности. Эта информация передается блоку управления 8 в виде электрических сигналов 9. Дополнительная потребность в воздухе обеспечивается либо подключением через механизм 7 байпасной воздухоподачи, которая обеспечивает пропуск дополнительных воздушных потоков 6 в обход дроссельной заслонки, либо путем использования электроприводной дроссельной заслонки с установленным минимальным углом поворота. Однако, в обоих случаях электронное регулирование подачей воздуха происходит в ограниченных пределах.

Система EGAS (электронное управление дроссельной заслонкой)

В системе EGAS (электронное управление дроссельной заслонкой или, буквально, Elektronisches Gaspedal — «электронная педаль «газа») регулирование дроссельной заслонкой 5 (рис. 2) осуществляет электронный блок управления 2. Дроссельная заслонка скомпонована с приводом 4

1 Управление подачей воздуха с использованием механически регулируемой дроссельной заслонки и механизма байпасного регулирования

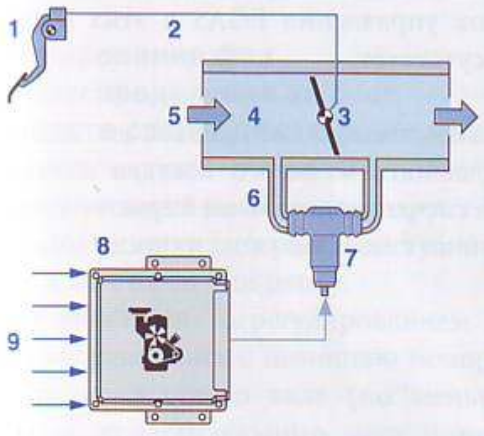


Рис. 1
1. Педаль «газа»
2. Тросовый привод либо система тяг
3. Дроссельная заслонка
4. Впускной тракт
5. Поток воздуха на впуске
6. Воздух, поступающий через обходной (байпасный) канал
7. Регулятор холостого хода (механизм байпасного регулирования воздухоподачей)
8. Электронный блок управления
9. Входные переменные (электрические сигналы)

2 Система EGAS (электронное управление дроссельной заслонкой)

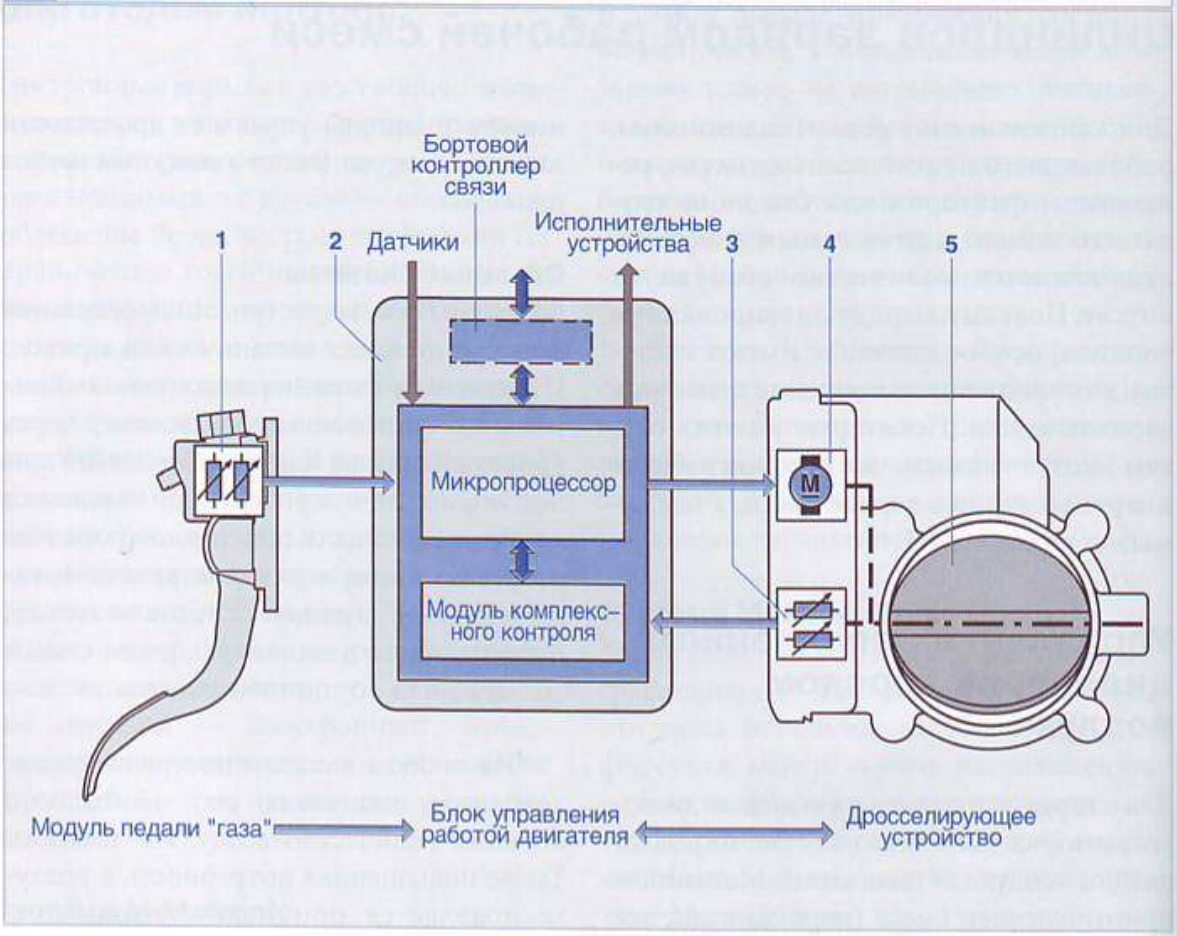


Рис. 2

1. Датчик положения педали «газа»
2. Электронный блок управления работой двигателя
3. Датчик углового положения дроссельной заслонки
4. Привод дроссельной заслонки (двигатель постоянного тока)
5. Дроссельная заслонка

(двигателем постоянного тока) и датчиком углового положения 3 в один блок, называемый дросселирующим устройством. Для управления этим устройством положение педали «газа» определяется двумя инверсивными потенциометрами (датчик педали «газа» 1). Открытие дроссельной заслонки, необходимое для выполнения требования водителя, рассчитывается блоком управления двигателем с учетом фактического режима его работы (частота вращения коленчатого вала, температура двигателя и т. д.) и преобразуется в управляющие сигналы для привода дроссельной заслонки.

Датчик углового положения дроссельной заслонки передает информацию о фактическом положении дроссельной заслонки, что делает возможным точную установку положения этой заслонки в соответствии с желанием водителя.

Потенциометры педали «газа» и дросселирующего устройства, продублированные для обеспечения резерва, являются составными компонентами в системе EGAS. В случае возникновения неполадок в той части системы, что определяет мощность двигателя, дроссельная заслонка немедленно занимает определенное положение (аварийный режим).

В современных системах управления работой двигателя система EGAS интегрирована в блок управления двигателем, который регулирует момент зажигания, впрыскивание топлива и различные дополнительные функции. Специальный блок управления EGAS в этих системах отсутствует.

Система EGAS позволяет добиться более оптимального состава смеси для обеспечения все более строгих требований по снижению токсичности ОГ.

Регулируемые фазы газораспределения

Наряду с дросселированием посредством дроссельной заслонки всасываемого в цилиндры заряда свежего воздуха существуют и иные возможности влияния на наполнение цилиндра. Благодаря регулируемым фазам газораспределения можно влиять как на количество свежего заряда, так и на долю остаточных ОГ.

Для установки фаз газораспределения имеет значение тот факт, что поведение поступающего в цилиндр заряда и выходящих из него ОГ сильно изменяется, например, в зависимости от частоты вращения коленчатого вала или степени открытия дроссельной заслонки. При установке постоянных фаз газораспределения газообмен может быть оптимально отрегулирован только для одного определенного диапазона работы двигателя. Регулируемые фазы газораспределения позволяют вносить корректировки с учетом изменяемой частоты вращения коленчатого вала и различного наполнения цилиндров рабочей смесью. Все это в результате дает следующие преимущества:

- увеличение выходной мощности двигателя;
- благоприятная характеристика изменения крутящего момента (кривая) в широком диапазоне оборотов коленчатого вала;
- снижение выбросов вредных веществ с ОГ;
- уменьшение расхода топлива;
- снижение шумности двигателя.

Регулирование фаз газораспределения за счет поворота распределительного вала

В обычном двигателе коленчатый и распределительный валы связаны друг с другом механически (посредством зубчатого ремня, шестерен или цепи).

В двигателях с регулированием фаз газораспределения с помощью поворота распределительного вала (по меньшей мере распределительного вала привода впускных клапанов, хотя все чаще и выпускных) распределительный вал может поворачиваться относительно коленчатого вала, благодаря чему можно изменить перекрытие клапанов. Но на период открытого положения и высоту подъема клапана подобное поворачивание распределительного вала не влияет. Это означает, что положения фазы открытия и закрытия впускного клапана остаются неизменными относительно друг друга.

Поворот распределительного вала осуществляется посредством электрического или электрогидравлического привода. Простые устройства могут повернуть этот вал только в одно из двух положений. Более сложные устройства позволяют в пределах определенного диапазона плавно поворачивать распределительный вал относительно коленчатого.

На рис. 1 показано, как изменяются фазы или высота подъема впускного клапана (по отношению к ВМТ) при повороте впускного распределительного вала.

Регулировка моментов открытия и закрытия впускного клапана на запаздывание

Задержка открытия впускного клапана приводит к более позднему его открытию и, тем самым, к малой продолжительности перекрытия клапанов либо к полному отсутствию этого перекрытия. Соответственно, уменьшается обратное перетекание

1 Регулировка моментов открытия и закрытия впускного клапана за счет поворота распределительного вала на определенный угол

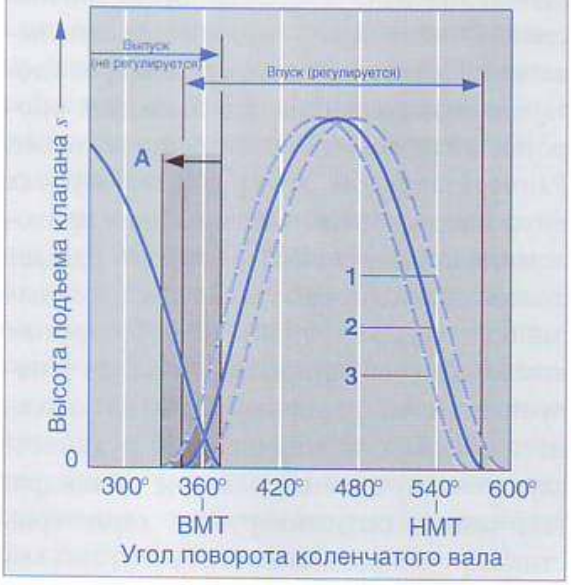


Рис. 1
1. Запаздывание открытия впускного клапана
2. Обычное открытие впускного клапана
3. Опережение открытия впускного клапана

A — перекрытие клапанов

через впускной клапан части ОГ, принявших участие в сгорании, во впускной трубопровод в диапазоне низких частот вращения коленчатого вала (<2000 мин$^{-1}$). Незначительная доля остаточных ОГ, которые проникли во впускной трубопровод и впоследствии поступают с новым зарядом в цилиндры, приводит на низких оборотах коленчатого вала к улучшенному протеканию процесса сгорания и более устойчивой работе двигателя на холостом ходу. Благодаря этому частоту вращения коленчатого вала на холостом ходу можно снизить, что сокращает расход топлива.

На высоких оборотах коленчатого вала (>5000 мин$^{-1}$) поворачивающийся распределительный вал также обеспечивает запаздывание закрытия впускных клапанов. Благодаря позднему закрытию впускного клапана спустя сравнительно продолжительное время после прохождения поршнем НМТ достигается лучшее наполнение цилиндра рабочей смесью. Этот эффект дозаряда получается из-за высокой скорости прохождения свежей смеси через впускной клапан. Свежая смесь продолжает поступать и тогда, когда поршень движется вверх и сжимает смесь. Поэтому впускной клапан закрывается лишь спустя некоторое время после прохождения НМТ.

Регулировка моментов открытия и закрытия впускного клапана на опережение

В среднем диапазоне частот вращения коленчатого вала скорость прохождения свежей смеси через впускной клапан невелика. Поэтому в этом случае эффект дозаряда, возникающий при больших оборотах коленчатого вала, не происходит. Раннее закрытие на средних оборотах впускного клапана — вскоре после прохождения поршнем НМТ — предотвращает выдавливание поршнем свежей смеси назад во впускной трубопровод. Поворотом впускного распределительного вала в направлении опережения открытия впускного клапана обеспечивается в данном случае наилучшее наполнение цилиндра, тем самым оптимизируется характеристика крутящего момента.

Такой поворот распределительного вала в направлении «опережение» приводит к большей продолжительности перекрытия клапанов. При раннем открытии впускных клапанов ОГ, не полностью вышедшие через выпускной клапан, незадолго до прохождения поршнем ВМТ выдавливаются через открытый впускной клапан во впускной трубопровод. При следующем рабочем цикле эти ОГ снова поступают в цилиндр со свежей смесью и повышают долю остаточных газов в рабочей смеси. В результате, благодаря повороту распределительного вала в направлении «опережение», увеличенная доля остаточных ОГ в поступившей смеси (внутренняя рециркуляция газов) влияет на процесс сгорания таким образом, что из-за более низких температур снижается образование в ОГ оксидов азота.

Более высокая доля инертных газов в цилиндре требует большего открытия дроссельной заслонки. Тем самым снижаются потери на дросселирование. Поэтому благодаря перекрытию клапанов можно достичь и снижения расхода топлива.

Регулировка моментов открытия и закрытия клапана за счет поворота распределительного вала

В системах с поворачиванием впускного и выпускного распределительных валов относительно коленчатого вала можно по отдельности влиять как на общее наполнение цилиндров смесью (определяется закрытием впускного клапана), так и на долю в заряде остаточных ОГ (определяется открытием впускного и закрытием выпускного клапанов).

Использование кулачков с разными профилями на распределительном валу

Изменение фаз работы впускных и выпускных клапанов возможно при использовании кулачков с разными профилями на одном распределительном валу (рис. 2). Тем самым обеспечивается изменение как высоты подъема клапана, так и фаз газораспределения (изменение профиля кулачка). Основной профиль

задает оптимальные фазы газораспределения и высоту подъема клапанов для нижнего и среднего диапазонов частот вращения коленчатого вала. Дополнительный профиль обеспечивает более высокий подъем клапанов и более продолжительное время их открытия при высоких оборотах коленчатого вала.

На низких и средних оборотах коленчатого вала небольшая высота подъема клапана с одновременным небольшим открытием дроссельной заслонки обеспечивают повышенную скорость всасывания смеси и, тем самым, лучшую степень турбулентности потока свежего воздуха (при непосредственном впрыске) либо рабочей смеси (при впрыске во впускной трубопровод). Таким образом, обеспечивается очень хорошее приготовление рабочей смеси на режиме частичной нагрузки. При высоких оборотах коленчатого вала и необходимости получения высокого крутящего момента (полная нагрузка) требуется максимальное наполнение. Для этого устанавливается максимальная высота подъема клапана.

Выборочное введение в действие кулачков с разными профилями в зависимости от частоты вращения коленчатого вала достигается, например, тем, что при продольном смещении распределительного вала коромысло, качающееся вхолостую, соединяется со стандартным коромыслом при высокой частоте вращения коленчатого вала. Другая возможность переключения профилей состоит в использовании включающих тарельчатых толкателей.

Полновариантное газораспределение посредством распределительного вала

Газораспределение, при котором можно регулировать как высоту подъема клапанов, так и фазы газораспределения, называют полновариантным. Объемные профили кулачков и смещаемый в продольном направлении распределительный вал обеспечивают еще бо́льшую свободу в регулировании газораспределения (рис. 3). При таком регулировании фаз газораспределения могут быть плавно скорректированы как высота подъема клапанов (только впускных) и, тем самым, продолжительность их открытого состояния, так и взаимное положение распределительного и коленчатого валов.

Такое полновариантное регулирование фаз газораспределения путем раннего закрытия впускного клапана делает возможным управление нагрузкой, при котором можно добиться значительного снижения потерь на дросселирование при впуске. Благодаря этому можно еще несколько снизить расход топлива по сравнению с обычным регулированием фаз газораспределения.

2 Использование кулачков с разными профилями на распределительном валу

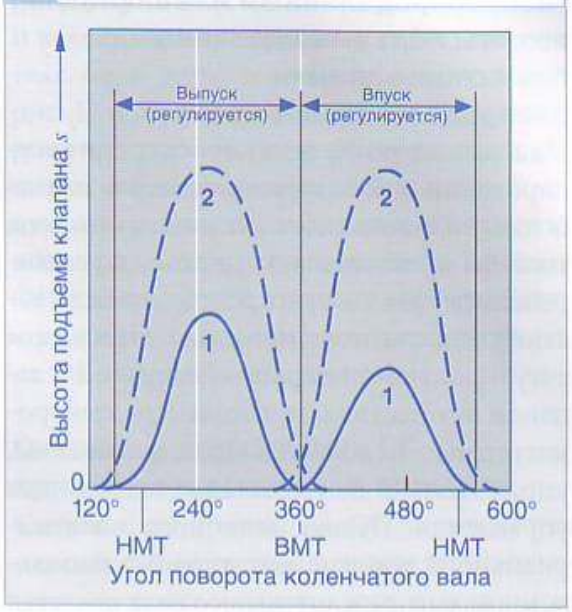


Рис. 2
1. Основной профиль на кулачке
2. Дополнительный профиль на кулачке

3 Пример системы с полностью регулируемыми фазами газораспределения и высотой подъема клапана

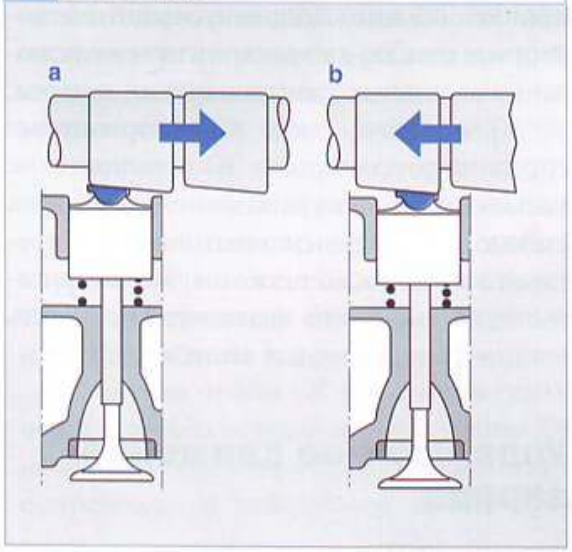


Рис. 3
a — минимальная высота подъема клапана
b — максимальная высота подъема клапана

Полновариантное газораспределение и изменение высоты подъема клапанов без использования распределительного вала

Максимальную степень свободы при регулировании фаз газораспределения и наибольшую возможность снижения расхода топлива предоставляют системы с регулированием фаз газораспределения без участия распределительного вала. При таком регулировании открытие/закрытие клапанов осуществляют, например, электромагнитные исполнительные механизмы, управляемые дополнительным блоком управления. Целью подобного полновариантного привода клапанов без использования распределительного вала является значительное снижение потерь на дросселирование смеси во впускном трубопроводе с очень малыми насосными потерями при газообмене. Дополнительной экономии топлива можно достичь путем отключения отдельных клапанов или цилиндров.

Кроме того, такие полновариантные системы обеспечивают возможность не только наилучшего наполнения цилиндров смесью с получением максимального крутящего момента, но также и лучшего приготовления смеси, что позволяет уменьшить концентрацию вредных веществ в ОГ.

Управляемое движение заряда

Существенную роль в формировании идеальной рабочей смеси играют условия поступления воздуха во впускной трубопровод и цилиндры. Быстрое движения заряда обеспечивает хорошее перемешивание в смеси воздуха и топлива и, тем самым, полное сгорание с низкой концентрацией вредных веществ в ОГ.

Существует несколько различных возможностей для ускорения перемещения рабочей смеси.

Выборочное введение в действие кулачков с разными профилями на одном распределительном валу

Как уже было описано в разделе «Регулируемые фазы газораспределения», на низких и средних оборотах коленчатого вала выборочным введением в действие кулачков с разными профилями можно задать меньшую высоту подъема клапанов. Таким образом, за счет небольшого открытия впускного клапана обеспечивается высокая скорость поступления в цилиндр воздуха либо рабочей смеси. Тем самым при впрыске во впускной трубопровод достигается лучшее перемешивание смеси.

Заслонка управления движением заряда

В системах с непосредственным впрыском используется другой способ. Вблизи впускного клапана впускной трубопровод разделен на два канала, один из которых может перекрываться заслонкой, управляющей перемещением заряда смеси (рис. 1). Направленное движение заряда в сторону определенных частей впускных клапанов либо одного из двух впускных клапанов приводит к получению вихревого движения смеси в камере сгорания.

Заслонка управления перемещением заряда позволяет управлять интенсивностью потока этого заряда. В условиях послойного распределения смеси такое регулирование обеспечивает ускоренную доставку смеси к свече зажигания и одновременно осуществляет оптимальное приготовление смеси.

В условиях гомогенной смеси заслонка управления перемещением заряда, как правило, открыта при высоких оборотах коленчатого вала и высоком крутящем

1 Управляемое перемещение заряда смеси во впускном трубопроводе с заслонкой управления этим перемещением

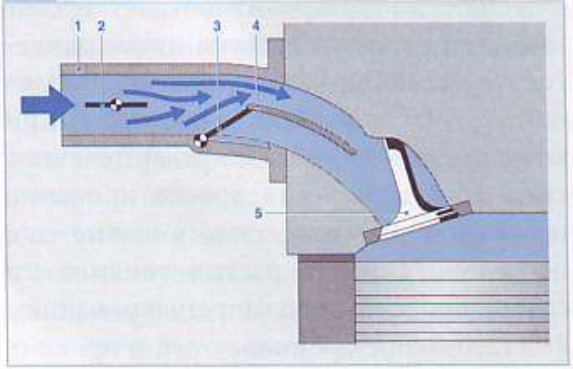


Рис. 1
1. Впускной трубопровод
2. Дроссельная заслонка
3. Заслонка управления движением заряда
4. Перемычка
5. Впускной клапан

моменте. На этом рабочем режиме необходимо, чтобы впускной тракт был открыт полностью — для обеспечения максимальной степени наполнения цилиндров смесью. Идеальная смесь может быть приготовлена даже без увеличения скорости ее потока только за счет более раннего впрыскивания топлива в камеру сгорания (как можно раньше при такте впуска) в условиях высокой температуры.

Рециркуляция ОГ

На массу остаточного воздуха в цилиндре и, тем самым, на долю инертных газов в заряде цилиндра можно повлиять за счет регулируемых фаз газораспределения. Это относится к «внутренней» рециркуляции ОГ (т. е. рециркуляции ОГ при перекрытии клапанов). Большие изменения в доле инертных газов в заряде цилиндра могут происходить за счет использования «внешней» рециркуляции ОГ, при которой ОГ, уже вытолкнутые из цилиндра, по специальному трубопроводу возвращаются во впускной трубопровод (рис. 1).

Применение системы рециркуляции ОГ обеспечивает ограничение эмиссии оксидов азота и уменьшение расхода топлива.

Ограничение эмиссии оксидов азота с ОГ

Система рециркуляции ОГ является эффективным средством для снижения эмиссии оксидов азота. Благодаря добавлению к рабочей смеси ОГ, уже принявших участие в сгорании, снижаются пиковые температуры при сгорании, в результате чего происходит уменьшение эмиссии оксидов азота, образование которых находится в очень большой зависимости от температуры.

Снижение расхода топлива

За счет рециркуляции ОГ увеличивается общее наполнение цилиндра при остающемся постоянным количестве подаваемого в цилиндр свежего воздуха. Поэтому требуемый крутящий момент можно получить без дополнительного дросселирования, следствием чего является более низкий расход топлива.

Принцип действия системы рециркуляции ОГ

В зависимости от режима работы двигателя блок управления двигателем 4 (см. рис. 1) воздействует на клапан 5 (с электроприводом) системы рециркуляции ОГ и, тем самым, изменяет поперечное сечение отверстия, через которое от выпускного коллектора отводится часть 3 потока ОГ и добавляется к всасываемому свежему воздуху 1. Тем самым определяется доля ОГ в заряде смеси цилиндра.

Система рециркуляции ОГ при непосредственном впрыске

Система рециркуляции ОГ используется для снижения расхода топлива и уменьшения эмиссии оксидов азота в том числе и в двигателях с непосредственным впрыском. Более того, при работе этих двигателей без нее нельзя обойтись, так как именно благодаря рециркуляции ОГ эмиссия оксидов азота в условиях работы на обедненных смесях снижается настолько, что можно обойтись без применения иных мер очистки ОГ (например, применение каталитического нейтрализатора оксидов азота накопительного типа при работе в условиях гомогенного распределения обогащенной смеси). Это также сокращает и расход топлива.

Для того чтобы ОГ начали поступать через клапан системы рециркуляции ОГ, необходимо, чтобы между впускным трубопроводом и выпускным коллектором

1 Система рециркуляции ОГ

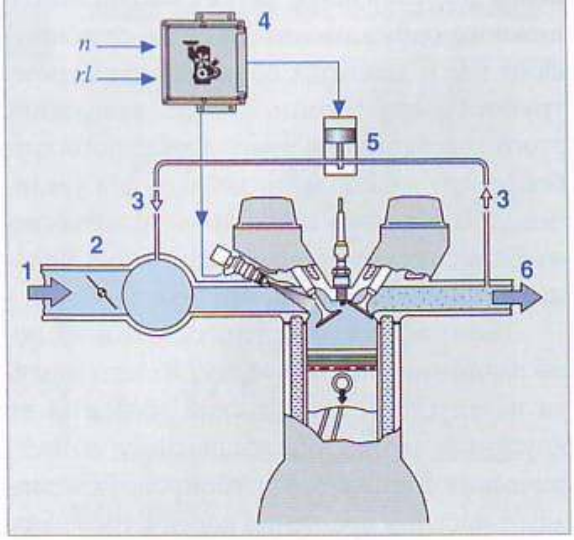


Рис. 1

1. Поступление свежего заряда воздуха
2. Дроссельная заслонка
3. Отвод части потока ОГ из выпускного коллектора
4. Блок управления двигателем
5. Клапан системы рециркуляции ОГ
6. ОГ

n — частота вращения коленчатого вала

rl — коэффициент наполнения цилиндра воздухом

существовала разница давлений. Но двигатели с непосредственным впрыском практически не дросселируются и на режиме частичной нагрузки. Кроме того, в условиях работы на обедненной смеси через клапан системы рециркуляции ОГ во впускной трубопровод направляется немалое количество кислорода.

Это требует определенного алгоритма управления, который бы координировал работу дроссельной заслонки и клапана системы рециркуляции ОГ. Следовательно, к системе рециркуляции ОГ должны предъявляться повышенные требования: она должна работать точно и надежно, а также препятствовать образованию отложений, которые могут образовываться в системе выпуска при низких температурах ОГ.

Динамический наддув

Крутящий момент двигателя пропорционален доле свежей смеси в наполнении цилиндра. Поэтому максимальный крутящий момент может быть до определенных пределов увеличен путем сжатия воздуха перед его поступлением в цилиндр.

На процессы газообмена влияют не только фазы газораспределения, но и конструкция впускного и выпускного трактов. Работа поршня при такте впуска приводит при открытии впускного клапана к образованию волны противодавления. На открытом раструбе впускного трубопровода эта волна давления встречается с массой неподвижного окружающего воздуха, отражается от нее и движется обратно к впускному трубопроводу. Возникающие вследствие этого колебания давления у впускного трубопровода можно использовать для увеличения наполнения цилиндров зарядом свежей смеси и, тем самым, получения большего максимального крутящего момента.

Такой эффект наддува основан на использовании динамических свойств воздуха на впуске. Динамические эффекты во впускном трубопроводе зависят от геометрических форм этого трубопровода, а также от частоты вращения коленчатого вала.

Для равномерного распределения рабочей смеси во впускном трубопроводе карбюраторных двигателей и двигателей с одноточечным впрыском необходимо использовать короткие отдельные патрубки, которые должны быть по возможности одинаковой длины для всех цилиндров. В системах многоточечного впрыска топливо впрыскивается во впускной трубопровод непосредственно на впускной клапан или в камеру сгорания (непосредственный впрыск). В данном случае по впускному трубопроводу, по существу, движется только воздух. Это предоставляет большой диапазон конструктивных решений для впускного трубопровода, т. к. на его стенках практически не отлагается топливо. Поэтому в системах с многоточечным впрыском отсутствуют проблемы с равномерным распределением топлива.

Инерционный наддув

При инерционном наддуве (рис. 1), применяемом в системах многоточечного впрыска, каждый цилиндр имеет свою отдельную резонаторную трубку 2 определенной длины, подсоединенную к сборной камере 3. В таких резонаторных трубках волны сжатия, идущие от цилиндров, могут распространяться независимо друг от друга.

Эффект наддува зависит от геометрии элементов впускного трубопровода и частоты вращения коленчатого вала. Длина и диаметр отдельных резонатор-

1 Принцип инерционного наддува

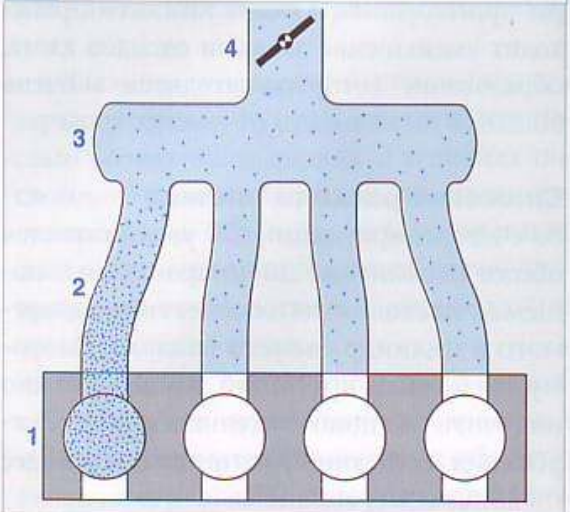


Рис. 1
1. Цилиндр двигателя
2. Отдельная резонаторная трубка
3. Сборная камера
4. Дроссельная заслонка

ных трубок согласуются с фазами газораспределения таким образом, чтобы в требуемом диапазоне оборотов коленчатого вала волна сжатия, отражающаяся на конце резонаторной трубки, вернулась через открытый впускной клапан цилиндра 1, тем самым, обеспечивая лучшее наполнение цилиндра. Длинные тонкие резонаторные трубки дают больший эффект инерционного наддува при низкой частоте вращения коленчатого вала. Короткие широкие резонаторные трубки способствуют получению лучшей характеристики крутящего момента в диапазоне высоких оборотов коленчатого вала.

Резонансный наддув

В столбе рабочей смеси во впускном трубопроводе при определенной частоте вращения коленчатого вала возникают резонансные колебания, вызываемые возвратно-поступательным движением поршня. Это приводит к дальнейшему повышению давления и дополнительному эффекту наддува.

Для получения резонансного наддува (рис. 2) группы цилиндров 1 с идентичными моментами зажигания (по углу поворота коленчатого вала) соединяются через короткие впускные трубки 2 со своей резонансной камерой 3. Эти камеры, в свою очередь, через резонансные впускные трубопроводы 4 связаны либо с атмосферой, либо со сборной камерой 5 и действуют как резонаторы Гельмгольца. Разделение системы впуска на группы цилиндров с двумя резонаторными впускными трубопроводами предотвращает перекрытие процессов наддува в двух соседних по порядку зажигания цилиндров.

Диапазон оборотов коленчатого вала, при котором должен происходить эффект резонансного наддува, определяет длину резонансных впускных трубопроводов и размер резонансных камер. Большие общие накопители, что иногда бывает необходимо, могут, однако, из-за эффекта аккумулирования, приводить к динамическим сбоям при резких изменениях нагрузки.

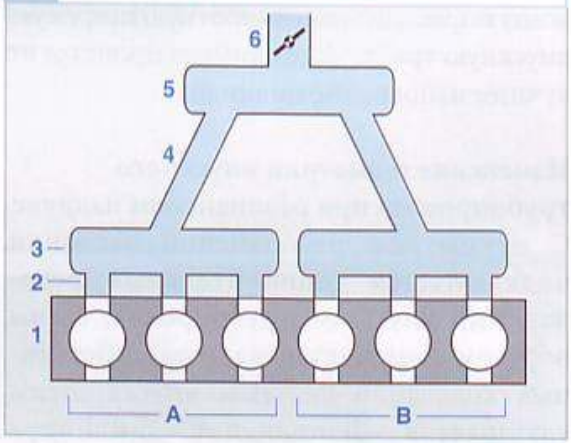
Впускной трубопровод с изменяемой геометрией

Дополнительное наполнение цилиндров, благодаря динамическому наддуву, определяется режимом работы двигателя. Описанные выше системы инерционного и резонансного наддува обеспечивают возможность получения максимального коэффициента наполнения цилиндров, прежде всего, в диапазоне низких оборотов коленчатого вала (рис. 3).

Почти идеальной характеристики крутящего момента можно достичь при использовании впускного трубопровода с изменяемой геометрией, когда, в зависимости от рабочего режима двигателя, при помощи специальных заслонок можно производить:

- регулирование длины резонаторных впускных трубок;
- изменение длины или диаметра резонаторных трубок;

2 Принцип резонансного наддува



3 Повышение максимального наполнения цилиндра зарядом воздуха (коэффициент наддува) с помощью динамического наддува

Рис. 2
1. Цилиндр
2. Короткая впускная трубка
3. Резонансная камера
4. Резонансный впускной трубопровод
5. Сборная камера
6. Дроссельная заслонка

A, B — группы цилиндров

Рис. 3
1. Система с резонансным наддувом
2. Система с обычным впускным трубопроводом

- по выбору — отключение одной отдельной впускной трубки на цилиндр из системы нескольких трубок;
- изменение объемов накопителей.

В этих системах с изменяемой геометрией применяются заслонки с электроприводом или электропневмоприводом.

Изменение геометрии впускного трубопровода при инерционном наддуве

При инерционном наддуве во впускном трубопроводе с изменяемой геометрией (рис. 4) возможно переключение между двумя разными резонирующими впускными трубками. При низких оборотах коленчатого вала переключающая заслонка 1 закрыта и поступающий воздух устремляется к цилиндрам по длинной резонирующей впускной трубке 3. При высоких оборотах коленчатого вала переключающая заслонка 1 открывается и поступающий воздух проходит через короткую широкую впускную трубку 4, тем самым происходит лучшее наполнение цилиндра.

Изменение геометрии впускного трубопровода при резонансном наддуве

С открытием резонансной заслонки подключается дополнительный резонансный впускной трубопровод, таким образом изменяется частота собственных колебаний системы впуска. Этим улучшается наполнение цилиндра в нижнем диапазоне частот вращения коленчатого вала.

Изменение геометрии впускного трубопровода при инерционном и резонансном наддуве

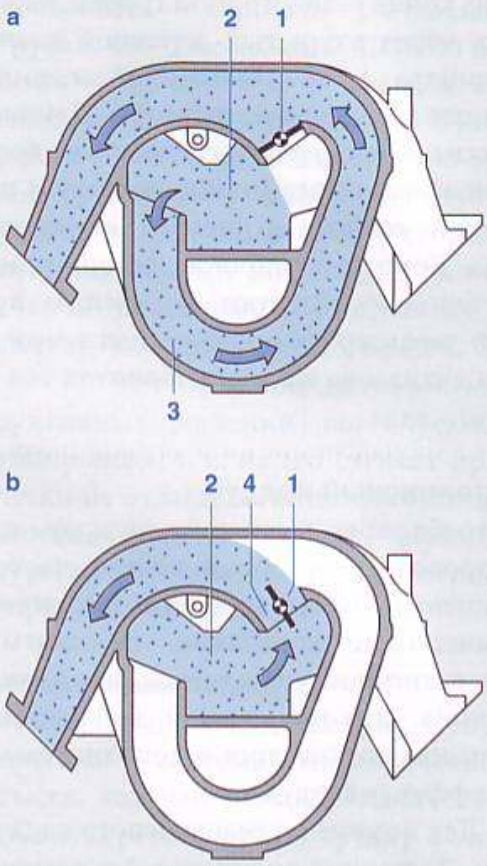
Использование инерционного и резонансного наддува возможно в комбинированной конструкции впускного трубопровода (рис. 5). Когда при открытии заслонки 7 объединяются две резонансные камеры 3, что позволяет получить воздухосборник (накопитель) для коротких резонирующих впускных трубок 2, характеризующихся высокой частотой собственных колебаний (инерционный наддув).

Рис. 4
a — геометрия впускного трубопровода при закрытой заслонке
b — геометрия впускного трубопровода при открытой заслонке
1. Переключающая заслонка
2. Сборный резервуар (накопитель)
3. Длинная узкая резонирующая впускная трубка при закрытой переключающей заслонке
4. Короткая широкая резонирующая впускная трубка при открытой переключающей заслонке

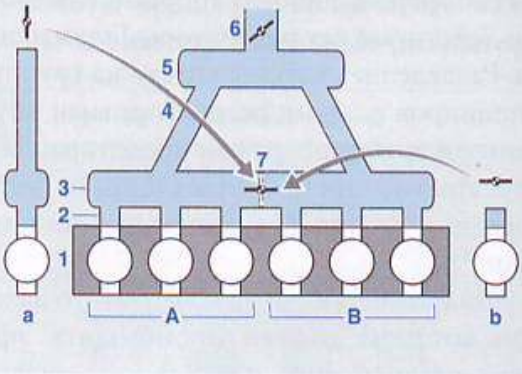
Рис. 5
1. Цилиндр
2. Резонирующая впускная трубка (короткая)
3. Резонансная камера
4. Резонансный впускной трубопровод
5. Сборный резервуар (накопитель)
6. Дроссельная заслонка
7. Переключающая заслонка
A, B — группы цилиндров

a — условия работы впускного трубопровода при закрытой переключающей заслонке
b — условия работы впускного трубопровода при открытой переключающей заслонке

4 Изменение геометрии впускного трубопровода при инерционном наддуве



5 Изменение геометрии впускного трубопровода при инерционном и резонансном наддуве



На низких и средних оборотах коленчатого вала переключающая заслонка 7 закрывается и начинает действовать резонансный наддув. Низкая частота собственных колебаний определяется длинным резонансным впускным трубопроводом 4.

Механический наддув

Конструкция и принцип действия

Большее, чем при динамическом наддуве, наполнение цилиндра и, тем самым, повышение крутящего момента возможно при использовании воздухонагнетателей. При механическом наддуве нагнетатель приводится в действие непосредственно от двигателя. Нагнетатели (компрессоры) с механическим приводом могут быть объемными нагнетателями различных конструкций (нагнетатель Roots, нагнетатель со скользящими лопатками, поршневой нагнетатель, винтовой нагнетатель) или центробежными компрессорами. На рис. 1 показан принцип действия роторного винтового нагнетателя типа Лисхольм с двумя винтами, вращающимися навстречу друг другу. Как правило, обороты коленчатого вала двигателя и вала нагнетателя согласованы между собой посредством ременного привода.

Управление давлением наддува

Регулирование давления наддува механического нагнетателя осуществляется через байпасное устройство. Часть сжатого воздуха напрямую попадает в цилиндр и определяет его наполнение, а другая часть устремляется через байпасное устройство обратно на вход нагнетателя. Управляет байпасным клапаном система управления двигателем.

Преимущества и недостатки механического наддува

При механическом наддуве, благодаря непосредственному приводу нагнетателя от коленчатого вала двигателя, частота вращения вала нагнетателя напрямую зависит от оборотов коленчатого вала. За счет этого достигаются больший крутящий момент и лучшие динамические характеристики двигателя по сравнению с турбонаддувом (использование энергии ОГ).

Но механический наддув осуществляется за счет затраты мощности двигателя, что приводит к дополнительному расходу топлива. Этот недостаток можно уменьшить, если система управления двигателем имеет возможность посредством муфты отключать нагнетатель при малых нагрузках двигателя.

Принцип действия винтового нагнетателя

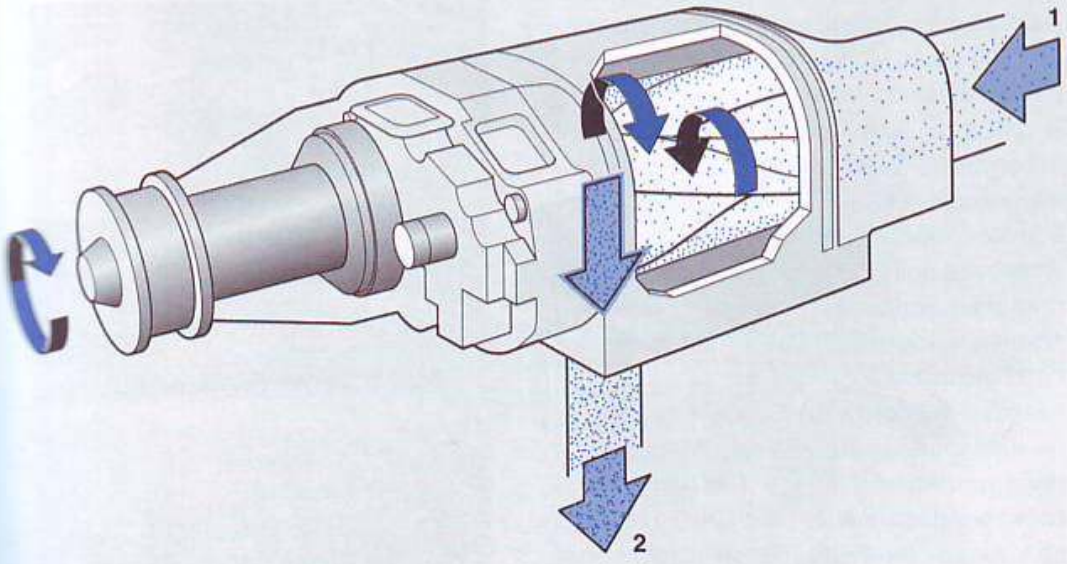


Рис. 1
1. Всасываемый воздух
2. Сжатый воздух

История создания автомобилей с компрессорными двигателями

Компания Daimler-Motoren-Gesellschaft в 1921 г. на Берлинской автомобильной выставке представила модели легковых автомобилей 6/20 PS и 10/35 PS с 4-цилиндровыми двигателями, оснащенными нагнетателем (компрессором).

В 1922 г. автомобиль с таким двигателем впервые участвовал в автомобильных гонках. Макс Зайлер, управляя автомобилем Mercedes 28/95 PS (с компрессорным двигателем) выиграл в гонках серийных автомобилей Тарга Флорио на Сицилии.

В 1924 г. на Берлинской автомобильной выставке были представлены новые модели легковых автомобилей Mercedes 15/70/100 PS и 24/100/140 PS с 6-цилиндровым компрессорным двигателем. В этом же году фирма NSU установила сенсационные рекорды скорости и добилась победы на гоночной трассе Авус в Берлине благодаря гоночному автомобилю модели 5/15 с компрессорным двигателем.

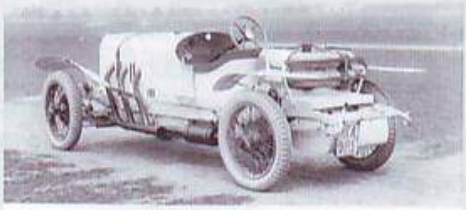
Автомобиль Mercedes-Benz модели S в 1927 г. обеспечил трехкратную победу в гонке, открывшей трассу в Нюрбургринге. Победителем стал Рудольф Караччиола. 6-цилиндровый двигатель рабочим объемом 6,8 л развивал мощность 120 л. с. без компрессора и 180 л. с. с компрессором. В 1932 г. Манфред фон Браухич на автомобиле Mercedes-Benz SSKL («Super-Sport-Kurz-Leicht» — «супер-спорт-короткий-легкий») победил на гоночной трассе Авус в Берлине и установил новый мировой рекорд скорости в этом классе, достигнув 200 км/ч. Модель SSKL в развитии серии S стала последней.

В 1934 г. началась эра автомобилей Silberpfeile («Серебряные стрелы»). На Международных гонках в Нюрбургринге фон Браухич победил на «Серебряной стреле», установив новый рекорд скорости. В 1938 г. на этой модели обтекаемой формы был установлен рекорд скорости при движении по общественным дорогам, который держится до сих пор, — 432,6 км/ч на 1 км пути. «Серебряные стрелы» с компрессорными двигателями, кроме Mercedes-Benz, собирала фирма Auto-Union, что приводило к захватывающим дуэлям «Стрел» этих соперников.

В 1934 г. на Берлинской автомобильной выставке был представлен Mercedes-Benz 500K с 8-цилиндровым компрессорным двигателем. В 1936 г. появилась следующая модель с еще более мощным двигателем рабочим объемом 5,4 л.

В 1938 г. на Международной выставке автомобилей и мотоциклов в Берлине был показан Grosser Mercedes («Большой Мерседес») модели 770 (W150) с 8-цилиндровым компрессорным рядным двигателем рабочим объемом 7,7 л. Этот двигатель развивал мощность 230 л. с.

По сравнению с применяемыми сегодня компрессорными двигателями литровая мощность тогдашних моторов была, скорее, скромной. Двигатель автомобиля Mercedes SLK, появившегося на дорогах в конце XX века, при рабочем объеме 2,3 л развивает мощность 142 кВт (192 л. с.) при 5300 мин$^{-1}$.



Автомобиль Mercedes 28/95 PS, 1922 г.

Автомобиль Mercedes 24/100 с 6-цилиндровым двигателем, 1924 г.

Автомобиль Mercedes модели S с 6-цилиндровым двигателем рабочим объемом 6,8 л, мощностью 180 л. с., 1927 г.

Автомобиль Mercedes 500K с 8-цилиндровым двигателем, 1934 г.

1938 г. Автомобиль Grosser Mercedes («Большой Мерседес») модели 770 (W150) с двигателем рабочим объемом 7,7 л, мощностью 230 л. с., 1938 г.

(Источник: все фотографии — DaimlerChrysler Classic. Архив концерна)

Турбонаддув

Среди известных способов наддува наиболее распространенным является турбонаддув с использованием энергии ОГ. Этот способ делает возможным достижение больших крутящего момента и мощности при относительно высоком КПД даже у двигателей с малым рабочим объемом.

Если еще несколько лет назад турбонаддув применялся, главным образом, для повышения такого показателя как отношение мощности двигателя к его весу, то в настоящее время он все чаще применяется для увеличения максимального крутящего момента на малых и средних оборотах коленчатого вала. Это относится, в частности, к системам, сочетающим турбонаддув с электронным регулированием давления наддува.

Конструкция и принцип действия

К основным элементам турбокомпрессора, приводимого в действие отработавшими газами (рис. 1), относятся газовая турбина 3 и нагнетатель (компрессор) 1, рабочие колеса которых расположены на общем валу 2.

Горячие отработавшие газы 7 (рис. 2) действуют на лопатки газовой турбины 4, придавая ей быстрое вращательное движение (до 250 000 мин$^{-1}$). Лопасти колеса турбины направляют ОГ к центру — на выход из турбины вдоль ее оси.

В компрессоре, вращающемся вместе с колесом турбины, происходит обратное. Свежий воздух 5 (рис. 2) поступает к центру компрессора вдоль его оси и нагнетается при движении к периферии.

Турбокомпрессор расположен непосредственно в потоке горячих ОГ и поэтому должен изготавливаться из термостойких материалов.

Типы конструкций турбокомпрессоров

Турбонагнетатель с обходным каналом

Двигатель должен развивать высокий крутящий момент даже на малых оборотах коленчатого вала, поэтому корпус турбины конструируется в расчете на небольшой поток ОГ (например, полная нагрузка — при $n \leq 2000$ мин$^{-1}$). Для того чтобы работающий турбонагнетатель не перегружал двигатель при больших потоках

1 Турбонагнетатель легкового автомобиля (рис.: ZK-Warner, модель K14)

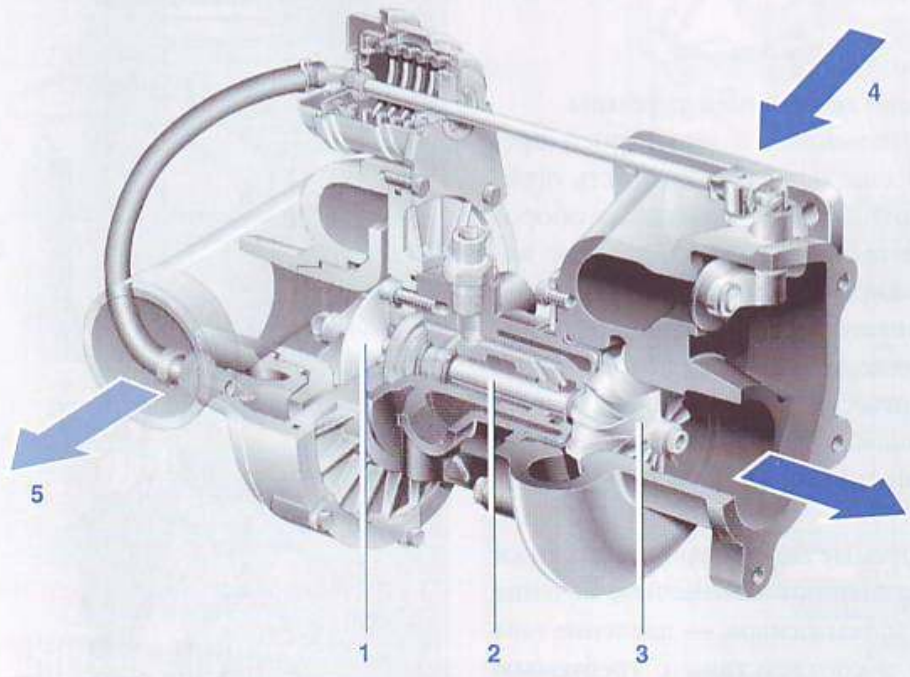


Рис. 1
1. Рабочее колесо компрессора
2. Вал
3. Газовая турбина
4. Вход потока ОГ
5. Выход сжатого воздуха

ОГ, часть потока ОГ необходимо пропускать через обводной канал 8 (рис. 2) — в обход турбины — в выпускной тракт. Обычно в таком канале, выполненном в корпусе турбины, устанавливается заслонка.

Эта заслонка приводится в действие клапаном 6 регулировки давления наддува. Клапан через управляющую магистраль 2 пневматически связан с импульсным клапаном 1, управляя которым посредством электросигналов, блок управления двигателя регулирует давление наддува. Датчик давления наддува поставляет блоку управления информацию о фактическом давлении наддува.

При слишком низком давлении наддува блок управления воздействует на импульсный клапан, так чтобы в управляющей магистрали преобладало низкое давление. Клапан регулировки давления наддува закрывает заслонку в обходном канале, и к турбине направляется больший поток ОГ.

При слишком высоком давлении наддува блок управления воздействует на импульсный клапан так, чтобы в управляющей магистрали преобладало повышенное давление. Клапан регулировки давления наддува открывает заслонку, и доля протекающих через турбину ОГ снижается.

Турбонагнетатель с изменяемой геометрией турбины

Турбина с изменяемой геометрией предоставляет еще одну возможность ограничения потока ОГ при высоких оборотах коленчатого вала (рис. 3). Такие нагнетатели широко применяются на дизелях. На двигателях с искровым зажиганием они еще довольно редки из-за высоких термических нагрузок, вызванных свойственными этим двигателям более горячими потоками ОГ.

Регулируемые направляющие лопатки 3 (рис. 3) изменяют поперечное сечение потока ОГ, и, тем самым, — давление газа у турбины в соответствии с требуемым давлением наддува. На малых оборотах коленчатого вала они обеспечивают небольшую площадь поперечного сечения отверстий для прохода газа, так чтобы поток ОГ развивал в турбине высокую скорость, разгоняя ее до высокой частоты вращения (рис. 3a).

При высоких оборотах коленчатого вала регулируемые направляющие лопатки обеспечивают увеличение поперечного сечения отверстий для прохождения ОГ, так чтобы поток ОГ не разгонял газовую турбину до слишком высоких скоростей, тем самым ограничивается давление наддува (рис. 3b).

За счет поворота регулировочного кольца 2 можно добиться изменения угла установки направляющих лопаток. При этом лопатки регулируются либо отдельными, установленными на лопатках, рычагами 4, либо кулачками. Поворот регулировочного кольца осуществляется пневматическим способом за счет понижения либо повышения давления с помощью барометрического датчика 5. Регулировку этого исполнительного механизма осуществляет система

Рис. 2
1. Импульсный клапан
2. Пневматическая управляющая магистраль
3. Компрессор
4. Газовая турбина
5. Вход наружного воздуха (свежий воздух)
6. Клапан регулировки давления наддува
7. Поток ОГ
8. Заслонка в обходном канале
9. Обходной канал

⎍⎍⎍ управляющий сигнал для импульсного клапана

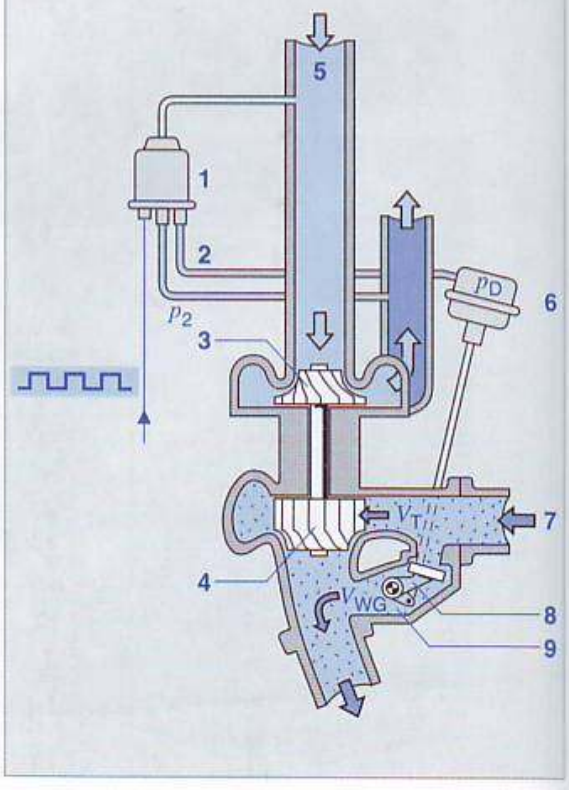
V_T — объемный расход ОГ проходящих через турбину

V_{WG} — объемный расход ОГ , проходящих через обходной канал

p_2 — давление наддува

p_D — давление на диафрагму заслонки

2 Турбокомпрессор с обходным каналом



правления двигателем, благодаря чему можно установить оптимальное давление наддува в зависимости от режима работы двигателя.

Турбонагнетатель с управляющим золотником

Корректирование работы такого нагнетателя происходит благодаря последовательному открытию двух каналов (2 и 3, рис. 4) пропуска ОГ с использованием специального управляющего золотника 4.

Вначале открыт только один канал. Небольшая площадь поперечного сечения этого канала позволяет получать высокую скорость прохождения ОГ и, соответственно, высокую частоту вращения вала турбины 1. При достижении допустимого значения давления наддува управляющий золотник открывает второй канал, так что открытыми становятся оба канала, а потому скорость прохождения ОГ и, тем самым, давление наддува снижаются.

При использовании выполненного в корпусе турбины обходного канала 5 возможно перепускание части ОГ в обход турбины.

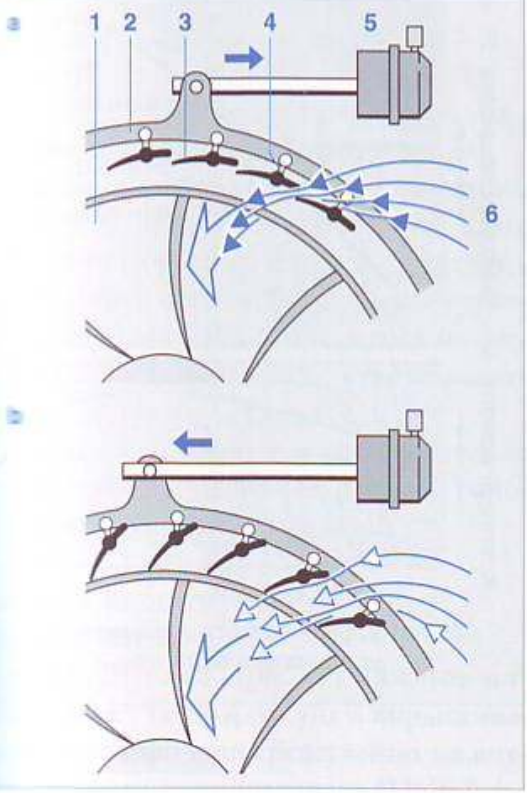
Управляет указанным золотником блок управления двигателем через барометрический датчик.

Преимущества и недостатки турбонаддува

При сравнении безнаддувного и турбонаддувного двигателей одинаковой мощности последний имеет сниженный вес, меньшие массу и размеры, а в рабочем диапазоне оборотов коленчатого вала — лучшую характеристику крутящего момента (кривая 4 по сравнению с кривой 3, рис. 5). По этой причине образуется более высокая выходная мощность при одинаковой частоте вращения (A→B).

Благодаря более оптимальной характеристике крутящего момента при полной нагрузке двигатель с турбонаддувом вырабатывает необходимую мощность уже на низких оборотах (см. B и C, рис. 5). На режиме частичной нагрузки дроссельная заслонка должна оставаться открытой. По этой причине условия работы двигателя перемещаются в диапазон со сниженными значениями потерь на трение и дросселирование (C→B). Таким образом снижается расход топлива, несмотря

3 Турбокомпрессор с изменяемой геометрией турбины



4 Турбокомпрессор с управляющим золотником

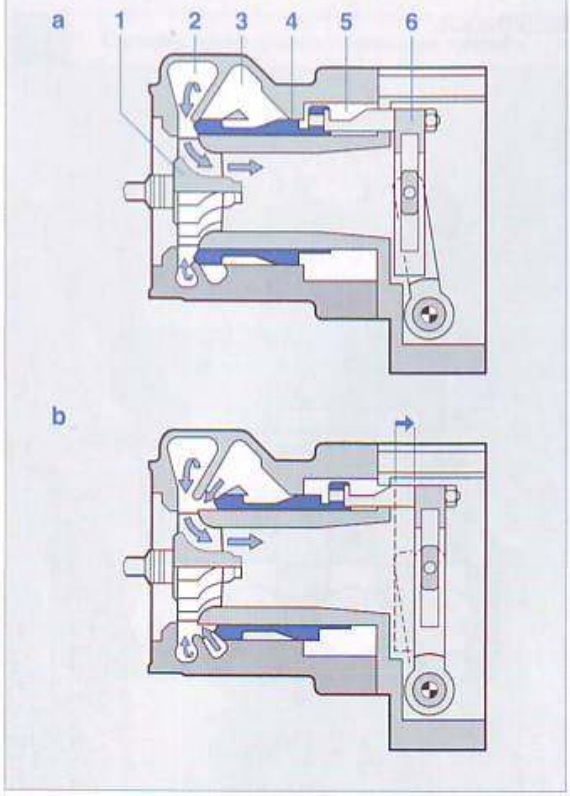


Рис. 3
- a — положение направляющих лопаток для получения высокого давления наддува
- b — положение направляющих лопаток для получения низкого давления наддува
- 1. Газовая турбина
- 2. Регулирующее кольцо
- 3. Направляющая лопатка
- 4. Регулировочный рычаг
- 5. Барометрический датчик
- 6. Поток ОГ
- ← высокая скорость потока
- ⇦ низкая скорость потока

Рис. 4
- a — открыт один канал прохода ОГ
- b — открыты оба канала прохода ОГ
- 1. Газовая турбина
- 2. Первый канал прохода ОГ
- 3. Второй канал прохода ОГ
- 4. Регулирующий золотник
- 5. Обходной канал
- 6. Направляющая вилка

на то, что ДВС с турбонаддувом характеризуется несколько худшим КПД из-за снижения степени сжатия двигателя.

К недостаткам двигателя с турбонаддувом следует отнести низкий крутящий момент при очень низких оборотах коленчатого вала. Энергии, содержащейся в ОГ в этом диапазоне частот вращения, для привода турбины не хватает. На неустановившемся режиме работы двигателя характеристика крутящего момента хуже и на средних оборотах, чем у двигателя без наддува (кривая 5). Причину следует искать в том, что поступление потока ОГ происходит с задержкой. Задержка в работе турбонагнетателя возникает при ускорении с малых значений частоты вращения.

Эту задержку можно компенсировать использованием динамического наддува, обеспечивающего оптимальную работу турбокомпрессора при ускорении. Другими вариантами может быть использование дополнительного электродвигателя для привода турбокомпрессора или дополнительного компрессора с электроприводом. Они ускоряют вращение рабочего колеса компрессора или поток воздуха независимо от потока ОГ и предотвращают возникновение указанной задержки.

Охлаждение наддувочного воздуха

При сжатии воздух в компрессоре нагревается. Поскольку нагретый воздух обладает меньшей плотностью по сравнению с холодным, подобный разогрев отрицательно сказывается на наполнении цилиндров. Охлаждение сжатого и нагретого воздуха осуществляется охладителем наддувочного воздуха, что приводит к повышению наполнения цилиндров.

Более низкая температура воздуха ведет и к более низкой температуре заряда смеси в цилиндре, сжатого в ходе такта сжатия. Это дает следующие преимущества:

- понижение склонности к детонации;
- повышение термического КПД и, тем самым, снижение расхода топлива;
- уменьшение термической нагрузки на поршни;
- уменьшение эмиссии оксидов азота с ОГ.

5 Пример зависимости мощности и крутящего момента от частоты вращения для турбонаддувного и безнаддувного двигателей

Рис. 5
1, 3 — безнаддувный двигатель на установившемся рабочем режиме
2, 4 — турбонаддувный двигатель на установившемся рабочем режиме
5 — кривая изменения крутящего момента турбонаддувного двигателя на неустановившемся (динамическом) рабочем режиме

Обзор систем впрыска топлива

Задача впрысковых или карбюраторных систем подачи топлива состоит в дозировании рабочей смеси, наиболее оптимальной для каждого режима работы двигателя.

Системы впрыска топлива, особенно с электронным управлением, значительно более, чем карбюраторы, подходят для соблюдения жестких требований к подготовке смеси. Дополнительно они создают преимущества в отношении расхода топлива, динамических свойств и выходной мощности двигателя. Требования все более строгих нормативов привели к тому, что на автомобилях впрыск окончательно вытеснил карбюраторы.

До сих пор почти исключительно применялись системы, в которых образование смеси происходило за пределами камеры сгорания (впрыск во впускной трубопровод). Системы с внутренним смесеобразованием, т. е. с впрыском непосредственно в камеру сгорания (непосредственный впрыск) в лучшей мере обеспечивают дальнейшее снижение расхода топлива, а потому приобретают все большее значение.

Обзор

Внешнее смесеобразование

Системы впрыска топлива с внешним смесеобразованием отличаются тем, что рабочая смесь образуется за пределами камеры сгорания, т. е. во впускном трубопроводе. Такие системы постоянно развивались, с тем чтобы соответствовать растущим требованиям.

Сегодня получают развитие только электронно-управляемые системы многоточечного впрыска топлива.

Системы многоточечного впрыска топлива

В таких системах (рис. 1) каждый цилиндр имеет свою форсунку, впрыскивающую топливо непосредственно на впускной клапан этого цилиндра (Multi Point Injection — многоточечный впрыск). Системы многоточечного впрыска топлива создают идеальные условия для выполнения всех необходимых требований к системе подготовки смеси.

Механическая система впрыска топлива
В механической системе впрыска топлива K-Jetronic масса впрыскиваемого топлива определяется дозирующим топливораспределительным устройством, от которого топливо направляется к форсунке, открывающейся при определенном давлении и после этого постоянно (без перерывов) впрыскивающей топливо.

Комбинированная электронно-механическая система впрыска топлива
Такая система KE-Jetronic базируется на механической системе K-Jetronic, которая дополнена электронным блоком, управляющим режимом работы насоса и форсунок с дозирующим топливораспределительным устройством. Благодаря этому осуществляется более точное управление впрыскиванием топлива в соответствии с меняющимися рабочими режимами двигателя.

1 Система многоточечного впрыска топлива

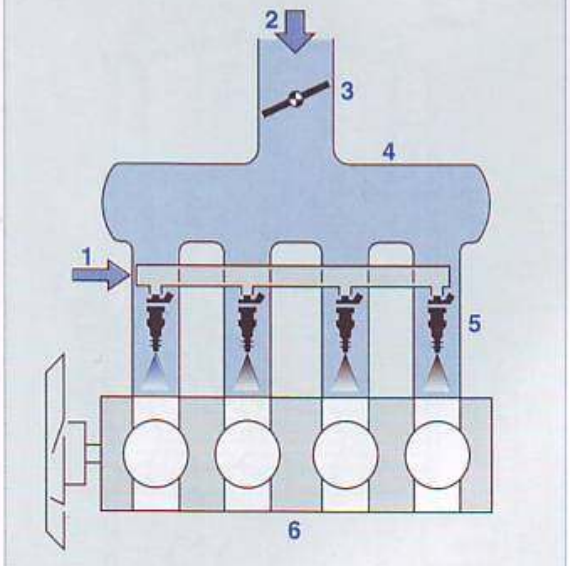


Рис. 1
1. Топливо
2. Воздух
3. Дроссельная заслонка
4. Впускной трубопровод
5. Форсунки
6. Двигатель

Электронные системы впрыска топлива
Электронно-управляемые системы впрыска обеспечивают впрыскивание топлива в прерывистом режиме через форсунки с электромагнитным управлением. Масса впрыскиваемого топлива определяется временем работы (открытия) форсунки (для заданного падения давления в форсунке).

Примеры: системы L-Jetronic, LH-Jetronic и Motronic как интегрированная система управления двигателем (M-Motronic, ME-Motronic).

Система впрыска топлива через одну форсунку (одноточечный или центральный впрыск)

В такой системе (рис. 2) топливо периодически впрыскивается во впускной трубопровод одной форсункой с электромагнитным приводом, расположенной во впускном трубопроводе перед дроссельной заслонкой (Single Point Injection — одноточечный впрыск). Системы одноточечного (центрального) впрыска топлива производства фирмы Bosch получили названия Mono-Jetronic и Mono-Motronic.

2 Система одноточечного (центрального) впрыска топлива

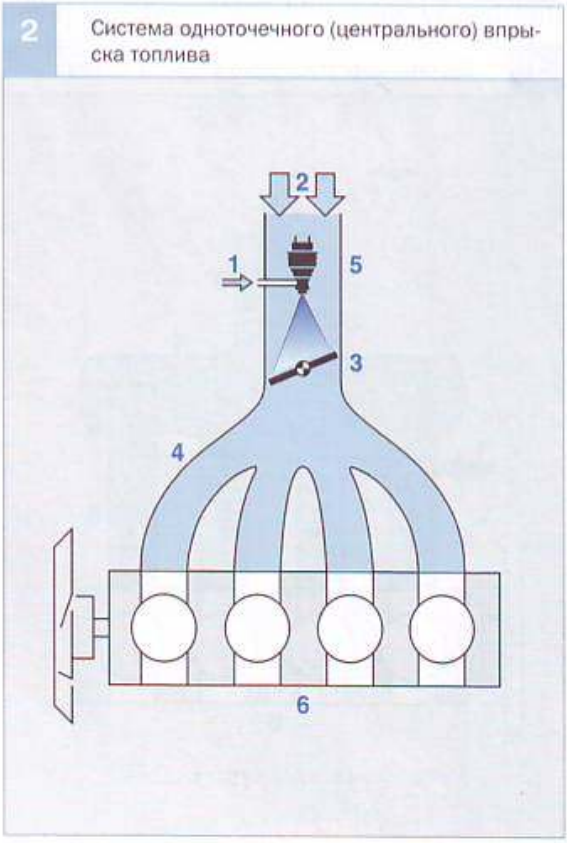


Рис. 2
1. Подача топлива
2. Поступление воздуха
3. Дроссельная заслонка
4. Впускной трубопровод
5. Форсунка
6. Двигатель

Внутреннее смесеобразование

В системах непосредственного впрыска топливо впрыскивается форсунками с электромагнитным управлением, размещенными в каждом цилиндре, непосредственно в камеру сгорания (рис. 3).

Образование смеси в камере сгорания позволяет двигателю работать двумя совершенно разными способами. В условиях гомогенной смеси она распределена по своему составу однородно по всей камере сгорания, как и при внешнем смесеобразовании, — все количество находящейся в камере сгорания свежей смеси принимает участие в процессе сгорания. Поэтому такой режим используется, когда необходимо получение высокого крутящего момента. В условиях послойного распределения смеси она должна быть горючей только непосредственно возле свечей зажигания. В остальном объеме камеры сгорания находятся свежая смесь и остаточные ОГ без следов несгоревшего топлива. Тем самым, на режимах холостого хода и частичной нагрузки создается, в общем, весьма бедная смесь, что обеспечивает снижение расхода топлива.

Для управления двигателем с непосредственным впрыском используется система MED-Motronic.

3 Система непосредственного впрыска топлива

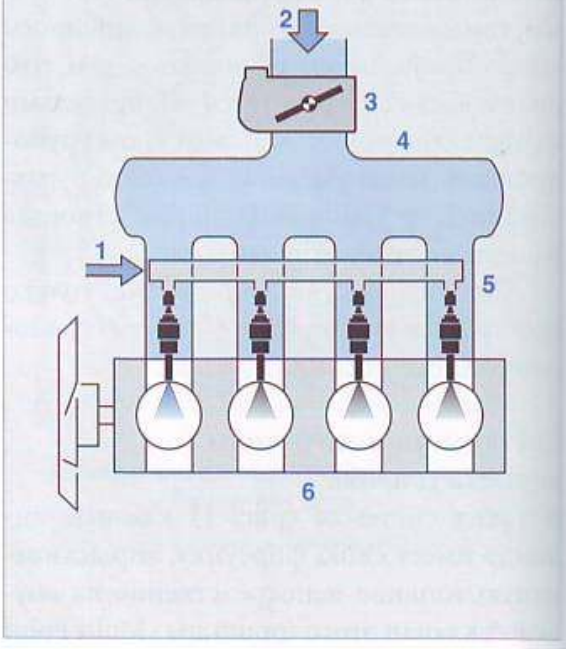


Рис. 3
1. Подача топлива
2. Поступление воздуха
3. Электронно-управляемая дроссельная заслонка (EGAS)
4. Впускной трубопровод
5. Форсунки
6. Двигатель

История разработки систем смесеобразования

Проблема образования горючей смеси появилась еще во времена, когда разрабатывались первые ДВС. В частности, от ее решения, а также от работоспособности механизма зажигания зависела вообще возможность работы такого двигателя.

В общих чертах карбюратор был создан еще в XVIII веке. Тогда проводились опыты с целью получить такие испарения жидких материалов, которые бы позволили улучшить работу отопительных и осветительных устройств.

Идею испарять жидкость для работы двигателя впервые предложил в 1795 г. Роберт Стрит. Для этого он использовал скипидар или дегтярное масло. Сэмюэль Морей и Эскин Азар в 1825 г. создали двухцилиндровый двигатель, сконструировав для него первый карбюратор, который был запатентован в Великобритании под номером 5402. До того времени подобные системы смесеобразования работали по преимуществу на скипидаре или керосине.

Все изменилось в 1833 г., когда профессору химии Эйлхарду Мичерлиху из Берлина удалось с помощью термокрекинга расщепить бензойную кислоту. В результате реакции он получил так называемый «этилен Фарадея», который назвал бензолом, ставшим предшественником современного бензина.

Первый бензиновый карбюратор был сконструирован Уильямом Барнеттом, получившим в 1838 г. за это изобретение патент под номером 7615.

Такие разработки в те годы представляли собой фитильный (рис. 1) либо испарительный (рис. 2) карбюраторы. Первый карбюратор, примененный в автомобиле, был фитильным. Фитиль впитывал топливо примерно так же, как в керосиновой лампе. Этот фитиль находился в потоке засасываемого воздуха, благодаря чему происходило смешивание воздуха и топлива. В испарительном карбюраторе топливо подогревалось ОГ двигателя, в результате чего на поверхности топлива образовывался слой топливных паров, которые, попадая в воздушный поток, смешивались с воздухом до образования необходимой рабочей смеси.

В 1882 г. в Берлине Зигфрид Маркус подал заявку на получение патента на изобретенный им карбюратор с вращающейся щеткой (рис. 3). Быстро вращающаяся круглая щетка 3, приводимая от колеса 1, обеспечивала вместе со съемником 2 образование в щеточной камере 4 топливного тумана. Через патрубок 5 этот туман всасывался в двигатель. Щеточный карбюратор

1 Принцип действия фитильного карбюратора

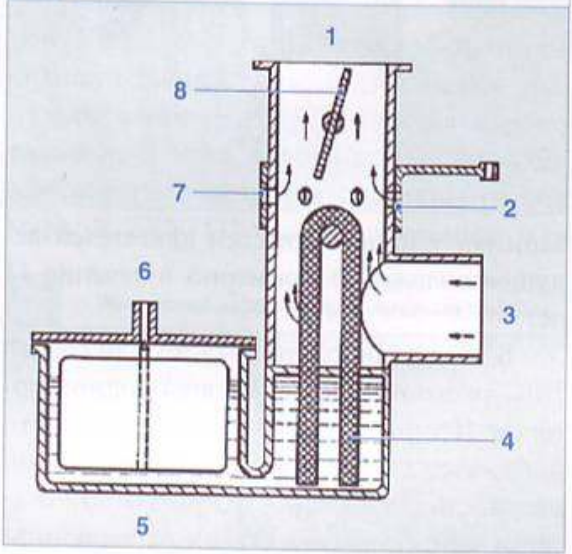


Рис. 1
1. Подача рабочей смеси к двигателю
2. Кольцевой золотник
3. Поступление воздуха
4. Фитиль
5. Поплавковая камера с поплавком
6. Подача топлива
7. Подача дополнительного воздуха
8. Дроссельная заслонка

2 Принцип действия испарительного карбюратора

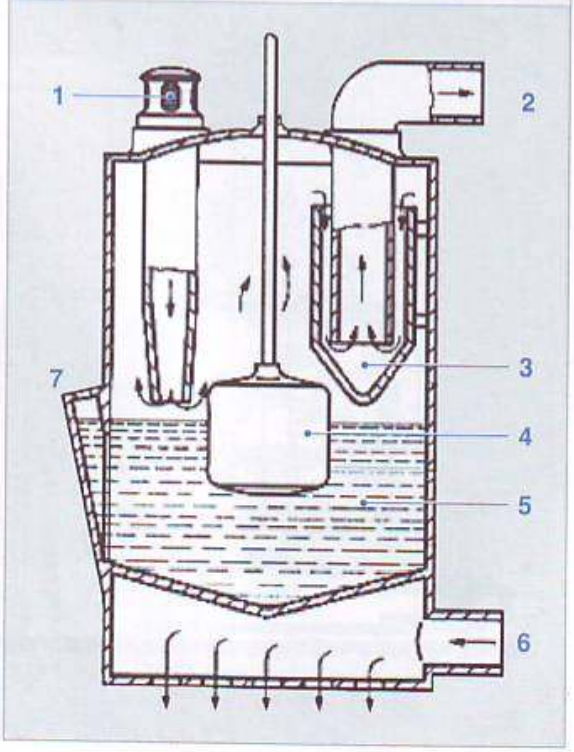
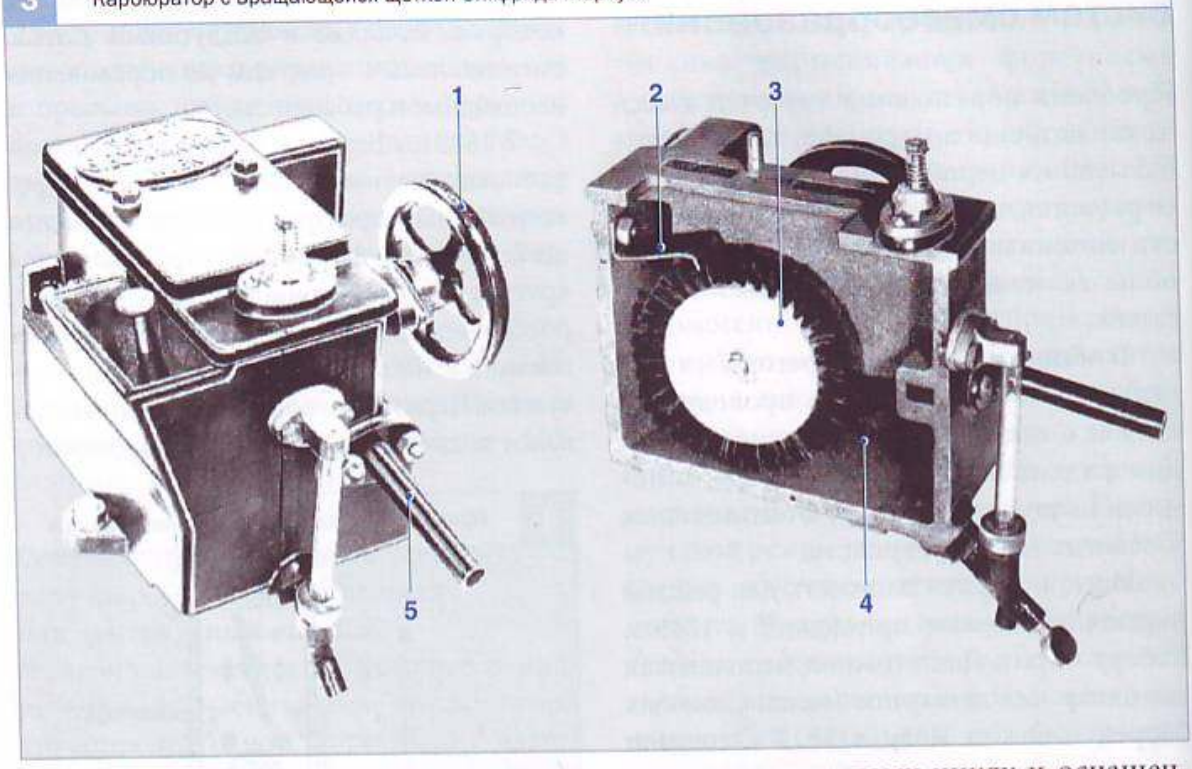


Рис. 2
1. Поступление воздуха
2. Подача рабочей смеси к двигателю
3. Топливораздели-тель
4. Поплавок
5. Топливо
6. Поступление ОГ от двигателя
7. Топливозаливная горловина

Рис. 3
1. Приводное колесо
2. Съемник топлива
3. Щетка
4. Щеточная камера
5. Впускной патрубок

3 Карбюратор с вращающейся щеткой Зигфрида Маркуса



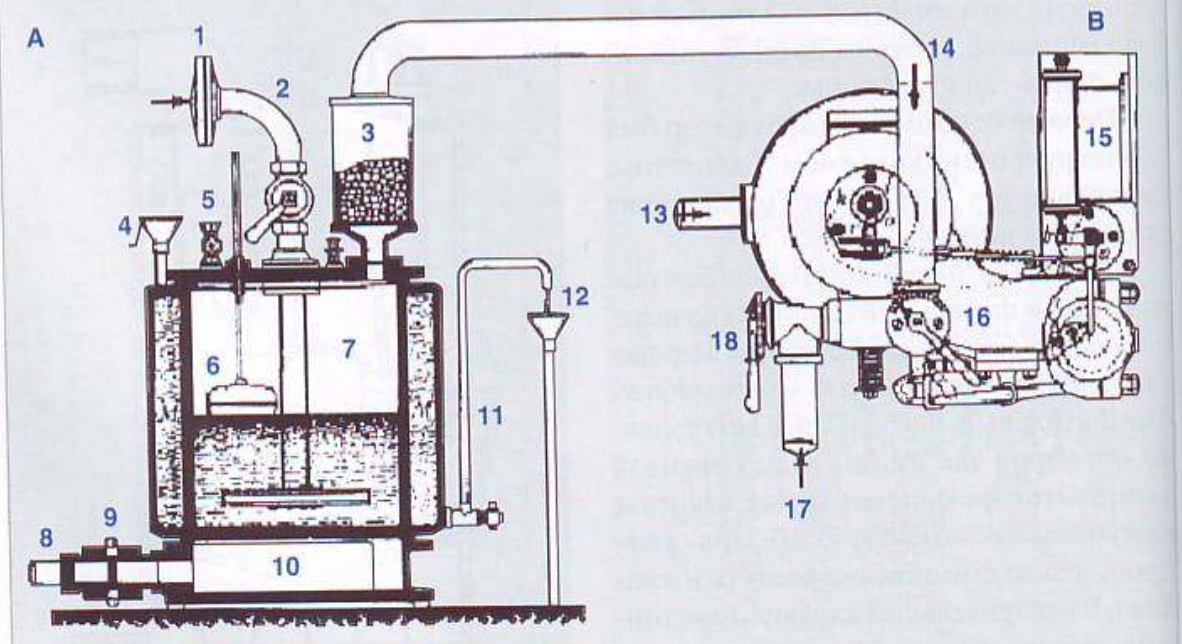
занимал у производителей двигателей ведущее положение примерно в течение 11 лет.

В 1885 г. Николаус Август Отто создал ДВС, работающий на углеводородном топливе (спирт/бензин) — этой цели Отто добивался с 1860 г. Первый бензиновый двигатель (двигатель с искровым зажиганием или двигатель Отто), работающий по четырехтактному циклу и оснащенный испарительным карбюратором и электрическим магнето собственной конструкции того же Отто, был отмечен премией на Всемирной выставке в Антверпене. Большое количество этих двигателей (рис. 4) несколько лет выпускала и продавала фирма Otto & Langen, Deutz.

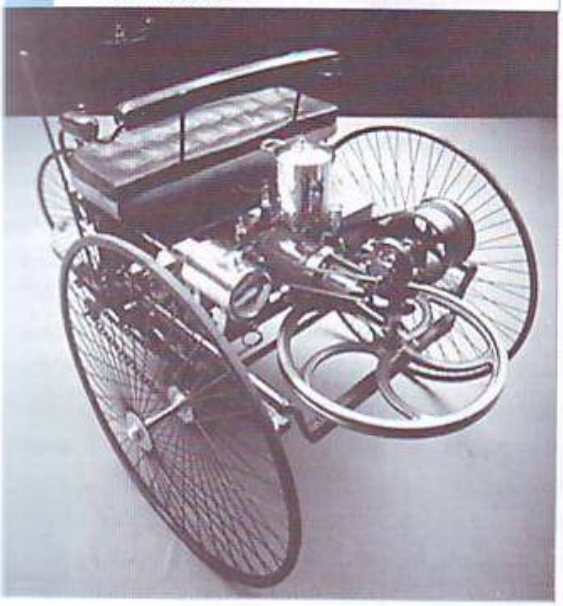
Рис. 4
A — карбюратор
B — двигатель с искровым зажиганием

1. Поступление воздуха
2. Воздуховод
3. Резервуар с гравием (для гашения пламени)
4. Воронка для заливания воды
5. Заливной патрубок для топлива
6. Поплавок
7. Емкость для бензина
8. Трубопровод для пропуска ОГ
9. Отсечной клапан
10. Поддон для подогрева
11. Охлаждающая водяная рубашка
12. Водяная магистраль
13. Поступление охлаждающей воды
14. Поступление рабочей смеси
15. Магнето
16. Кран отключения подачи смеси
17. Поступление воздуха
18. Кран отключения подачи воздуха

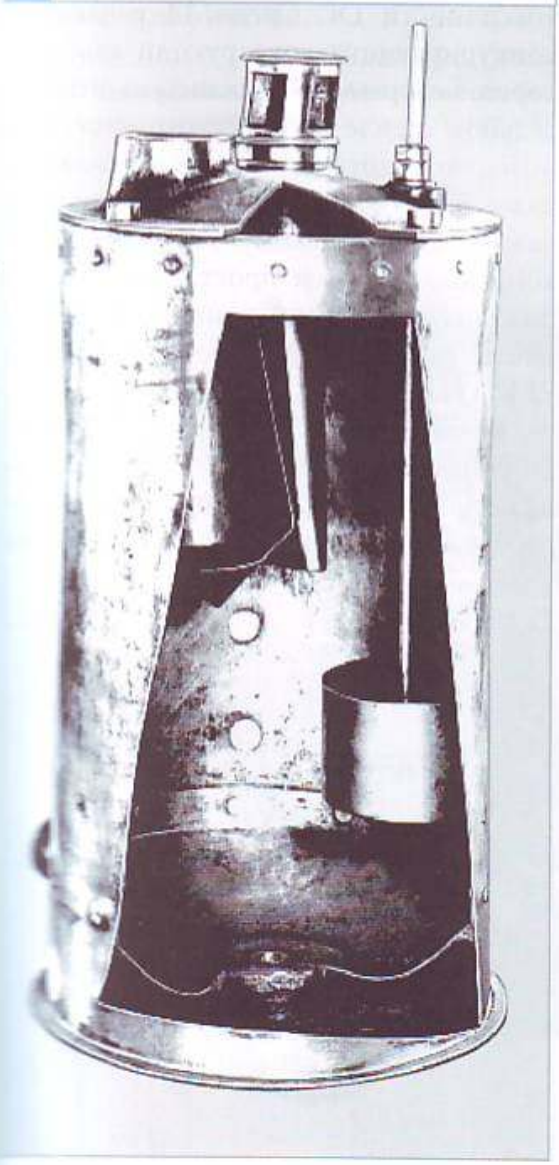
4 Двигатель с искровым зажиганием Николауса Августа Отто



5 Автомобиль Карла Бенца, оснащенный двигателем с искровым зажиганием с испарительным карбюратором (карбюратор расположен вертикально)



6 Испарительный карбюратор (в разрезе), 1885 г.



В том же году Карл Бенц установил на своем первом автомобиле (рис. 5) испарительный карбюратор собственной конструкции. Спустя некоторое время он усовершенствовал этот карбюратор, добавив поплавковый клапан, чтобы уровень бензина автоматически поддерживался постоянным.

В 1893 г. Вильгельм Майбах создал свой жиклерный карбюратор (рис. 7), в котором топливо впрыскивалось из жиклера на отражающую поверхность дефлектора, благодаря чему обеспечивался конусообразный распыл топлива (рис. 8).

В 1906–1907 гг. появились карбюратор Клоделя и проекты карбюраторов Франсуа Бавери, придавшие новые импульсы развитию производства карбюраторов. В этих карбюраторах (рис. 9), впоследствии ставших известными под маркой ZENITH, дополнительный или

7 Жиклерный карбюратор Вильгельма Майбаха

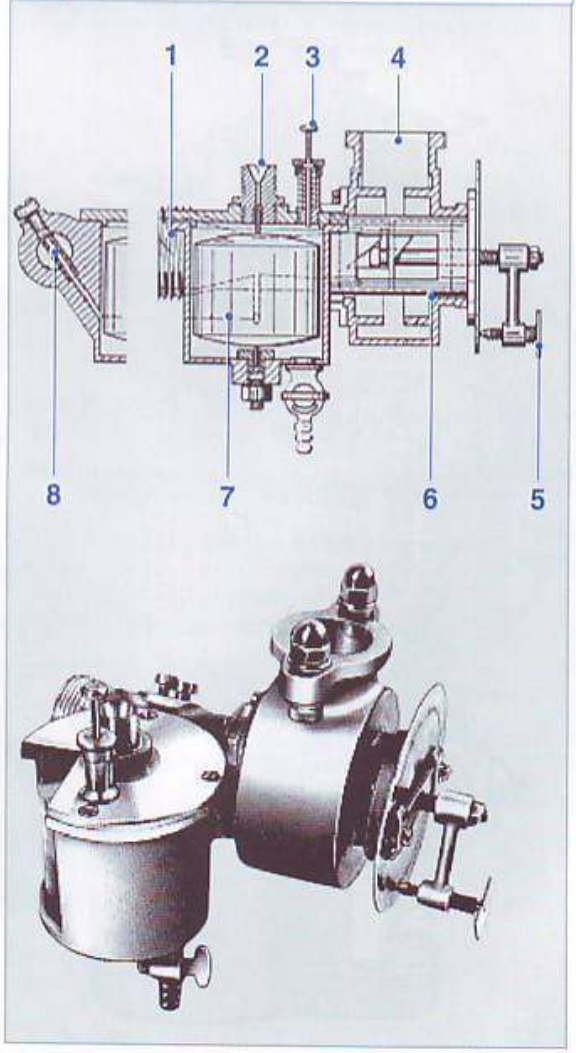
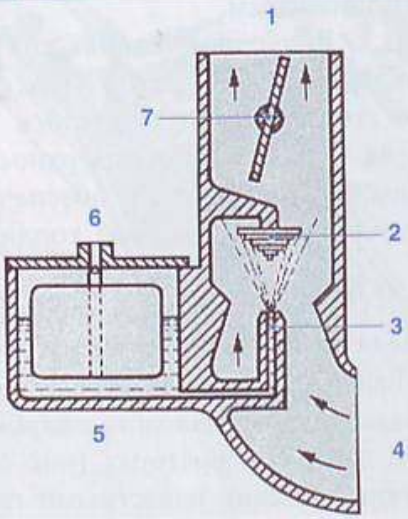


Рис. 7

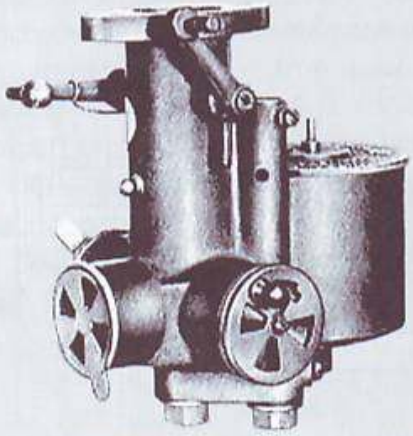
1. Поступление воздуха
2. Подача топлива
3. Подпружиненный поплавок
4. Выход рабочей смеси
5. Стопорное устройство для поворотного золотника
6. Поворотный золотник для регулирования смеси
7. Поплавок
8. Жиклер

уравнительный (компенсационный) жиклер, обедняющий топливо, обеспечивает приготовление почти неизменной смеси, несмотря на возрастающую скорость потока всасываемого воздуха.

8 Принцип работы жиклерного карбюратора



9 Карбюратор ZENITH тип 22, 1910 г.



10 Карбюратор SOLEX тип DHR, 1912 г.

11 Карбюратор PALLAS тип I, 1914 г.

Рис. 8
1. Подача рабочей смеси к двигателю
2. Поверхность дефлектора
3. Топливная форсунка (жиклер)
4. Поступление воздуха
5. Поплавковая камера с поплавком
6. Подача топлива
7. Дроссельная заслонка

В это же время патентные заявки на карбюраторы подали Меннесон и Гудар. Их конструкции (рис. 10) приобрели мировую известность под названием SOLEX.

В течение последующих нескольких лет было создано огромное количество конструкций карбюраторов. Некоторые из них следует назвать: SUM, CUDELL, FAVORIT, ESCOMA, GRAETZIN. На фирме PALLAS производился запатентованный в 1906 г. карбюратор Хаака. В 1912 г. Шуттлер и Дитрих разработали карбюратор PALLAS (рис. 11) с кольцевым поплавком и комбинированным жиклером.

В 1914 г. Королевское военное министерство Пруссии объявило конкурс на разработку бензолового (бензинового) карбюратора. Уже тогда ставились условия обеспечения при испытаниях низкой токсичности ОГ. Среди 14 различных конкурирующих конструкций карбюраторов, которые проверялись на испытательном стенде Технического института в Шарлоттенбурге, а также в автомобилях с одинаковой мощностью, принадлежащих Германскому Управлению сухопутных войск и проехавших 800 км по тяжелым зимним дорогам, первое место было присуждено карбюратору ZENITH.

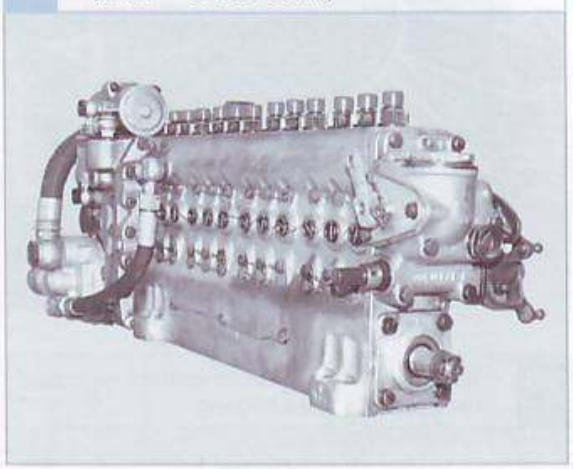
В последующие годы началась многосторонняя детальная работа по совершенствованию карбюраторов. Были разработаны различного рода конструкции

и дополнительные устройства, например, поворотные золотники и воздушные заслонки в качестве устройств, облегчающих запуск, мембранные системы вместо поплавков для карбюраторов авиадвигателей, насосные системы, облегчающие разгон. Многообразие модификаций карбюраторов настолько велико, что их описание может выйти далеко за рамки этой главы.

В 20-е годы для достижения большей мощности двигателя использовались одинарные и сдвоенные карбюраторы (карбюраторы с двумя дроссельными заслонками) в качестве систем многокамерных карбюраторов (несколько синхронно управляемых одинарных или сдвоенных карбюраторов). Это многообразие вариантов карбюраторов от различных производителей во все большей степени увеличивалось в течение последующих десятилетий.

В 30-е годы на авиационных двигателях использовались и первые системы с непосредственным впрыском (рис. 12). Такому двигателю были необходимы два 12-цилиндровых рядных топливных насоса, размещавшихся в развале блока цилиндров (на рис. 12 насосы не видны).

13 12-цилиндровый рядный топливный насос (длина — около 700 мм)



12 Авиационный 24-цилиндровый двигатель Daimler-Benz X-образной конструкции, модель DB 604

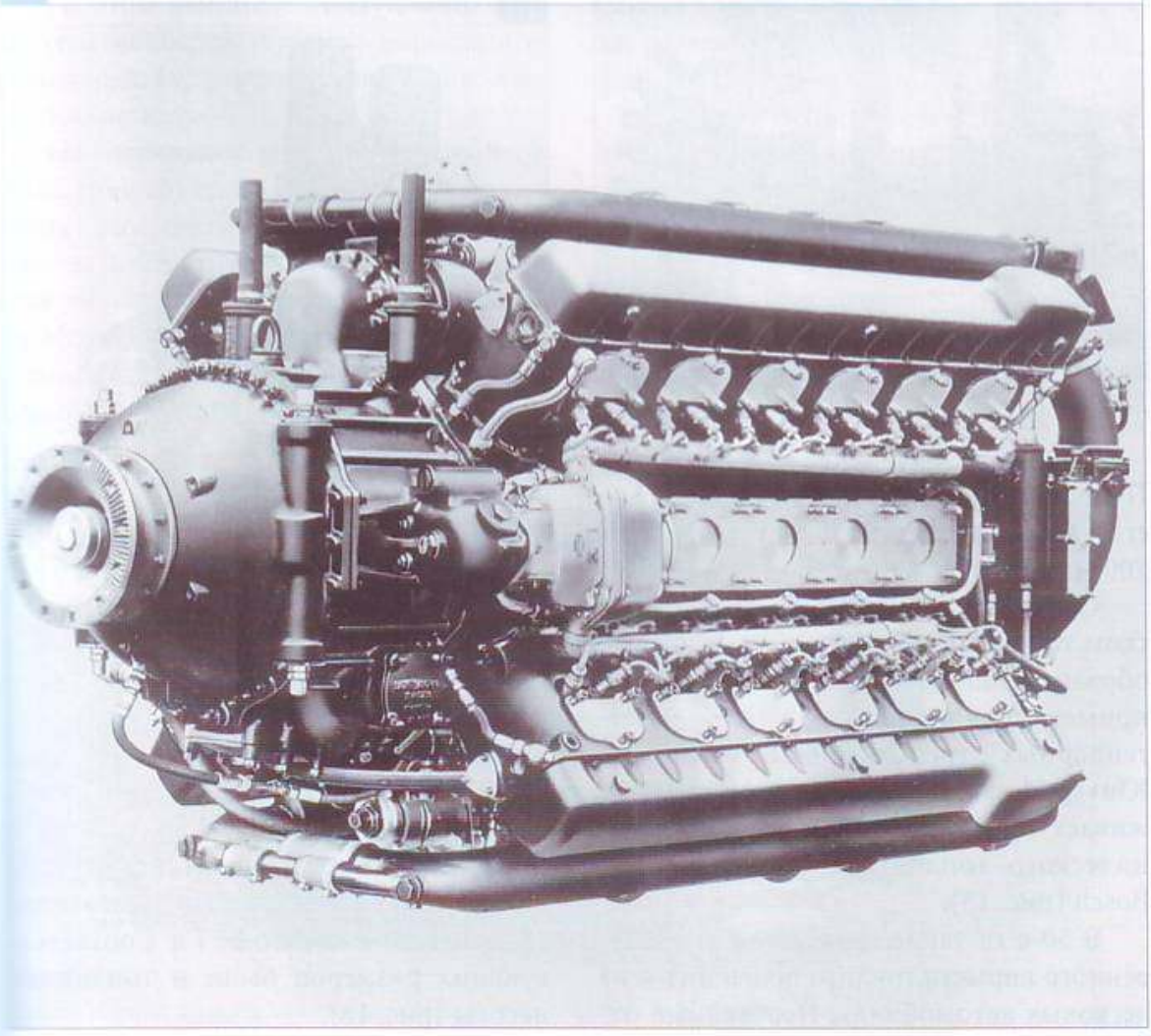
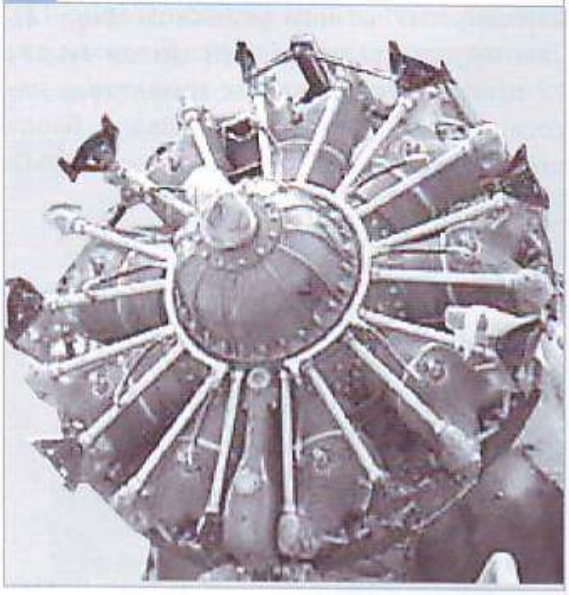
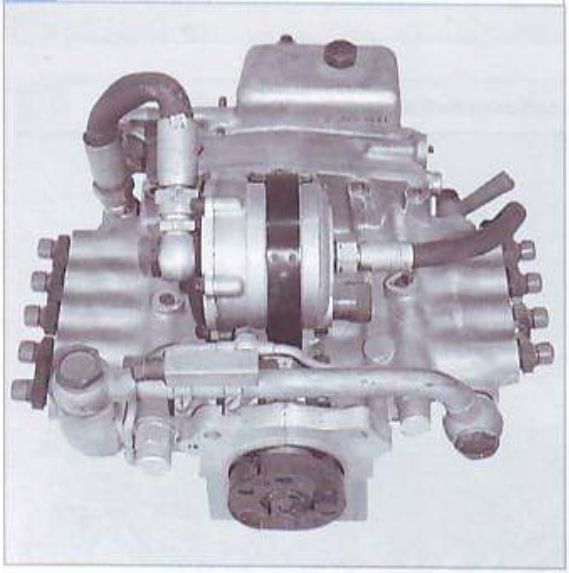


Рис. 12
Этот авиационный двигатель выпускался на заводах акционерного общества Daimler-Benz с 1939 по 1942 гг. Существовали варианты от рабочего объема 48,5 л и мощности 2350 л. с. (1741 кВт) до рабочего объема 50,0 л и мощности 3500 л. с. (2593 кВт) - все с системой непосредственного впрыска Bosch. Габаритная длина двигателя — 2,15 м. (Источник: DaimlerChrysler Classic, архив концерна)

14 Звездообразный 9-цилиндровый двигатель BMW



15 Топливный насос Bosch оппозитной конструкции (длина — около 350 мм)



Подобный насос изображен на рис. 13 — его габаритная длина составляет около 700 мм.

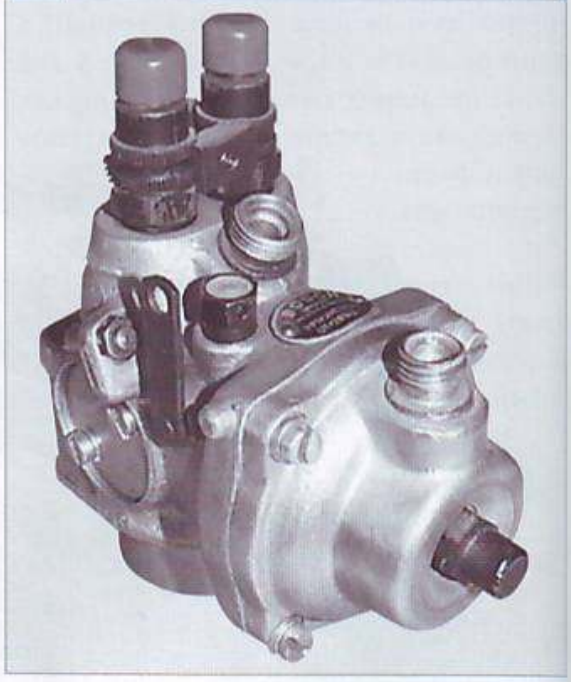
Системы с непосредственным впрыском топлива на 9-цилиндровых звездообразных двигателях от BMW (рис. 14) применялись в конце 30-х годов на легендарных трехмоторных самолетах Юнкерс Ju 52. Особого внимания заслуживает оппозитная конструкция механического топливного насоса фирмы Bosch (рис. 15).

В 50-е гг. такие системы непосредственного впрыска топлива появились и на легковых автомобилях. Необходимо отметить модели Gutbrod Superior 1952 года выпуска (рис. 16), а также Goliath GP700E 1954 года выпуска (рис. 17). Обе эти малолитражки оснащались двухцилиндровым двухтактным двигателем рабочим объемом менее 1 л. Соответствующих размеров были и топливные насосы (рис. 18).

16 Автомобиль Gutbrod Superior 600 Cabrio (выпуска 1950–1954 гг.; с 1952 г. — с непосредственным впрыском бензина)

17 Автомобиль Goliath GP700E (выпуска 1951–1957 гг.; с 1954 г. — с непосредственным впрыском)

18 2-цилиндровый топливный насос (длина — около 15 см)



19 Элементы и узлы системы непосредственного впрыска топлива фирмы Bosch для двухтактных двигателей в автомобилях Gutbrod и Goliath

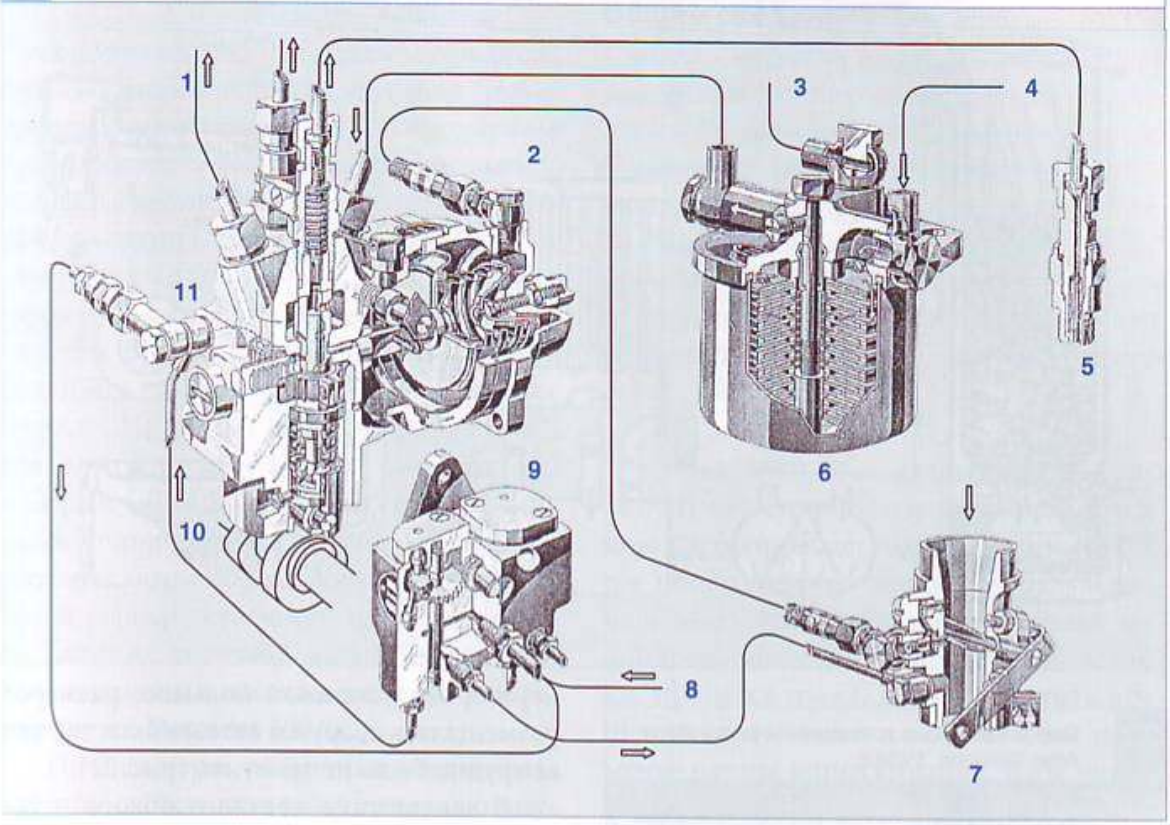


Рис. 19
1. Выпускная трубка
2. Диафрагменный блок регулятора состава смеси
3. Выпускная трубка
4. От топливного бака
5. Форсунка
6. Топливный фильтр
7. Патрубок с дросселем, регулирующим смесь
8. От масляного бака
9. Масляный насос
10. Топливный насос
11. Перепускной клапан

На этом двигателе была установлена система непосредственного впрыска топлива (рис. 19), впервые примененная на автомобиле.

На спортивной модели Mercedes-Benz 300SL (рис. 20) также была установлена система непосредственного впрыска топлива фирмы Bosch. Этот автомобиль был представлен общественности 6 февраля 1954 г. на Международной выставке спортивных автомобилей в Нью-Йорке. Его 6-цилиндровый рядный двигатель (M198/11) с наклоном цилиндров в 50° к вертикальной оси развивал мощность 215 л. с. (159 кВт) при рабочем объеме 2996 см³.

Во время Второй мировой войны начал применяться принципиально другой способ смесеобразования для двигателей с искровым зажиганием — в газогенераторе, осуществляющем сухую перегонку древесины.

Для образования горючей смеси использовался древесный газ, получаемый из тлеющих древесных углей (рис. 21). Газоге-

20 Автомобиль Mercedes-Benz 300 SL, 1954 г.

Рис. 20
Источник: DaimlerChrysler Classic, архив концерна

21 Газогенераторная установка

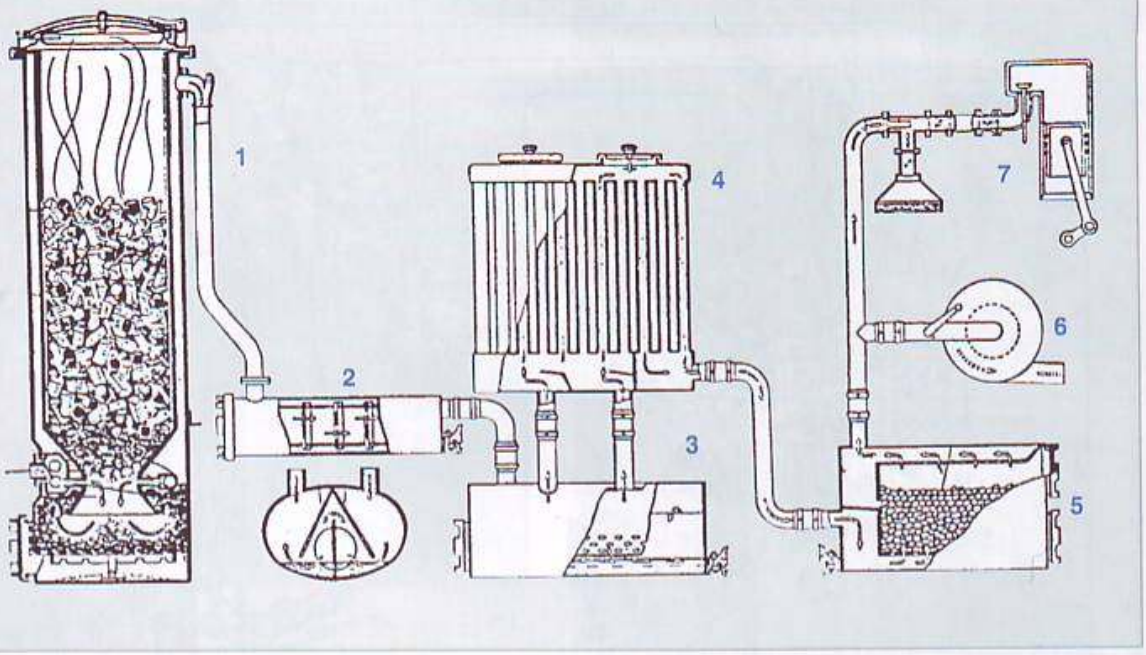
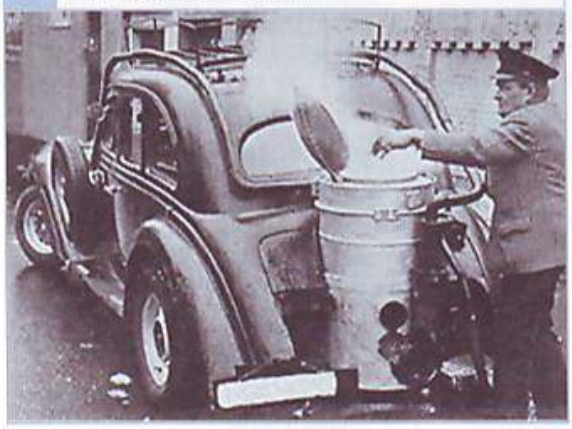


Рис. 21
1. Газогенератор
2. Очиститель
3. Отстойник
4. Газоохладитель
5. Фильтр тонкой очистки
6. Вентилятор розжига
7. Система регуляторов

22 Газогенераторная установка на автомобиле Adler Diplomat, 1936 г.

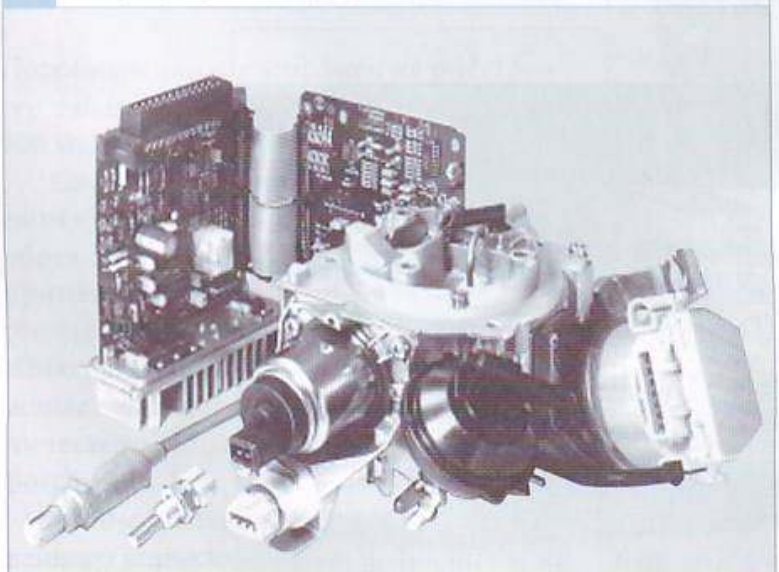


нераторная установка больших размеров размещалась снаружи автомобиля, так что ее трудно было не заметить (рис. 22).

В заключение краткого обзора истории разработки систем смесеобразования следует упомянуть, что различные типы карбюраторов устанавливались на автомобилях вплоть до 90-х годов прошлого века. Карбюратор из-за своей невысокой стоимости особенно долго применялся на малолитражных автомобилях.

Однако автомобилестроители все же отказались от карбюратора в связи с введением все более строгих норм, регламентирующих снижение токсичности ОГ. Хотя в начале 90-х годов и появилась успешная разработка фирм Bosch и Pierburg — карбюратор Ecotronic, представляющий собой модицифицированный карбюратор, снабженный электронными исполнительными устройствами (рис. 23). Он позволил экономить топливо при соблюдении действующих в те годы норм по ограничению токсичности ОГ.

23 Карбюратор Ecotronic (2EE)



Развитие систем впрыска топлива

С тех пор как в 1885 г. появилась первая система впрыска топлива во впускной трубопровод, примененная на стационарном промышленном двигателе, в области систем впрыска топлива происходят постоянные изменения. В 1925 г. на авиационном двигателе был установлен беспоплавковый карбюратор со встроенным механизмом впрыска. В 1930 г. на гоночном мотоцикле появилась электроуправляемая система впрыска. Наконец в 1951 г. на фирме Bosch для автомобилей Gutbrod Superior 600 и Goliath GP700E был разработан механический топливный насос. Это были первые легковые автомобили, оборудованные системой непосредственного впрыска топлива. Такой же системой механическим рядным топливным насосом был оснащен легендарный Mercedes 300 SL.

Пройдя через различные стадии разработок систем впрыска топлива во впускной трубопровод (которые будут описаны ниже), конструкторы в настоящее время снова обратились к применению систем с непосредственным впрыском топлива.

Система D-Jetronic

Общие сведения о системе

Система впрыска топлива, управляемая давлением во впускном тракте, появилась в Германии в 1967 г. на автомобиле Volkswagen 1600 LE, став первой системой с электронным блоком управления. Датчик давления измеряет давление во впускном трубопроводе и передает эти данные блоку управления как параметр, отображающий уровень нагрузки двигателя.

Электронный блок управления 1 (рис. 1) получает сигналы о давлении во впускном трубопроводе, значениях температуры поступающего воздуха и охлаждающей жидкости либо головки блока цилиндров, положении дроссельной заслонки, процессе пуска, а также частоте вращения коленчатого вала двигателя и моменте начала впрыскивания. Блок управления обрабатывает эти данные и посылает сигналы в виде электрических импульсов форсункам 2. Блок управления связан с электрическими устройствами системы через многоконтактный разъем и жгут проводов. В блоке управления

1 Схема системы D-Jetronic

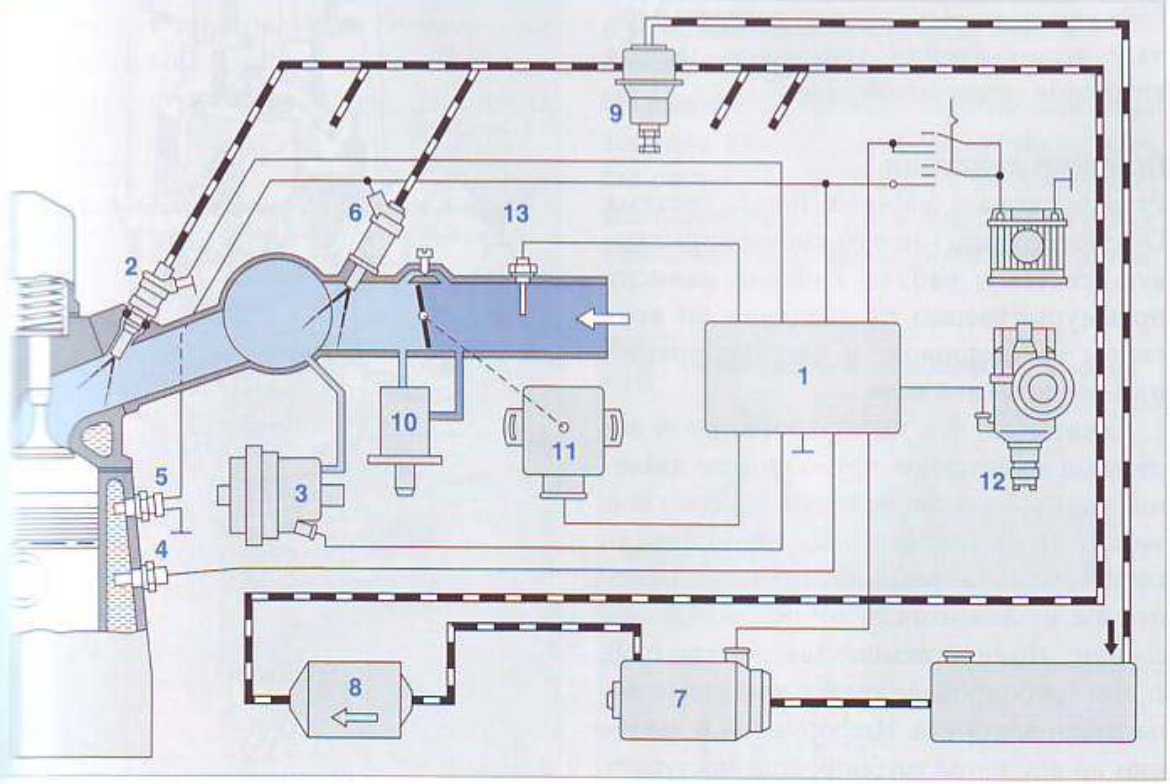


Рис. 1

1. Электронный блок управления
2. Форсунка
3. Датчик давления
4. Температурный датчик охлаждающей жидкости
5. Термовыключатель/термореле
6. Пусковая форсунка
7. Топливный насос
8. Топливный фильтр
9. Регулятор давления топлива
10. Клапан дополнительного воздуха
11. Датчик положения дроссельной заслонки
12. Датчик-распределитель зажигания
13. Датчик температуры всасываемого воздуха

содержится около 300 деталей, из которых примерно 70 являются полупроводниковыми элементами.

Форсунки 2 впрыскивают топливо во впускной трубопровод перед каждым цилиндром. Датчик давления 3 передает блоку управления данные о нагрузке двигателя. Температурные датчики 4 и 13 сообщают блоку управления информацию о температуре, соответственно, охлаждающей жидкости и воздуха. Термовыключатель или термореле 5 во время пуска двигателя открывает пусковую форсунку 6 с электромагнитным управлением, которая впрыскивает во впускной трубопровод дополнительное количество топлива. Топливный насос 7 подает к форсункам топливо, предварительно очищенное топливным фильтром 8. Регулятор давления топлива 9 поддерживает постоянное давление в топливопроводе. Клапан дополнительного воздуха 10 обеспечивает подачу дополнительного воздуха во время прогрева двигателя. Датчик положения дроссельной заслонки 11 передает на блок управления сигналы о режимах холостого хода, ускорения и полной нагрузки. В датчике-распределителе зажигания 12 находятся контакты цепи управления срабатыванием форсунок — от них на блок управления поступают сигналы о начале впрыскивания топлива и частоте вращения коленчатого вала.

Принцип действия

Разработанная фирмой Bosch система D-Jetronic представляет собой впрысковую систему, работа которой зависит преимущественно от давления во впускном трубопроводе и частоты вращения коленчатого вала.

Учитывая, что перед дроссельной заслонкой во впускном трубопроводе давление равно атмосферному, за дроссельной заслонкой при работающем двигателе регистрируется пониженное давление, изменяемое в зависимости от положения заслонки. Это пониженное давление во впускном трубопроводе является показателем нагрузки двигателя. Информация о давлении во впускном трубопроводе поступает от датчика давления. Поэтому вся система называется «управляемой давлением» или D-Jetronic (от немецкого Drucksensor — датчик давления).

Начало впрыскивания топлива

Специальные контакты датчика-распределителя зажигания определяют — в соответствии с углом поворота распределительного вала — подачу импульса для срабатывания форсунок (рис. 2). Эти контакты, расположенные в датчике-распределителе зажигания под центробежным регулятором опережения зажигания, замыкаются под действием кулачка на валике привода датчика-распределителя. Кроме того, по интервалам импульсов, формируемых этими контактами, блок управления определяет частоту вращения коленчатого вала, которая используется для расчета продолжительности впрыскивания топлива.

Продолжительность впрыскивания топлива

Продолжительность впрыскивания топлива определяется, главным образом, двумя факторами: нагрузкой двигателя

2 Датчик-распределитель зажигания с контактами цепи управления срабатываением форсунок

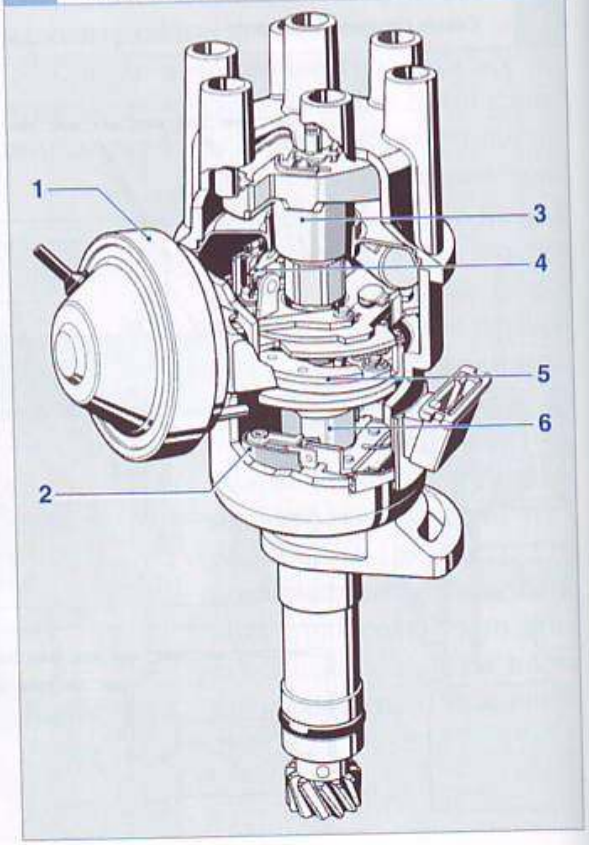
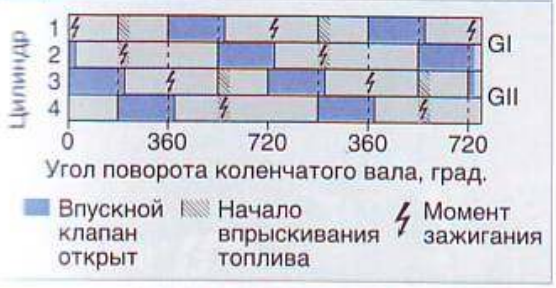


Рис. 2
1. Вакуумный регулятор опережения зажигания диафрагменного типа
2. Контакты цепи управления срабатыванием форсунки
3. Ротор
4. Контакты прерывателя распределителя зажигания
5. Центробежный регулятор
6. Кулачок на валике привода датчика-распределителя

3 Диаграмма впрыскивания топлива в системе D-Jetronic



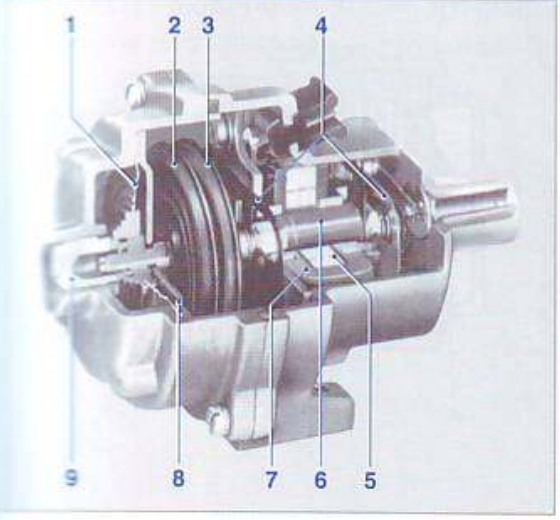
частотой вращения коленчатого вала. Эта информация на блок управления поступает от датчика давления и контактов цепи управления срабатыванием форсунок в датчике-распределителе.

Принципиально в работе системы следующее: начало впрыскивания топлива определяется замыканием контактов цепи управления срабатыванием форсунок в датчике-распределителе зажигания; продолжительность впрыскивания и, тем самым, количество подаваемого топлива определяется данными датчика давления через электронное реле в блоке управления. В течение времени подачи импульсов группа клапанов впрыска находится в открытом положении (рис. 3).

Датчик давления

Измерительная система датчика давления (рис. 4) установлена в герметичном металлическом корпусе, соединенном со впускным трубопроводом двигателя (рис. 5).

4 Датчик давления с дополнительной мембраной для обогащения смеси на режиме работы двигателя при полной нагрузке



В датчике давления имеются две анероидных коробки (сильфоны) (рис. 4, поз. 2, 3), сдвигающие якорь 6 относительно обмотки катушки 5. С увеличением нагрузки, связанным с повышением давления во впускном трубопроводе, анероидные коробки сжимаются и якорь еще глубже втягивается в катушку, в результате чего изменяется ее индуктивность.

Таким образом, этот датчик преобразовывает пневматический импульс в электрический сигнал. Индуктивный элемент в датчике давления связан с электронным задатчиком времени в блоке управления.

Блок управления определяет продолжительность электрических импульсов для управления работой форсунок. Тем самым продолжительность впрыскивания топлива напрямую зависит от давления во впускном трубопроводе.

При закрытой дроссельной заслонке давление во впускном трубопроводе низкое. Анероидные коробки сжаты не так сильно, и якорь выходит из катушки (рис. 6). Индуктивность катушки при этом снижается, импульсы становятся короче и форсунки впрыскивают меньше топлива.

Корректировка в соответствии с условиями работы двигателя

Режим полной нагрузки

На режиме частичной нагрузки двигателя топливо дозируется таким образом, чтобы расход топлива и доля не сгоревших компонентов ОГ были как можно более низкими. На режиме полной нагрузки,

5 Условия давления во впускном трубопроводе

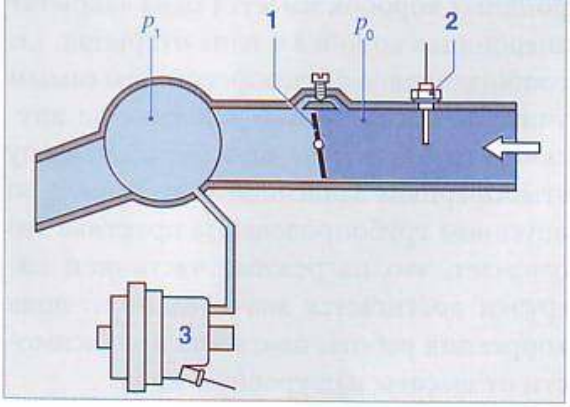


Рис. 4
1. Мембрана
2. Анероидная коробка
3. Анероидная коробка
4. Листовая пружина
5. Обмотка катушки
6. Якорь
7. Сердечник
8. Ограничитель частичной нагрузки
9. Ограничитель полной нагрузки
10. Клапан

Рис. 5
p_0 — атмосферное давление
p_1 — давление во впускном трубопроводе

1. Дроссельная заслонка
2. Температурный датчик
3. Датчик давления

напротив, количество впрыскиваемого топлива определяется требованием получения максимальной мощности, т. е. при полной нагрузке необходимо впрыскивание дополнительных порций топлива.

Данные по обогащению смеси на режиме полной нагрузки поступают от датчика давления. Индуктивность катушки изменяется при перемещении якоря, вызванного расширением или сжатием анероидных коробок. На режиме частичной нагрузки (рис. 7) атмосферное давление p_0 превышает давление во впускном трубопроводе p_1. Вследствие этого мембрана контактирует с ограничителем частичной нагрузки. На якорь воздействуют только анероидные коробки.

На режиме полной нагрузки (рис. 8) давление во впускном трубопроводе примерно равно атмосферному. В этом случае листовая пружина в состоянии прижать мембрану к ограничителю полной нагрузки. Это дополнительно смещает анероидные коробки, сигнализируя блоку управления о режиме полной нагрузки. В системах впрыска, которые должны удовлетворять более строгим нормам по ограничению токсичности ОГ, обогащение смеси на режиме полной нагрузки создается дополнительными контактами на датчике положения дроссельной заслонки. По этой причине для такого обогащения смеси действие мембраны в датчике давления не требуется.

Коррекция по высоте над уровнем моря

В системах с обогащением смеси на режиме полной нагрузки с помощью датчика положения дроссельной заслонки в датчике давления вместо двойных анероидных коробок имеется одна закрытая анероидная коробка и одна открытая, т.е. сообщающаяся с атмосферой. Тем самым учитывается не только давление во впускном трубопроводе, но и разница между атмосферным давлением и давлением во впускном трубопроводе. На практике это означает, что на режиме частичной нагрузки достигается значительно лучшая коррекция работы двигателя в зависимости от высоты над уровнем моря.

Рис. 6
Основная функция:
анероидные коробки 2 и 3 расширены
1. Мембрана
2. Анероидная коробка
3. Анероидная коробка
4. Листовая пружина
5. Обмотка катушки
6. Якорь
7. Сердечник
8. Ограничитель частичной нагрузки
9. Ограничитель полной нагрузки

p_0 — атмосферное давление
p_1 — давление во впускном трубопроводе

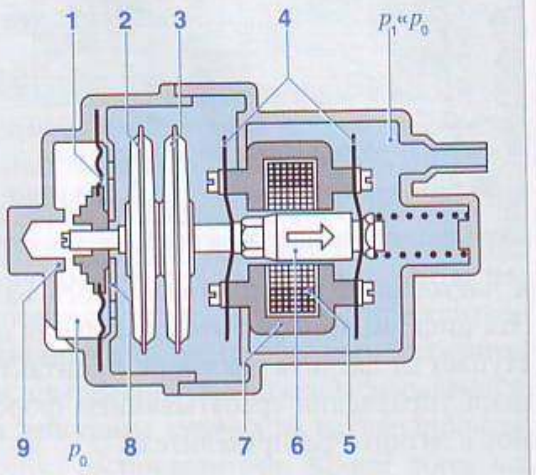
Рис. 7
Основная функция:
анероидные коробки 2 и 3 слегка сжаты.
Дополнительная функция:
мембрана контактирует с ограничителем частичной нагрузки

p_0 атмосферное давление
p_1 давление во впускном трубопроводе

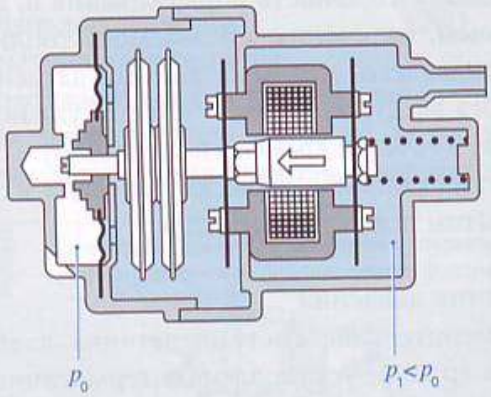
Рис. 8
Основная функция:
анероидные коробки 2 и 3 сжаты;
Дополнительная функция:
мембрана контактирует с ограничителем полной нагрузки

p_0 — атмосферное давление
p_1 — давление во впускном трубопроводе

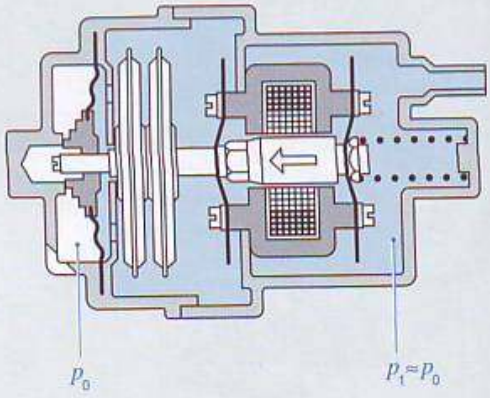
6 Работа датчика давления на режиме холостого хода ($p_1 << p_0$)



7 Работа датчика давления на режиме частичной нагрузки ($p_1 < p_0$)



8 Работа датчика давления на режиме полной нагрузки ($p_1 = p_0$)



9 Датчик положения дроссельной заслонки

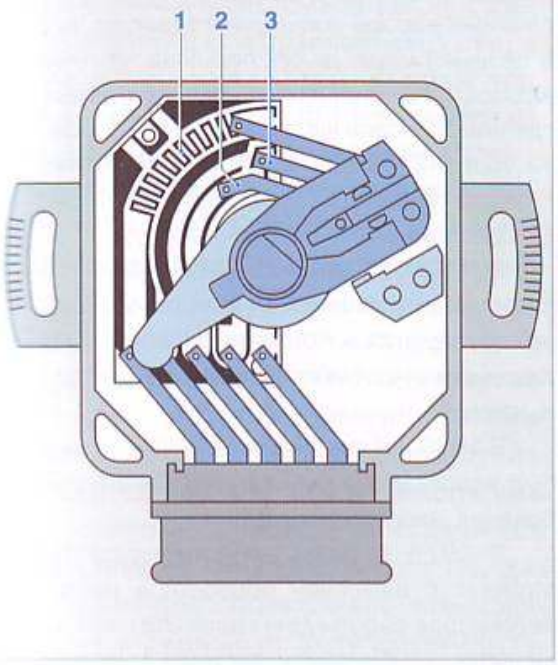


Рис. 9
1. Контактная дорожка для обогащения смеси на режиме ускорения
2. Контакт полной нагрузки
3. Контакт холостого хода

Режим ускорения

При открытии дроссельной заслонки (то есть при ускорении) датчик давления с небольшой задержкой передает информацию блоку управления о подъеме давления. Эта задержка в срабатывании вызвана тем, что нарастание давления в датчике происходит через некоторое время после изменения положения дроссельной заслонки.

Для восполнения этой незначительной задержки в срабатывании служит датчик положения дроссельной заслонки, который при открытии дроссельной заслонки подает сигнал блоку управления на передачу форсункам дополнительных импульсов на впрыскивание топлива.

Датчик положения дроссельной заслонки

Этот датчик имеет скользящие контакты и контактную дорожку. Он приводится непосредственно от валика дроссельной заслонки в соответствии с движением заслонки.

На режиме ускорения скользящий контакт движется по гребнеобразной поверхности контактной дорожки и тем самым влияет как на увеличение продолжительности впрыскивания топлива, так и на подачу дополнительных импульсов на впрыскивание топлива для обогащения смеси на режиме ускорения.

Температура всасываемого воздуха

Количество впрыскиваемого топлива определяется, в первую очередь, давлением во впускном трубопроводе. Однако наиболее точное дозирование топлива возможно только при постоянной температуре, поскольку при понижении температуры наружного воздуха плотность всасываемого воздуха становится выше. Без учета температуры наружного воздуха рабочая смесь может обедняться, что приводит к перебоям в процессе сгорания (прежде всего, при температуре наружного воздуха от 0 до -20°C). Для устранения этого недостатка служит температурный датчик. Сигнал о понижении температуры наружного воздуха температурный датчик передает на блок управления, который, в соответствии с повышением плотности воздуха, увеличивает количество подаваемого топлива.

Температурный датчик состоит из встроенного в металлический корпус термочувствительного резистора (термистора).

История создания систем впрыска для двигателей с искровым зажиганием

История разработок систем впрыска топлива для двигателей с искровым зажиганием насчитывает более чем вековой период. Еще в 1898 г. фабрика газовых двигателей Deutz малыми сериями производила плунжерные насосы для впрыска бензина.

Вскоре, после того как в устройстве карбюратора начал использоваться принцип трубки Вентури, системы впрыска топлива для двигателей с искровым зажиганием, базировавшиеся на тогдашнем уровне развития техники, оказались неконкурентоспособными.

В 1912 г. первые испытания бензиновых насосов начала проводить фирма Bosch. В 1937 г. в серию был запущен первый авиадвигатель с искровым зажиганием мощностью 1200 л. с., оснащенный системой впрыска Bosch. Малая надежность карбюраторов, из-за их обледенения и опасности пожаров, способствовала развитию систем впрыска для двигателей с искровым зажиганием именно в авиационной сфере. Началась эра применения этих систем впрыска, но до их использования на легковых автомобилях было еще очень далеко.

В 1952 г. система непосредственного впрыска топлива для двигателей с искровым зажиганием стала впервые использоваться на небольших автомобилях. Затем последовало ее применение на легендарном 300 SL — серийном спортивном автомобиле концерна Daimler-Benz.

В последующие годы механические топливные насосы совершенствовались все в большей мере, до тех пор пока наконец в разработке систем впрыска не удалось сделать еще один шаг вперед: в 1967 г. была создана первая электронная система впрыска D-Jetronic, управляемая за счет давления во впускном трубопроводе!

В 1973 г. на автомобильном рынке появилась система L-Jetronic, управляемая количеством пропускаемого воздуха и имеющая гидромеханический привод, как и в системе K-Jetronic.

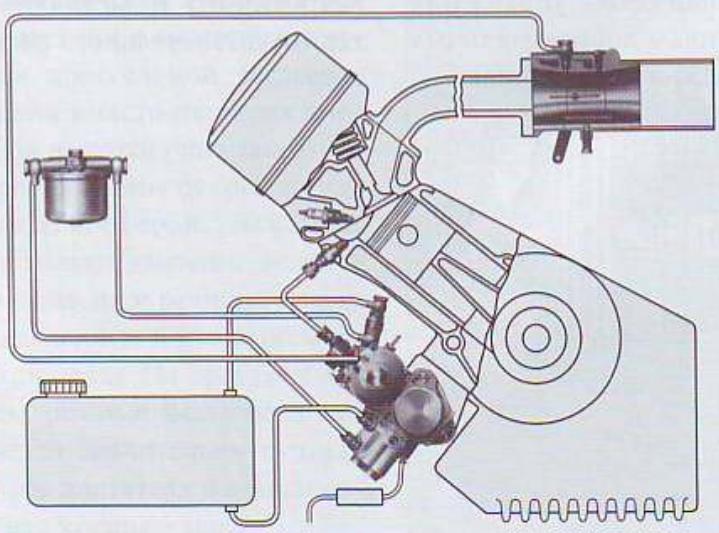
В 1976 г. в системе K-Jetronic впервые был использован принцип лямбда-регулирования (кислородный датчик).

В 1979 г. была внедрена система Motronic с цифровой обработкой многих параметров работы двигателя. Эта система является комбинацией системы L-Jetronic и электронного зажигания с программным управлением, т.е. на автомобиле появился первый микропроцессор.

В 1982 г. система K-Jetronic стала выпускаться с электронной замкнутой схемой управления и лямбда-зондом – система получила название KE-Jetronic.

С 1987 г. начала использоваться система Mono-Jetronic: недорогая система с центральным впрыском топлива, благодаря которой оснащение двигателя системой Jetronic стало доступным и для более дешевых малолитражных автомобилей, так что эта система окончательно вытеснила карбюратор.

Система впрыска топлива фирмы Bosch для двигателей с искровым зажиганием, 1954 г.



Система K-Jetronic

Общие сведения о системе

K-Jetronic — это система впрыска с гидромеханическим управлением, непрерывно дозирующая впрыскиваемое топливо в зависимости от поступающего количества воздуха (впрыскивание топлива осуществляется перед впускными клапанами двигателя). Определенные рабочие режимы двигателя требуют корректировок процесса смесеобразования. Система K-Jetronic обеспечивает эти корректировки для оптимизации работы двигателя при пуске и во время движения автомобиля. Благодаря непосредственному измерению количества всасываемого воздуха, система K-Jetronic обеспечивает применение устройств очистки ОГ, для работы которых обязательно необходимы точные данные по количеству поступившего воздуха.

Система K-Jetronic изначально была сконструирована как механическая, однако позже в нее было добавлено электронное оснащение, позволяющее использовать лямбда-регулирование в замкнутой схеме управления.

Система K-Jetronic выполняет следующие функции:

- подача топлива;
- измерение количества всасываемого воздуха;
- дозирование топлива.

Подача топлива

Из топливного бака топливо подается к дозатору 9 (рис. 1) топливным насосом с электроприводом 2 через топливный аккумулятор 3 и топливный фильтр 4. Дозатор распределяет топливо по форсункам 6 отдельных цилиндров.

Измерение расхода воздуха

Количество всасываемого двигателем воздуха регулируется дроссельной заслонкой, положение которой определяется датчиком 16, и измеряется расходомером воздуха 10.

Дозирование топлива

Критерием дозирования топлива служит количество воздуха, всасываемого двигателем в зависимости от положения дроссельной заслонки. Это количество измеряется расходомером воздуха, который управляет дозатором. Расходомер воздуха и дозатор топлива являются компонентами регулятора состава смеси.

1 Схема системы K-Jetronic с замкнутой схемой лямбда-управления

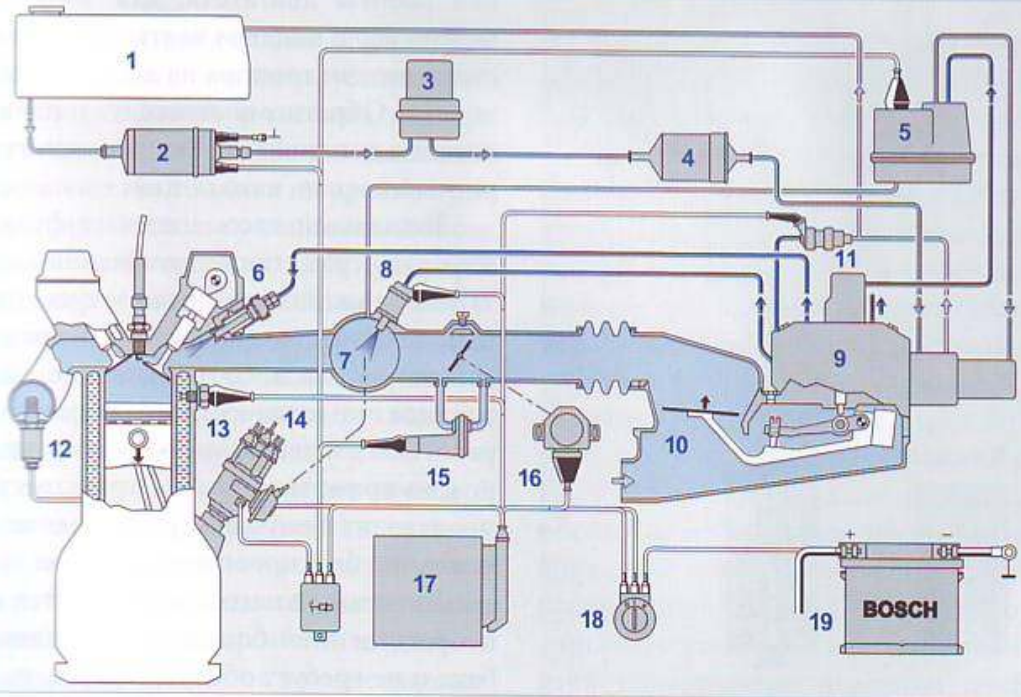


Рис. 1

1. Топливный бак
2. Топливный насос с электроприводом
3. Аккумулятор топлива
4. Топливный фильтр
5. Регулятор обогащения рабочей смеси при прогреве двигателя
6. Форсунка
7. Впускной трубопровод
8. Пусковая форсунка
9. Дозатор топлива
10. Расходомер воздуха
11. Частотный регулятор
12. Лямбда-зонд
13. Термореле
14. Распределитель зажигания
15. Устройство подачи дополнительного воздуха
16. Датчик положения дроссельной заслонки
17. Электронный блок управления (для варианта с лямбда-регулированием)
18. Выключатель зажигания
19. Аккумуляторная батарея

Впрыскивание топлива происходит непрерывно, т. е. без учета положения впускного клапана. При закрытом впускном клапане топливо накапливается на нем и испаряется.

Обогащение смеси регулируется в соответствии с различными режимами работы двигателя, такими как пуск, прогрев двигателя, холостой ход или полная нагрузка. Дополнительно возможны такие функции как отсечка подачи топлива при движении накатом, ограничение частоты вращения коленчатого вала и лямбда-управление.

2 Регулятор давления топлива в системе, установленный на распределителе (дозаторе) топлива

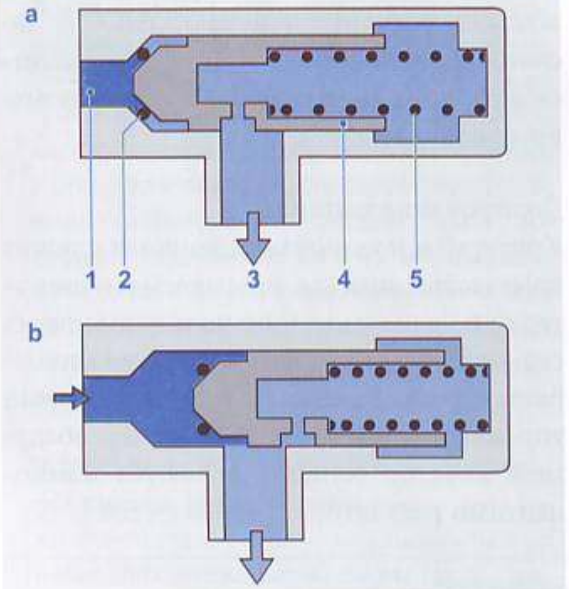


Рис. 2
a — в положении закрыто
b — в рабочем положении

1. Подача топлива под давлением
2. Кольцевое уплотнение
3. Возврат к топливному баку
4. Плунжер
5. Пружина

3 Форсунка

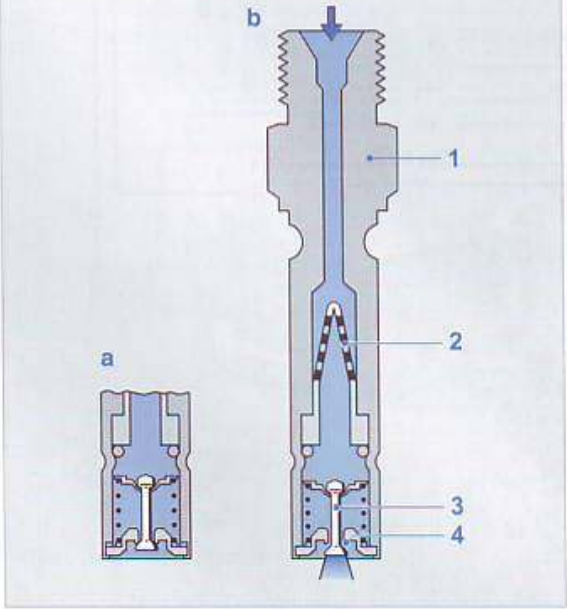


Рис. 3
a — в положении закрыто
b — в рабочем положении

1. Корпус форсунки
2. Фильтр
3. Игла клапана
4. Седло клапана

Подача топлива

Система подачи топлива состоит из:

- топливного насоса с электроприводом;
- аккумулятора топлива;
- фильтра тонкой очистки топлива;
- регулятора давления топлива в системе;
- форсунок.

Топливный насос с электроприводом подает топливо под давлением, превышающим 5 бар, из топливного бака в аккумулятор топлива и, через топливный фильтр, в дозатор топлива. Из дозатора топливо поступает к форсункам, которые автоматически открываются при определенном давлении и непрерывно впрыскивают топливо в тракты впуска перед впускными клапанами цилиндров. Отсюда и название системы K-Jetronic — от немецкого слова «Kontinuierlich» (постоянно, непрерывно). При открытии впускного клапана смесь всасывается в цилиндр.

Регулятор давления топлива, встроенный в дозатор, поддерживает постоянное давление топлива в системе и отводит лишнее топливо обратно в топливный бак.

Топливный насос с электроприводом

Топливный шиберный роликовый насос приводится электродвигателем. Насос подает больше топлива, чем это необходимо для работы двигателя, для того чтобы можно было поддерживать давление в системе подачи топлива на всех рабочих режимах. Обратному проходу топлива из насоса в топливный бак препятствует обратный клапан, находящийся в насосе.

Топливный насос начинает функционировать сразу после включения выключателя зажигания и, после запуска двигателя, работает непрерывно. Прекращение работы насоса и, соответственно, подачи топлива при включенном зажигании и неработающем двигателе, например, при дорожно-транспортном происшествии, происходит благодаря срабатыванию специальной блокировочной системы.

Топливный насос располагается в непосредственной близости от топливного бака и не требует обслуживания.

Аккумулятор топлива

После выключения двигателя аккумулятор топлива некоторое время поддерживает давление в системе подачи топлива для облегчения повторного пуска двигателя, особенно прогретого. Специальная конструкция корпуса аккумулятора топлива обеспечивает глушение шума от работы топливного насоса.

Аккумулятор топлива разделен внутри мембраной на две камеры. Одна камера является накопителем топлива. Другая камера, связанная вентиляционной трубкой с атмосферой или с топливным баком, образует компенсационный объем. Во время работы двигателя камера-накопитель заполнена топливом. При этом мембрана выгибается в сторону компенсационной камеры до упора, преодолевая давление пружины. В этом положении, соответствующем наибольшему объему топлива в накопителе, мембрана остается до тех пор, пока двигатель не будет выключен.

Топливный фильтр

Топливный фильтр задерживает имеющиеся в топливе частицы, которые могут отрицательно влиять на работу системы впрыска. Топливо проходит через бумажный фильтрующий элемент со средним размером пор 10 мкм и установленный за ним фильтрующий элемент из синтетического волокна.

Регулятор давления топлива в системе

Регулятор давления топлива, установленный в корпусе дозатора топлива, поддерживает постоянное рабочее давление в системе подачи топлива на уровне примерно 5 бар. Поскольку топливный насос подает больше топлива, чем требуется двигателю, плунжер 4 (рис. 2), при превышении требуемого давления, преодолевает усилие пружины 5, открывая отверстие 3, через которое лишнее топливо отводится обратно в топливный бак.

Таким образом, усилие пружины 5 уравновешивается давлением в системе подачи топлива. Если топливный насос вдруг начинает подавать меньше топлива, чем требуется, плунжер 4 под действием пружины 5 перемещается в новое положение, уменьшая площадь поперечного сечения выпускного отверстия 3. Тем самым уменьшается количество топлива, перетекающего обратно в топливный бак, и, соответственно, давление в системе снова достигает необходимой величины.

4 Расходомер воздуха с поднимающимся потоком

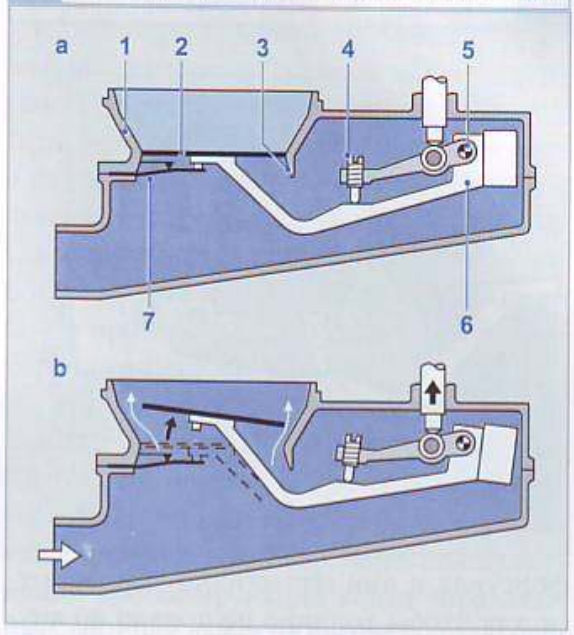


Рис. 4
a — пластина затвора в первоначальном положении
b — пластина затвора в рабочем положении

1. Воронка
2. Пластина затвора
3. Разгрузочное отверстие
4. Винт регулирования состава смеси на холостом ходу
5. Ось поворота
6. Рычаг
7. Пластинчатая пружина

При выключении двигателя отключается и топливный насос. Давление в системе падает ниже давления открытия форсунок. Плунжер регулятора давления закрывает выпускное отверстие 1, что предотвращает дальнейшее снижение давления.

Форсунки

Форсунки открываются при определенном давлении и впрыскивают дозированное количество топлива во впускной трубопровод перед впускными клапанами.

Форсунка закрепляется в специальном держателе, что изолирует ее от излучаемого двигателем тепла. Сама форсунка не обладает функциями дозирования топлива и открывается автоматически, как только давление топлива превышает определенную величину, например 3,5 бар. Игольчатый клапан, игла 3 (рис. 3) которого при впрыскивании топлива совершает колебания с высокой частотой, обеспечивает хорошее распыление топлива даже при его небольшом впрыскиваемом количестве. После выключения двигателя давление в системе топливоподачи падает ниже давления открытия

5 Распределитель (дозатор) топлива

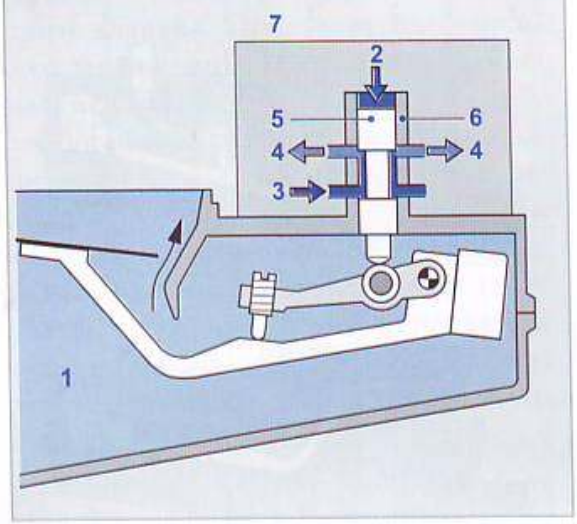


Рис. 5
1. Всасываемый воздух
2. Управляющее давление
3. Подача топлива
4. Дозируемое количество топлива
5. Распределительный плунжер
6. Цилиндрический корпус с дозирующими щелями
7. Распределитель (дозатор) топлива

форсунок и они герметично закрываются, так чтобы топливо не попало во впускной трубопровод.

Окруженные воздухом форсунки улучшают процесс подготовки рабочей смеси, особенно на режиме холостого хода. За счет падения давления за дроссельной заслонкой, часть всасываемого двигателем воздуха проходит через форсунки, благодаря чему достигается очень хорошее распыление топлива. Также при этом обеспечивается снижение расхода топлива и токсичности ОГ.

Дозирование топлива

Приготовление рабочей смеси — это дозирование топлива в соответствии с количеством поступившего воздуха. Дозирование топлива осуществляется в устройстве регулирования состава смеси, включающем расходомер воздуха и распределитель (дозатор) топлива.

На некоторых режимах работы двигателя потребность в топливе сильно отличается от нормальной — в таких случаях при подготовке смеси необходимы корректировки (см. ниже подраздел «Корректировка в соответствии с рабочими режимами»).

6 Конструкция дифференциального нагнетательного клапана, связанного с контурами управляющего давления и давления в системе

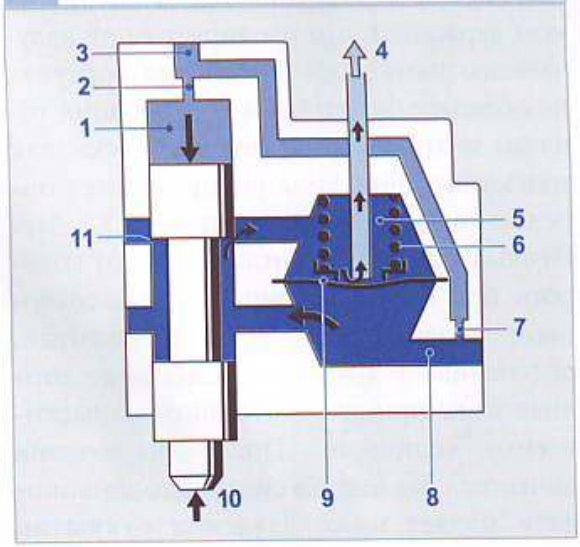


Рис. 6
1. Воздействие управляющего давления
2. Демпфирующий дросселирующий канал
3. Трубка, идущая к регулятору обогащения смеси при прогреве двигателя
4. К впускному клапану
5. Давление в верхней камере дифференциального нагнетательного клапана (0,1 бар < давления в системе)
6. Регулировочная пружина
7. Разъединительный дроссельный канал
8. Давление в нижней камере, равное давлению в системе (рабочему давлению)
9. Диафрагма
10. Воздействие давления воздуха
11. Дозирующие щели

Расходомер воздуха

Поступившее в двигатель количество воздуха является мерой его мощности. Оно служит основным изменяемым параметром, определяющим базовое количество впрыскиваемого топлива, а также представляет собой точный параметр для определения расхода топлива.

Поскольку всасываемый воздух, перед впуском его в цилиндры, должен сначала пройти через расходомер, процесс измерения количества воздуха предшествует фактическому наполнению цилиндра. Это делает возможным производить корректировку смеси в любой момент времени.

Расходомер воздуха, измеряющий количество всего поступающего в двигатель воздуха, установлен перед дроссельной заслонкой и работает по принципу поплавка. Он состоит из воронки 1 (рис. 4), в которой находится подвижная пластина затвора 2 (поплавок), закрепленный на рычаге 6. Воздух, протекающий через воронку, сдвигает пластину затвора на определенное расстояние по отношению к ее первоначальному положению. Система рычагов служит для передачи движения пластины затвора к распределительному плунжеру, определяющему количество топлива, необходимое для работы двигателя на основных режимах.

При возможных обратных вспышках (перебои в зажигании) во впускном тракте могут создаваться значительные пики давления. Поэтому расходомер сконструирован так, чтобы при обратной вспышке пластина затвора, преодолевая сопротивление пружины 7, может отклоняться в обратную сторону, открывая разгрузочное

отверстие в воронке 3. Глубину опускания пластины затвора ограничивает резиновый демпфирующий упор (в случае использования расходомера с падающим потоком он ограничивает высоту подъема).

Вес пластины затвора и системы рычагов уравновешивает противовес (в случае расходомера с падающим потоком это происходит посредством пружины растяжения). Пластинчатая пружина 7 обеспечивает установку пластины затвора в ее первоначальное нерабочее положение.

Распределитель (дозатор) топлива

Этот распределитель дозирует базовое количество топлива по отдельным цилиндрам в соответствии с положением пластины затвора в расходомере воздуха.

Положение этой пластины определяет количество поступившего в двигатель воздуха. Рычаг, в зависимости от положения пластины затвора, перемещает распределительный плунжер 5 (рис. 5).

Распределительный плунжер открывает или перекрывает в большей или меньшей степени дозирующие щели. При этом топливо может поступать к дифференциальным нагнетательным клапанам и, тем самым, к форсункам в зависимости от степени открытия дозирующих щелей.

При небольшом ходе пластины затвора распределительный плунжер поднимается на небольшое расстояние, а потому открывает щели не полностью. Между ходом пластины затвора и степенью открытия дозирующих щелей существует линейная зависимость.

На распределительный плунжер воздействует — против направления движения пластины затвора — гидравлическое усилие, создаваемое так называемым управляющим давлением. Из-за этого воздействия распределительный плунжер следует за перемещением пластины затвора, не оставаясь, например, при опускании пластины затвора в своем верхнем крайнем положении. Другие важные функции управляющего давления рассматриваются в подразделах «Обогащение смеси при прогреве двигателя» и «Обогащение смеси на режиме полной нагрузки»).

Управляющее давление

Управляющее давление отделяется от давления топлива в системе через отверстие дросселирующего канала (рис. 6). При этом назначение дросселя состоит в разделении контуров управляющего давления и давления в системе. Соединительная магистраль связывает между собой дозатор и регулятор обогащения смеси при прогреве двигателя (регулятор управляющего давления).

Управляющее давление при пуске холодного двигателя составляет примерно 0,5 бар. После прогрева двигателя регулятор обогащения смеси поднимает управляющее давление до 3,7 бар. Через демпфирующий дросселирующий канал управляющее давление давит на распределительный плунжер, создавая таким образом противодавление потоку воздуха, проходящему через расходомер. При этом демпфирующий дросселирующий канал предотвращает возможные колебания пластины затвора, вызванные пульсацией воздуха на впуске.

Величина управляющего давления влияет на процесс дозирования топлива. Низкое давление всасываемого воздуха может приводить к дальнейшему подъему пластины затвора. Как следствие, распределительный плунжер еще больше открывает дозирующие щели 11, подавая к двигателю больше топлива. При более высокой величине управляющего давления всасываемый воздух уже не в состоянии высоко поднимать пластину затвора, и, следовательно, к двигателю поступает меньше топлива.

Для того чтобы после выключения двигателя обеспечивались надежная герметизация контура управляющего давления и сохранение давления в системе подачи топлива, в обратной линии регулятора

7 Корректировка состава смеси в зависимости от формы воронки в расходомере воздуха

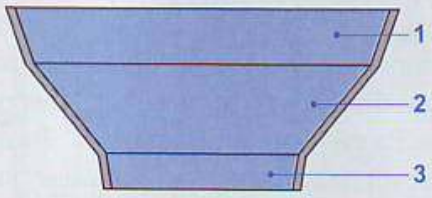


Рис. 7
1. Для режима полной нагрузки
2. Для режима частичной нагрузки
3. Для режима холостого хода

обогащения смеси при прогреве двигателя расположен обратный клапан. Он крепится к регулятору давления в системе и удерживается открытым под действием плунжера регулятора давления.

Когда после выключения двигателя плунжер регулятора давления в системе возвращается в свое первоначальное нерабочее положение, обратный клапан закрывается посредством пружины.

Дифференциальные нагнетательные клапаны

Эти клапаны в распределителе (дозаторе) топлива создают определенное падение давления у дозирующих щелей. Расходомер воздуха имеет линейную характеристику. Это означает, что при подаче двойного количества воздуха перемещение пластины затвора увеличивается вдвое. Если это перемещение является результатом изменения количества топлива в той же пропорции, то тогда дозирующие щели 11 (рис. 6) должны обеспечивать постоянное падение давления — независимо от протекающего через них количества топлива.

Дифференциальные нагнетательные клапаны поддерживают постоянную разницу давлений между верхней и нижней камерами независимо от количества пропускаемого топлива. Эта разница давлений составляет 0,1 бар. Благодаря дифференциальным нагнетательным клапанам возможно повышение точности дозирования топлива.

Эти клапана применяются с плоским седлом. Находясь в дозаторе топлива, они предназначены для каждой из дозирующих щелей. Верхнюю и нижнюю камеры каждого клапана разделяет диафрагма.

Нижние камеры всех клапанов связаны между собой посредством кольцевого трубопровода и находятся под рабочим давлением (давлением в системе). Седло клапана располагается в верхней камере, соединенной, соответственно, с одной дозирующей щелью и магистралью подвода топлива к форсунке. На диафрагмы воздействует усилие пружин. Разность давлений определяется усилием винтовой пружины 6 (рис. 6).

Если в верхнюю камеру поступает большое количество базовой дозы топлива, диафрагма прогибается внутрь, открывая выпускное отверстие клапана до тех пор, пока снова не установится необходимая разница давлениий. Если количество поступающего к форсункам топлива падает, то, в связи с равновесием сил у диафрагмы, уменьшается и поперечное сечение открытого отверстия клапана, до тех пор пока не установится разница давлений 0,1 бар. То есть, обеспечивается поддержание равновесия сил, воздействующих на диафрагму, которое сохраняется для любой базовой дозы топлива посредством регулирования поперечного сечения открытого отверстия клапана.

Смесеобразование

Смесеобразование происходит во впускном трубопроводе и в цилиндре двигателя. Непрерывно впрыскиваемое форсунками топливо накапливается перед впускными клапанами. При открытии впускного клапана всасываемый воздух увлекает за собой это топливо в цилиндр, благодаря чему оно распыливается во время такта впуска с образованием рабочей смеси.

Корректировка в соответствии с рабочими режимами

Определенные рабочие режимы двигателя требуют корректировок состава рабочей смеси, выходящих за рамки описанных выше основных функций, — для оптимизации величины мощности, улучшения состава ОГ или обеспечения пусковых и динамических характеристик двигателя.

Базовая корректировка рабочей смеси

Базовая корректировка смеси на режимах холостого хода, частичной и полной нагрузки происходит посредством использования воздушной воронки расходомера воздуха специальной формы (рис. 7). Если воронка имеет строго конусообразную форму, то результатом этого будет достижение постоянного состава смеси во всем диапазоне перемещения пластины затвора в расходомере. Однако на отдельных рабочих режимах, таких как хо-

тостой ход, частичная и полная нагрузка, оптимальную смесь следует дозировать в соответствии с каждым из этих режимов.

На практике это означает, что будет происходить обогащение смеси на режимах холостого хода и полной нагрузки и обеднение — на режиме частичной нагрузки. Эта корректировка обеспечивается изменением угла наклона стенки воронки.

Если воронка образует более плоский угол наклона, в отличие от базовой формы которая определяется для конкретной смеси, например при $\lambda=1$), это приводит к обеднению смеси. При более отвесном угле наклона пластина затвора при том же количестве всасываемого двигателем воздуха будет подниматься выше. Поэтому распределительный плунжер отмерит большее количество топлива и смесь станет обогащенной. Следовательно, воронка может иметь такую форму, чтобы в зависимости от положения пластины затвора (холостой ход, частичная или полная нагрузка) образовывалась различная по составу смесь: на режимах холостого хода и полной нагрузки — обогащенная, на режиме частичной нагрузки — обедненная.

Обогащение смеси при пуске холодного двигателя

Пусковая форсунка впрыскивает дополнительное количество топлива во впускной трубопровод при пуске двигателя в течение определенного времени в зависимости от температуры охлаждающей жидкости. Дополнительное топливо впрыскивается для компенсации потерь на конденсацию части топлива в поступившей смеси при пуске холодного двигателя и для облегчения этого пуска. Продолжительность открытия пусковой форсунки ограничивает термореле в зависимости от температуры двигателя.

При подобном обогащении смеси при пуске холодного двигателя коэффициент избытка воздуха временно падает ниже единицы.

Пусковая форсунка

Пусковая форсунка снабжена клапаном, управляемым соленоидом. В клапане расположена обмотка электромагнита. В рабочем положении пружина прижимает подвижный якорь электромагнита к уплотнительной прокладке, тем самым закрывая клапан.

При возбуждении электромагнита якорь поднимается от своего седла и освобождает проход для топлива. По касательной топливо попадает в форсунку, завихряющую поток топлива. Вихревая форсунка распыляет топливо особенно мелко и обогащает топливом воздух во впускном трубопроводе за дроссельной заслонкой.

Пусковая форсунка расположена во впускном трубопроводе так, чтобы обеспечивалось равномерное распределение рабочей смеси по цилиндрам.

Термореле

Термореле определяет начало и продолжительность открытия пусковой форсунки в зависимости от температуры двигателя. Такое реле состоит из электроподогреваемой биметаллической пластины, замыкающей или размыкающей кон-

8 Работа регулятора обогащения смеси при прогреве двигателя (регулятора управляющего давления) с диафрагмой обогащения смеси при полной нагрузке

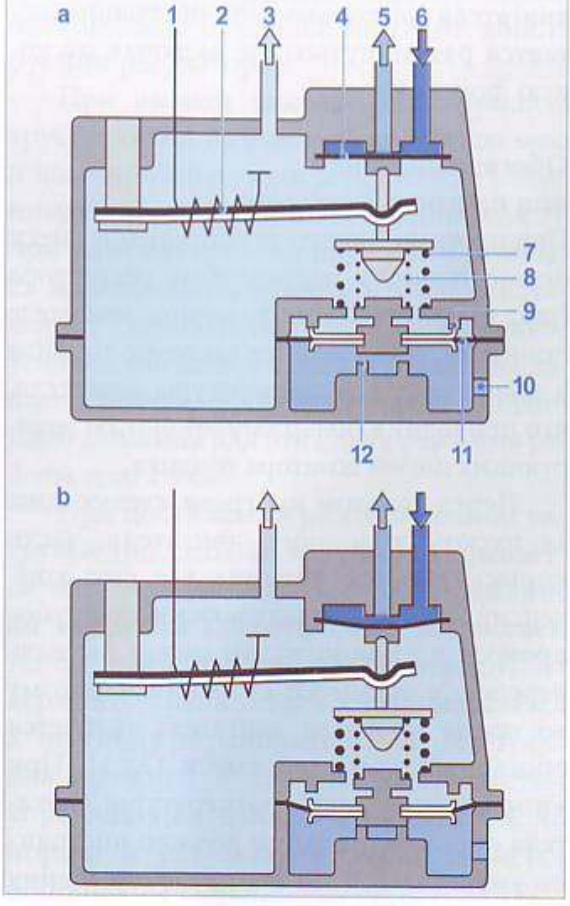


Рис. 8
a — на режимах холостого хода и частичной нагрузки;
b — на режиме полной нагрузки

1. Электроподогрев
2. Биметаллическая пластина
3. Подвод разрежения (от впускного трубопровода)
4. Диафрагма клапана
5. Перепуск топлива в топливный бак
6. Управляющее давление (от дозатора топлива)
7. Наружная пружина клапана
8. Внутренняя пружина клапана
9. Верхний ограничитель
10. Вентиляция
11. Диафрагма
12. Нижний ограничитель

такты в зависимости от температуры. Включение термореле в работу осуществляется выключателем зажигания. Термореле крепится на таком месте, которое подвергается воздействию рабочей температуры двигателя. Во время пуска холодного двигателя термореле ограничивает продолжительность открытия пусковой форсунки. При большой продолжительности пуска либо при попытках повторного пуска двигателя пусковая форсунка не подает топливо. Продолжительность работы пусковой форсунки определяется разогревом термореле под действием теплового излучения двигателя и находящимся в термореле электроподогревом. Этот собственный электроподогрев необходим для ограничения продолжительности работы пусковой форсунки, а также для того чтобы не происходило чересчур сильное обогащение смеси. Во время пуска холодного двигателя основным в определении продолжительности работы пусковой форсунки является теплоотдача встроенного нагревателя (например, при –20° С отключение происходит через 7,5 с). Если двигатель достиг рабочей температуры, термореле прогревается теплотой двигателя настолько, что постоянно остается разомкнутым, не включая пусковую форсунку.

Обогащение смеси при прогреве двигателя

При прогреве двигателя обогащение смеси осуществляется посредством регулятора (рис. 8), который при холодном двигателе понижает управляющее давление топлива в зависимости от температуры двигателя, что приводит к большему открытию дозирующих щелей дозатора топлива.

Перед началом прогрева, следующим за пуском холодного двигателя, часть впрыскиваемого топлива все еще конденсируется на стенках впускного трубопровода и цилиндра, что может вызвать перебои в процессе сгорания. Поэтому во время прогрева двигателя требуется обогащение рабочей смеси ($\lambda<1$). При этом по мере роста температуры двигателя обогащение смеси должно постоянно уменьшаться — для предотвращения ее переобогащения при высоких температурах. Это изменение состава смеси при прогреве двигателя производится регулятором обогащения горючей смеси (регулятором управляющего давления) путем воздействия на управляющее давление системы Jetronic.

Регулятор обогащения горючей смеси при прогреве двигателя

Изменение управляющего давления обеспечивается регулятором обогащения горючей смеси при прогреве двигателя, который установлен на двигателе в таком месте, что может воспринимать его температуру. За счет дополнительного электроподогрева можно точно согласовывать работу регулятора с характеристиками двигателя.

Регулятор состоит из нагруженного пружиной клапана (диафрагменного клапана) с плоским седлом 4 (рис. 8) и электрически подогреваемой биметаллической пластины 2. Для обогащения смеси на режиме полной нагрузки служат подвод 3 разрежения от впускного трубопровода и элементы 8–12; в обычном регуляторе обогащения смеси при прогреве двигателя они отсутствуют.

В холодном состоянии биметаллическая пластина 2 воздействует на наружную пружину 7 клапана, уменьшая тем самым эффективное усилие внутренней пружины 8, действующей на нижнюю сторону диафрагмы 4 клапана. Площадь поперечного сечения выходного отверстия клапана в этом случае открывается чуть больше, поэтому из контура управляющего давления в топливный бак отводится больше топлива, что приводит к снижению уровня этого давления. Электроподогреватель 1 и сам двигатель нагревают биметаллическую пластину 2, начиная с момента пуска. Пластина изгибается, ослабляя противодействие усилию клапанной пружины. Воздействие этой пружины на клапан увеличивается. Вследствие этого площадь поперечного сечения отверстия уменьшается, а давление в контуре регулирования возрастает.

Обогащение смеси при прогреве двигателя завершается, когда биметаллическая пластина полностью отходит от пру-

жины клапана. Теперь действует только эта пружина, обеспечивая повышение управляющего давления до его нормального уровня. При пуске двигателя управляющее давление составляет около 0,5 бар, а при прогретом двигателе — 3,7 бар.

Стабилизация частоты вращения коленчатого вала на режиме холостого хода

Для преодоления повышенного трения трущихся пар, находящихся в холодном состоянии, и обеспечения устойчивости работы двигателя на холостом ходу, во время прогрева в двигатель поступает больше смеси.

При холодном двигателе наблюдается повышенное сопротивление трения, которое должно дополнительно преодолеваться на режиме холостого хода. Посредством устройства подачи дополнительных порций воздуха двигатель всасывает больше воздуха в обход дроссельной заслонки. Поскольку расходомер воздуха измеряет этот дополнительный воздух, учитывая его при дозировании топлива, в целом двигатель получает больше рабочей смеси. Благодаря этому обеспечивается устойчивая работа холодного двигателя на холостом ходу.

Устройство подачи дополнительных порций воздуха

В этом устройстве биметаллическая пластина изменяет площадь поперечного сечения перепускной магистрали посредством поворота перфорированной диафрагмы. Тем самым, в зависимости от температуры холодного пуска двигателя, диафрагма открывает это отверстие, а затем при повышении температуры постепенно закрывает его до момента полного перекрытия. В биметаллической пластине предусмотрен элемент дополнительного электронагрева, что делает возможным ограничение продолжительности открытия отверстия в зависимости от типа двигателя. Устройство устанавливается в таком месте, чтобы оно могло воспринимать температуру двигателя. Благодаря подобному расположению оно действует только при холодном двигателе.

Обогащение на режиме полной нагрузки

Двигатели, работающие на режиме частичной нагрузки на предельно обедненных смесях, требуют при переходе на режим полной нагрузки обогащения смеси, что может быть достигнуто за счет использования воздушной воронки специальной формы.

Эту задачу выполняет специальный регулятор обогащения смеси при прогреве двигателя (рис. 8), который изменяет величину управляющего давления в зависимости от давления во впускном трубопроводе.

Такой регулятор снабжен двумя клапанными пружинами вместо одной. Наружная пружина 7 (рис. 8) располагается на корпусе также, как и у обычного регулятора обогащения смеси при прогреве двигателя, а внутренняя пружина 8 — к диафрагме 11, разделяющей регулятор на две камеры. В верхней камере, которая соединена с впускным трубопроводом шлангом, расположенным за дроссельной заслонкой, действует давление впускного трубопровода. Нижняя камера соединяется с атмосферой либо непосредственно, либо через воздушный фильтр (в зависимости от конструкции регулятора).

При низком давлении во впускном трубопроводе на режимах холостого хода и частичной нагрузки диафрагма 11 поднимается до верхнего ограничителя 9, при этом внутренняя пружина 8 получает максимальное предварительное натяжение. Следовательно, предварительным усилием обеих пружин 7 и 8 клапана задается определенная величина управляющего давления для этих двух режимов работы двигателя.

При достижении режима полной нагрузки дроссельная заслонка открывается на большую величину и разрежение во впускном трубопроводе возрастает. Из-за этого диафрагма 11 отходит от верхнего ограничителя 9 и прижимается к нижнему ограничителю 12. Внутренняя пружина 8 клапана разгружается, управляющее давление снижается до нормы и результатом этого является обогащение смеси.

Улучшение динамических характеристик двигателя при ускорении

Переходы от одного рабочего режима к другому вызывают изменения в составе рабочей смеси, что можно использовать для улучшения динамических характеристик двигателя. Хорошая динамика при ускорении автомобиля достигается большими колебаниями пластины затвора в расходомере воздуха.

Если при постоянной частоте вращения коленчатого вала открывается дроссельная заслонка, то через расходомер воздуха проходит как воздух, попадающий затем в камеру сгорания, так и воздух, необходимый для повышения до нового уровня давления во впускном трубопроводе. Из-за этого пластина затвора на короткое время перемещается за пределы своего обычного хода при полном открытии дроссельной заслонки, что приводит к увеличению поступления топлива в двигатель (обогащение при разгоне), благодаря которому достигается хорошая динамика автомобиля.

Дополнительные функции

Отключение подачи топлива при движении накатом

При движении автомобиля накатом происходит плавное отключение подачи топлива в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, информацию о которой поставляет распределитель зажигания. Это достигается с помощью воздушного перепускного канала, ведущего к пластине затвора. Электромагнитный клапан, управляемый электронным реле частоты вращения, при определенных оборотах коленчатого вала открывает вход в перепускной канал. Вследствие этого пластина затвора переводится в свое начальное положение и прерывает дозирование топлива. Отключение подачи топлива при движении накатом позволяет ощутимо снизить расход топлива не только при движении на спусках, но и в городских условиях.

Ограничение частоты вращения коленчатого вала

Подачу топлива можно прекратить в целях ограничения максимально допустимой частоты вращения двигателя.

Лямбда-регулирование

Система управления с разомкнутым контуром не позволяет изменять состав рабочей смеси достаточно точно с целью удовлетворения норм по ограничению токсичности ОГ. Необходимое для работы трехкомпонентного каталитического нейтрализатора лямбда-регулирование обуславливает использование в системе K-Jetronic электронного блока управления, основным входным управляющим параметром для которого является сигнал лямбда-зонда о концентрации кислорода в ОГ.

Для того чтобы скорректировать количество впрыскиваемого топлива для получения оптимальной смеси ($\lambda = 1$), необходимо изменять давление в нижних камерах дозатора топлива. Если, например, давление в нижних камерах понижается, значит повышается дифференциальное давление у дозирующих щелей, вследствие чего увеличивается количество впрыскиваемого топлива. Для изменения давления в нижних камерах, их отделяют от каналов с системным давлением через постоянный жиклер 7 (рис. 9) — в этом состоит отличие от обычного дозатора системы K-Jetronic (см. рис. 6).

Кроме того, дроссельное устройство размещается в магистрали, соединяющей нижние камеры и магистраль обратного слива топлива в топливный бак. Этот переменный дроссель, при его открытии, может снижать давление в нижних камерах 5 (рис. 9), а при закрытии — давление, равное давлению в системе. Если происходит быстрое открытие и закрытие дросселя, то можно обеспечить регулирование давления в нижних камерах в соответствии с отношением продолжительности времени открытия и закрытия. В качестве переменного дросселя используется соленоид (импульсный клапан). Он управляется электрическими импульсами, поступающими от лямбда-регулятора.

Система KE-Jetronic

Структура системы KE-Jetronic (рис. 1), в принципе, схожа со структурой K-Jetronic. Существенное отличие KE-Jetronic состоит в электронном регулировании состава смеси, влияющем на смесеобразование посредством электрогидравлического корректора давления.

Электрогидравлический корректор давления

Конструкция

Электрогидравлический корректор давления 10 (рис. 2) расположен на дозаторе топлива и представляет собой дифференциальный регулятор давления, работающий по принципу «форсунка/отражающая пластина». Падение давления регулируется электрическим током, поступающим от электронного блока управления. Между двумя сдвоенными магнитными полюсами 5 (рис. 3) в корпусе из немагнитного материала подвешен якорь 11 на лишенной трения упругой опоре. Якорь выполнен в виде гибкой мембранной пластины.

Принцип действия

В магнитных полюсах и их воздушных зазорах накладываются друг на друга магнитные потоки от постоянного магнита (пунктирные линии, рис. 3) и электромагнита (сплошные линии). Постоянный магнит расположен фактически под углом 90° к плоскости рисунка. Пути магнитных потоков через две пары магнитных полюсов симметричны и равны по длине и идут от полюсов через воздушные зазоры к якорю. В двух воздушных зазорах L2 и L3, расположенных диагонально по отношению друг к другу, магнитный поток от постоянного магнита и электромагнитный поток от входного управляющего сигнала складываются, в то время как в двух других зазорах L1 и L4 – вычитаются друг из друга. На якорь 11 действует сила притяжения, пропорциональная квадрату величины магнитного потока. Поскольку магнитный поток от постоянного магнита является постоянным и пропорциональным управляющему электрическому току, идущему от электронного блока управления к электромагнитной катушке, то вырабатываемый крутящий момент также пропорционален управляющему электрическому току.

1 Схема системы KE-Jetronic с лямбда-регулированием состава смеси

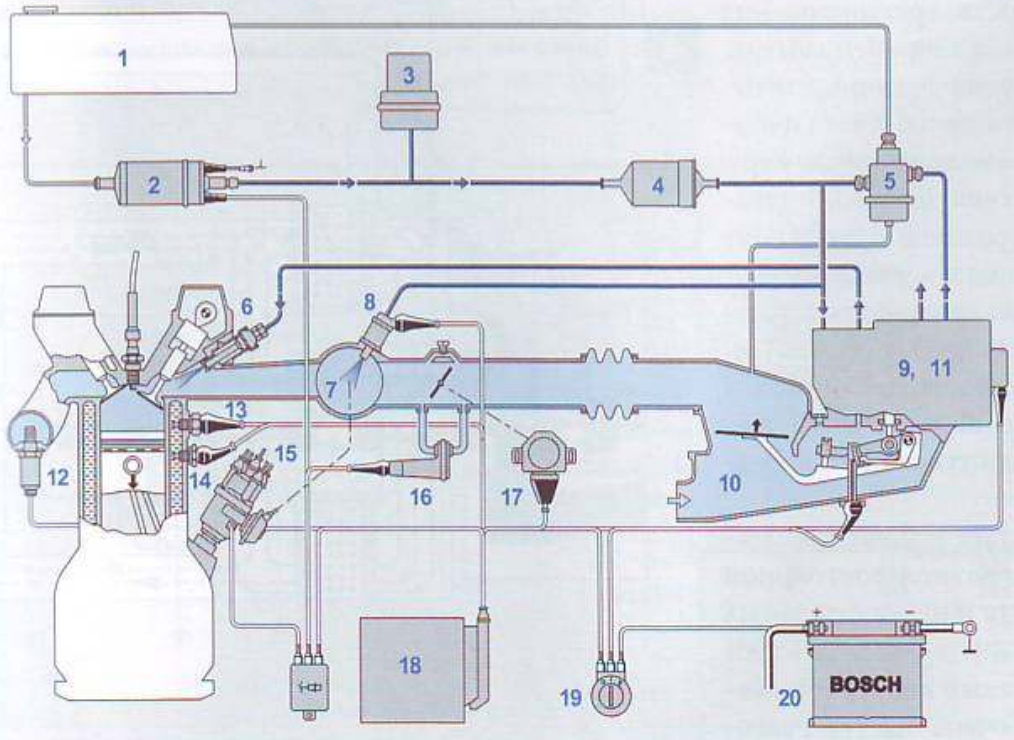


Рис. 1
1. Топливный бак
2. Топливный насос с электроприводом
3. Аккумулятор топлива
4. Топливный фильтр
5. Регулятор давления в системе
6. Форсунка
7. Впускной трубопровод
8. Пусковая форсунка
9. Дозатор топлива
10. Расходомер воздуха
11. Электрогидравлический корректор давления
12. Лямбда-зонд
13. Термореле
14. Датчик температуры двигателя
15. Распределитель зажигания
16. Устройство подачи дополнительного воздуха
17. Датчик положения дроссельной заслонки
18. Электронный блок управления
19. Выключатель зажигания
20. Аккумуляторная батарея

Рис. 2
1. Пластина затвора
2. Дозатор топлива
3. Подача топлива (давление в системе)
4. Топливо, поступающее к форсункам
5. Возвратная топливная магистраль к регулятору давления
6. Жиклер с постоянным поперечным сечением отверстия
7. Верхняя камера
8. Нижняя камера
9. Диафрагма
10. Электрогидравлический корректор давления
11. Пластина мембранного типа
12. Жиклер
13. Полюс магнита
14. Воздушный зазор

Основной момент силы на якоре выбран таким, чтобы в отсутствии подачи электрического тока от электронного блока управления создавалось дифференциальное давление топлива в системе, соответствующее коэффициенту избытка воздуха $\lambda = 1$. Таким образом, при перебоях с поступлением управляющего тока обеспечивается аварийная эксплуатация двигателя без любых корректирующих мер. Струя топлива, поступающего через жиклер 2 (рис. 3), стремится отжать отражающую поверхность пластины 3, преодолевая силы магнита и электромагнита. Принимая во внимание топливо, количество которого определяется жиклером с постоянным поперечным сечением отверстия, расположенным последовательно с регулятором давления, можно утверждать, что разница в давлении между входом и выходом пропорциональна силе тока от блока управления. Это означает, что падение давления топлива в жиклере также пропорционально управляющему току блока управления, что обеспечивает возможность регулирования давления в нижней камере. На эту же величину изменяется в то же время и давление в верхней камере, что, в свою очередь, приводит к разнице в давлениях в системе и верхней камере, которая замеряется в дозирующих щелях и, тем самым, служит способом для изменения количества топлива, поступающего к форсункам.

Вследствие небольшой электромагнитной постоянной времени и незначительных подвижных масс, электромагнитный корректор давления очень быстро реагирует на изменение управляющего электрического тока от блока управления. Если изменить направление этого тока, якорь оттянет пластину мембранного типа от жиклера и давление топлива в корректоре упадет на несколько сотых бар, благодаря чему можно задействовать, например, такие дополнительные функции, как прекращение подачи топлива при движении накатом и ограничение частоты вращения коленчатого вала.

2 Дозатор топлива, соединенный с электрогидравлическим корректором давления

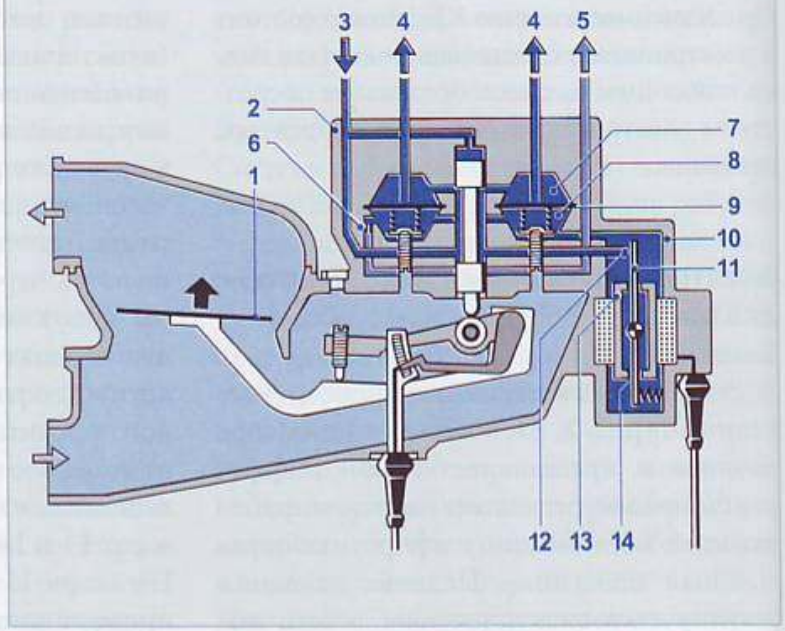
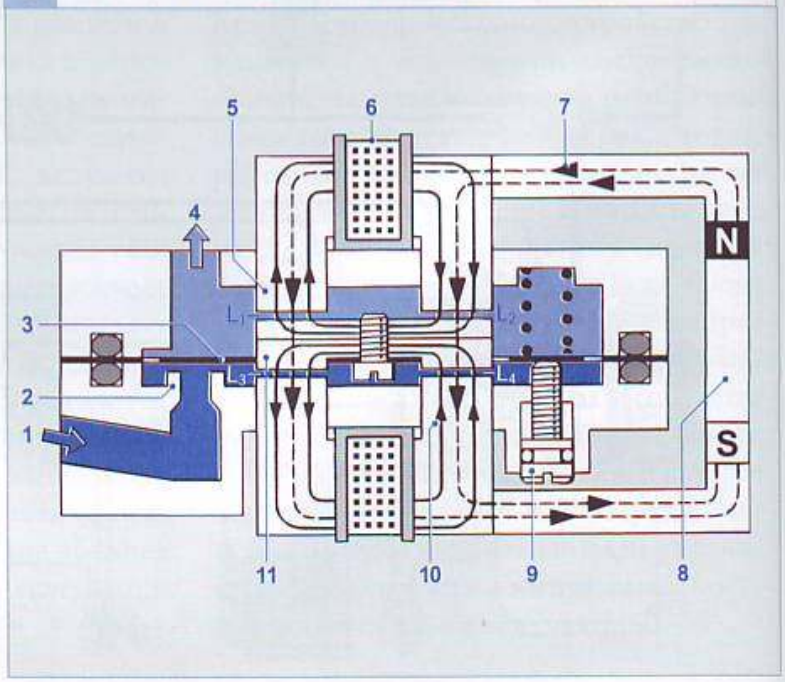


Рис. 3
1. Подача топлива (давление в системе)
2. Жиклер
3. Пластина мембранного типа
4. Отвод топлива (давление в системе)
5. Полюс магнита
6. Электромагнитная катушка
7. Магнитный поток от постоянного магнита
8. Постоянный магнит (повернут на 90° по отношению к плоскости рисунка)
9. Винт для регулировки основного момента силы
10. Электромагнитный поток
11. Якорь (L1-L4 – воздушные зазоры)

3 Поперечный разрез электрогидравлического корректора давления



Система L-Jetronic

Общие сведения о системе

L-Jetronic — бесприводная электронно-управляемая система с дискретным впрыском топлива во впускной трубопровод. Она объединяет в себе преимущества непосредственного измерения расхода воздуха с особыми возможностями, предоставляемыми электроникой.

Здесь также, как и в системе KE-Jetronic, учитываются все изменения условий работы и состояния двигателя (износ, нагарообразование в камере сгорания, изменения в фазах газораспределения).

Задачей этой системы впрыска топлива является индивидуальное дозирование каждого цилиндра таким количеством топлива, которое необходимо для эффективной работы двигателя на данном режиме. В связи с постоянным изменением условий и режима работы двигателя решающее значение имеет быстрая корректировка количества подаваемого топлива в данный момент времени. Таким требованиям отвечает электронно управляемая система впрыска, способная собирать огромное количество параметров о состоянии автомобиля и преобразовывать их в электрические сигналы посредством датчиков. Далее эти сигналы получает и обрабатывает электронный блок управления, вычисляя на их основе точное количество поступающего в цилиндры топлива, которое дозируется по продолжительности впрыскивания.

Функциональные особенности

Топливный насос 2 (рис. 1) подает топливо к форсункам с электромагнитным управлением, создавая давление, необходимое для впрыскивания. Форсунки 5 впрыскивают топливо непосредственно на впускные клапаны. Управляет работой форсунок электронный блок управления 4.

1 Схема системы L-Jetronic с замкнутым контуром лямбда-регулирования

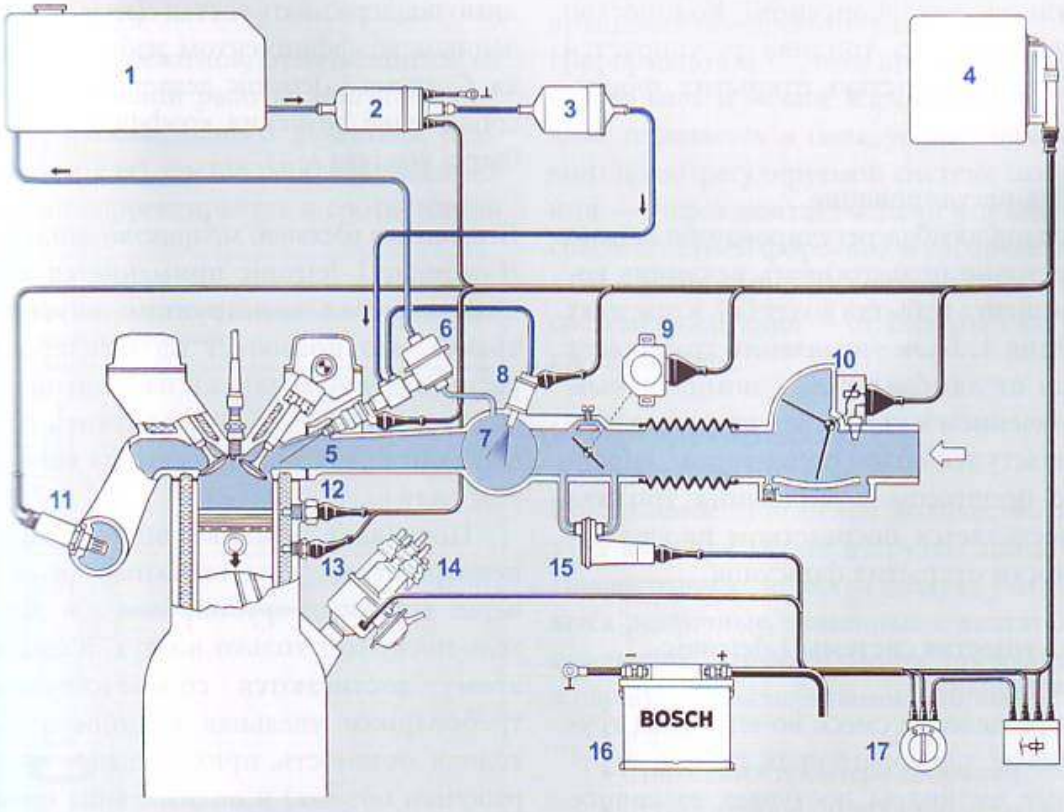


Рис. 1

1. Топливный бак
2. Топливный насос с электроприводом
3. Топливный фильтр
4. Электронный блок управления
5. Форсунка
6. Регулятор давления
7. Впускной трубопровод
8. Пусковая форсунка
9. Датчик положения дроссельной заслонки
10. Расходомер воздуха
11. Лямбда-зонд
12. Термореле
13. Датчик температуры двигателя
14. Распределитель зажигания
15. Устройство подачи дополнительного воздуха
16. Аккумуляторная батарея
17. Выключатель зажигания

Подача топлива

В системе подачи топлива от топливного бака к форсункам создается и поддерживается на постоянном уровне давление, необходимое для впрыскивания. Сначала применялись стандартные системы подачи топлива, которые затем были заменены на системы без возврата топлива в топливный бак (более подробно — в разделе «Системы подачи топлива»).

Сбор данных

Датчики собирают параметры, необходимые для оценки условий и режимов работы двигателя.

При этом важнейшим переменным параметром является количество воздуха, всасываемого двигателем, которое замеряется расходомером воздуха. Другие датчики определяют положение дроссельной заслонки, частоту вращения коленчатого вала, температуру воздуха и охлаждающей жидкости системы охлаждения двигателя (см. раздел «Датчики»).

Дозирование топлива

Электронный блок управления обрабатывает сигналы, полученные от датчиков, и формирует на их основе управляющие импульсы для форсунок. Количество впрыскиваемого топлива регулируется продолжительностью открытия форсунок.

Лямбда-регулирование

Благодаря лямбда-регулированию можно очень точно поддерживать величину коэффициента избытка воздуха λ в пределах значения 1. Блок управления сравнивает сигнал от лямбда-зонда с номинальным его значением и управляет, исходя из этого, двухступенчатым регулятором. Управление процессом дозирования топлива осуществляется посредством продолжительности открытия форсунок.

Преимущества системы L-Jetronic

Расход топлива

Из-за разделения смеси во впускном трубопроводе карбюраторных систем, в отдельные цилиндры поступает различное количество рабочей смеси. Поэтому такую подачу топлива нельзя считать оптимальной. Последствиями этого являются высокий расход топлива и неодинаковые термодинамические нагрузки на цилиндры. В системе L-Jetronic каждому цилиндру соответствует своя форсунка. Управление форсунками осуществляется централизованно, благодаря чему при любой нагрузке в каждый цилиндр в любой момент времени поступает одинаковое и оптимальное количество топлива.

Корректировка смеси в соответствии с режимами работы двигателя

Работа системы L-Jetronic практически без задержек корректируется в соответствии с различными нагрузками двигателя, поскольку необходимое количество впрыскиваемого топлива рассчитывается блоком управления за миллисекунды и впрыскивается форсунками непосредственно на впускные клапаны.

Малая токсичность ОГ

Концентрация токсичных веществ в ОГ находится в прямой зависимости от коэффициента избытка воздуха. Для того чтобы двигатель работал при минимальной эмиссии токсичных веществ в ОГ необходимо поддерживать состав смеси с определенным коэффициентом избытка воздуха. Система L-Jetronic делает возможным соблюдение значения коэффициента избытка воздуха $\lambda = 1$.

Повышение удельной мощности двигателя

В системе L-Jetronic применяется аэродинамическая конструкция впускного тракта, что позволяет оптимизировать распределение воздуха и наполнение цилиндров и, тем самым, получить более высокий крутящий момент на коленчатом валу.

Поскольку топливо впрыскивается непосредственно на впускные клапаны, через впускные трубопроводы в двигатель поступает только воздух. Благодаря этому достигаются соответствующая требованиям удельная мощность (выходная мощность, приходящаяся на 1 л рабочего объема) и оптимальная кривая крутящего момента.

Сбор переменных рабочих параметров

Датчики собирают данные о состоянии работы двигателя и передают их блоку управления в виде электрических сигналов. Датчики и блок управления образуют систему управления.

Измеряемые параметры

Для того чтобы двигатель постоянно получал необходимое для данного рабочего режима количество топлива, блок управления обрабатывает все замеренные параметры. Имеются три главные группы измеряемых переменных параметров: основные, для корректировки, для точной корректировки.

Основные измеряемые переменные параметры

Основными параметрами являются частота вращения коленчатого вала и всасываемое двигателем количество воздуха. По этим параметрам определяется необходимое количество воздуха на ход поршня, который считается непосредственной мерой нагрузки двигателя.

Измеряемые переменные параметры для корректировки

Для рабочих режимов, отличающихся от обычных условий работы двигателя (например, пуск холодного двигателя, прогрев двигателя), состав рабочей смеси необходимо корректировать в соответствии с изменившимися условиями работы двигателя. В этом случае данные о температуре двигателя от соответствующих датчиков поступают в блок управления. Для корректировки состава смеси в соответствии с условиями работы двигателя информация о диапазоне нагрузки (холостой ход, режимы частичной и полной нагрузки) передается в блок управления через датчик положения дроссельной заслонки.

Измеряемые переменные параметры для точной корректировки

Для оптимизации динамических характеристик двигателя учитываются и другие эксплуатационные состояния и воздействия. Уже упомянутые датчики собирают данные для переходного режима при ускорении, движения накатом и ограничения максимальной частоты вращения коленчатого вала. Сигналы датчиков в этих эксплуатационных режимах находятся в определенной зависимости друг от друга. Блок управления распознает эти зависимости и, соответственно, корректирует управляющие сигналы, поступающие на форсунки.

Изменение частоты вращения коленчатого вала

Информация о частоте вращения коленчатого вала и начале впрыскивания топлива передается в блок управления: при контактно-регулируемой системе зажигания — через контакты цепи управления срабатыванием форсунок в распределителе зажигания (рис. 2), при бесконтактной системе зажигания — от клеммы 1 катушки зажигания.

Измерение количества всасываемого воздуха

Всасываемое двигателем количество воздуха является мерой нагрузки двигателя. Показателем количества воздуха учитываются различные, связанные с двигателем, изменения, которые могут проявляться в период его эксплуатации, например:

- износ;
- отложения в камере сгорания;
- отклонения в фазах газораспределения.

2 Расчет частоты вращения коленчатого вала при использовании контактно-регулируемой системы зажигания

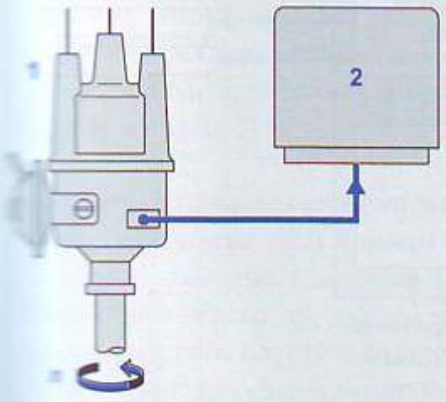


Рис. 2
1. Распределитель зажигания
2. Электронный блок управления

n — частота вращения коленчатого вала

Поскольку всасываемый воздух, прежде чем попасть в двигатель, должен сначала пройти через расходомер воздуха, сигнал от расходомера о количестве этого воздуха при разгоне генерируется раньше, чем воздух фактически наполнит цилиндр. Это делает возможным осуществлять точную корректировку состава рабочей смеси в любое время в зависимости от нагрузки.

Пластина затвора в расходомере воздуха позволяет определить поступившее в двигатель количество воздуха. Этот показатель служит — наряду с данными о частоте вращения коленчатого вала — основным управляющим параметром для формирования сигнала о нагрузке и определения базового количества впрыскиваемого топлива.

Дозирование топлива

Микропроцессор блока управления обрабатывает данные об условиях работы двигателя, полученные от датчиков. По ним формируются управляющие импульсы для дозирования впрыскиваемого топлива, причем его количество определяется продолжительностью открытия форсунок.

Электронный блок управления

Схема

Блок управления в системе L-Jetronic находится в герметичном корпусе, который устанавливается в автомобиле вне досягаемости теплового воздействия двигателя.

Электронные детали блока управления размещаются на печатных платах, мощностные функциональные детали оконечных каскадов — на металлической раме блока управления для гарантии хорошего теплоотвода. Применение интегральных микросхем и гибридных деталей позволяет сократить число используемых элементов. Объединение функциональных групп в интегральные микросхемы (например формирователь импульсов, делитель импульсов, разделительный управляющий мультивибратор, рис. 3) и использование комбинаций отдельных элементов в гибридных модулях повышает надежность блока управления.

Связь блока управления с форсунками, датчиками и бортовым электрооборудованием автомобиля осуществляется через многоконтактный разъем. Входной контур блока управления сконструирован так, что подсоединение блока управления к сети не может быть сделано при неправильной полярности и при этом исключается корот-

3 Блок-схема электронного блока управления

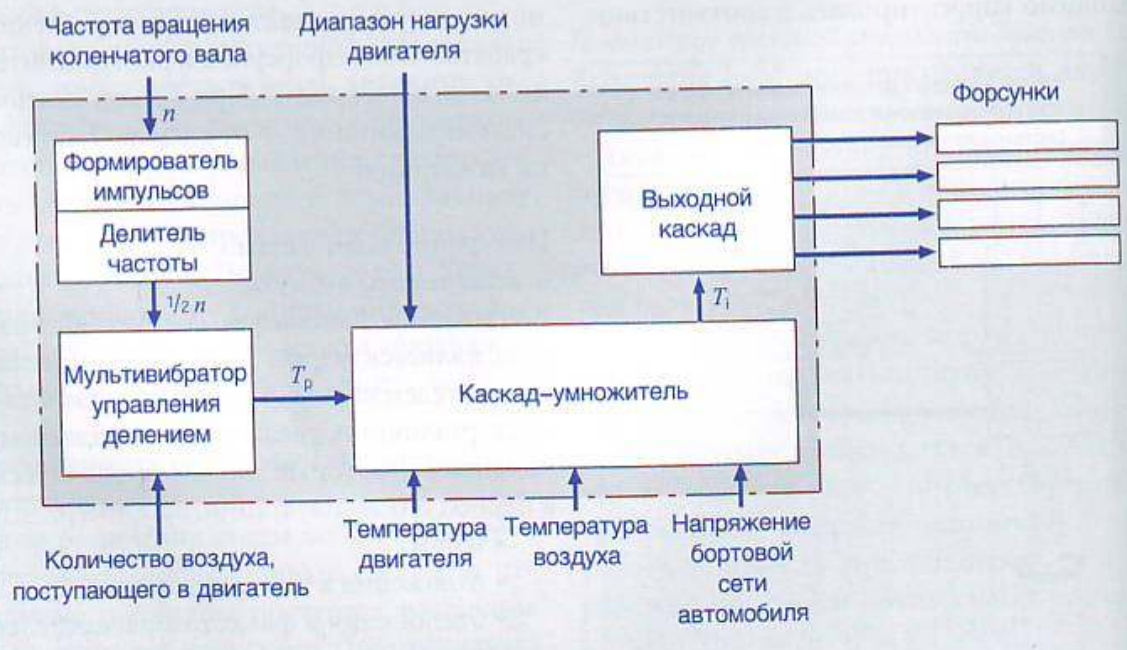


Рис. 3
T_i — скорректированный импульс на впрыскивание топлива
T_p — базовая продолжительность впрыскивания топлива
n — частота вращения коленчатого вала

кое замыкание. Для диагностирования блока управления и датчиков предусмотрены специальные тестеры фирмы Bosch, которые могут быть подсоединены между пучком проводов и блоком управления при помощи многоконтактных разъемов.

Обработка полученных данных

Частота вращения коленчатого вала и всасываемое количество воздуха определяют базовую продолжительность впрыскивания топлива. Тактовая частота импульсов впрыскивания рассчитывается на основе данных о частоте вращения коленчатого вала.

Поступающие от системы зажигания импульсы обрабатываются блоком управления. Эти импульсы сначала проходят через формирователь импульсов, который генерирует импульсы в виде прямоугольных волн на основе сигналов со сглаженными пиками. Далее эти импульсы попадают в делитель импульсов, который делит их частоту, задаваемую порядком зажигания, таким образом, что два импульса создаются за каждый рабочий цикл, независимо от количества цилиндров. Начало импульса — это одновременно и начало впрыскивания топлива через форсунки. То есть, каждая форсунка осуществляет впрыскивание топлива один раз за один оборот коленчатого вала независимо от положения впускного клапана.

Если впускные клапаны закрыты, топливо накапливается и в определенный момент впрыскивается в камеру сгорания вместе с потоком воздуха при следующем открытии впускного клапана. Продолжительность впрыскивания топлива зависит от количества воздуха, замеренного расходомером, и частоты вращения коленчатого вала.

Также блок управления оценивает сигнал от потенциометра расходомера воздуха. На рис. 4 показана зависимость между количеством всасываемого воздуха, угловым положением пластины затвора в расходомере воздуха, напряжением на потенциометре и впрыскиваемым количеством топлива.

Если исходить из определенного значения протекающего через расходомер количества воздуха Q_L (точка Q), то результатом расчета, производимого блоком управления, будет теоретически необходимое количество топлива Q_K (точка D). Кроме того, в зависимости от количества воздуха на впуске устанавливается определенный угол отклонения пластины затвора в расходомере (точка A). Приводимый от этого затвора потенциометр передает на блок управления электрический сигнал соответствующего напряжения U_S (точка B), а блок управления формирует управляющие сигналы форсункам, причем точка C обозначает количество впрыскиваемого топлива V_E.

Как видно, поступившее в цилиндр и теоретически необходимое количество топлива совпадают (линия C–D).

Формирование импульсов на впрыск

Формирование базовой продолжительности впрыскивания топлива происходит в разделительном управляющем мультивибраторе (РУМ).

РУМ получает от делителя частоты информацию о частоте вращения коленчатого вала n и обрабатывает ее вместе с сигналом о количестве воздуха U_S. Для дискретного впрыскивания топлива РУМ преобразовывает напряжение U_S в прямоугольные управляющие импульсы. Продолжительностью этих импульсов T_P определяется базовое количество впрыскиваемого топлива за один такт впуска без учета корректировок. Поэтому T_P называют базовой продолжительностью впрыскивания. Чем больше поступившее количество воздуха за один такт впуска, тем больше базовая продолжительность впрыскивания топлива. При этом может возникнуть предельный случай, когда частота вращения коленчатого вала n возрастает при сохраняющимся постоянным расходе воздуха Q_L. Тогда за дроссельной заслонкой падает абсолютное давление и в цилиндры за такт впуска поступает меньше воздуха, т. е. уменьшается наполнение цилиндров. Вследствие этого для сгорания рабочей смеси требуется мень-

Рис. 4
A — угол отклонения пластины затвора в расходомере в зависимости от количества всасываемого воздуха
B — интенсивность сигнала напряжения в зависимости от угла отклонения пластины затвора в расходомере
C — впрыскиваемое количество топлива в зависимости от напряжения электрического сигнала
D — теоретически необходимое количество впрыскиваемого топлива
Q — количество воздуха в зависимости от угла отклонения пластины затвора в расходомере
Q_K — требуемое количество топлива
Q_L — количество воздуха на впуске
U_S — напряжения электрического сигнала
V_E — впрыскиваемое количество топлива

ше топлива и, соответственно, должна быть короче продолжительность импульса впрыскивания T_P.

При другом предельном случае мощность двигателя, а, тем самым, всасываемое в единицу времени количество воздуха могут увеличиваться при сохранении постоянной частоты вращения коленчатого вала, тогда и наполнение цилиндра увеличивается, и требуется больше топлива. В этом случае возрастает продолжительность импульса T_P, создаваемого в РУМ.

При нормальном движении автомобиля частота вращения коленчатого вала и мощность двигателя изменяются, чаще всего, одновременно. По этим показателям РУМ непрерывно рассчитывает базовую продолжительность впрыскивания топлива T_P. При высокой частоте вращения коленчатого вала мощность также высока (полная нагрузка), что приводит к большей продолжительности впрыскивания топлива T_P и, тем самым, к большему количеству топлива, впрыскиваемого за один цикл впрыска. Базовая продолжительность впрыскивания увеличивается в соответствии с условиями работы двигателя, определяемыми по сигналам от датчиков (рис. 5).

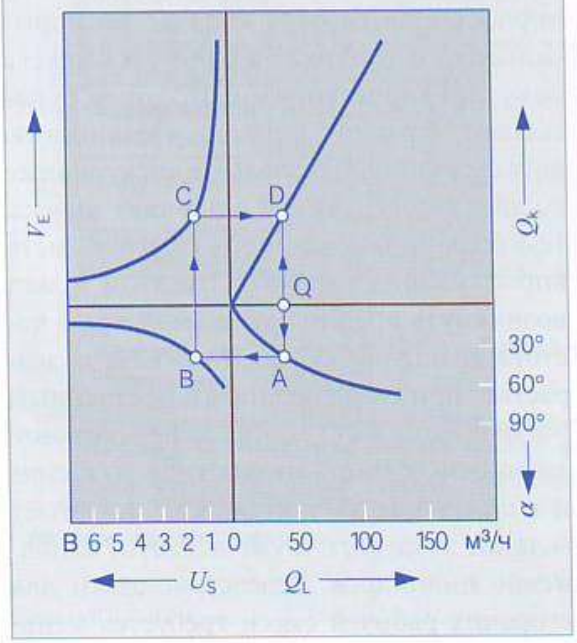
Корректировка базовой продолжительности впрыскивания в соответствии с различными условиями работы двигателя происходит в контуре-умножителе блока управления (см. рис. 6).

Этот контур управляется импульсами продолжительности впрыскивания T_P, поступающими от РУМ. Кроме того, в этот контур поступают дополнительные данные о различных режимах работы двигателя, таких как пуск холодного двигателя, прогрев, режим полной нагрузки и т. д. По этим показателям контур-умножитель рассчитывает поправочный коэффициент k, который умножается на рассчитанную РУМ базовую продолжительность впрыскивания T_P. Определяемая таким образом продолжительность впрыскивания обозначается T_m. Она складывается с базовой продолжительностью впрыскивания T_P, то есть продолжительность впрыскивания увеличивается и рабочая смесь обогащается.

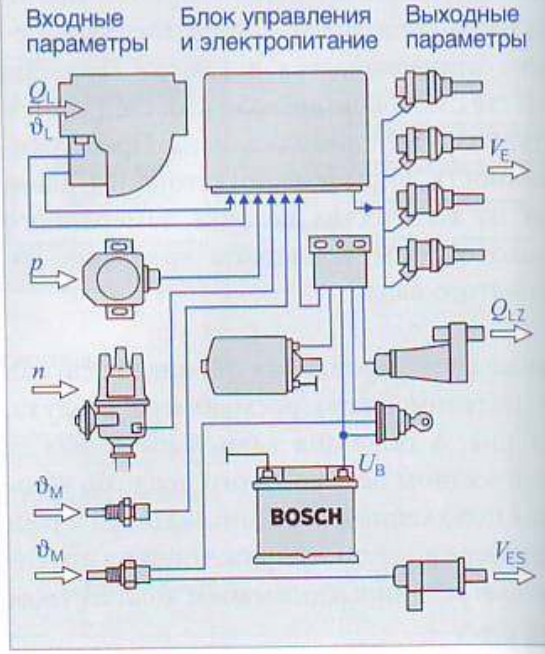
Продолжительность впрыскивания T_m является мерой обогащения смеси, выраженная коэффициентом, который называют «коэффициентом обогащения». Так, например, в начале прогрева очень холодного двигателя форсунки впрыскивают двух- или трехкратное количество топлива.

Рис. 5
Q_L — количество воздуха на впуске
ϑ_L — температура воздуха
n — частота вращения коленчатого вала
P — нагрузка двигателя
ϑ_M — температура двигателя
V_E — впрыскиваемое количество топлива
Q_{LZ} — количество дополнительного воздуха
V_{ES} — подача дополнительного топлива при пуске двигателя
U_B — напряжение бортовой электросети автомобиля

4 Зависимости между регулируемыми параметрами



5 Сигналы и регулируемые параметры, поступающие в блок управления и обрабатываемые в нем



6 Схематическая диаграмма формирования продолжительности импульсов впрыскивания топлива в системе L-Jetronic для четырехцилиндровых двигателей

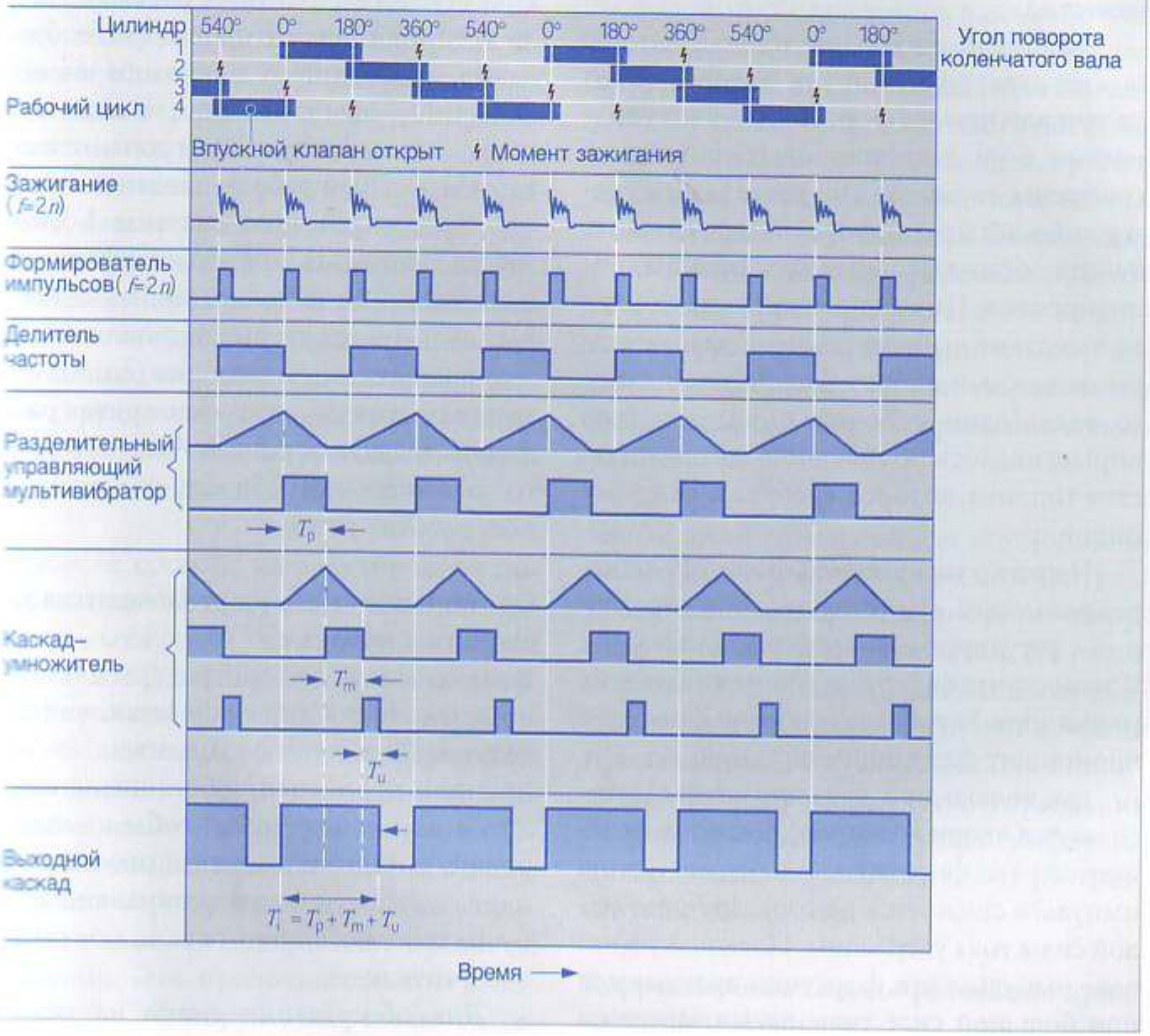


Рис. 6
f — частота импульсов зажигания (частота искрообразования)
n — частота вращения коленчатого вала
T_p — базовая продолжительность впрыскивания топлива
T_m — увеличение продолжительности импульса, вызванное корректировками
T_u — увеличение продолжительности импульса, обеспечиваемое компенсацией изменения напряжения
T_i — время импульсного управления. Фактическая продолжительность впрыскивания топлива за цикл отличается от времени импульсного управления, т.к. задержки в срабатывании системы изменяют продолжительность впрыскивания топлива

Компенсация изменения напряжения

Время задержки открытия форсунок сильно зависит от напряжения аккумуляторной батареи, что может привести без электронной корректировки напряжения к слишком короткой продолжительности впрыскивания и, тем самым, к слишком малому количеству впрыскиваемого топлива. Чем меньше напряжение на клеммах аккумуляторной батареи, тем меньше топлива получал бы двигатель. По этой причине низкое напряжение аккумуляторной батареи, например после пуска холодного двигателя с разряженной аккумуляторной батареей, должно быть компенсировано за счет увеличения продолжительности импульса T_u, для того чтобы двигатель получил требуемую порцию топлива. Это называется компенсацией изменения напряжения. Для осуществления такой компенсации информация о напряжении аккумуляторной батареи поступает на блок управления в виде регулируемого параметра. Электронный компенсационный каскад обеспечивает увеличение продолжительности действия управляющих импульсов как раз на величину T_u, зависящую от напряжения задержки в срабатывании форсунок. Общая продолжительность импульсов впрыскивания T_i является, таким образом, суммой T_p, T_m и T_u (рис. 6).

Усиление импульсов на впрыскивание топлива

Сформированные в каскаде-умножителе импульсы впрыскивания усиливаются в выходном каскаде. Эти усиленные импульсы управляют работой форсунок. Все форсунки двигателя открываются

и закрываются одновременно. В цепи с каждой форсункой в качестве ограничителя тока последовательно подключен резистор.

Выходной каскад системы L-Jetronic подает электрический ток одновременно на три или четыре форсунки. Блоки управления 6- и 8-цилиндровых двигателей снабжены двумя такими каскадами с тремя либо четырьмя форсунками каждый. Работа обоих выходных каскадов синхронизирована. Цикл впрыскивания топлива в системе выбран таким образом, чтобы за каждый оборот распределительного вала (один рабочий цикл) два раза впрыскивалось по половине того количества топлива, которое требуется каждому цилиндру.

Наряду с управлением форсунками через резисторы, существуют блоки управления с регулируемым выходным каскадом. В этом случае форсунки работают без этих резисторов. Управление работой форсунок происходит следующим образом:

как только при начале импульса втягиваются якори клапанов, сила тока, подаваемого на форсунки, вплоть до конца импульса снижается до гораздо более малой силы тока удержания. Поскольку в начале импульса эти форсунки включаются при большой силе тока, время задержки срабатывания оказывается небольшим. Благодаря снижению силы тока после срабатывания форсунки высокая нагрузка на выходной каскад не воздействует, что позволяет подключать к одному выходному каскаду до 12 форсунок.

Смесеобразование

Смесеобразование происходит во впускном трубопроводе и в цилиндре двигателя.

Дискретно впрыскиваемое через форсунки топливо накапливается перед впускным клапаном. При открытии впускного клапана всасываемый воздух втягивает за собой топливо с образованием при завихрении во время такта впуска рабочую смесь.

Корректировка смесеобразования в соответствии с рабочими режимами

При некоторых условиях работы двигателя требуется корректировка смесеобразования, выходящего за рамки базовых функций, — для улучшения мощности, состава смеси, оптимизации динамических характеристик и работы двигателя при пуске. Блок управления системы L-Jetronic может выполнять эти корректировки при использовании дополнительных сигналов датчиков температуры двигателя и положения дроссельной заслонки (сигнал о нагрузке). Характеристическая кривая расходомера воздуха определяет для конкретного двигателя потребность в топливе на всех рабочих режимах.

Обогащение смеси на режиме пуска холодного двигателя

В зависимости от температуры двигателя во время пуска впрыскивается дополнительное количество топлива. По этой причине происходит обогащение смеси. Это делается для того, чтобы компенсировать потери на конденсацию части топлива в рабочей смеси, возникающие при пуске холодного двигателя, и, тем самым, облегчить пуск.

Для обогащения смеси на режиме пуска холодного двигателя существуют два метода управления процессом: с помощью блока управления и форсунок; с помощью термореле и пусковой форсунки.

Управление пуском с помощью блока управления и форсунок

Во время пуска через форсунки впрыскивается больше топлива за счет продления продолжительности впрыскивания. Управление пуском осуществляется блоком управления путем обработки сигналов от выключателя зажигания и датчика температуры двигателя.

Управление пуском с помощью термореле и пусковой форсунки

Впрыск дополнительного количества топлива во впускной трубопровод осуществляется пусковой форсункой. Продол-

жительность работы этой форсунки ограничивается термореле в зависимости от температуры двигателя.

Пусковая форсунка снабжена клапаном с электромагнитным приводом. В нерабочем состоянии пружина прижимает подвижный сердечник электромагнита к уплотнительной прокладке, тем самым закрывая клапан форсунки. При возбуждении электромагнита магнитный сердечник, поднимаясь от седла клапана, освобождает проход для топлива. Этим форсунка обеспечивает завихрение потока топлива, что дает возможность получать струю мелкораспыленного топлива, обогащая воздух во впускном трубопроводе за дроссельной заслонкой.

Термореле состоит из электрически подогреваемой биметаллической пластины, замыкающей или размыкающей контакты в зависимости от температуры. Управление происходит посредством выключателя зажигания. Термореле установлено таким образом, что обеспечивает прием температурного воздействия на него. Во время пуска холодного двигателя термореле ограничивает продолжительность открытия пусковой форсунки. Эта продолжительность определяется термореле, нагреваемого теплотой от двигателя и от устройства электроподогрева самого реле. Этот собственный электроподогрев необходим для ограничения продолжительности работы пусковой форсунки, а также во избежание слишком сильного обогащения смеси. Решающей величиной для определения продолжительности работы пусковой форсунки во время пуска холодного двигателя является мощность тепловой обмотки (например, при –20°C отключение пусковой форсунки происходит приблизительно через 7,5 с). При достижении двигателем рабочей температуры термореле нагревается от двигателя настолько, что постоянно остается разомкнутым, предотвращая включение пусковой форсунки. При продолжительном пуске или повторных попытках пуска двигателя пусковая форсунка больше не срабатывает.

Обогащение рабочей смеси в послепусковой период и при прогреве двигателя

За фазой пуска холодного двигателя следует фаза прогрева. На этом режиме также требуется значительное обогащение рабочей смеси, поскольку часть поступающего топлива все еще конденсируется на стенках цилиндра. Кроме того, без дополнительного обогащения смеси после отключения пусковой форсунки и, соответственно, прекращения подачи во впускной трубопровод дополнительного количества топлива, становится заметным резкое падение частоты вращения коленчатого вала.

После пуска двигателю для его нормальной работы требуется лишь незначительное обогащение смеси, которое регулируется по температуре двигателя. На рис. 7 показана типичная кривая значения обогащения смеси в зависимости от времени при температуре пуска 22 °C. Для инициации этого процесса блок управления должен постоянно получать информацию о температуре двигателя от соответствующего датчика.

Корректировка смесеобразования при частичной нагрузке

Большую часть времени эксплуатации двигатель работает в условиях частичной нагрузки. Характеристическая кривая потребности двигателя в топливе на этом режиме запрограммирована в блоке управления и определяет количество подаваемого топлива. При этом кривая построена таким образом, чтобы двигатель при частичной нагрузке отличался пониженным расходом топлива.

Обогащение смеси при ускорении

Во время ускорения автомобиля в двигатель поступает дополнительное количество топлива. При резком открытии дроссельной заслонки рабочая смесь на некоторое время обедняется. Поэтому ее необходимо в течение короткого времени обогащать, для того чтобы обеспечить оптимальный переход на новый режим работы. При таком резком открытии

дроссельной заслонки через расходомер проходит как воздух, попадающий затем в камеру сгорания, так и воздух, необходимый для поднятия давления во впускном трубопроводе на новый уровень. Из-за этого пластина затвора расходомера на короткое время выходит за пределы своего обычного хода при полном открытии дроссельной заслонки. Этот размах пластины затвора расходомера приводит к повышенной подаче топлива (обогащение при ускорении), благодаря чему достигается оптимизация перехода на новый режим работы.

Поскольку при прогреве двигателя такого обогащения смеси недостаточно, на этом рабочем режиме блок управления обрабатывает еще один электрический сигнал, соответствующий скорости, при которой происходит перемещение пластины затвора расходомера.

Обогащение смеси на режиме полной нагрузки

На режиме полной нагрузки двигатель вырабатывает максимальный крутящий момент. Для этого следует обогащать рабочую смесь по сравнению с работой на режиме частичной нагрузки. Степень этого обогащения смеси запрограммирована в блоке управления и зависит от типа двигателя. Данные о нагрузке поступают в блок управления от датчика положения дроссельной заслонки.

Датчик положения дроссельной заслонки

Этот датчик (рис. 8) информирует блок управления о положениях дроссельной заслонки «холостой ход» и «полная нагрузка». Он укреплен на корпусе дроссельного узла и приводится от оси дроссельной заслонки. Кулиса, расположенная на валу, в конечных положениях «холостой ход» и «полная нагрузка» замыкает соответствующие контакты.

Управление частотой вращения коленчатого вала на режиме холостого хода

Расходомер воздуха имеет регулируемый перепускной канал, через который незначительное количество воздуха проходит в обход пластины затвора. Регулировочным винтом 4 (рис. 9) производится основная установка коэффициента избытка воздуха смеси на режиме холостого хода путем изменения площади поперечного сечения перепускного канала.

Для получения равномерности оборотов коленчатого вала на режиме холостого хода, в том числе и при холодном двигателе, блок управления дополнительно увеличивает частоту вращения коленчатого вала. Это, кроме того, обеспечивает и более быстрый прогрев двигателя. Устройство подачи дополнительного воздуха с электроподогревом в зависимости от температуры двигателя, выполненное в виде перепускного канала в обход дроссельной заслонки, обеспечивает поступление большего количества воздуха. Этот дополнительный воздух учитывается при измерении количества всасываемого воздуха, и система L-Jetronic направляет в двигатель больше топлива.

Точная корректировка возможна при использовании электрически подогреваемого устройства подачи дополнительных порций воздуха. В этом случае температура двигателя определяет начальное количество этого воздуха, а электрическим подогревом определяется, в основном, постепенное сокращение этого количества.

7 Характеристическая кривая обогащения рабочей смеси при прогреве двигателя

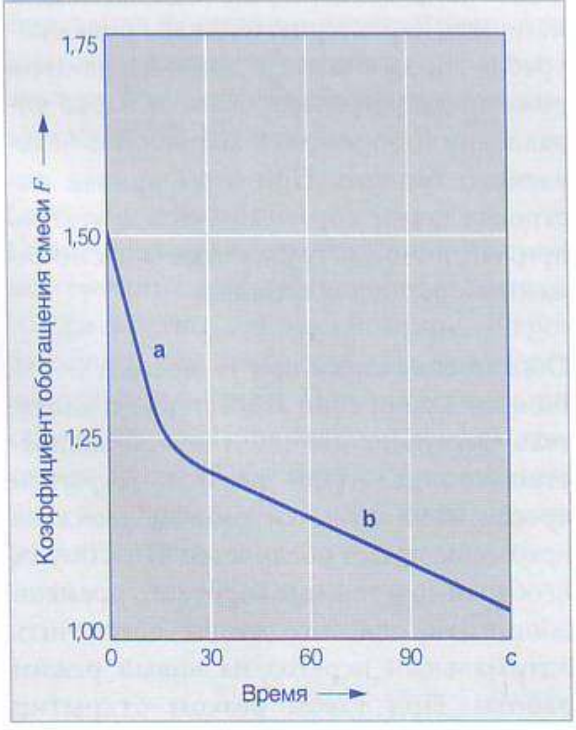


Рис. 7
Зависимость коэффициента обогащения смеси F от времени

a — часть, зависящая преимущественно от времени
b — часть, зависящая преимущественно от температуры двигателя

Устройство подачи дополнительных порций воздуха

В этом устройстве перфорированная диафрагма изменяет площадь поперечного сечения перепускного канала (байпаса). Тем самым, в зависимости от температуры холодного пуска, диафрагма открывает этот канал или постепенно закрывает его с повышением температуры до момента полного закрытия.

Это устройство устанавливается в таком месте, чтобы на него могло воздействовать тепло двигателя, благодаря чему при прогретом двигателе устройство не работает.

Корректировка смесеобразования в соответствии с температурой окружающего воздуха

В зависимости от температуры окружающего воздуха корректируется количество впрыскиваемого топлива.

От температуры воздуха на входе зависит количество поступающего в цилиндры воздуха, что имеет определяющее значение для процесса сгорания. Учитывая, что более холодный воздух является более плотным, при одинаковом положении дроссельной заслонки объемное наполнение цилиндров с повышением температуры воздуха снижается.

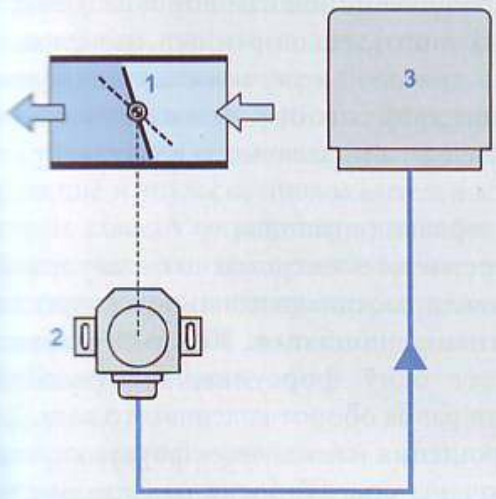
Для учета этого эффекта во впускном канале расходомера воздуха установлен температурный датчик, передающий данные о температуре всасываемого воздуха блоку управления, который, с учетом этой информации, управляет дозированием количества топлива.

Система L3-Jetronic

Система L-Jetronic послужила основанием для создания схожих систем впрыска. Одним из вариантов L-Jetronic стала система L3-Jetronic, имеющая следующие отличия:

- электронный блок управления, сконструированный для размещения в моторном отсеке, расположен рядом с расходомером воздуха и, тем самым, не занимает места в салоне автомобиля;
- модуль, состоящий из блока управления и расходомера воздуха с внутренними соединениями, упрощает электропроводку и снижает расходы на монтаж системы;
- использование цифровой техники вместо применявшейся ранее аналоговой предоставляет лучшие возможности корректировки смесеобразования.

8 Корректировка состава смеси на режимах холостого хода и полной нагрузки



9 Управление работой двигателя на режиме холостого хода

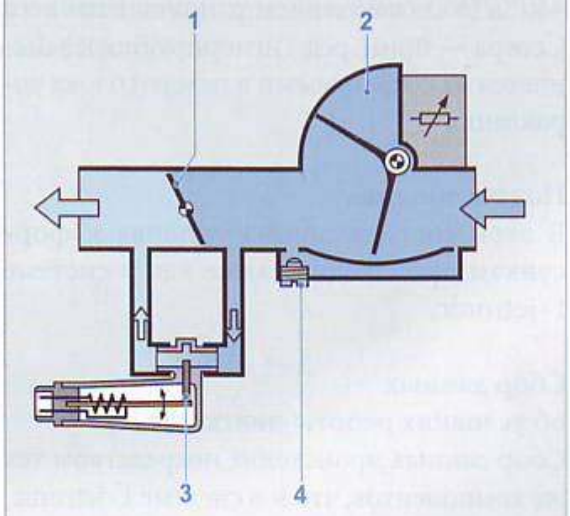
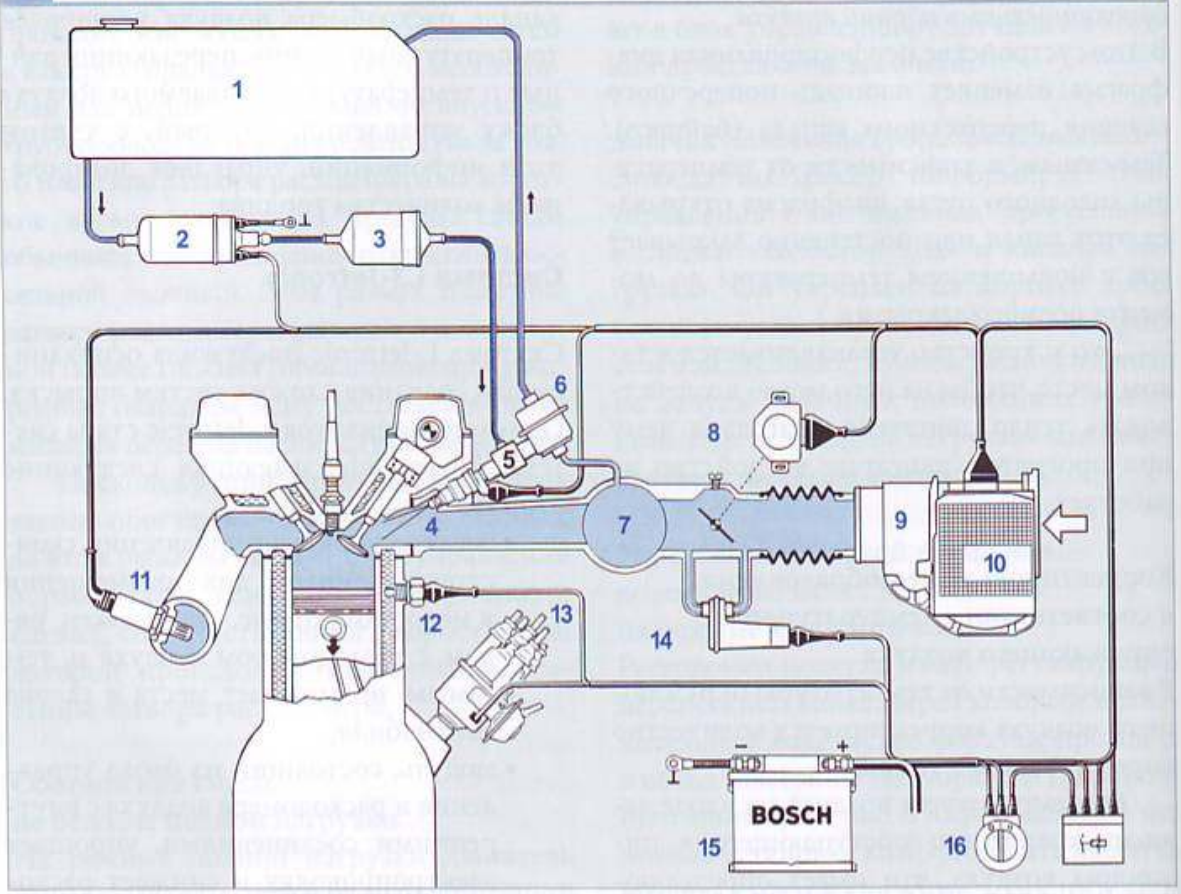


Рис. 8
1. Дроссельная заслонка
2. Датчик положения дроссельной заслонки
3. Электронный блок управления

Рис. 9
1. Дроссельная заслонка
2. Расходомер воздуха
3. Устройство подачи дополнительных порций воздуха
4. Винт регулирования состава смеси на режиме холостого хода

Рис. 10
1. Топливный бак
2. Топливный насос с электрическим приводом
3. Топливный фильтр
4. Форсунка
5. Распределительная камера
6. Регулятор давления
7. Впускной трубопровод
8. Датчик положения дроссельной заслонки
9. Расходомер воздуха
10. Электронный блок управления
11. Лямбда-зонд
12. Датчик температуры двигателя
13. Распределитель зажигания
14. Устройство подачи дополнительного воздуха
15. Аккумуляторная батарея
16. Выключатель зажигания

10 *Схема системы L3-Jetronic*



Система L3-Jetronic может использоваться как с лямбда-регулированием (рис. 10), так и без него. Оба исполнения располагают функцией аварийной эксплуатации, которая позволяет при неполадках в микрокомпьютере доехать на автомобиле до ближайшей автомастерской. Кроме того, поступающие на блок управления сигналы проверяются на достоверность, например, сигнал температуры охлаждающей жидкости системы охлаждения двигателя ниже –40°C (за исключением районов Крайнего Севера — прим. ред.) игнорируется и заменяется на сохраняемый в памяти блока управления.

Подача топлива

В этой системе подача топлива к форсункам происходит также как в системе L-Jetronic.

Сбор данных об условиях работы двигателя

Сбор данных происходит посредством тех же компонентов, что и в системе L-Jetronic. Единственное исключение составляет расходомер воздуха другой конструкции.

Расходомер воздуха

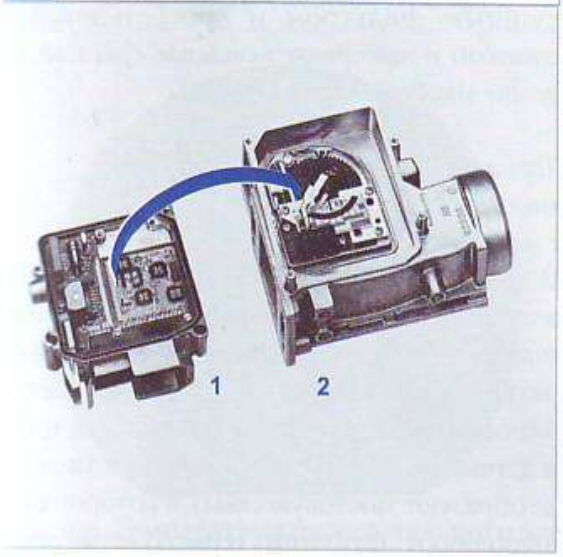
Блок управления и расходомер воздуха интегрированы в один измерительный и управляющий модуль (рис. 11). Размеры корпусов расходомера и блока управления уменьшены настолько, что конструктивная габаритная высота всего модуля не превышает высоты прежнего расходомера воздуха системы L-Jetronic. Другие особенности нового расходомера воздуха (рис. 12) — меньший вес за счет алюминиевого корпуса (вместо цинкового), расширенный измерительный диапазон и улучшенные демпфирующие свойства при резких изменениях количества подаваемого воздуха.

Дозирование топлива

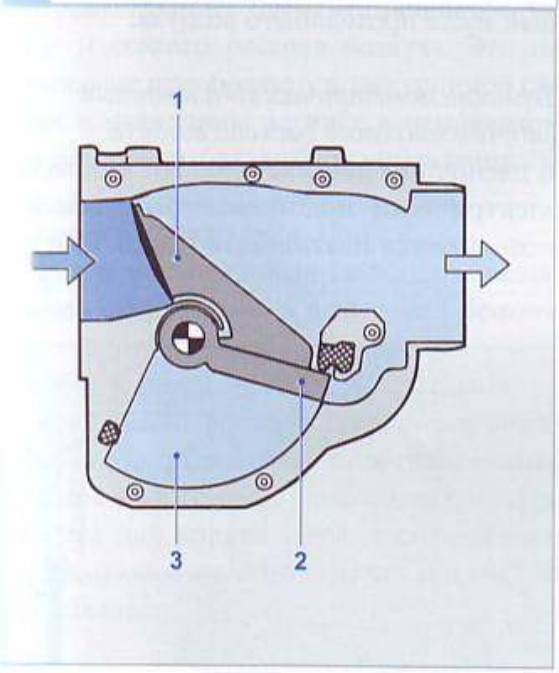
Форсунки с электромагнитным управлением впрыскивают топливо на впускные клапаны двигателя. Каждый цилиндр имеет одну форсунку, действующую один раз за оборот коленчатого вала. Для упрощения схемы все форсунки подключены к электроцепи параллельно.

Разница между давлением топлива и давлением во впускном трубопроводе

11 Измерительный и управляющий модуль



12 Расходомер воздуха



поддерживается постоянной на уровне 2,5 или 3 бар, так что количество впрыскиваемого топлива зависит лишь от продолжительности работы форсунок. Блок управления подает на форсунки регулирующие импульсы, продолжительность которых зависит от расхода всасываемого воздуха, частоты вращения коленчатого вала и других рабочих параметров, данные о которых получают датчики и обрабатывает блок управления.

Электронный блок управления

В отличие от системы L-Jetronic, блок управления L3-Jetronic корректирует коэффициент избытка воздуха посредством параметрической характеристики «нагрузка-частота вращения коленчатого вала». По данным, поступающим от датчиков, блок управления рассчитывает продолжительность впрыскивания топлива, являющуюся мерой количества поступающего в двигатель топлива. Микропроцессор в блоке управления обеспечивает регулирование и других необходимых функций. Блок управления, монтируемый на расходомере воздуха, должен иметь минимальные конструктивные размеры и лишь небольшое количество электроразъемов, а также быть устойчивым к воздействиям теплоты, вибраций и влажности.

Эти требования выполняются благодаря использованию специальной гибридной схемы и миниатюрной печатной платы в блоке управления.

На гибридной схеме, кроме микрокомпьютера, находятся 5 монолитных интегральных схем, а также 88 пленочных резисторов и 23 конденсатора. Соединение между интегральными схемами и толстопленочной платой обеспечивают проводники из золота толщиной 0,033 мм.

Корректировка смесеобразования в соответствии с рабочими режимами

Система L3-Jetronic осуществляет коррекцию смесеобразования посредством таких элементов как датчик положения дроссельной заслонки, устройство подачи дополнительного воздуха, датчик температуры двигателя и лямбда-зонд. Принцип действия этих элементов описан в предыдущих разделах главы «Система L-Jetronic».

Рис. 11
1. Электронный блок управления
2. Расходомер воздуха с потенциометром

Рис. 12
1. Затвор датчика
2. Компенсационный клапан
3. Демпфирующая камера

LH-Jetronic

Отличие системы LH-Jetronic (рис. 13) от L-Jetronic состоит в способе измерения количества всасываемого воздуха. В LH-Jetronic используется тепловой измеритель (термоанемометрический датчик) массового расхода воздуха. Получаемый результат измерения не зависит от плотности воздуха, которая, в свою очередь, зависит от температуры и давления.

Подача топлива

Подача топлива аналогична используемой в системе L-Jetronic.

Сбор данных о работе двигателя

Сбор данных осуществляется так же, как и в системе L-Jetronic. Исключение составляет измерение массового расхода воздуха.

Измеритель массового расхода воздуха

Датчики массового расхода воздуха с нагреваемыми нитью и пленкой являются термодатчиками и работают по одному принципу. Они установлены между воздушным фильтром и дроссельной заслонкой и замеряют всасываемую двигателем массу воздуха (в кг/ч).

Термоанемометрический датчик массового расхода воздуха с нагреваемой нитью

В этом датчике (рис. 14 и 15) используется электрически нагреваемый элемент в виде платиновой нити толщиной 70 мкм. Температура всасываемого воздуха измеряется датчиком температуры. Нагреваемая нить и датчик температуры всасываемого воздуха образуют мостовую схему, в которой они выполняют функции термочувствительных резисторов. На блок управления подается сигнал напряжения, пропорциональный массе проходящего воздуха.

Термоанемометрический пленочный датчик массового расхода воздуха

В пленочном датчике (рис. 16) в качестве электрически подогреваемого элемента используется платиновый пленочный ре-

13 Схема системы LH-Jetronic

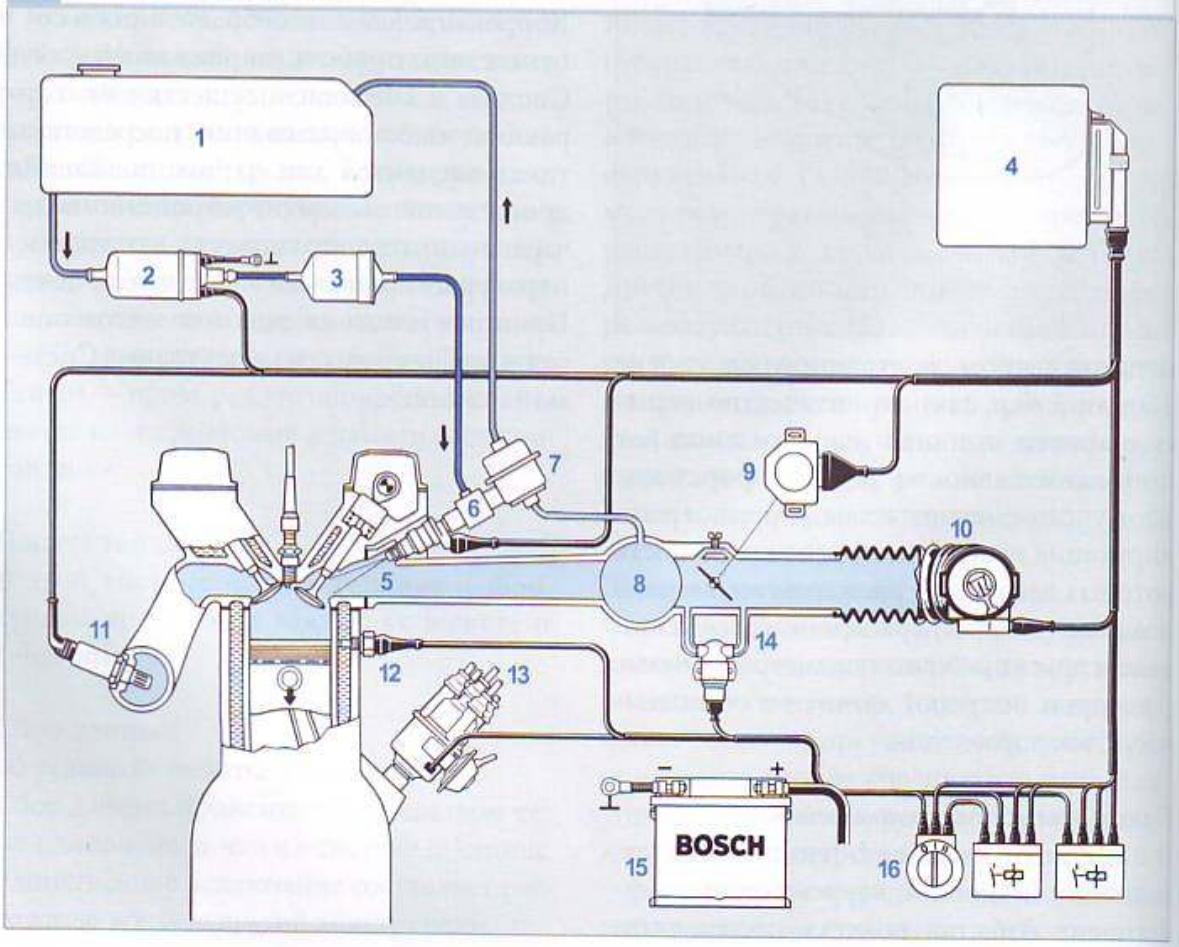


Рис. 13

1. Топливный бак
2. Топливный насос с электроприводом
3. Топливный фильтр
4. Электронный блок управления
5. Форсунка
6. Распределительная камера
7. Регулятор давления
8. Впускной трубопровод
9. Датчик положения дроссельной заслонки
10. Термоанемометрический датчик (с нагреваемой нитью) массового расхода воздуха
11. Лямбда-зонд
12. Датчик температуры двигателя
13. Распределитель зажигания
14. Регулятор частоты вращения коленчатого вала на режиме холостого хода
15. Аккумуляторная батарея
16. Выключатель зажигания

14 Термоанемометрический датчик массового расхода воздуха с нагреваемой нитью

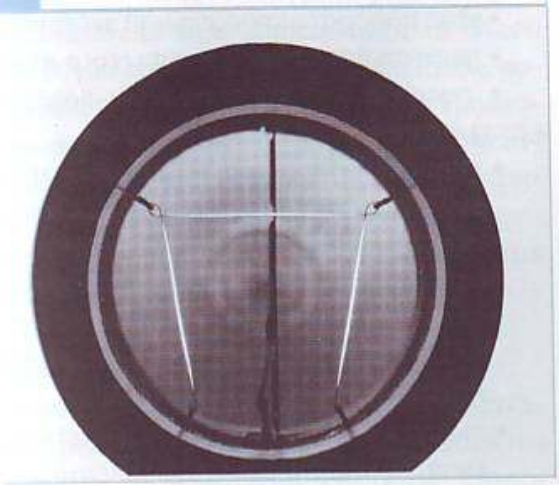


Рис. 14
Внутри трубки Вентури подвешена платиновая нить толщиной 70 мкм

15 Термоанемометрический датчик массового расхода воздуха с нагреваемой нитью

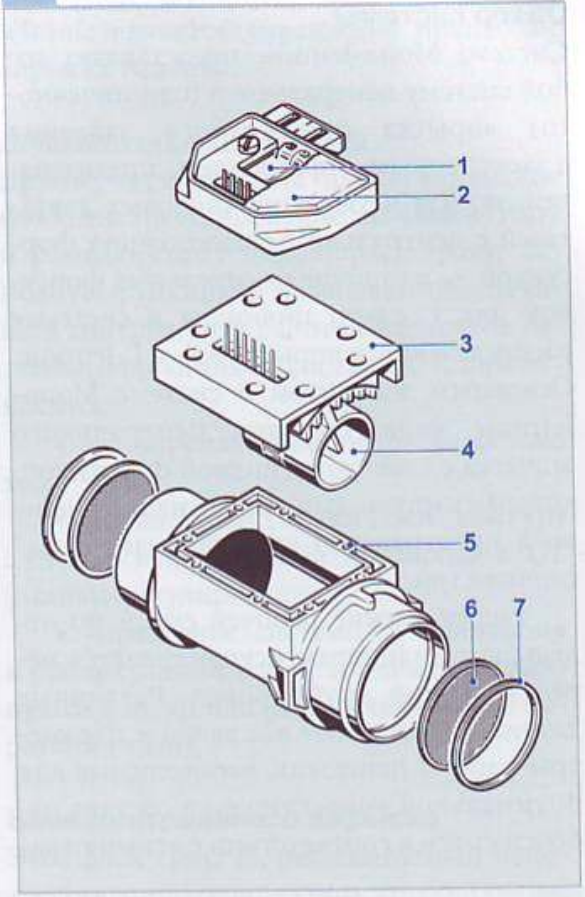


Рис. 15
1. Гибридная схема
2. Крышка
3. Металлический вкладыш
4. Трубка Вентури с нагреваемой нитью
5. Корпус
6. Защитная решетка
7. Крепежное кольцо

16 Термоанемометрический пленочный датчик массового расхода воздуха

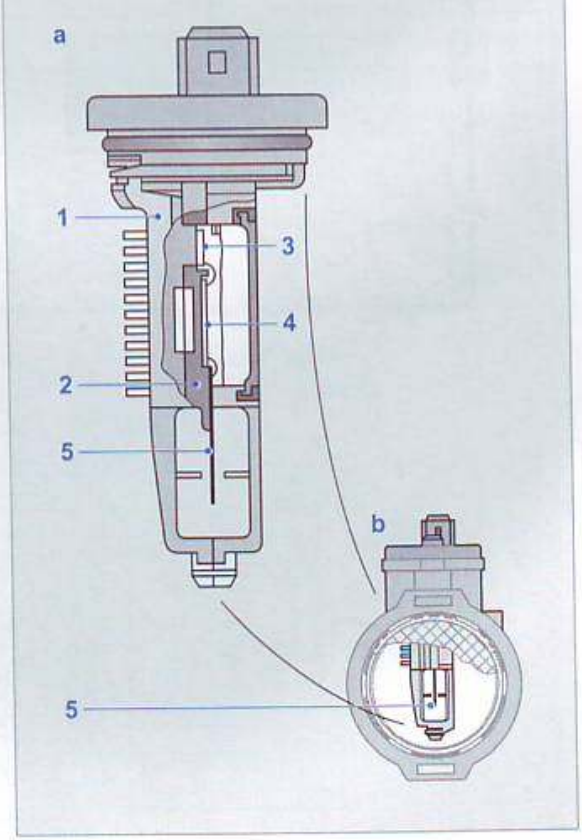


Рис. 16
a — пленочный датчик массового расхода воздуха
b — трубка Вентури со встроенным пленочным датчиком

1. Теплоотводящий элемент
2. Промежуточный модуль
3. Задающая ступень
4. Гибридная схема
5. Сенсор (нагревательный элемент)

истор. Температура нагревательного элемента измеряется термочувствительным резистором (термистором). Напряжение нагревательного элемента является мерой массового расхода воздуха. Это напряжение преобразуется электронной схемой в пленочном датчике в напряжение, на котором работает блок управления.

Дозирование топлива
Управление дозированием топлива аналогично используемому в системе L-Jetronic.

Корректировка смеси в соответствии с изменениями режимов работы двигателя
Данные о различных рабочих режимах собираются теми же способами и используются для корректировки смесеобразования таким же образом, что и в системе L-Jetronic.

Система Mono-Jetronic

Обзор системы

Система Mono-Jetronic представляет собой систему центрального (одноточечного) впрыска пониженного давления с электронным управлением, предназначенную для четырехцилиндровых двигателей с центрально расположенной форсункой — *в отличие от отдельных форсунок* для каждого цилиндра в системах распределенного впрыска KE- и L-Jetronic. Основным элементом в системе Mono-Jetronic является блок центрального впрыска с электромагнитной форсункой, которая импульсами впрыскивает топливо в пространство над дроссельной заслонкой (рис. 1).

Распределение рабочей смеси по отдельным цилиндрам осуществляется через впускной трубопровод. Различные датчики определяют все важные параметры работы двигателя, необходимые для оптимальной корректировки состава рабочей смеси в соответствии с этими параметрами, которыми являются следующие:

- угол поворота дроссельной заслонки;
- частота вращения коленчатого вала;
- температура всасываемого воздуха и охлаждающей жидкости;
- положение дроссельной заслонки на режимах холостого хода и полной нагрузки;
- содержание остаточного кислорода в ОГ (в зависимости от типа системы снижения токсичности ОГ, установленной на автомобиле);
- выбранная передача в автоматической трансмиссии (в зависимости от комплектации автомобиля);
- характеристики системы кондиционирования воздуха;
- включенный или выключенный компрессор в климатической установке.

Входные контуры в блоке управления обеспечивают преобразование параметров, собранных датчиками, в форму, удобную для микропроцессора. Послед-

1 Схема системы впрыска Mono-Jetronic

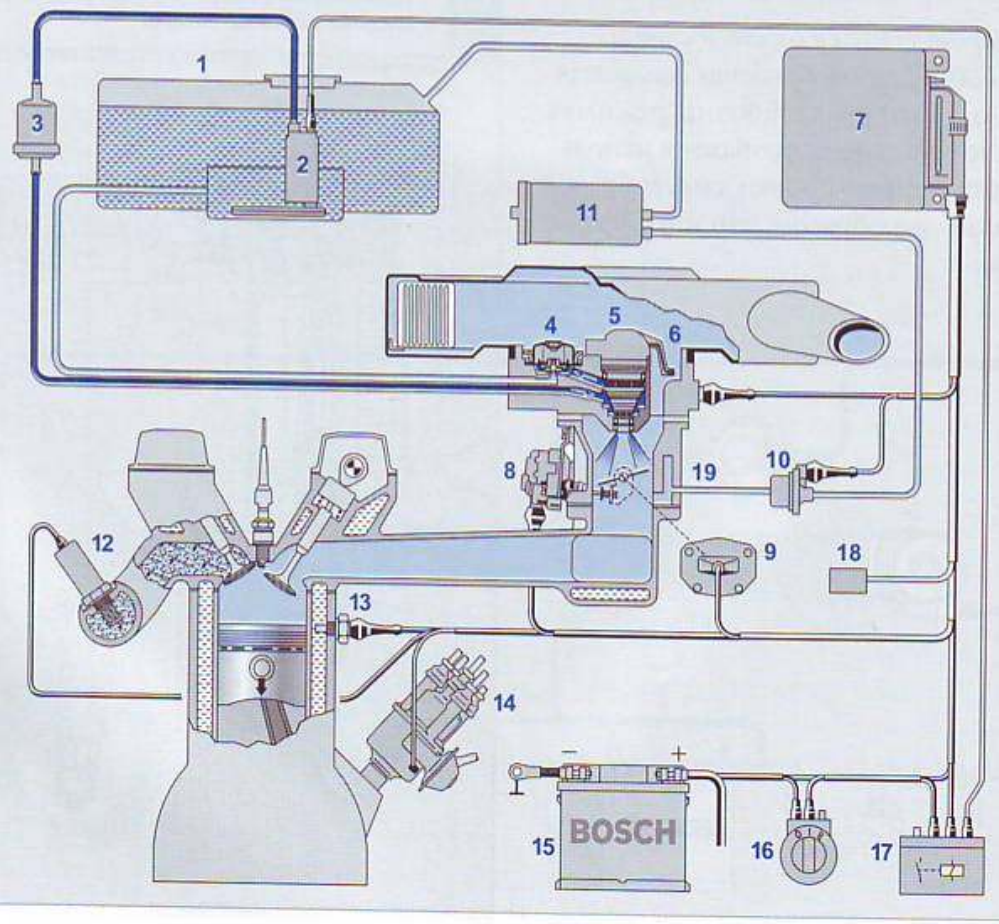


Рис. 1
1. Топливный бак
2. Топливный насос с электроприводом
3. Топливный фильтр
4. Регулятор давления
5. Форсунка
6. Датчик температуры воздуха
7. Электронный блок управления
8. Регулятор дроссельной заслонки
9. Датчик положения дроссельной заслонки
10. Продувочный клапан резервуара с угольным абсорбером
11. Резервуар с угольным абсорбером для сбора паров топлива
12. Лямбда-зонд (кислородный датчик)
13. Датчик температуры охлаждающей жидкости системы охлаждения двигателя
14. Распределитель зажигания
15. Аккумуляторная батарея
16. Выключатель зажигания
17. Реле топливного насоса
18. Разъем для подсоединения диагностической аппаратуры
19. Блок центрального впрыска

ний анализирует рабочие параметры, на их базе определяет текущий режим работы двигателя и в зависимости от этого рассчитывает управляющие сигналы, поступающие к исполнительным устройствам. Выходной каскад усиливает эти сигналы и они поступают к форсунке, приводу дроссельной заслонки и регенерирующему клапану системы улавливания и рециркуляции испарений топлива.

Варианты системы

Приведенное ниже описание с соответствующими иллюстрациями относится к стандартной модели системы Mono-Jetronic (рис. 1). Другие варианты системы применяются в соответствии с особыми индивидуальными требованиями, которые производители автомобилей предъявляют к системам впрыска двигателей с искровым зажиганием.

Система Mono-Jetronic выполняет следующие функции:

- подача топлива;
- определение параметров работы двигателя;
- обработка параметров работы двигателя.

Основная функция

Основной функцией системы Mono-Jetronic является управление процессом впрыска топлива.

Дополнительные функции

Другие управляющие и регулирующие функции (регулирование по замкнутому и разомкнутому циклу) расширяют основную функцию и позволяют обеспечивать контроль над работой элементов системы, влияющих на состав ОГ. К ним относятся:

- регулирование оборотов холостого хода;
- управление (замкнутый контур) с учетом концентрации кислорода в ОГ (лямбда-регулирование);
- управление системой улавливания и рециркуляции паров топлива (разомкнутый контур или регулирование без обратной связи).

Блок центрального впрыска

Этот блок (рис. 2), располагаемый непосредственно на впускном трубопроводе, обеспечивает подачу в двигатель тонко распыленного топлива. Блок является основным элементом системы Mono-

2 Блок центрального впрыска (вид в разрезе)

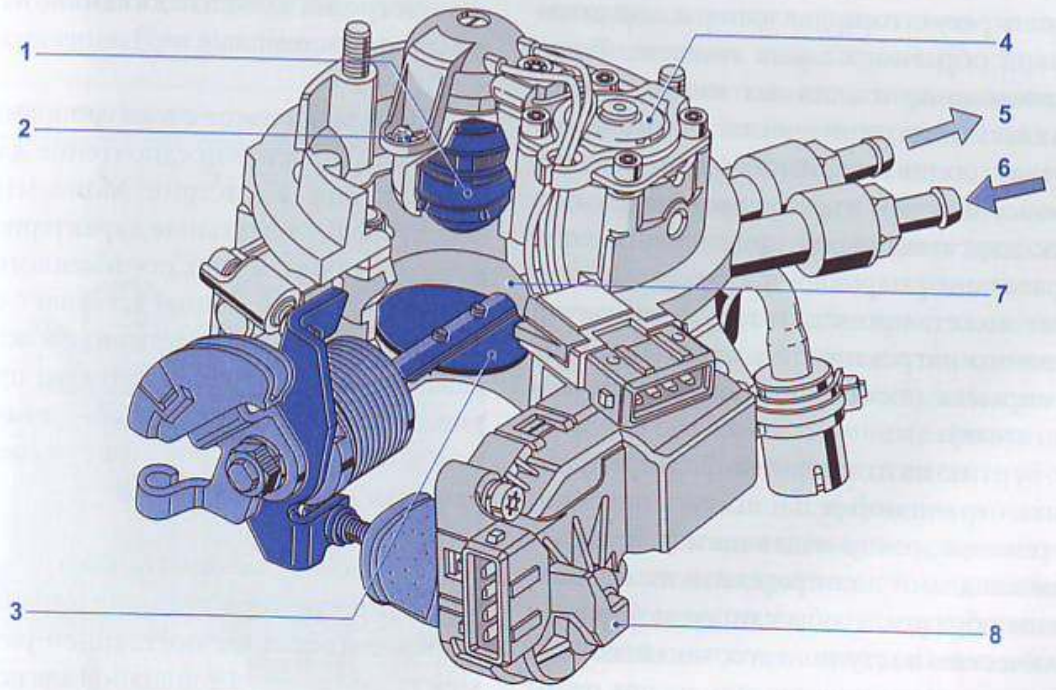


Рис. 2

1. Форсунка
2. Датчик температуры воздуха
3. Дроссельная заслонка
4. Регулятор давления топлива
5. Возврат топлива в топливный бак
6. Подача топлива
7. Потенциометр на дроссельной заслонке (на консоли оси дроссельной заслонки; на рис. не показан)
8. Привод дроссельной заслонки

Jetronic. Его конструкция отличается тем, что, в отличие от систем с распределенным впрыском (например, L-Jetronic), впрыскивание топлива осуществляется центрально и количество всасываемого двигателем воздуха косвенно определяется сочетанием двух параметров: угла поворота дроссельной заслонки α и частоты вращения коленчатого вала *n*.

Нижняя часть блока

Нижняя часть содержит дроссельную заслонку с потенциометром для измерения угла ее поворота. В нижней части блока также размещен кронштейн, на котором располагается привод дроссельной заслонки, обеспечивающей регулирование оборотов холостого хода.

Верхняя часть блока

Верхняя часть вмещает всю топливную систему блока, состоящую из форсунки, регулятора давления и двух топливных каналов, ведущих к форсунке, которые располагаются в кронштейне блока. Через нижний канал топливо подводится к форсунке.

Верхний канал соединен с нижней камерой регулятора давления, откуда избыток поступившего топлива отводится в топливный бак, через пластинчатый клапан регулятора давления в топливопровод обратного слива топлива. Такое расположение топливных каналов обеспечивает накопление достаточного количества топлива в дозирующей области у форсунки, что гарантирует надежный пуск двигателя даже при повышенном образовании паровых пробок в топливе (это может происходить в результате сильного нагревания блока центрального впрыска после выключения горячего двигателя).

Буртик на топливном фильтре форсунки ограничивает площадь поперечного сечения между подающим и возвратным каналами до определенного предела таким образом, чтобы слишком большое количество поступившего, но не впрыснутого топлива разделялось на два потока. Один поток подается на впрыскивание через форсунку, в то время как другой ее обходит. За счет этого достигается интенсивное охлаждение форсунки.

Такое расположение топливных каналов, с обеспечением циркуляции топлива вокруг форсунки и через нее, позволяет получить необходимые характеристики пуска прогретого двигателя.

На верхней крышке блока располагается датчик для измерения температуры всасываемого воздуха.

Подача топлива

Система служит для подачи топлива от топливного бака к форсунке.

Распределение топлива

Топливный насос с электроприводом непрерывно подает топливо из топливного бака через топливный фильтр к блоку центрального впрыска. В системе Mono-Jetronic используется модуль, вмонтированный в топливный бак, состоящий из:

- топливного насоса с электроприводом;
- топливного фильтра на линии подачи;
- индикатора уровня топлива;
- вихревой камеры, используемой в качестве накопительного резервуара топлива;
- электрических и гидравлических устройств подсоединения наружных систем.

Топливный насос с электроприводом, которому отдается предпочтение для использования в системе Mono-Jetronic, обеспечивает идеальные характеристики при работе в условиях пониженного давления в системе. Он представляет собой двухступенчатый лопастной насос: вихревая ступень служит в качестве предварительной и периферическая — в качестве основной, при этом обе ступени соединены в одном рабочем колесе.

Регулировка давления топлива

Задачей регулятора давления топлива является поддержание постоянной разницы между давлением в топливной магистрали и давлением в форсунке на уровне 100 кПа.

В системе Mono-Jetronic регулятор давления конструктивно встроен в гидравлическую схему блока центрального впрыска. Регулятор давления разделяется диафрагмой из прорезиненной ткани на впускную нижнюю камеру 6 (рис. 3), где находится топливо, и верхнюю камеру 5, в которой располагается винтовая пружина 4, воздействующая на диафрагму. Подвижная пластина клапана, соединенная с диафрагмой через опору клапана посредством мембраны, усилием пружины прижимается к седлу (плоскому) клапана.

Если усилие, создаваемое за счет давления топлива на диафрагму, превышает давление пружины противоположного направления, то пластина клапана немного приподнимается от своего седла и избыточное топливо перетекает обратно в топливный бак. В состоянии равновесия разница давлений между верхней и нижней камерой регулятора составляет 100 кПа.

Вентиляционные отверстия в верхней камере поддерживают то же давление, что и в форсунке. Величина хода пластины клапана меняется в зависимости от количества поданного и впрыснутого топлива.

Характеристика пружины и площадь диафрагмы выбраны такими, чтобы в широком диапазоне количества подаваемого топлива обеспечивалось постоянство давления. При выключении двигателя подача топлива прекращается. Рециркуляционный клапан топливного насоса и клапан регулятора давления закрываются, за счет чего в течение определенного времени давление сохраняется в подающем топливопроводе и гидравлической схеме. Такой способ действия регулятора в значительной степени снижает вероятность образования паровых пробок в подающем топливопроводе за счет теплоотдачи двигателя при его кратковременном отключении, благодаря чему всегда обеспечивается надежный пуск.

Регулятор давления топлива

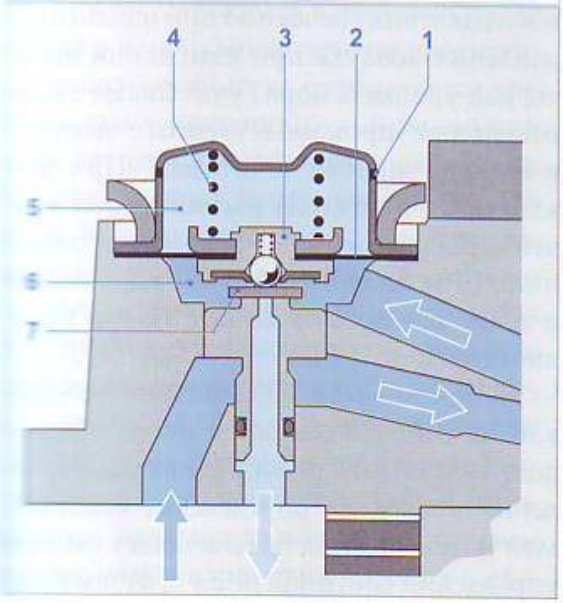


Рис. 3
1. Вентиляционное отверстие
2. Диафрагма
3. Опора клапана
4. Нажимная пружина
5. Верхняя камера
6. Нижняя камера
7. Пластина клапана

Сбор и обработка рабочих данных

Датчики контролируют все основные рабочие параметры двигателя и, тем самым, условия его работы. Полученная информация передается в электронный блок управления в виде электрических сигналов, которые преобразуются в цифровую форму, и обрабатывается для управления различными исполнительными устройствами.

Подача воздуха

Для получения требуемого соотношения топлива и воздуха в рабочей смеси должна определяться масса воздуха, которую всасывает двигатель при каждом рабочем цикле. Если эта масса воздуха, называемая «зарядом воздуха», известна, то можно корректировать впрыскиваемое количество топлива посредством регулирования продолжительности впрыскивания.

Определение «заряда воздуха» в системе Mono-Jetronic осуществляется косвенным путем совместного учета двух таких параметров, как угол поворота дроссельной заслонки α и частота вращения коленчатого вала n. «Заряд воздуха» в зависимости от параметров α и n определяется для двигателя на испытательном стенде. На рис. 4 показаны типичные кривые, отражающие изменение относительного «заряда воздуха» (коэффициента избытка воздуха) в зависимости от параметров α и n. Если эта характеристика двигателя уже известна, то заряд воздуха при постоянной плотности воздуха может быть точно определен через параметры α и n (система α/n).

4 Типичные кривые изменения относительного заряда воздуха

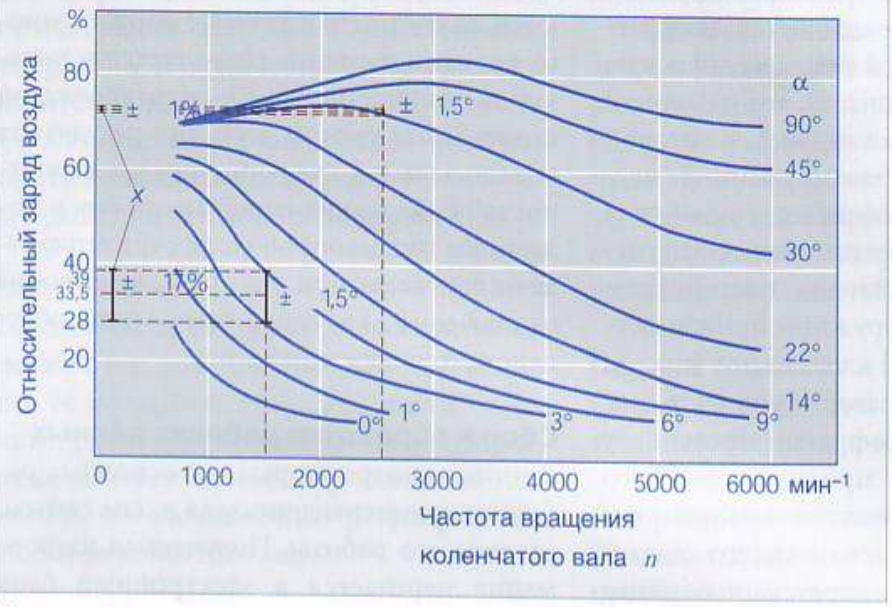


Рис. 4
Относительный «заряд воздуха» в функции частоты вращения коленчатого вала n и угла поворота дроссельной заслонки α

x — относительное изменение «заряда воздуха»

За счет воздействия педали «газа» на дроссельную заслонку, водитель управляет подачей воздуха и таким образом задает желаемый режим работы двигателя. При этом потенциометр в блоке центрального впрыска определяет угол поворота дроссельной заслонки α. Наряду с положением дроссельной заслонки, дополнительными параметрами, влияющими на массу всасываемого двигателем воздуха, являются частота вращения коленчатого вала n и плотность воздуха. Необходимую информацию о частоте вращения коленчатого вала поставляет система зажигания.

Из-за наличия постоянной разницы давления между давлением топлива внутри форсунки и давлением воздуха у этой же форсунки, количество впрыскиваемого топлива определяется только продолжительностью открытия форсунки в течение одного управляющего импульса.

Для обеспечения требуемого состава рабочей смеси, необходимо, чтобы продолжительность впрыскивания топлива выбиралась пропорционально контролируемому заряду воздуха. Это означает, что продолжительность впрыскивания топлива напрямую зависит от параметров α и n. В системе Mono-Jetronic эта связь осуществляется лямбда-программой с входными переменными параметрами α и n. Система запрограммирована на корректирующие воздействия при изменении плотности воздуха, которая зависит от температуры и давления. Температура всасываемого воздуха измеряется при поступлении его в блок центрального впрыска и этот параметр поступает в блок управления, что необходимо для определения соответствующего поправочного коэффициента.

Система Mono-Jetronic всегда оборудуется замкнутым контуром лямбда-управления, для того чтобы поддерживать соотношение воздуха и топлива на уровне $\lambda = 1$ для оптимальной работы трехэлементного каталитического нейтрализатора. Кроме этого, лямбда-управление дополнительно используется для адаптивной корректировки рабочей смеси, при которой система адаптируется к изменяющимся условиям в процессе самообучения. Корректировочные коэффициенты для различного атмосферного давления (особенно при изменениях давления воздуха при изменении высоты над уровнем моря) учитывают также отдельные производственные допуски и степень износа двигателя. При выключении двигателя рассчитанные корректировочные коэффициенты сохраняются в памяти блока управления и сразу задействуются при новом пуске двигателя.

С помощью такого адаптивного управления рабочей смесью и используемым дополнительно способом лямбда-управления, косвенное определение всасываемой массы воздуха обеспечивает (за счет управления соотношением α/n) постоян-

ство состава рабочей смеси без необходимости проведения прямых измерений массы воздуха.

Угол поворота дроссельной заслонки

Сигнал об угле поворота дроссельной заслонки α, передаваемый электронному блоку управления, позволяет производить расчет положения и угловой скорости дроссельной заслонки. Положение дроссельной заслонки является важным исходным параметром для определения объема впускаемого воздуха и, соответственно, расчета продолжительности впрыскивания топлива. Когда дроссельная заслонка закрыта выключатель холостого хода подает дополнительный сигнал на привод дроссельной заслонки.

Данные об угловой скорости дроссельной заслонки требуются преимущественно для корректировки состава смеси на переходных режимах работы двигателя. Необходимая точность сигнала определяется путем измерения заряда воздуха. Для того чтобы добиться оптимальных режимов работы двигателя с точки зрения состава ОГ, определение заряда воздуха, а также продолжительности впрыскивания топлива должны производиться через минимально возможные цифровые промежутки для поддержания оптимального соотношения воздуха и топлива в рабочей смеси в пределах допуска 2 %.

Запрограммированный диапазон условий работы двигателя, в котором заряд воздуха в наибольшей степени изменяется в зависимости от α, определяется минимальными значениями α и малой частотой вращения коленчатого вала n, т.е. на холостом ходу и при небольшой нагрузке. Как показано на рис. 4, в этом диапазоне значений α незначительное угловое изменение, например, в пределах 1,5°, приводит к изменению «заряда воздуха» или коэффициента избытка воздуха в пределах ±17 %, в то время как при больших углах поворота дроссельной заслонки такое же угловое изменение ее положения оказывает почти незаметное влияние на эти параметры. Отсюда следует, что в диапазоне между режимами холостого хода и небольшой частичной нагрузки достигается высокий уровень разрешающей способности сигнала.

Для того чтобы обеспечить требуемую высокую разрешающую способность сигнала, угловой диапазон между холостым ходом и полной нагрузкой в потенциометре дроссельной заслонки разделен на две резистивные дорожки. Первая дорожка охватывает угловой диапазон от 0° до 24°, вторая — от 18° до 90°. В электронном блоке управления сигналы α, поступающие от дорожек, преобразуются каждый в отдельности каналом аналого-цифрового преобразователя.

Частота вращения коленчатого вала

Информация о частоте вращения коленчатого вала, необходимая для регулирования соотношения α/n, устанавливается электронным блоком управления по сигналам, поступающим от системы зажигания. Это либо уже подготовленные распределителем зажигания импульсы, либо сигналы напряжения U_s на клемме 1 низкого напряжения катушки зажигания. Одновременно эти сигналы используются для формирования импульсов на впрыскивание топлива, при этом каждый импульс зажигания приводит к генерации одного импульса на впрыскивание топлива.

Температура двигателя

Температура двигателя оказывает большое влияние на расход топлива. Датчик температуры в системе охлаждения двигателя вырабатывает электрический сигнал, поступающий в электронный блок управления.

Температура всасываемого воздуха

Плотность всасываемого воздуха меняется при изменении температуры. Для того чтобы учесть это влияние, датчик температуры, установленный на блоке центрального впрыска, определяет температуру всасываемого двигателем воздуха и подает этот сигнал на блок управления.

Режимы работы двигателя

Режимы холостого хода и полной нагрузки должны точно определяться для оптимизации количества впрыскиваемого топлива в соответствии с этими режимами работы и для обогащения рабочей смеси при полной нагрузке, а также отключения подачи топлива при движении накатом.

Режим холостого хода распознается при закрытой дроссельной заслонке по замыканию контактов холостого хода включателя привода дроссельной заслонки. Режим полной нагрузки блок управления определяет по электрическому сигналу от потенциометра на дроссельной заслонке.

Напряжение аккумуляторной батареи

Время движения вверх или вниз соленоида электромагнитной форсунки зависит от напряжения аккумуляторной батареи. Если во время работы двигателя в бортовой сети происходят колебания напряжения, электронный блок управления корректирует возникающее за счет этого запаздывание срабатывания форсунки путем изменения продолжительности впрыскивания топлива.

Кроме того, блок управления реагирует на низкое напряжение в системе зажигания, что может иметь место при пуске холодного двигателя, обеспечивая увеличение продолжительности впрыскивания топлива. Этим корректируются вариации в характеристиках работы топливного насоса с электроприводом, вызываемые изменением напряжения, поскольку насос при таких условиях не создает в системе подачи топлива необходимого давления.

В электронный блок управления поступает информация о напряжении аккумуляторной батареи в виде непрерывного сигнала, передаваемого на микропроцессор через аналого-цифровой преобразователь.

Управляющие сигналы от кондиционера воздуха и/или автоматической трансмиссии

За счет увеличения нагрузки двигателя, вызванного работой кондиционера воздуха и/или включением передачи в автоматической трансмиссии, снижаются обороты коленчатого вала на холостом ходу. Для устранения этого явления электронный блок управления определяет включение кондиционера воздуха и его компрессора, а также передачи в автоматической трансмиссии через коммутационные сигналы. В соответствии с этими коммутационными сигналами блок управления изменяет номинальные сигналы управления частотой вращения коленчатого вала на холостом ходу. Для того чтобы обеспечить эффективную работу кондиционера, может появиться необходимость увеличить обороты холостого хода. Часто при включении передачи в автоматической трансмиссии обороты холостого хода необходимо снижать.

Состав рабочей смеси

Принимая во внимание дополнительную очистку ОГ в трехкомпонентном каталитическом нейтрализаторе, необходимый состав рабочей смеси должен точно соблюдаться. Лямбда-зонд посылает электрический сигнал о составе ОГ в электронный блок управления, в котором осуществляется регулирование состава смеси до получения стехиометрического соотношения. Лямбда-зонд установлен в системе выпуска двигателя в том месте, где температура удерживается в пределах, необходимых для правильного функционирования лямбда-зонда во всем диапазоне работы двигателя.

Обработка параметров работы двигателя

Блок управления обрабатывает данные о рабочем состоянии двигателя, поступающие от датчиков. На основе этих расчетов с использованием запрограммированных функций блок управления формирует сигналы, воздействующие на работу форсунок, привода дроссельной заслонки и продувочного клапана резервуара с угольным абсорбером.

Электронный блок управления

Блок управления размещается в корпусе из армированной стекловолокном полиамидной пластмассы. Он располагается

вне зоны теплового излучения двигателя в салоне автомобиля или в вентиляционном пространстве между моторным отсеком и салоном.

Электронные компоненты блока управления размещаются на единой печатной плате. Выходные усилители и стабилизатор напряжения, которые обеспечивают питание электронных компонентов узлов напряжением 5 В, закреплены на теплоотводящем устройстве. Электроразъем 25-полюсный соединяет блок управления с аккумуляторной батареей, датчиками и исполнительными конечными устройствами.

Аналого-цифровой преобразователь

Постоянные аналоговые сигналы, например, сигналы о напряжении потенциометра дроссельной заслонки, напряжении на лямбда-зонде, температуре двигателя, температуре всасываемого воздуха, напряжении питания (напряжении аккумуляторной батареи) и эталонный сигнал, формирующийся в блоке управления, преобразуются в аналого-цифровом преобразователе в информационные сигналы и считываются микропроцессором через шину сбора данных. Аналого-цифровой вход используется для того, чтобы в зависимости от входного напряжения могли быть получены различные данные, находящиеся в постоянной памяти (кодировка данных).

В отличие от сигнала напряжения сигнал о частоте вращения коленчатого вала, поступающий от системы зажигания, обрабатывается посредством интегральной схемы (IC) и направляется в микропроцессор. Дополнительно сигнал о частоте вращения коленчатого вала используется напрямую через выходной каскад для управления работой реле топливного насоса.

Микропроцессор

Основным элементом электронного блока управления (рис. 5) является микропроцессор. Он связан посредством шины адресов и сбора данных с программируемым постоянным запоминающим устройством (ППЗУ) и оперативным запоминающим устройством (ОЗУ). Постоянное ЗУ содержит программный код, а также данные о параметрах функционирования. ОЗУ служит, в частности, для хранения в памяти параметров адаптации (под адаптацией в данном случае понимается самообучающееся приспосабливание к изменяющимся условиям). Для того чтобы параметры адаптации при отключении системы не стирались из памяти, этот элемент ЗУ постоянно соединен с аккумуляторной батареей.

Кварцевый генератор (частота — 6 МГц) обеспечивает получение устойчивого основного такта вычислительного процесса. Интерфейс сигналов адаптирует управляющие импульсы по величине и форме перед подачей их в микропроцессор для последующей обработки. К этим коммутационным сигналам относятся: устанавливающие положение включателя холостого хода, селектора автоматической коробки передач (нейтральное, движение вперед), включения компрессора кондиционера воздуха, а также диагностические сигналы.

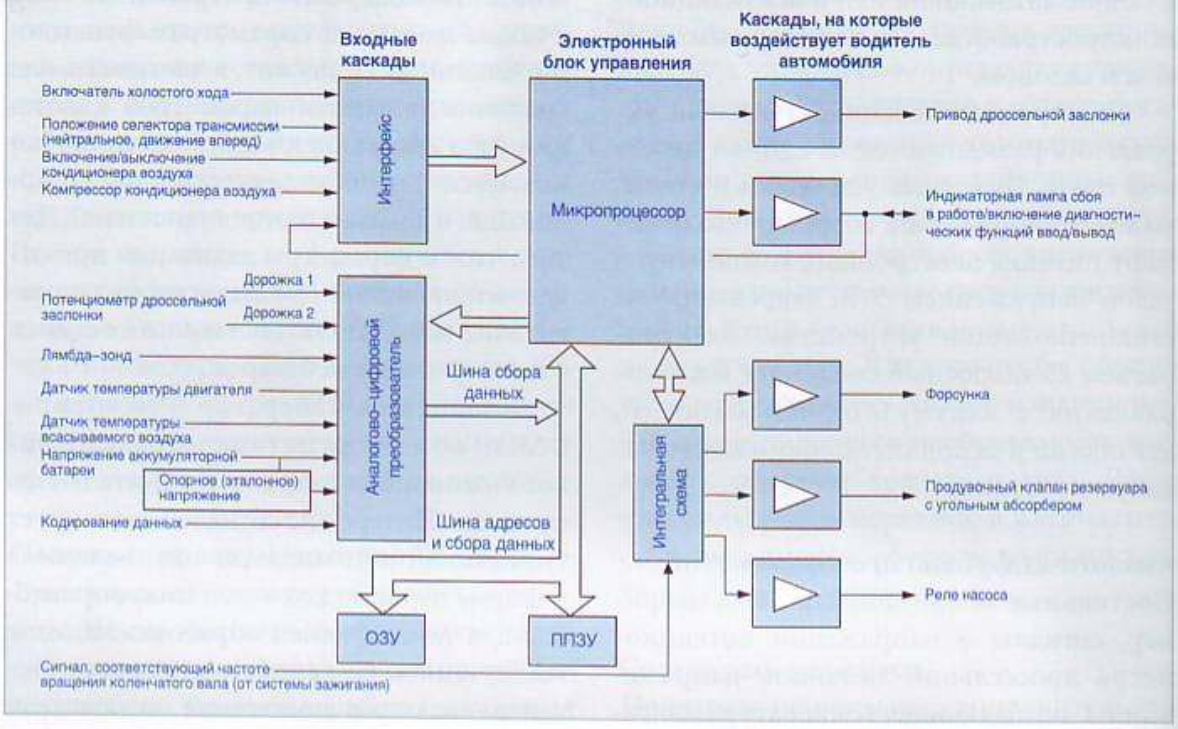
Сигналы управления, вырабатываемые за счет действий водителя

Форсунка, привод дроссельной заслонки, продувочный клапан резервуара с угольным абсорбером и реле топливного насоса управляются сигналами, вырабатываемыми за счет действий водителя. При выходе из строя датчика или привода зажигается специальная лампа неисправности для предупреждения об этом водителя. Эта лампа также служит в качестве диагностического интерфейса.

Программируемое лямбда-управление

Точная корректировка состава рабочей смеси (коэффициента избытка воздуха) при каждом установившемся режиме работы прогретого двигателя осуществляется посредством использования программируемой лямбда-диаграммы, которая хранится в электронном виде в цифровом коммутационном узле блока управления (рис. 6). Она определяется опытным путем при испытании двигателя на стенде. В концепции замкнутого контура

5 Схема электронного блока управления для системы Mono-Jetronic



6 Лямбда-диаграмма

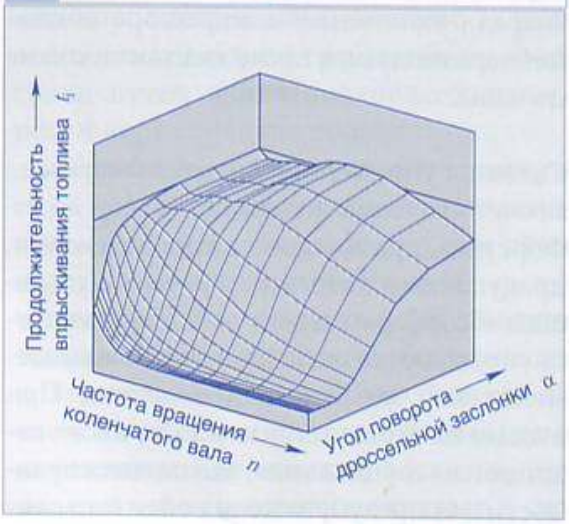


Рис. 6
Зависимость продолжительности впрыскивания топлива от частоты вращения коленчатого вала n и угла поворота дроссельной заслонки α

управления работой двигателя с лямбда-зондом, например, в системе Mono-Jetronic, устанавливаются варианты специфической для данного двигателя продолжительности впрыскивания топлива, которые обеспечивают оптимальный состав рабочей смеси в полном диапазоне режимов работы (холостой ход, частичная нагрузка, полная нагрузка).

Программируемое лямбда-управление в системе Mono-Jetronic охватывает 225 условий работы двигателя, которые соответствуют в каждом случае 15 опорным точкам входных параметров угла поворота дроссельной заслонки α и частоты вращения коленчатого вала n. Из-за большой нелинейности изменения соотношения α/n и требования высокой точности этих параметров на режимах холостого хода и малых нагрузок, опорные точки именно в этом диапазоне характеристики располагаются на программируемой диаграмме лямбда-управления очень близко друг от друга. Режимы работы, расположенные между опорными точками, вычисляются в блоке управления с использованием метода линейной интерполяции.

Так как лямбда-диаграмма строится для нормальных диапазонов условий работы и температуры двирателя, то при отклонениях в температурном режиме двигателя или при особых режимах работы требуется дополнительная корректировка базовых значений продолжительности впрыскивания топлива.

Если в блоке управления на основании сигналов от лямбда-зонда регистрируются отклонения коэффициента избытка воздуха от значения $\lambda = 1$ и, как результат этого, базовая продолжительность впрыскивания топлива корректируется в течение долгого времени, то путем самоадаптации происходит корректировка состава рабочей смеси и данные об

этом заносятся в память компьютера. С этого момента новые параметры действуют по всей программируемой лямбда-диаграмме и постоянно совершенствуются. Это позволяет постоянно компенсировать отдельные погрешности, а также непрерывно осуществлять изменения параметров двигателя и узлов системы впрыска.

Впрыскивание топлива

Система впрыска должна обеспечивать подачу топлива в двигатель как мельчайшими порциями (например, на холостом ходу или при нулевой нагрузке), так и максимально необходимым количеством (например, при полной нагрузке). Для выполнения этих условий должна соблюдаться линейная зависимость между характеристиками работы форсунки (рис. 7).

7 Характеристика работы форсунки

Рис. 7
При частоте вращения коленчатого вала n = 900 мин$^{-1}$ (соответствует подаче импульсов на впрыскивание топлива через каждые 33 мс)
1 — время задержки срабатывания форсунки, зависящее от напряжения
2 — нелинейный диапазон рабочей характеристики форсунки
3 — диапазон продолжительности впрыскивания топлива на холостом ходу и на режиме нулевой нагрузки

Форсунка (рис. 8) состоит из корпуса и клапанной группы. В корпусе находятся электромагнитная обмотка 4 и электрический разъем 1. Клапанная группа включает корпус клапана с иглой 6, соединенной с якорем соленоида 5. Когда обмотка обесточена, игла прижимается к седлу усилием винтовой пружины, поддерживаемым давлением топлива в системе. При возбуждении обмотки игла приподнимается над седлом примерно на 0,06 мм (в зависимости от конструкции форсунки) и топливо впрыскивается через кольцевой зазор. На переднем конце иглы располагается наконечник распылителя 7, выступающий из отверстия в корпусе форсунки. Форма этого наконечника обеспечивает очень хорошее распыление топлива.

8 Форсунка

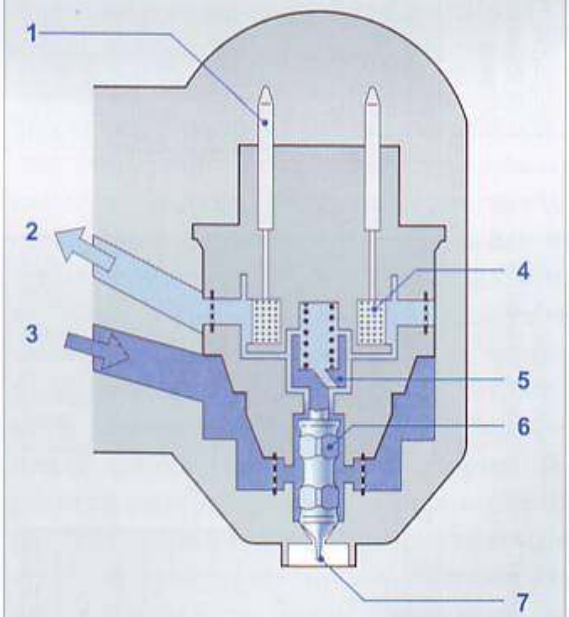


Рис. 8
1. Электрический разъем
2. Возврат топлива в топливный бак
3. Подача топлива
4. Обмотка электромагнита
5. Якорь соленоида
6. Игла клапана
7. Наконечник распылителя

Величина зазора между наконечником распылителя и корпусом форсунки определяет устойчивое количество впрыскиваемого топлива, т.е. максимальный пропуск топлива при постоянно открытом клапане. Динамическое количество впрыскиваемого топлива в режиме прерывистого впрыскивания также зависит от усилия пружины клапана, массы иглы, электромагнитной индукции обмотки и выходного каскада блока управления. За счет постоянного давления топлива в системе количество топлива, действительно впрыскиваемого через форсунку, зависит только от продолжительности ее открытия.

Из-за высокой частоты подачи импульсов на впрыскивание (каждый импульс зажигания соответствует одному импульсу на впрыскивание) на открытие форсунки отводится очень короткое время. Незначительная масса якоря и иглы клапана, а также оптимизированное действие электромагнитной цепи обмотки позволяют получить время втягивания и отпускания соленоида игольчатого клапа-

на в пределах 1 мс. Благодаря этому гарантируется точное дозирование топлива даже при его минимальных количествах.

Корректирование состава рабочей смеси

Фаза пуска двигателя

При пуске холодного двигателя необходимая испаряемость топлива ограничивается следующими факторами:

- холодный всасываемый воздух;
- холодные стенки впускного трубопровода;
- высокое давление во впускном трубопроводе;
- небольшая скорость потока воздуха во впускном трубопроводе;
- холодные камеры сгорания и стенки цилиндров.

Такие условия испарения приводят к тому, что часть впрыскиваемого топлива конденсируется на холодных стенках впускного трубопровода в виде пленки. Для того чтобы обеспечивалось поступление топлива через форсунку в двигатель для его сгорания этот процесс конденсации топлива должен быть по возможности ограничен. Для этого при пуске двигателя должно поступать большее количество топлива, чем это необходимо для его сгорания с данной массой всасываемого воздуха. Таким образом, уровень конденсации топлива зависит преимущественно от температуры стенок впускного трубопровода, поэтому при пуске двигателя блоком управления задается эффективная продолжительность впрыскивания топлива в зависимости от температуры двигателя (см. рис. 9а).

Конденсация топлива на стенках впускного трубопровода зависит также от скорости потока всасываемого воздуха. Чем выше скорость потока воздуха, тем меньшее количество топлива конденсируется на стенках. Поэтому продолжительность впрыскивания топлива умень-

9 Корректирование состава рабочей смеси в зависимости от температуры двигателя в фазах пуска двигателя, после пуска и прогрева

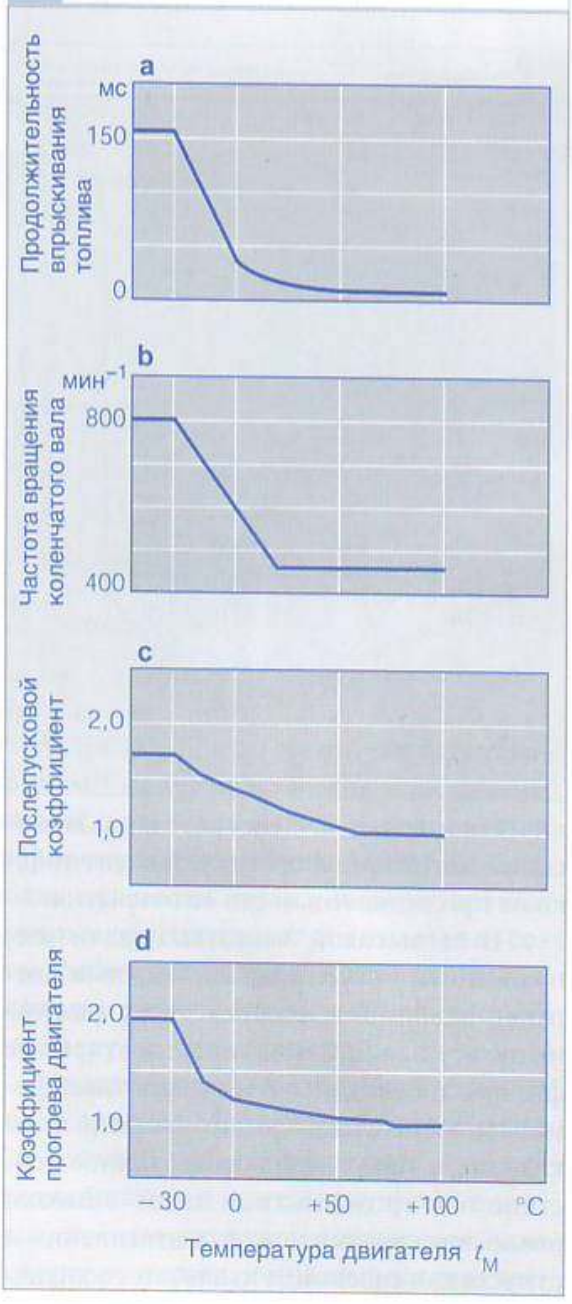
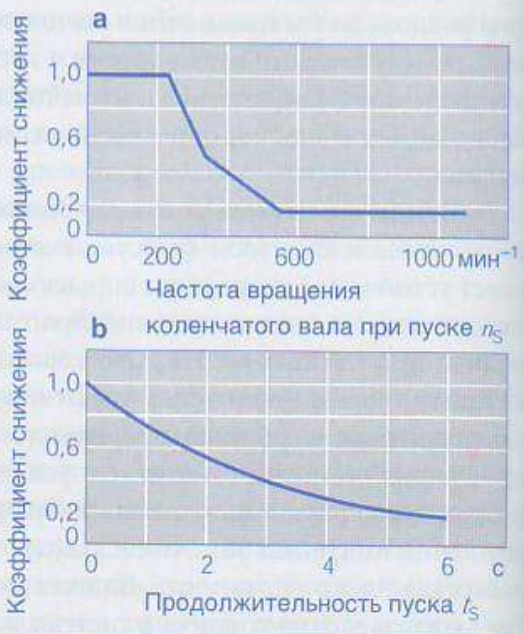


Рис. 9
a — продолжительность впрыскивания топлива на начальной стадии пуска двигателя
b — частота вращения коленчатого вала в конце пуска двигателя
c — послепусковой коэффициент
d — коэффициент прогрева двигателя

Рис. 10
a — снижение количества впрыскиваемого топлива в зависимости от частоты вращения коленчатого вала
b — снижение количества впрыскиваемого топлива в зависимости от продолжительности пуска

10 Снижение количества впрыскиваемого топлива при пуске двигателя



шается по мере повышения оборотов коленчатого вала (см. рис. 10a).

Для того чтобы максимально снизить время пуска двигателя, необходимо, чтобы, с одной стороны, очень быстро происходило образование топливной пленки на стенках, т.е. чтобы за короткий промежуток времени в двигатель поступило большое количество топлива, но, с другой стороны, должны быть приняты меры для того, чтобы в двигатель не поступило слишком много топлива и рабочая смесь не оказалась переобогащенной. Эти противоположные требования можно удовлетворить большей продолжительностью впрыскивания топлива на начальной стадии и уменьшением этой продолжительности впрыскивания по мере продолжения пуска (рис. 10b). Пуск двигателя заканчивается, как только будет превышена зависящая от температуры двигателя частота вращения коленчатого вала, соответствующая конечной стадии пуска (рис. 9b).

Послепусковая фаза и фаза прогрева двигателя

После пуска двигателя форсунка — в зависимости от положения дроссельной заслонки и оборотов коленчатого вала — начинает впрыскивание топлива, продолжительность которого заложена в лямбда-диаграмме. На последующей фазе (до достижения рабочей температуры двигателя) за счет конденсации топлива на еще холодных стенках камеры сгорания и цилиндров требуется обогащение рабочей смеси.

Непосредственно после пуска двигателя некоторое время существует довольно высокая потребность в топливе, в то время как затем требуется только та степень обогащения смеси, которая зависит исключительно от температуры двигателя. Потребность двигателя в топливе в фазе между завершением пуска двигателя и достижением им рабочей температуры определяют две функции:

- обогащение рабочей смеси после пуска двигателя, в зависимости от температуры охлаждающей жидкости, учитывается поправочным коэффициентом (рис. 9c); с помощью этого послепускового коэффициента корректируется продолжительность впрыскивания топлива, рассчитанная с использованием лямбда-диаграммы; снижение этого коэффициента до 1 зависит от времени;
- обогащение рабочей смеси в фазе прогрева двигателя также учитывается поправочным коэффициентом, зависящим от температуры двигателя; снижение этого коэффициента до 1 зависит только от температуры (рис. 9d).

Обе функции действуют одновременно. Это означает, что продолжительность впрыскивания топлива на базе программируемой лямбда-диаграммы приводится в соответствие как с послепусковым коэффициентом, так и с коэффициентом прогрева двигателя.

Корректирование состава рабочей смеси в зависимости от температуры всасываемого воздуха

Масса воздуха, необходимая для процесса сгорания, зависит от температуры всасываемого воздуха. Учитывая, что холодный воздух плотнее теплого, при одном и том же положении дроссельной заслонки наполнение цилиндров воздухом уменьшается по мере повышения температуры воздуха. Поэтому блок центрального впрыска в системе Mono-Jetronic имеет датчик температуры, который передает в блок управления данные о температуре всасываемого воздуха. Блок управления корректирует продолжительность впрыскивания топлива и, тем самым, его количество путем использования коэффициента обогащения смеси (рис. 11).

11 Зависимость коэффициента обогащения рабочей смеси от температуры всасываемого воздуха

Корректирование состава рабочей смеси на переходном режиме

При изменениях нагрузки, вызванных изменением положения дроссельной заслонки, требуется динамическая корректировка состава смеси. Для того чтобы при центральном впрыске получить оптимальные характеристики работы двигателя и низкую токсичность ОГ, корректирование состава смеси на переходном режиме происходит со значительно большей функциональной сложностью, чем при распределенном впрыске. Это вызвано тем, что распределение рабочей смеси при центральном впрыске осуществляется через впускной трубопровод. Это означает, что такая корректировка должна учитывать три различных состояния топлива:

- пары топлива, которые образуются в блоке центрального впрыска и впускном трубопроводе или оседают, образуя топливную пленку на стенках впускного трубопровода; эти пары перемещаются с той же скоростью, что и поток всасываемого воздуха;
- капли топлива, которые перемещаются с разной скоростью, но все же приблизительно равной скорости воздушного потока; часть этих капель отбрасывается к стенкам впускного трубопровода, способствуя образованию топливной пленки на стенках;
- жидкое топливо, которое с пониженной скоростью переносится в камеру сгорания, образует топливную пленку на стенках впускного трубопровода; эта доля топлива поступает в камеру сгорания с задержкой по времени.

При низком давлении во впускном трубопроводе, т.е. на холостом ходу или при малой нагрузке, топливо во впускном трубопроводе находится почти исключительно в парообразной форме и почти отсутствует топливная пленка на стенках. С увеличением давления во впускном трубопроводе, т. е. с увеличением открытия дроссельной заслонки и снижением оборотов коленчатого вала возрастает доля топлива в виде пленки на стенках. Это приводит к тому, что без корректирования смесеобразования, связанного с обогащением рабочей смеси, происходит ее обеднение в цилиндрах. И наоборот, если при снижении интенсивности образования пленки на стенках при закрытии дроссельной заслонки, не осуществляется корректирование смесеобразования, связанное с обеднением рабочей смеси, происходит ее переобогащение в цилиндрах.

Склонность топлива к испарению зависит как от давления во впускном трубопроводе, так и от температуры. Поэтому доля топлива в виде пленки на стенках дополнительно повышается при еще холодном впускном трубопроводе или при низкой температуре всасываемого воздуха.

В системе Mono-Jetronic эти динамические эффекты, связанные с подачей рабочей смеси, корректируются за счет комплексных электронных функций. С их помощью на переходном режиме обеспечивается состав рабочей смеси с коэффициентом избытка воздуха, приближающемся как можно ближе к значению $\lambda = 1$. Функции регулирования для обогащения смеси при ускорении и обеднения в период замедления зависят от положения дроссельной заслонки, частоты вращения коленчатого вала, температуры всасываемого воздуха, температуры охлаждающей жидкости и угловой скорости поворота дроссельной заслонки.

Обеднение рабочей смеси при замедлении или обогащение при ускорении происходит тогда, когда угловая скорость дроссельной заслонки превышает соответствующий пороговый уровень срабатывания. Для обогащения при ускорении порог срабатывания смеси установлен характеристической кривой на основе угловой скорости поворота дроссельной заслонки (рис. 12). Для обеднения рабочей смеси при замедлении порог срабатывания существует в виде константы.

В зависимости от угловой скорости поворота дроссельной заслонки для обогащения рабочей смеси при ускорении используется динамический коэффициент обогащения смеси, а для ее обеднения

12 Пределы включения корректировки смеси в переходном режиме

Рис. 12
1 — обогащение рабочей смеси при ускорении
2 — обеднение рабочей смеси при замедлении
корректировка не производится

при замедлении — динамический коэффициент обеднения смеси. Эти динамические поправочные коэффициенты хранятся в памяти блока управления в виде характеристической кривой.

Для уменьшения образования топливной пленки впускной трубопровод обогревается охлаждающей жидкостью системы охлаждения двигателя. Дополнительно для улучшения смесеобразования осуществляется подогрев всасываемого воздуха с помощью устройства предварительного подогрева. Для учета этих параметров служат характеристические кривые, посредством которых блоком управления оказывается влияние на динамические поправочные коэффициенты рабочей смеси в зависимости от температуры двигателя и всасываемого воздуха. Для учета количества топлива, остающегося в виде пленки на стенках в зависимости от давления во впускном трубопроводе, в памяти блока управления хранится характеристика корректирования смесеобразования в зависимости от угла поворота дроссельной заслонки и частоты вращения коленчатого вала вместе с показателями, оказывающими дополнительное влияние на динамические поправочные коэффициенты рабочей смеси.

Запрограммированная корректировка состава смеси на переходном режиме используется в виде коэффициента перехода, влияющего на момент и продолжительность впрыскивания топлива. Так как нагрузка может изменяться очень быстро по сравнению с периодичностью впрыскивания топлива, эта система может генерировать дополнительный импульс на впрыскивание с целью получения дополнительной корректировки промежуточной струи.

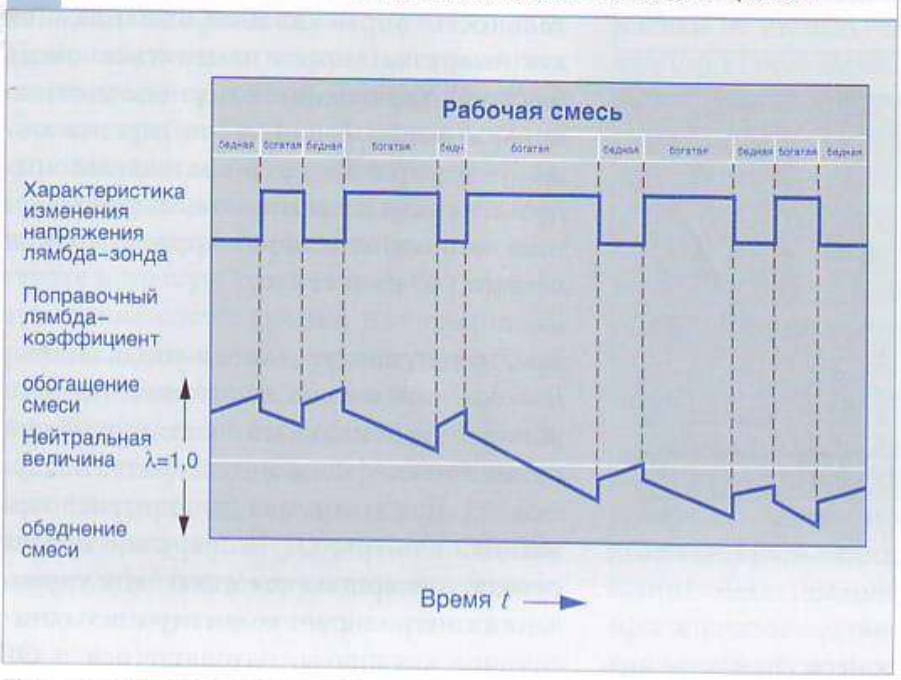
Замкнутый контур лямбда-управления

Лямбда-управление позволяет поддерживать оптимальный состав рабочей смеси при коэффициенте избытка воздуха $\lambda = 1$. Для этого лямбда-зонд, расположенный в потоке ОГ, непрерывно подает сигнал, с помощью которого блок управления контролирует концентрацию остаточного кислорода, находящегося в ОГ на данный момент и при необходимости увеличивает или уменьшает продолжительность впрыскивания.

Лямбда-управление накладывается на управление смесеобразованием с помощью базовой системы. Оно обеспечивает оптимальную настройку системы на использование трехкомпонентного каталитического нейтрализатора. Лямбда-зонд распознает и корректирует отклонения от стехиометрического соотношения в рабочей смеси.

Лямбда-зонд (двухточечный), используемый в качестве измерительного датчика в выпускном коллекторе, поставляет информацию об отклонении состава рабочей смеси от оптимального, соответствующего значению коэффициента избытка воздуха $\lambda = 1$. При отклонении от этого значения выходной сигнал напряжения на зонде резко изменяется, что оценивается схемой регулирования в блоке управления. Высокое выходное напряжение зонда (около 800 мВ) указывает на обогащенную смесь, низкое (около 200 мВ) — на обедненную. На рис. 13 изображена периодичность изменения напряжения сигнала лямбда-зонда в зависимости от времени. Лямбда-управление настраивается при каждом переходе от обогащенной смеси к обедненной и, наоборот.

13 Зависимость изменения напряжения сигнала лямбда-зонда от времени



Для регулирования продолжительности впрыскивания топлива используется поправочный лямбда-коэффициент. При скачке напряжения на лямбда-зонде состав смеси вначале сразу изменяется на определенную величину, для того чтобы как можно быстрее была произведена ее корректировка. На основе программируемой функции адаптации определяется регулируемая переменная, пока не возникает новый скачок напряжения лямбда-зонда. При этом рабочая смесь постоянно изменяет свой состав в очень узком диапазоне (вокруг значения коэффициента избытка воздуха $\lambda = 1$) в направлении ее обогащения или обеднения.

Если было бы возможно идеально подогнать лямбда-характеристику к идеальному значению $\lambda = 1$, то регулируемая переменная для лямбда-управления (поправочный лямбда-коэффициент) постоянно бы обеспечивала регулирование состава смеси вокруг ее нейтрального значения $\lambda = 1$. Так как из-за неизбежных допусков этого достичь не удается, то лямбда- управление следует за отклонениями от идеальной величины и настраивает каждую точку на диаграмме на приближение к значению $\lambda = 1$.

Лямбда-зонд работает только при температуре свыше примерно 350 °C. До достижения этой температуры регулирование смеси не производится.

Адаптация рабочей смеси

Адаптация рабочей смеси обеспечивает отдельную индивидуальную корректировку состава смеси в соответствии с условиями работы двигателя. Кроме этого, производится корректировка состава смеси в зависимости от плотности воздуха. Цель корректировки рабочей смеси заключается в учете влияния на двигатель и элементы системы впрыска допусков или износов. В основном на эти корректировки оказывают влияние следующие факторы:

- влияние изменения плотности воздуха при движении на большой высоте над уровнем моря (мультипликативное влияние разреженного воздуха);
- изменение разрежения во впускном трубопроводе за дроссельной заслонкой из-за потери герметичности в тракте дроссельной заслонки (аддитивное влияние на воздушный поток);
- влияние отдельных отклонений в задержке впрыскивания топлива (аддитивное влияние на продолжительность впрыскивания топлива).

Поскольку на программируемой диаграмме имеются определенные секторы, в которых эти влияния проявляются очень сильно, то эта диаграмма подразделяется на три диапазона адаптации рабочей смеси:

- изменение плотности воздуха оказывает одинаковый эффект по всей диаграмме, поэтому сектор адаптации рабочей смеси с учетом плотности воздуха (мультипликативный параметр разрежения воздуха) охватывает всю диаграмму;

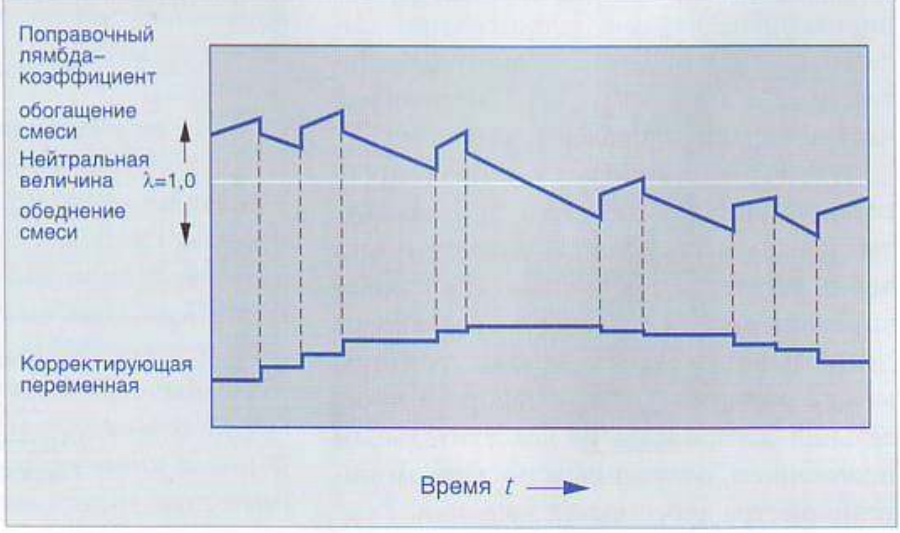
- изменения в доле утечки воздуха оказывают заметный эффект при небольшом расходе воздуха (например, на режиме нагрузки, близком к режиму холостого хода), поэтому во втором секторе рассчитывается дополнительная адаптации (аддитивная величина, зависящая от воздушного потока);
- изменения в количестве впрыскиваемого топлива при каждом импульсе впрыскивания заметно проявляются при малой продолжительности впрыскивания, поэтому в третьем секторе определяется следующая величина адаптации (аддитивная величина продолжительности впрыскивания топлива).

Расчет переменного параметра адаптации рабочей смеси происходит следующим образом: регулируемая переменная на стадии адаптации рабочей смеси с помощью лямбда-управления определяет количество смеси. Эта переменная при появлении нарушений в составе рабочей смеси изменяется до тех пор, пока не будет скорректирована до значения коэффициента избытка воздуха $\lambda = 1$. При этом коррекция состава смеси при использовании лямбда-зонда определяется отклонением от управляющего параметра. Для коррекции состава смеси обеспечивается оценка управляющих параметров зонда с использованием весового коэффициента перед его сложением с корректирующими переменными для отдельных диапазонов. Корректирующая переменная таким образом изменяется с небольшими фиксированными приращениями в своей величине, причем величина этих приращений пропорциональна регистрируемому на данный момент поправочному коэффициенту на состав смеси при лямбда-управлении. Каждое такое приращение корректирующей переменной позволяет производить компенсацию для другого сегмента коррекции рабочей смеси (рис. 14). В зависимости от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала периодичность приращений составляет от 1 с до менее 100 мс. Корректирующие переменные адаптации оптимизируются настолько быстро, что влияние допусков на рабочие характеристики двигателя и состав ОГ полностью компенсируется.

Регулировка частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу

С помощью этой регулировки снижается и стабилизируется частота вращения коленчатого вала на холостом ходу. На протяжении всего срока службы автомобиля она обеспечивает постоянство этой величины. При этой регулировке привод дроссельной заслонки, который посредством рычага открывает дроссельную заслонку, настраивается так, чтобы обороты холостого хода сохраняли заданное значение при всех условиях работы (например, при полной нагрузке в бортовой электросети, включении кондиционера воздуха, включении передачи автоматической трансмиссии, полном задействовании усилителя рулевого управления и т.п.) на прогретом и холодном двигателе. Это также отно-

14 Циклическое чередование адаптации рабочей смеси и адаптации коэффициента наполнения цилиндра



сится к движению на большой высоте над уровнем моря, где регулировка холостого хода необходима из-за понижения плотности воздуха.

В памяти блока управления хранятся две характеристические кривые оборотов холостого хода, зависящие от температуры двигателя (рис. 15a):

- характеристическая кривая 1 для автомобилей с автоматической трансмиссией при включенной передаче (движение);
- характеристическая кривая 2 для автомобилей с механической или автоматической трансмиссией, но без включенной передачи (нейтральное положение).

Для снижения склонности к «ползучести» автомобилей с автоматической коробкой передач, чаще всего при включенном нейтральном положении осуществляется снижением оборотов холостого хода. При включенном кондиционере воздуха обороты холостого хода часто несколько увеличиваются для сохранения предписанной минимальной частоты вращения коленчатого вала, предусмотренной для того чтобы обеспечить кондиционеру достаточное охлаждение (характеристическая кривая 3). С тем чтобы избежать чрезмерного снижения оборотов холостого хода при включении и отключении компрессора кондиционера, эти обороты даже с отключенным компрессором остаются повышенными.

Датчик частоты вращения коленчатого вала определяет соответствующий регулировочный параметр дроссельной заслонки на основе разницы между действительным и требуемым (n_{soll}) значениями частоты вращения коленчатого вала.

Управляющий сигнал к приводу дроссельной заслонки подается при замкнутых контактах включателя холостого хода через регулятор положения. Он создает управляющий сигнал для регулятора дроссельной заслонки за счет разницы между расчетным углом поворота дроссельной заслонки и ее действительным положением, полученным по данным потенциометра дроссельной заслонки.

Для того чтобы избежать резкого снижения оборотов коленчатого вала при переходе, например, из режима движения накатом к режиму холостого хода, дроссельная заслонка не должна закрываться слишком быстро. Это достигается за счет заданных управляющих характеристических кривых, которые ограничивают минимальный диапазон управления регулятором дроссельной заслонки. Таким образом, в память блока управления заложены управляющие характеристические кривые угла поворота дроссельной заслонки для положений автоматической трансмиссии «нейтральное» и «движение» (рис. 15b).

Дополнительно задействуются различные предварительно заданные (пилотные) корректировки управления при включен-

15 Регулировка частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу

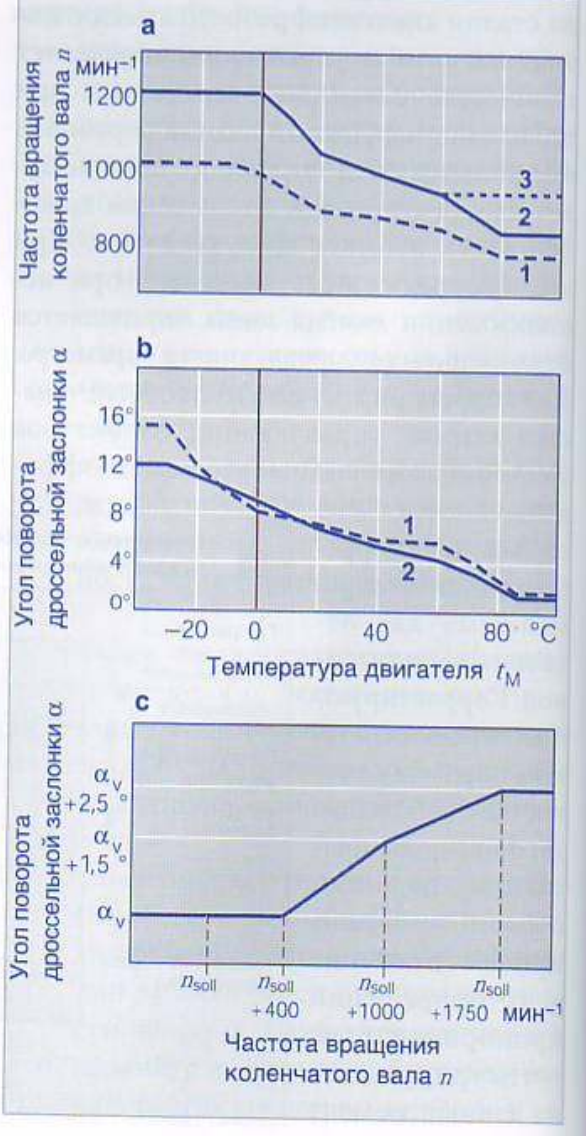


Рис. 15

a — требуемая частота вращения коленчатого вала

b — предварительно заданное (пилотное) управление дроссельной заслонкой

c — ограничение разрежения

1 — включение передачи для движения вперед в автоматической трансмиссии

2 — включение нейтрального положения в автоматической трансмиссии

3 — включение кондиционера воздуха

α_v — угол поворота дроссельной заслонки при предварительно заданном (пилотном) управлении

n_{soll} — требуемая частота вращения коленчатого вала

ном кондиционере воздуха в зависимости от того, включен его компрессор или нет. Для того чтобы это управление всегда проводилось оптимальным способом, дополнительно используются предварительные корректирующие воздействия на управление для всех встречающихся комбинаций, определяемых сигналами от автоматической трансмиссии (движение/нейтральное положение), включения кондиционера воздуха (да/нет) и компрессора кондиционера (да/нет). Цель этой адаптации заключается в выборе общего пилотного управляющего параметра, чтобы дроссельная заслонка на холостом ходу находилась на заданном «расстоянии» от действительного положения.

Для того чтобы при движении на большой высоте над уровнем моря задействовался эффективный пилотный корректирующий параметр уже перед первой фазой холостого хода, дополнительно применяется коррекция смеси в зависимости от плотности воздуха. Имеется возможность регулирования положения дроссельной заслонки в диапазоне ее установки на холостом ходу (если водитель не нажимает на педаль газа), для того чтобы осуществить функцию ограничения разрежения. Эта функция в режиме движения накатом (принудительный холостой ход), обеспечивает открытие дроссельной заслонки в соответствии с характеристической кривой, зависящей от частоты вращения коленчатого вала (рис. 15c); дроссельная заслонка открывается на такую величину, чтобы это было достаточным для исключения снижения наполнения цилиндров (неполное сгорание).

Привод дроссельной заслонки

Привод дроссельной заслонки (рис. 16) воздействует через управляющий валик 4 на рычаг дроссельной заслонки и таким образом оказывает влияние на количество засасываемого двигателем воздуха. Привод имеет встроенный в корпус 1 электродвигатель постоянного тока, который через винтовой вал 2 и червяное колесо 3 приводит в действие управляющий валик 4. Этот валик, в зависимости от направления вращения электродвигателя, либо выдвигается и при этом открывает дроссельную заслонку, либо, при изменении полярности электродвигателя, уменьшает угол открытия дроссельной заслонки.

В управляющий валик встроены коммутационные контакты 5, которые замыкаются при упирании валика в рычаг дроссельной заслонки, таким образом, подается сигнал блоку управления о режиме холостого хода.

Обогащение рабочей смеси на режиме полной нагрузки

Водитель до упора нажимает педаль «газа» с целью получения от двигателя максимальной мощности. Двигатель вырабатывает максимальную мощность при рабочей смеси, обогащенной по сравнению со стехиометрическим соотношением топлива и воздуха примерно на 10...15 %. Уровень обогащения рабочей смеси при полной нагрузке заложен в память блока управления в форме коэффициента, на который умножается продолжительность впрыскивания топлива, рассчитанная на основе лямбда-диаграммы. Обогащение смеси при полной нагрузке происходит, как только превышается установленный угол поворота дроссельной заслонки (не доходя нескольких градусов до упора).

16 Привод дроссельной заслонки

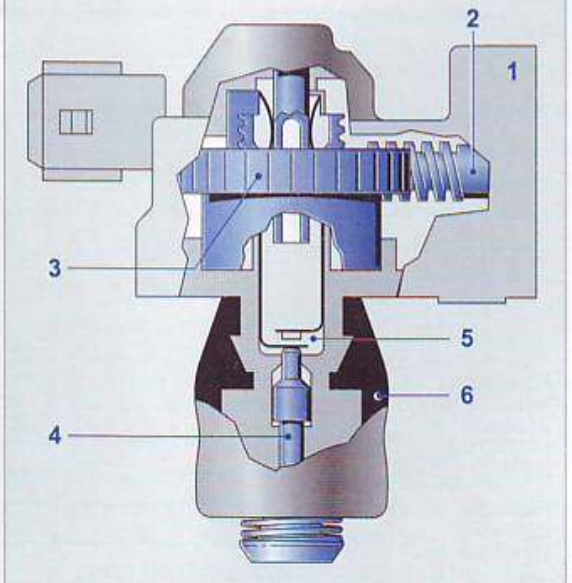


Рис. 16
1. Корпус привода с электродвигателем
2. Винтовой вал
3. Червячное колесо
4. Управляющий валик
5. Контакты включения режима холостого хода
6. Резиновая мембрана (сильфон)

Ограничение частоты вращения коленчатого вала

Очень высокая частота вращения коленчатого вала может привести к повреждению двигателя. За счет ограничения этой частоты вращения не допускается превышение ее максимально допустимого значения. При незначительном превышении установленной для каждого двигателя частоты вращения n_0 блок управления отключает подачу импульсов на впрыскивание топлива.

Когда частота вращения коленчатого вала опускается ниже этого максимальнодопустимого значения, впрыскивание топлива снова включается. Этот цикл включения/отключения впрыскивания топлива производится с большой частотой около максимально допустимой частоты вращения коленчатого вала.

Режим принудительного холостого хода (движение накатом)

Если водитель во время движения снимает ногу с педали «газа», и в результате этого полностью закрывает дроссельную заслонку, коленчатый вал продолжает вращаться за счет кинетической энергии автомобиля (режим принудительного холостого хода). Для снижения эмиссии токсичных веществ в ОГ и расхода топлива, а также для улучшения ходовых характеристик в этом режиме реализуется несколько функций.

Если частота вращения коленчатого вала превышает установленный порог 2 (рис. 17) и дроссельная заслонка закрыта, то форсунка больше не впрыскивает топливо, т.е. в цилиндры топливо больше не подается. При снижении частоты вращения ниже порога 3 (рис. 17), впрыскивание топлива возобновляется. Если на режиме принудительного холостого хода частота вращения падает весьма значительно, как, например, это может произойти при включении сцепления, то уже при большей частоте вращения (порог 1, рис. 17) снова происходит впрыскивание топлива, для того чтобы эта частота вращения не снизилась ниже значений, соответствующих холостому ходу или даже не остановился двигатель.

Закрытие дроссельной заслонки на повышенных оборотах коленчатого вала приводит, с одной стороны, к сильному замедлению автомобиля за счет торможения двигателем, с другой стороны, повышается выброс углеводородов, т. к. при падении давления во впускном трубопроводе происходит испарение пленки топлива на его стенках. Это топливо сгорает не полностью из-за нехватки достаточного количества воздуха для сгорания. Чтобы противодействовать этому эффекту, дроссельная заслонка открывается на небольшой угол приводом во время режима принудительного холостого хода в зависимости от частоты вращения коленчатого вала. Если частота вращения резко падает на режиме принудительного холостого хода, то открытие дроссельной заслонки устанавливается уже вне зависимости от падения оборотов коленчатого вала. В этом случае осуществляется замедленное уменьшение угла поворота дроссельной заслонки.

17 Впрыскивание топлива на режиме принудительного холостого хода

На режиме принудительного холостого хода пленка топлива на стенках испаряется полностью и впускной трубопровод осушается. После завершения режима принудительного холостого хода эта пленка на стенках должна снова восстановиться при подаче топлива, в результате чего до восстановления этого равновесия создается несколько обедненная рабочая смесь. Для поддержки формирования пленки топлива на стенках впускного трубопровода непосредственно после завершения режима принудительного холостого хода подается дополнительный импульс впрыска, продолжительность которого зависит от продолжительности режима принудительного холостого хода (движение накатом).

Корректировки в зависимости от напряжения в системе

Корректировки, зависящие от напряжения на форсунке

Электромагнитный клапан форсунки обладает свойством за счет самоиндукции открываться с замедлением в начале подачи импульса на впрыскивание топлива и с замедлением закрываться в конце этого импульса. Время открытия и закрытия форсунки составляет величину порядка 1,5 мс. Время открытия очень сильно, а время закрытия, напротив, слабо зависит от напряжения аккумуляторной батареи. В результате этого время срабатывания без электронной корректировки напряжения обеспечивало бы очень короткую продолжительность впрыскивания и, следовательно, привело бы к впрыскиванию слишком малого количества топлива. По этой причине снижение бортового напряжения должно компенсироваться зависимым от напряжения увеличением продолжительности впрыскивания, так называемым аддитивным поправочным коэффициентом (рис. 18a). Блок управления определяет действительное напряжение аккумуляторной батареи в данный момент, и увеличивает импульсы включения впрыскивания путем задержки срабатывания форсунки, зависящей от напряжения.

Корректировки, зависящие от напряжения на топливном насосе с электроприводом

Частота вращения электродвигателя привода топливного насоса сильно зависит от напряжения. По этой причине топливный насос, работающий по гидродинамическому принципу, при низком напряжении аккумуляторной батареи (например, при запуске холодного двигателя) уже не в состоянии поддерживать номинальную величину давления в системе. Это приводит к подаче недостаточного количества впрыскиваемого топлива. Чтобы компенсировать этот эффект, необходима коррекция продолжительности впрыскивания топлива посредством использования функции коррекция подачи топлива в зависимости от этого напряжения, особенно в диапазоне низких напряжений аккумуляторной батареи (рис. 18b).

Если используется объемный топливный электронасос, поправочная функция такой коррекции необязательна. Посредством кодировочного входа на блоке управления можно активизировать эту функцию коррекции в зависимости от типа насоса.

18 Корректировка продолжительности впрыскивания топлива в зависимости от напряжения аккумуляторной батареи

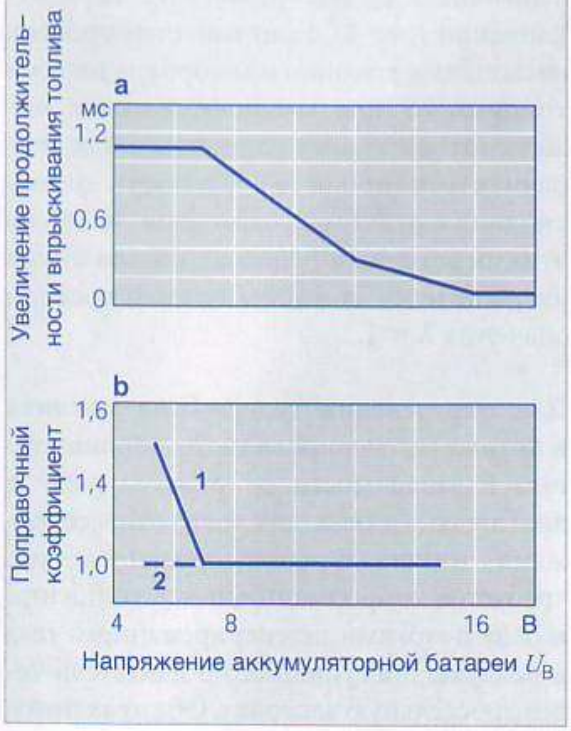


Рис. 18
a — корректировка работы форсунки в зависимости от напряжения
b — корректировка работы электроприводного топливного насоса в зависимости от напряжения
1 — для центробежного насоса
2 — для роликового насоса

Управление потоком регенерированного газа

Топливо, собранное в корпусе угольного резервуара, за счет пропуска через него потока свежего воздуха, захватывается этим потоком и отводится в цилиндры для сгорания. Управление потоком регенерированного топливного газа осуществляется посредством продувочного клапана (тактового клапана), расположенного между угольным резервуаром и блоком центрального впрыска. Целью такого управления является возможность на всех режимах работы двигателя направить к нему как можно больше накопленного топлива, т. е. обеспечивать как можно больший поток регенерированного топлива без ухудшения рабочих характеристик двигателя.

Для обеспечения установленной функции адаптации рабочей смеси необходимо циклично выбирать между нормальным режимом работы, который обеспечивает возможность адаптации рабочей смеси, и режимом регенерации. Кроме того, на фазе регенерации необходимо определять уровень насыщения регенерированного газа топливом и использовать этот параметр для корректировки. Это осуществляется таким же способом, как при корректировке состава рабочей смеси с помощью лямбда-управления (при отклонении λ от 1). Если известен уровень насыщения угольного абсорбера парами топлива, то при изменениях цикла может соответственно удлиняться или укорачиваться продолжительность впрыскивания топлива, благодаря чему на этих переходных режимах состав смеси удерживается в узких пределах около значения $\lambda = 1$.

Для определения содержания топлива в потоке регенерированного топливного газа в зависимости от режима работы двигателя, а также для адаптации содержания топлива в регенерированном газе, требуется информация о соотношении между потоками регенерированного газа и воздуха, поступившего в двигатель через дроссельную заслонку. Оба этих потока почти пропорционально зависят от площади открытого поперечного сечения тех каналов, через которые они пропускаются.

В то время как площадь поперечного сечения отверстия, открывающегося дроссельной заслонкой, определяется через угол ее поворота, площадь поперечного сечения продувочного клапана изменяется в зависимости от воздействия перепада давления.

Этот перепад давления, воздействующий на продувочный клапан, зависит от рабочего режима двигателя и может определяться из параметров продолжительности впрыскивания топлива, сохраняемого в лямбда-диаграмме.

Для каждого рабочего режима, заданного углом поворота дроссельной заслонки и частотой вращения коленчатого вала, рассчитывается соотношение потока регенерированного топливного газа к потоку воздуха. За счет циклического действия продувочного клапана поток регенерированного топливного газа может быть дальше снижен, что позволяет точно регулировать соотношение воздуха и топлива в смеси до уровня, обеспечивающего получение хороших характеристик работы двигателя.

Неисправности и диагностика

Контрольные функции в блоке управления обеспечивают непрерывную проверку сигналов всех датчиков на их достоверность. Если один из сигналов перестает соответствовать приемлемому диапазону измерений, то это означает либо дефект самого датчика, либо неисправность в его электрических соединениях.

Для того, чтобы автомобиль при недостоверности или прекращении поступления сигнала от датчика не вышел из строя, этот сигнал должен быть заменен исправным — для того чтобы водитель мог самостоятельно добраться на автомобиле до ближайшей специализированной автомастерской.

Например, при отсутствии сигналов о температуре двигателя, они заменяются на данные температуры, которые наблюдаются при прогретом двигателе: темпе-

ратура всасываемого воздуха 20° С и температура охлаждающей жидкости 100 ° С. Дефект в цепи лямбда-зонда приводит к блокировке лямбда-управления. Это означает, что параметры продолжительности впрыскивания топлива из лямбда-диаграммы корректируются только с помощью параметра адаптации рабочей смеси (если он имеется).

Если приемлемые сигналы от потенциометра дроссельной заслонки становятся не достоверными, то это означает, что одна из двух основных управляющих переменных становится недоступной. Другими словами, использование параметра продолжительности впрыскивания топлива, хранящегося в лямбда-диаграмме, становится невозможным. При этом форсунка управляется только импульсами постоянной продолжительности и используются два значения продолжительности впрыскивания топлива, зависящие от частоты вращения коленчатого вала.

Наряду с датчиками, непрерывному контролю подвергается также привод дроссельной заслонки (регулировка частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу).

Как только регистрируется отказ из строя датчика или привода дроссельной заслонки, то осуществляется соответствующий ввод этой информации в память, где она сохраняется на протяжении нескольких рабочих циклов (т. е. даже при отключении двигателя или нахождении автомобиля долгое время на стоянке), поэтому эту неисправность можно локализировать в автомастерской. Это также относится к неисправностям, возникающим спорадически (например, ослабление контактов).

Подача топлива

В системе впрыска форсунки впрыскивают топливо во впускной трубопровод либо непосредственно в камеру сгорания. Для этого топливо должно подаваться к форсункам под определенным давлением.

В этой главе описываются элементы, обеспечивающие подачу топливо от топливного бака к форсунке или, при непосредственном впрыске топлива, к насосу высокого давления.

Обзор

Система подачи топлива в основном содержит следующие компоненты (рис. 1):

- топливный бак 1;
- топливный насос с электроприводом 2;
- топливный фильтр 3;
- регулятор давления топлива 5;
- топливопроводы 4 и 8.

Топливный насос с электроприводом постоянно подает топливо из топливного бака через топливный фильтр к двигателю. Регулятор давления топлива обеспечивает постоянное давление в системе топливоподачи. Это давление зависит от типа системы впрыска.

При впрыске во впускной трубопровод топливо, подаваемое топливным электронасосом, течет через распределитель топлива (топливная рейка) к форсункам. В двигателях с непосредственным впрыском поданное топливо поступает в систему высокого давления через насос высокого давления.

Для того чтобы при любом режиме работы двигателя поддерживать необходимое давление топлива, количество этого топлива, поданного электронасосом, должно превышать потребность в нем двигателя. Избыток топлива направляется обратно в топливный бак (исключение: системы с управлением потребности в топливе).
В более старых системах топливный электронасос находился в топливопроводе вне топливного бака (последовательное соединение). В новейших системах топливный электронасос встроен в топливный бак. Он может интегрироваться в виде модуля вместе с другими узлами (например, с фильтром предварительной очистки топлива с датчиком уровня топлива).

Топливный насос с электроприводом начинает работать сразу при включении выключателя зажигания, для того чтобы обеспечить рост давления при запуске двигателя. Если двигатель не запускается, то примерно через одну секунду насос снова отключается.

Давление, которое создает топливный электронасос, в значительной степени не допускает образования пузырьков пара в топливе. Интегрированный в насос обратный клапан отсоединяет топливную систему от топливного бака, не допуская возвращения топлива в топливный бак. Этот клапан еще некоторое время поддерживает давление в системе после выключения топливного электронасоса, что препятствует образованию пузырьков пара в топливной системе при повышенных температурах топлива после выключения двигателя.

Подача топлива в системах с впрыском во впускной трубопровод

Стандартная система

Топливный насос с электроприводом нагнетает топливо и создает давление впрыска. Топливо из топливного бака поступает через бумажный фильтр (топливный фильтр) в магистраль высокого давления, а оттуда в установленный на двигателе распределитель топлива (топливную рейку) с форсунками (рис. 1а). Регулятор давления, закрепленный на топливной рейке, поддерживает постоянный перепад давления посредством дозирующего отверстия независимо от нагрузки двигателя (давление во впускном трубопроводе).

То количество топлива, в котором двигатель не нуждается, течет назад в топливный бак через топливную рейку по возвратному трубопроводу, связанному с регулятором давления. Подаваемое обратно топливо на пути от двигателя к топливному баку нагревается. Это приводит к повышению температуры топлива в топливном баке. В зависимости от этой температуры образуются топливные пары. Для того чтобы защитить окружающую среду, они направляются для промежуточного накопления в резервуар с абсорбером (активированный уголь) до того момента как они через систему вентиляции топливного бака не будут подаваться через впускной трубопровод во всасываемый воздух и вместе с ним в двигатель (система улавливания и рециркуляции топлива).

Система без рециркуляции

В системе подачи топлива без рециркуляции (рис. 1b) топливо в топливном баке нагревается меньше, чем в стандартной системе. Благодаря этому нормы по предельной эмиссии паров топлива в автомобиле выполняются легче.

Регулятор давления находится в топливном баке или в непосредственной близости от него. За счет этого становится не нужным возвратный трубопровод от двигателя к топливному баку. Только топливо, впрыскиваемое форсунками, подается в топливной рейке. Избыточное топливо, поданное топливным электронасосом, сразу направляется в топливный бак без попадания в моторный отсек. При остальных одинаковых граничных условиях, температура топлива в топливном баке, в зависимости от типа автомобиля, может снижаться примерно на 10 К и за счет этого уменьшать количество испаряющегося топлива примерно на одну треть.

Системы, управляемые в зависимости от потребности в топливе

Другой путь снижения температуры топлива в топливном баке и одновременно снижения расхода топлива может достигаться путем использования системы, управляемой в зависимости от потребности в топливе. При этом топливным насосом подается только то количество топлива, которое может быть израсходовано двигателем и при этом устанавливается необходимое давление топлива (рис. 2). Механический регулятор давления при этом не нужен. Регулировка давления осуществляется с помощью замкнутого контура управления в блоке управления двигателем с определением давления датчиком пониженного давления. Для регулировки количества топлива, подаваемого топливным насосом, его рабочее напряжение изменяется тактовым модулем, включаемым блоком управления двигателем. Дополняет систему разгрузочный клапан, который препятствует чрезмерному повышению давления топлива при его нагревании, отсечке топлива при движении накатом и выключении двигателя.

1 Подача топлива в системах с впрыском топлива во впускной трубопровод

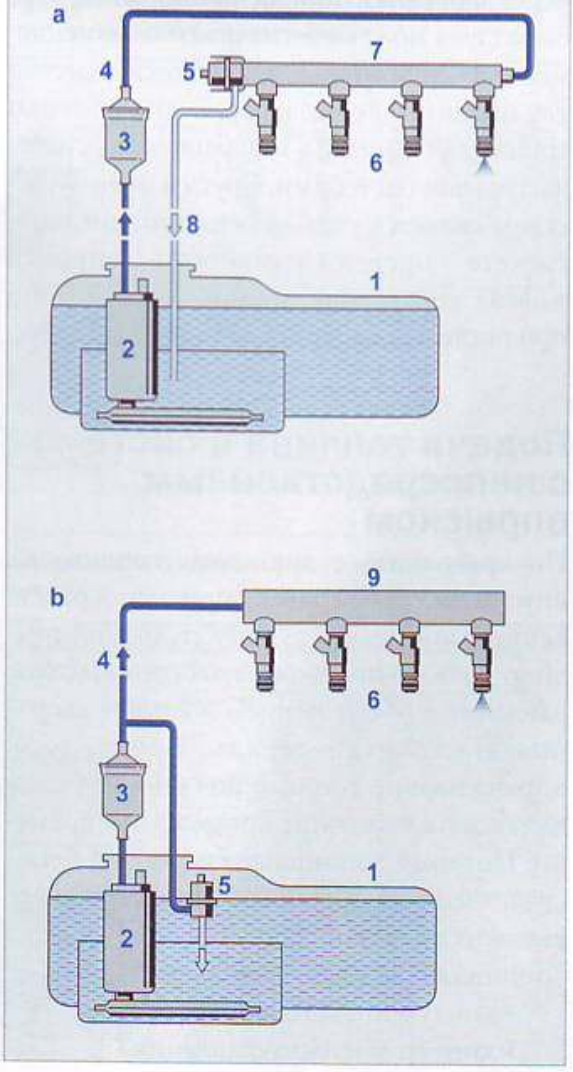


Рис. 1
a — стандартная система
b — система без рециркуляции топлива
1. Топливный бак
2. Топливный насос с электроприводом
3. Топливный фильтр
4. Нагнетательный трубопровод
5. Регулятор давления
6. Форсунки
7. Топливная рейка (с рециркуляцией)
8. Возвратный трубопровод рециркуляции топлива
9. Топливная рейка (без рециркуляции)

2 Управление подачи топлива в зависимости от потребности в нем в системах с впрыскиванием топлива во впускной трубопровод

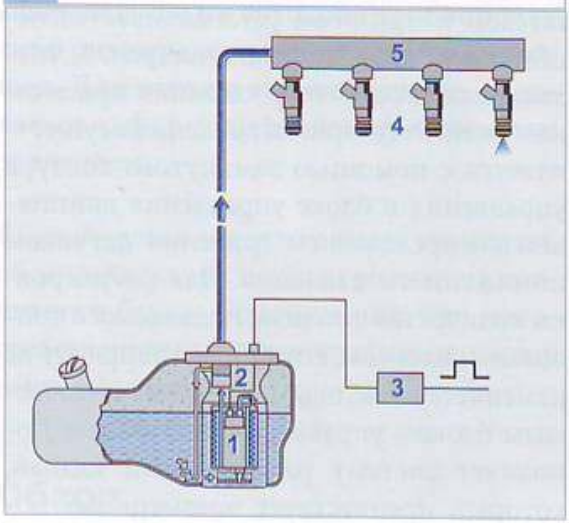


Рис. 2
Система, управляемая в зависимости от потребности в топливе
1. Топливный электроприводный насос с топливным фильтром (также топливный фильтр может размещаться снаружи топливного бака)
2. Разгрузочный клапан и датчик давления
3. Тактовый модуль
4. Форсунки
5. Топливная рейка (без рециркуляции)

Наряду с дальнейшим понижением температуры топлива и снижением его расхода на 0,1 л/100 км, для повышения давления топлива в условиях запуска прогретого двигателя или для расширения диапазона дозирования впрыскивания топлива через форсунки при использовании турбонаддува может обеспечиваться изменяемое давление. Далее появляются заметно улучшенные возможности диагностики топливной системы по сравнению с предыдущими системами. Другим преимуществом является учет давления топлива при расчете продолжительности впрыска в блоке управления двигателем, особенно при росте давления после пуска двигателя.

Подача топлива в системах с непосредственным впрыском

По сравнению с впрыском топлива во впускной трубопровод, при непосредственном впрыске в камеру сгорания, топливо должно преодолевать более высокое давление с обеспечением в камере сгорания послойного заряда. Кроме того, впрыскивание топлива должно осуществляться за короткий промежуток времени. Поэтому топливные системы с непосредственным впрыском требуют более высоких значений давления топлива.

Топливная система подразделяется на:
- контур низкого давления;
- контур высокого давления.

Контур низкого давления

В качестве контура низкого давления в системах с непосредственным впрыском выступают топливные системы и элементы, в принципе известные по впрыску во впускной трубопровод. Вследствие того, что применяемые в настоящее время насосы высокого давления в целом нуждаются в повышенном предварительном давлении при пуске прогретого двигателя и при его работе в условиях высокой температуры для предотвращения образования пузырьков пара, может быть выгодным регулировать низкое давление. Идеально это обеспечивается путем применения системы низкого давления, управляемой в зависимости от потребности в топливе. Но также могут использоваться и другие системы. Это может быть система без рециркуляции топлива с переключаемым давлением на входе (управляемые отсечным клапаном) или система с постоянным повышенным давлением топлива на входе.

Контур высокого давления

Контур высокого давления содержит:
- насос высокого давления;
- топливную рейку;
- датчик давления;
- клапан регулирования давления;
- ограничитель давления.

Различаются системы, подающие топливо постоянно, и системы с подачей топлива в зависимости от его потребности.

В зависимости от режима работы двигателя, посредством регулятора высокого давления в блоке управления двигателем в системе устанавливается начальное давление от 5 до 12 мПа. Форсунки высокого давления, которые впрыскивают топливо непосредственно в камеру сгорания двигателя, размещаются на топливной рейке.

Системы с непрерывной подачей топлива

Насос с приводом от распределительного вала двигателя, например, трехцилиндровый радиально-поршневой насос HDP1, нагнетает топливо, противодействуя давлению в системе, в топливную рейку. Ко-

личество подаваемого топлива при этом не регулируется. В избыточном топливе, не требуемом для впрыска или поддержания давления, давление снимается регулирующим давление клапаном и направляется обратно в систему низкого давления (рис. 3). Клапан, регулирующий давление, включается в действие блоком управления двигателем для получения требуемого давления в зависимости от режима работы двигателя. Этот регулировочный клапан одновременно служит в качестве ограничителя давления.

В системах с непрерывной подачей топлива при большинстве режимов работы двигателя начальное давление имеет большее количество топлива, чем это необходимо двигателю. Это приводит к выработке дополнительной мощности, и масса избыточного топлива со сброшенным давлением, протекающая через клапан регулирования давления, способствует нагреванию топлива. Это ясно демонстрирует преимущество систем с управлением подачи топлива в зависимости от потребности в нем.

Системы с управлением подачи топлива в зависимости от потребности в нем

Топливный насос (например, одноцилиндровый радиально-поршневой насос HDP2) подает в топливную рейку только то количество топлива, которое необходимо для впрыска и поддержания давления (рис. 4). Насос приводится от распределительного вала двигателя. Работа насоса регулируется блоком управления двигателем так, чтобы в топливной рейке устанавливалось то начальное давление, которое необходимо при заданном режиме работы двигателя. В топливной рейке необходимо использование механического ограничителя давления. По сравнению с системой непрерывной подачи топлива одноцилиндровым радиально-поршневым насосом, система с подачей топлива по потребности с помощью трехцилиндрового радиально-поршневого насоса требует большего объема топливной рейки, для того чтобы компенсировать падение давления во время циклов впрыскивания и поддерживать постоянный уровень этого давления.

Система улавливания и рециркуляции испарений топлива

Для выполнения установленных норм по предельной эмиссии испарений углеводородов, автомобили оснащаются системой улавливания и рециркуляции испарений топлива. Эта система не допускает проникания в окружающую среду паров топлива, попадающих в атмосферу из топливного бака.

3 Система с непрерывной подачей топлива

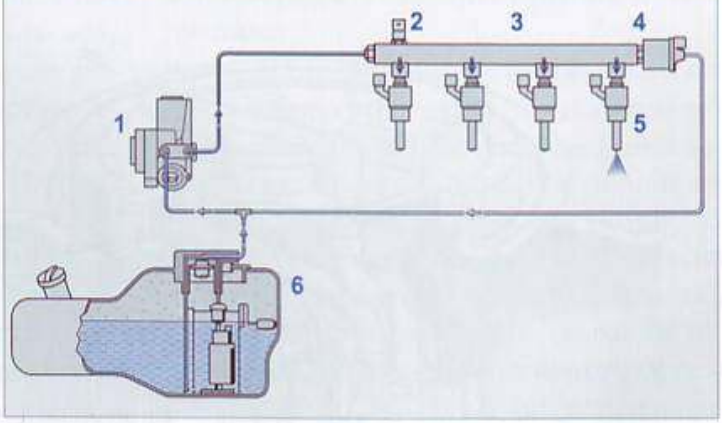


Рис. 3
1. Топливный насос высокого давления HDP1
2. Датчик высокого давления
3. Топливная рейка
4. Клапан регулирования давления
5. Форсунки для впрыскивания топлива под высоким давлением
6. Топливный бак с насосным модулем, включая насос предварительной подачи топлива

4 Система подачи топлива, управляемая в зависимости от потребности в нем

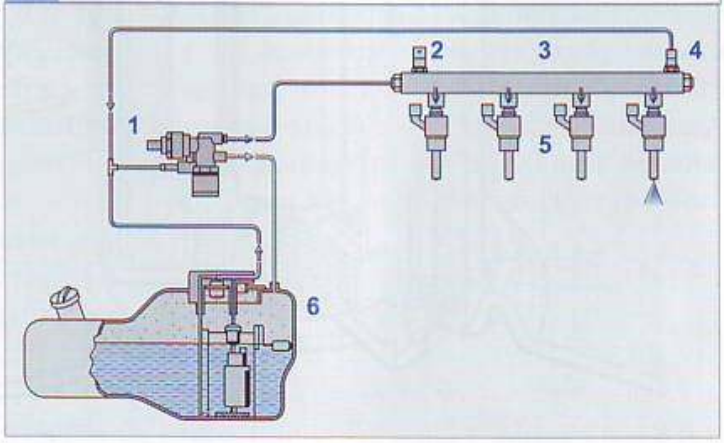


Рис. 4
1. Топливный насос высокого давления HDP2
2. Датчик высокого давления
3. Топливная рейка
4. Ограничитель давления
5. Форсунки для впрыскивания топлива под высоким давлением
6. Топливный бак с насосным модулем, включая насос предварительной подачи топлива

Интеграция в автомобиле: блок подачи топлива, встроенный в топливный бак

Если в начале истории электронного управления впрыском топливный электроприводный насос устанавливался исключительно снаружи топливного бака в топливопроводе (последовательно), то сегодня чаще всего топливный электроприводный насос размещается в топливном баке. При этом он является элементом блока, установленного в топливном баке, который также называется модулем подачи топлива. Этот модуль содержит все больше новых элементов, а именно:

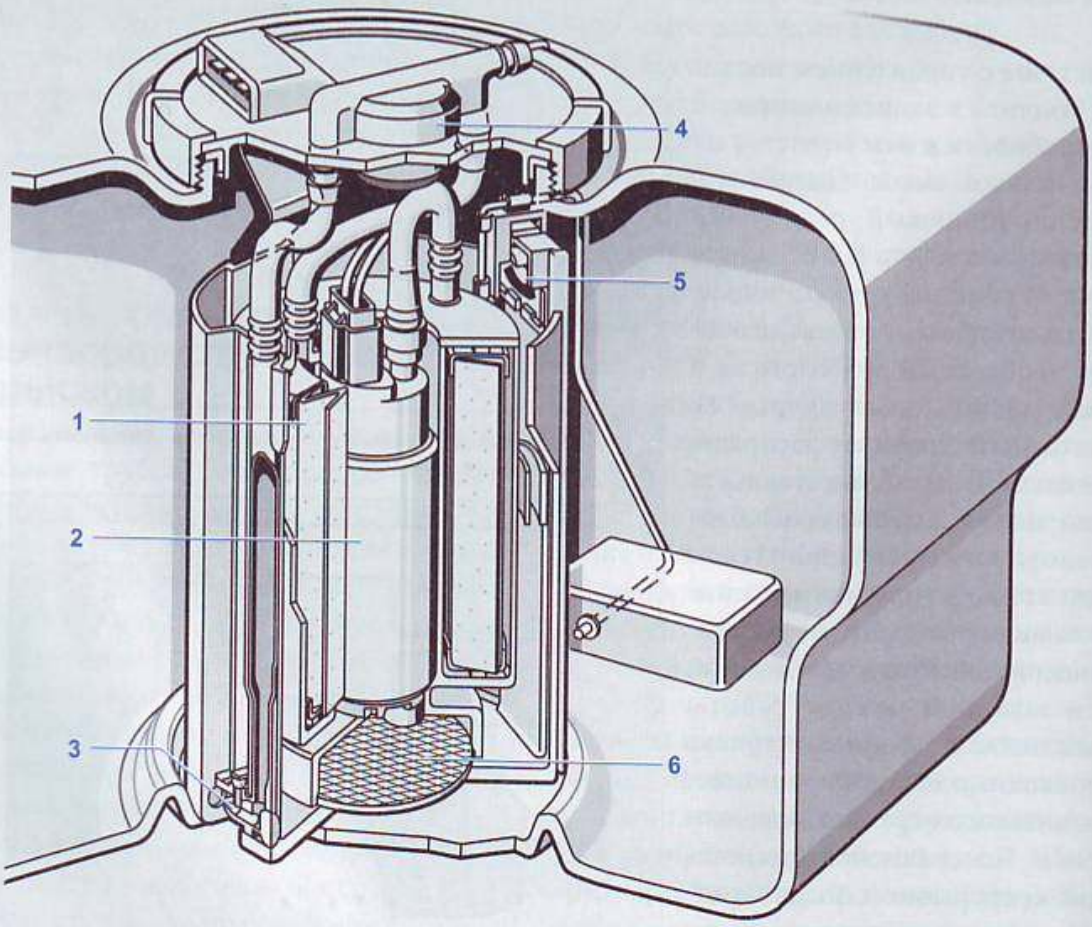
- фильтр предварительной очистки топлива;
- датчик уровня топлива в топливном баке;
- электрические и гидравлические соединительные разъемы;
- специальный бачок для резервного топлива, используемого при движении на резких поворотах (чтобы избежать перерывов в подаче топлива).

Этот бачок чаще всего заполняется топливом с помощью струйного насоса или отдельной добавочной ступенью топливного электроприводного насоса.

В топливных системах без рециркуляции топлива регулятор давления топлива, чаще всего интегрированный в блок подачи топлива, встроенный в топливный бак, обеспечивает возврат топлива в бак. Фильтр тонкой очистки топлива также может размещаться в этом блоке топливоподачи.

В будущем в подающий модуль будут интегрированы другие функции, например, диагностические устройства утечки в топливном баке или тактовый модуль управления топливным электронасосом.

Блок, встроенный в топливный бак: комплексное решение для топливной системы без рециркуляции топлива



1. Топливный фильтр
2. Топливный электроприводный насос
3. Струйный насос (замкнутый контур управления)
4. Регулятор давления топлива
5. Датчик уровня топлива в топливном баке
6. Фильтр предварительной очистки топлива

Образование паров топлива

Большое количество топливных паров выходит из топливного бака при следующих условиях:

- при нагреве топлива в топливном баке за счет повышенной температуры окружающего воздуха или за счет возврата в топливный бак топлива, нагретого в моторном отсеке и не понадобившегося в процессе сгорания;
- при снижении атмосферного давления, например, при движении на большой высоте над уровнем моря.

Конструкция и принцип действия

Система улавливания и рециркуляции испарений топлива (рис. 1) имеет резервуар с активированным углем 3, в который введена вентиляционная трубка 2 от топливного бака 1, а также продувочный клапан 5, который соединен как с резервуаром, так и с впускным трубопроводом 8.

Активированный уголь абсорбирует топливо, содержащееся в топливных парах, и выпускает в атмосферу только воздух. Как только продувочный клапан открывает магистраль 6 между резервуаром с углем и впускным трубопроводом, то за счет разрежения во впускном трубопроводе свежий воздух 4 пропускается через активированный уголь. Свежий воздух затем впитывает абсорбированное топливо и подает его для сгорания (продувка или регенерация активированного угля). Управление системой снижает количество впрыскиваемого топлива на ту величину, что возвратилось во впускной трубопровод через продувочный клапан.

Регенерация представляет собой замкнутый контур управления, посредством чего постоянно рассчитывается концентрация топлива в потоке продувочного топливного газа на основе изменений коэффициента избытка воздуха λ.

Управление регенерированным количеством топлива осуществляется в зависимости от рабочих режимов двигателя и это количество может точно дозироваться продувочным клапаном. Для того чтобы резервуар с угольным абсорбером был способен поглощать пары топлива, активированный уголь должен восстанавливаться через регулярные интервалы.

1 Система улавливания и рециркуляции испарений топлива

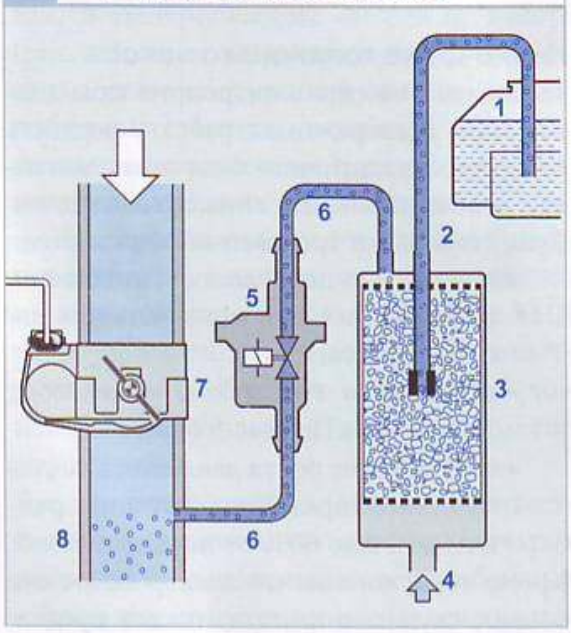


Рис. 1
1. Топливный бак
2. Вентиляционная трубка топливного бака
3. Резервуар с активированным углем
4. Свежий воздух
5. Продувочный клапан
6. Магистраль к впускному трубопроводу
7. Дроссельная заслонка
8. Впускной трубопровод

Особенности системы с непосредственным впрыском топлива

Регенерация угольного абсорбера в системах с непосредственным впрыском топлива при послойном распределении заряда смеси ограничивается меньшим низким уровнем разрежения во впускном трубопроводе (за счет практически полного устранения дросселирования), а также за счет неполного сгорания гомогенного распределения топливного газа из абсорбера. Это приводит к уменьшению подачи регенерированного топлива по сравнению с гомогенным режимом. Например, если поступление топливного газа из угольного резервуара не соответствует высокому уровню испаряемости топлива, то двигатель должен работать на гомогенной смеси до тех пор, пока высокая концентрация топлива в топливном газе не снизится до достаточного уровня.

Топливный электроприводный насос

Назначение топливного насоса

Топливный насос с электроприводом должен при всех режимах работы подавать в двигатель достаточное количество топлива с необходимым для впрыска давлением. Существенными требованиями являются:

- количество подаваемого топлива от 60 до 200 л/ч при номинальном напряжении питания;
- давление в топливной системе от 300 до 450 кПа (3–4,5 бар);
- обеспечение роста давления в системе при напряжении питания, равном от 50 до 60% от номинального.

Кроме того, топливный электронасос все больше служит в качестве насоса предварительной подачи в современных системах с непосредственным впрыском, как в двигателях с искровым зажиганием, так и в дизельных двигателях.

В системах с непосредственным впрыском насос при прогретом двигателе должен обеспечивать давление подачи до 700 кПа.

Конструкция

Топливный электронасос состоит из:

- торцевой крышки A (рис. 1), в которую, если требуется, встраиваются элементы для устранения радиопомех от работы системы зажигания;
- электродвигатель B;
- элемент насоса C, выполненный как поршневой или центробежный (описание в разделе «Типы насосов»).

Типы насосов

Поршневые (плунжерные) насосы

В поршневом насосе топливо всасывается, затем сжимается в закрытой камере за счет вращение насосного элемента и подается на сторону высокого давления. В качестве топливных электронасосов используются шиберный роликовый насос и шестеренный насос с колесом с внутренним зацеплением (рис. 2a, 2b). Поршневые насосы выгодны при высоких давлениях в системе (400 кПа и выше) и обладают очень хорошими характеристиками при низком напряжении питания. Это означает, что они

1 Конструкция топливного электроприводного насоса на примере центробежного насоса

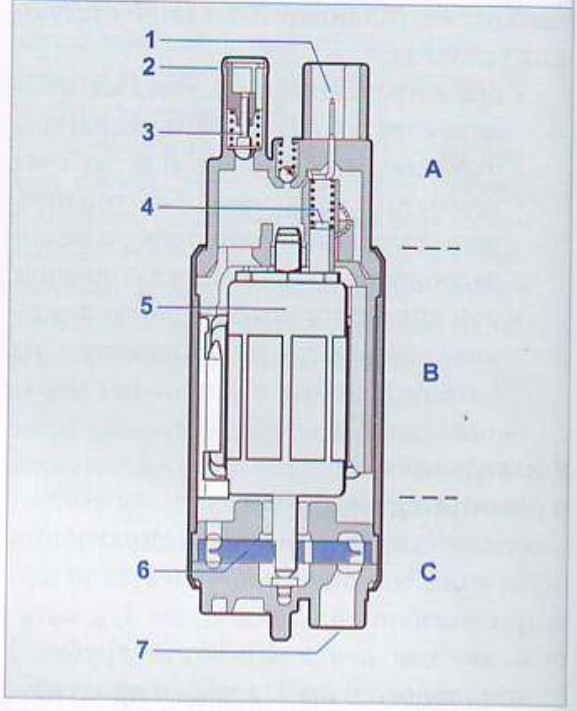


Рис. 1
1. Электроразъем
2. Гидравлический соединительный разъем (выпуск топлива)
3. Обратный капан
4. Графитовые щетки
5. Якорь двигателя с постоянным магнитом
6. Рабочее колесо лопастного насоса
7. Гидравлическое соединительное устройство (подача топлива)

имеют относительно «плоскую» характеристику «подача-скорость» в функции рабочего напряжения. КПД насоса может достигать 25%.

В зависимости от конструктивного и установочного исполнения деталей и положения, неустраняемая пульсация давления может вызывать неизбежные при этом шумы. Другим, иногда возникающим недостатком может быть снижение подачи при горячем топливе, т. к. в нем образуются пузырьки газа, и по этой причине обычные поршневые насосы снабжаются периферийной предварительной ступенью для дегазации жидкого топлива.

В то время как в системах электронного впрыска топлива топливный электронасос поршневого типа большей частью был заменен центробежным насосом, для поршневого насоса открывается новая область применения для подачи топлива в системе с непосредственным впрыском топлива, которая требует для своей работы существенно большего давления топлива.

Центробежные (лопастные) насосы

Этот тип насоса имеет рабочее колесо, снабженное по периметру многочисленными лопатками 6 (рис. 2c), вставленными в пазы по периферии колеса. Рабочее коле-

со с лопатками вращается в камере, образованной двумя неподвижными секциями корпуса, каждая из которых имеет канал 7, примыкающий к лопаткам. Этот канал начинается на уровне впускного окна A и заканчивается там, где топливо покидает насос через выход B под давлением системы. Затвор 8 между началом и концом канала препятствует внутренней утечке топлива.

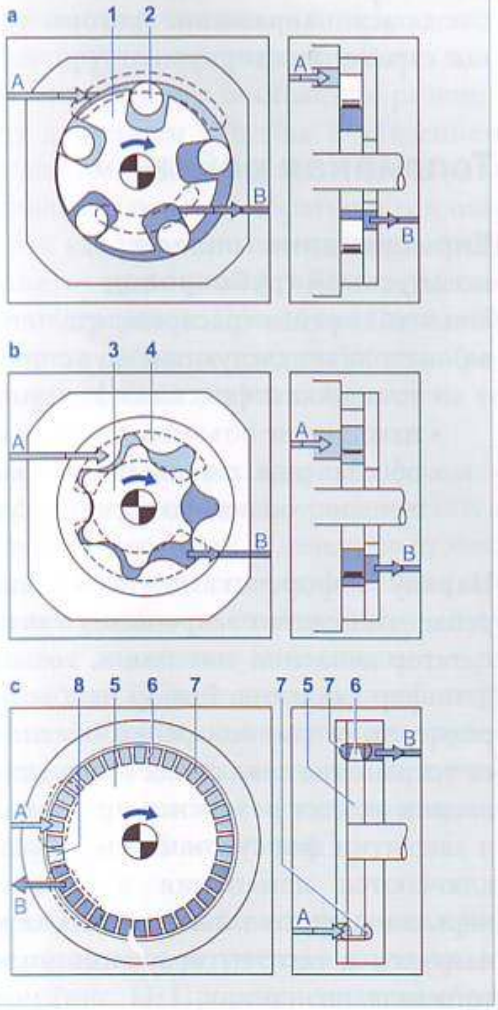
Для улучшения характеристики нагнетания горячего топлива на определенном угловом расстоянии от отверстия всасывания находится маленькое отверстие для дегазации, через которое обеспечивается выход любых пузырьков паров топлива (не обязательно при применении на дизельных двигателях).

Давление растет по длине канала 7 за счет обмена импульсами между лопатками рабочего колеса и частицами жидкого топлива. Это приводит к спиралевидному вращению объема жидкого топлива, захватываемого рабочим колесом и в каналах. В центробежном вихревом насосе (рис. 2c) канал окружают лопатки рабочего колеса по всей его окружности. В центробежном открыто-вихревом насосе оба канала располагаются с двух сторон рабочего колеса рядом с его лопатками.

Центробежные насосы создают мало шума, т.к. рост давления осуществляется непрерывно и почти без пульсации. КПД равен примерно от 10 до 20%. Но конструкция центробежных насосов по сравнению с поршневыми является заметно упрощенной.
Давление в системе до 450 кПа достигается также с помощью одноступенчатых насосов. В перспективе центробежные насосы также будут применяться для получения более высоких значений давления для двигателей с высоким наддувом, а также для двигателей с непосредственным впрыском топлива.

Из-за небольшой стоимости и малошумности в работе, почти все без исключения центробежные насосы используются на современных двигателях с искровым зажиганием.

2 Принципы действия топливных насосов с электроприводом



Топливный фильтр

Системы впрыска в двигателях с искровым зажиганием работают с высочайшей точностью. Для того, чтобы не повредить прецизионные узлы, эти системы нуждаются в эффективной очистке топлива. Фильтры в топливной системе отделяют частицы, вызывающие износ. Они могут быть выполнены в виде сменных фильтров последовательного расположения или вмонтированы в топливный бак на весь срок службы. В осаждении загрязняющих веществ в форме твердых частиц, наряду с эффектом просеивания, принимают участие также эффекты столкновения, диффузии и блокировки. Фильтрующая способность этих отдельных эффектов зависит от размера и скорости прохождения частиц. Фильтрующая среда настроена на это.

Рис. 2
a — шиберный роликовый насос
b — шестеренный насос с внутренним зацеплением
c — центробежный насос
A — впускное окно
B — выход насоса
1. Ротор с пазами
2. Ролик
3. Внутреннее ведущее колесо
4. Ротор
5. Рабочее колесо
6. Лопатка рабочего колеса
7. Канал (периферийный)
8. Затвор

В качестве фильтрующей среды получила распространение складчатая бумага 3 (рис. 1), частично со специальной пропиткой. Она размещается в топливной системе таким образом, что скорость потока топлива через все секции поверхности фильтрующей среды поддерживается максимально возможно одинаковой.

В системах с впрыском топлива во впускной трубопровод фильтрующий элемент имеет средний размер пор 10 мкм. При непосредственном впрыске требуется значительно более тонкая фильтрация. Частицы величиной более 5 мкм должны отфильтровываться на 85%.

Кроме того, для двигателей с непосредственным впрыском топлива важным является то, что новый фильтр, после его изготовления, не должен иметь загрязняющие частицы (частицы металлов, минералов и пластмассы, а также стекловолокна) с размерами, превышающими 200 мкм.

Срок службы (гарантированный пробег) традиционных фильтров последовательного расположения, в зависимости от объема фильтра, составляет от 60 до 90 тыс. км пробега. Для фильтров, встроенных в топливный бак, гарантируется срок службы 160 тыс. км пробега. Для систем с непосредственным впрыском существуют фильтры, встроенные в топливный бак или последовательного расположения, со сроком службы более 250 тыс. км пробега.

Корпус 2 (рис. 1) фильтра изготавливается на выбор из стали, алюминия или синтетики (полностью без использования металла). Он имеет резьбовые, шланговые или быстродействующие соединения.

Эффективность фильтра зависит от направления движения потока. Поэтому при замене фильтров последовательного расположения обязательно должно соблюдаться направление потока, указанное стрелкой на корпусе.

1 Топливный фильтр в разрезе

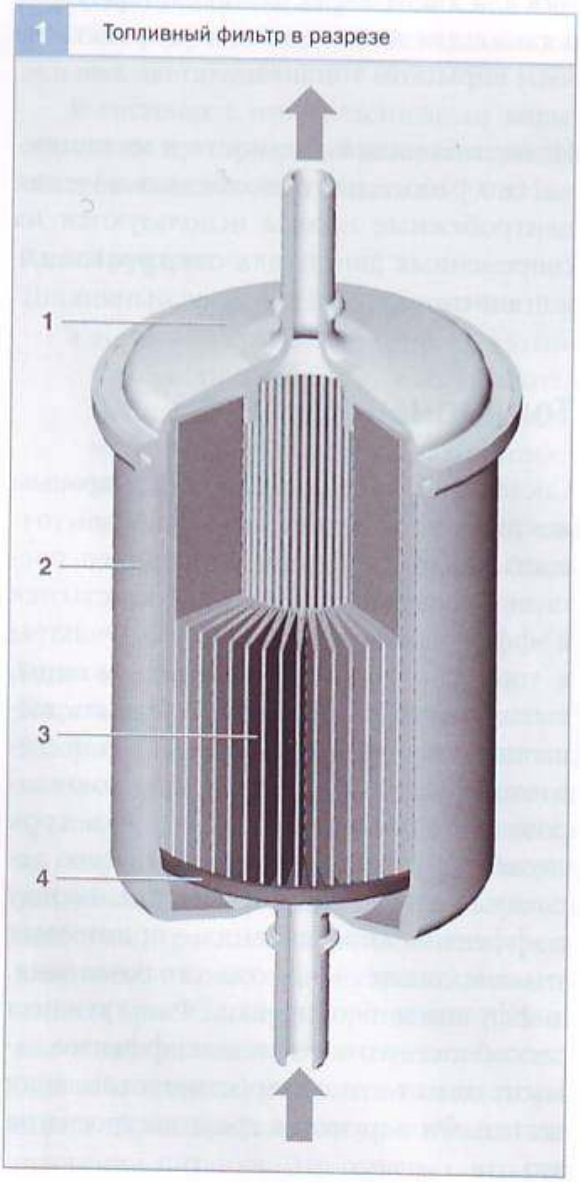


Рис. 1
1. Крышка
2. Корпус
3. Фильтрующий элемент
4. Опорная пластина

Топливная рейка

Впрыскивание топлива во впускной трубопровод

Топливная рейка (распределитель топлива) выполняет следующие функции:

- установка и фиксация форсунки;
- накопление объемов топлива;
- обеспечение равномерного распределения топлива по всем форсункам.

Наряду с форсунками, на топливной рейке чаще всего закреплены также регулятор давления топлива и, возможно, демпфер давления. Выбор необходимых размеров топливной рейки обеспечивает устранение локальных изменений давления за счет резонанса при открытии и закрытии форсунок. За счет этого исключаются изменения в количестве впрыскиваемого топлива, зависящие от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала.

В зависимости от требований, предъявляемых к различным типам автомобилей, топливная рейка изготавливается из высококачественной стали или пластмассы. Для испытаний в условиях автомастерской в топливную рейку может быть встроен диагностический клапан.

Непосредственный впрыск топлива

При непосредственном впрыске топливная рейка располагается за насосом высокого давления и является интегральной частью ступени высокого давления.

Регулятор давления топлива

Впрыск во впускной трубопровод

Количество топлива, впрыскиваемого форсункой, зависит от продолжительности впрыскивания и разницы между давлением топлива в топливной рейке и противодавлением, существующем во впускном трубопроводе. В системах с рециркуляцией топлива влияние давления компенсируется тем, что регулятор давления поддерживает постоянную разницу между давлением топлива и давлением во впускном трубопроводе. Этот регулятор давления отводит обратно в топливный бак как раз столько топлива, чтобы сохранять постоянный перепад давления на форсунках. Для полной очистки топливной рейки от топлива обычно регулятор давления устанавливается на ее конце.

В системах без рециркуляции топлива регулятор давления располагается в модуле, встроенном в топливный бак. Давление топлива поддерживается на постоянном уровне по отношению к атмосферному давлению. Это означает, что разница между давлением в топливной рейке и давлением во впускном трубопроводе не является постоянной, и учитывается при расчете продолжительности впрыскивания топлива.

Регулятор давления сконструирован в виде мембранного регулятора давления со сливом (рис. 1). Прорезиненная мембрана 4 делит регулятор давления топлива на топливную и пружинную камеры. Пружина 2 через держатель клапана 3, выполненный заодно с мембраной, прижимает подвижно расположенную пластину клапана к его седлу. Если усилие, которое оказывает на мембрану давление топлива, превышает усилие пружины, то клапан открывается и пропускает в топливный бак как раз столько топлива, чтобы на мембране устанавливалось равновесие сил.

1 Регулятор давления топлива DR2

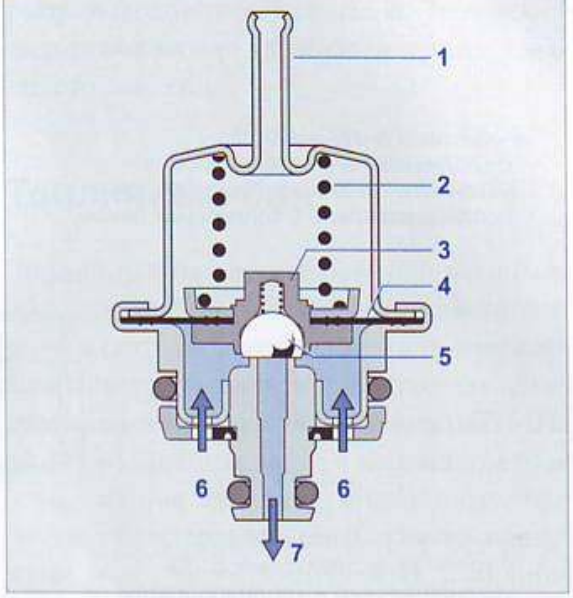


Рис. 1
1. Магистраль, соединенная с впускным трубопроводом
2. Пружина
3. Держатель клапана
4. Мембрана
5. Клапан
6. Подача топлива
7. Возврат топлива в топливный бак

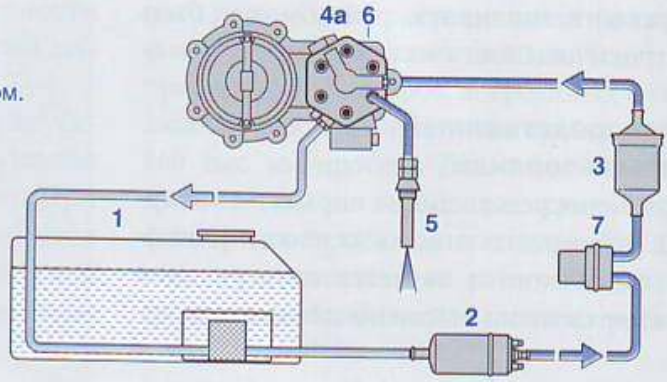
В системах с распределенным впрыском, для того чтобы разрежение во впускном трубопроводе могло воздействовать на пружинную камеру, она пневматически соединяется с впускным трубопроводом за дроссельной заслонкой. Поэтому одно и то же давление действует на форсунки. Это означает, что перепад давления на форсунках зависит только от усилия пружины и площади мембраны и, следовательно, остается постоянным.

Непосредственный впрыск бензина

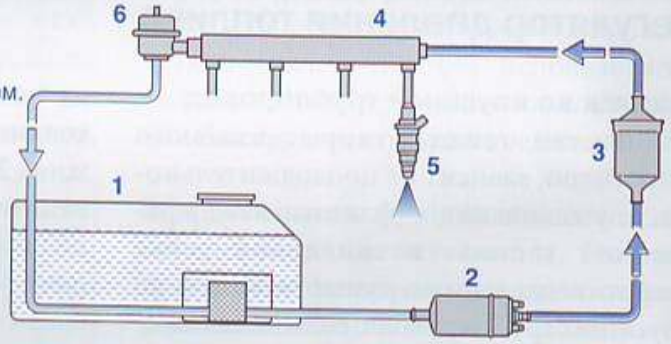
В системах с непосредственным впрыском давление должно регулироваться как в контуре низкого, так и в контуре высокого давления. Для регулировки в контуре низкого давления используются те же регуляторы давления топлива, что и в системах с впрыском топлива во впускной трубопровод.

1 Развитие систем подачи топлива (примеры)

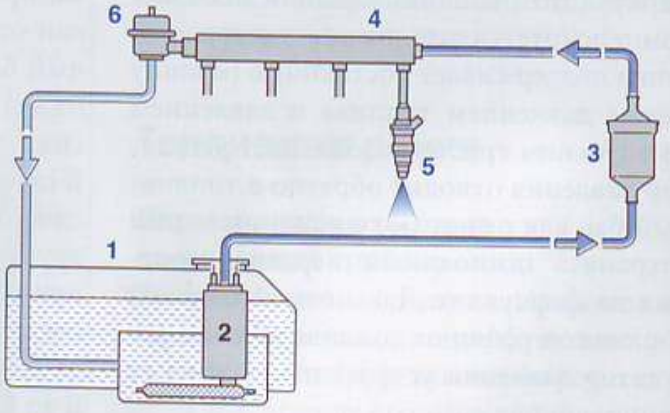
a– система K–/KE–Jetronic с топливным электронасосом, установленным в топливопроводе последовательно с топливным баком.



b– система L–Jetronic/Motronic с топливным электронасосом, установленным в топливопроводе последовательно с топливным баком.



c– L–Jetronic/Motronic с топливным электронасосом, установленным в топливном баке.



d– Mono–Jetronic с топливным электронасосом, установленным в топливном баке.

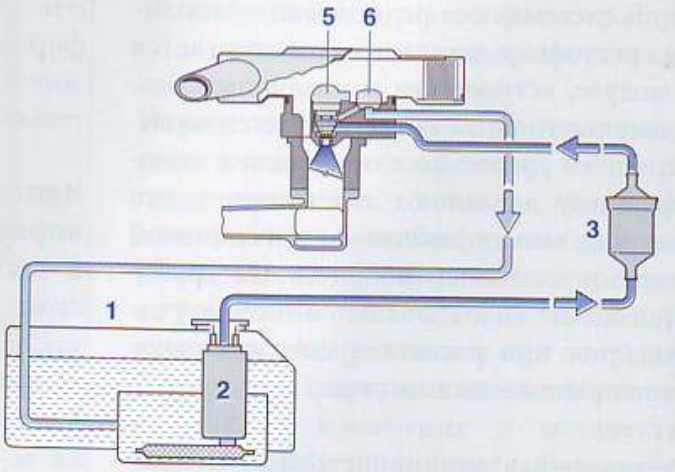


Рис. 1

1. Топливный бак
2. Топливный электронасос (ЕКР)
3. Топливный фильтр
4. Топливная рейка

4a. Распределитель топлива (в системе K-/KE-Jetronic)

5. Форсунка
6. Регулятор давления
7. Накопитель топлива (в системе K-/KE-Jetronic)

Демпфер давления топлива

Повторяющиеся открытие и закрытие форсунок вместе с периодической подачей топлива топливными электронасосами поршневого типа приводят к колебаниям давления топлива. Эти колебания могут вызывать резонансы давления и тем самым нарушать точность дозировки топлива. Колебания при определенных обстоятельствах могут передаваться через крепежные элементы топливного электронасоса, топливопроводов и топливной рейки на топливный бак и кузов автомобиля и вызывать шумы.

Эти проблемы устраняются путем использования монтажных элементов специальных конструкций демпферов давления топлива.

Конструкция демпферов давления топлива внешне схожа с конструкцией регулятора давления топлива. Так же как и в нем, нагруженная пружиной мембрана разделяет топливную и воздушную камеры. Усилия пружины выбраны такими, что мембрана приподнимается от своего седла, как только давление топлива достигнет рабочего диапазона. Изменяющийся за счет этого объем топливной камеры может принимать топливо при возникновении скачков давления и при снижении давления снова отдавать топливо. Для того чтобы при колебаниях абсолютного давления топлива, зависящего от условий, существующих во впускном трубопроводе, постоянно обеспечивалась работа в наиболее благоприятном эксплуатационном диапазоне, пружинная камера может быть соединена с впускным трубопроводом.

Как и регулятор давления топлива, демпфер давления топлива может крепиться на топливной рейке или устанавливаться в топливопроводе. В системе с непосредственным впрыском топлива дополнительным местом монтажа может быть высоконапорный насос. Этот демпфер также может крепиться к насосу высокого давления.

Топливный бак

Топливный бак, в котором хранится бензин, должен быть коррозионноустойчивым и сохранять герметичность при двукратном превышении рабочего давления или как минимум при давлении 0,03 МПа (0,3 бар). Возникающее в топливном баке повышенное давление может автоматически сбрасываться посредством отверстий или предохранительных клапанов. На поворотах, в наклонном положении или при столкновениях топливо не должно выливаться через заливную горловину или устройства для выравнивания давления. Топливный бак должен быть удален от двигателя настолько, чтобы при авариях избежать воспламенения топлива.

Топливопроводы

По топливопроводам подается топливо от топливного бака к системе впрыска. Могут устанавливаться бесшовные, упругие металлические трубки или шланги из трудновоспламеняемых материалов, устойчивые против воздействия топлива. Они должны быть расположены так, чтобы не допустить механических повреждений и в случае дефекта капающее или испаряющееся топливо не могло скапливаться или возгораться. Все узлы, по которым поступает топливо, должны быть защищены от нагрева, нарушающего их работоспособность. Топливо не должно подаваться за счет силы тяжести.

Впрыскивание топлива во впускной трубопровод

В двигателях с впрыскиванием топлива во впускной трубопровод подготовка рабочей смеси осуществляется вне камеры сгорания — во впускном трубопроводе. Эти двигатели, а также системы, управляющие ими, постоянно совершенствуются. Благодаря лучшей дозировке топлива они полностью вытеснили карбюраторные двигатели, которые тоже работают по принципу внешнего приготовления рабочей смеси.

Обзор

В современных автомобилях высокие требования предъявляются к комфорту движения и составу ОГ, а отсюда — к составу рабочей смеси. Наряду с точной дозировкой впрыснутой массы топлива в соответствии с количеством воздуха, всасываемого двигателем, значение имеет также точность момента впрыскивания топлива.

Эти требования возрастают все больше и больше в соответствии с ужесточением норм по предельной токсичности ОГ. На основании этого шло дальнейшее совершенствование систем впрыска.

Современным уровнем развития системы впрыска во впускной трубопровод можно назвать систему распределенного впрыска с электронным управлением, в которой топливо периодически впрыскивается для каждого цилиндра отдельно (т.е. со смещением по времени) прямо на впускные клапаны.

Принцип действия

Системы впрыска топлива во впускной трубопровод характеризуются тем, что рабочая смесь образуется за пределами камеры сгорания, т.е. во впускном трубопроводе (рис. 1). Форсунка 5 впрыскивает топливо непосредственно на впуск-

1 Впрыскивание топлива во впускной трубопровод

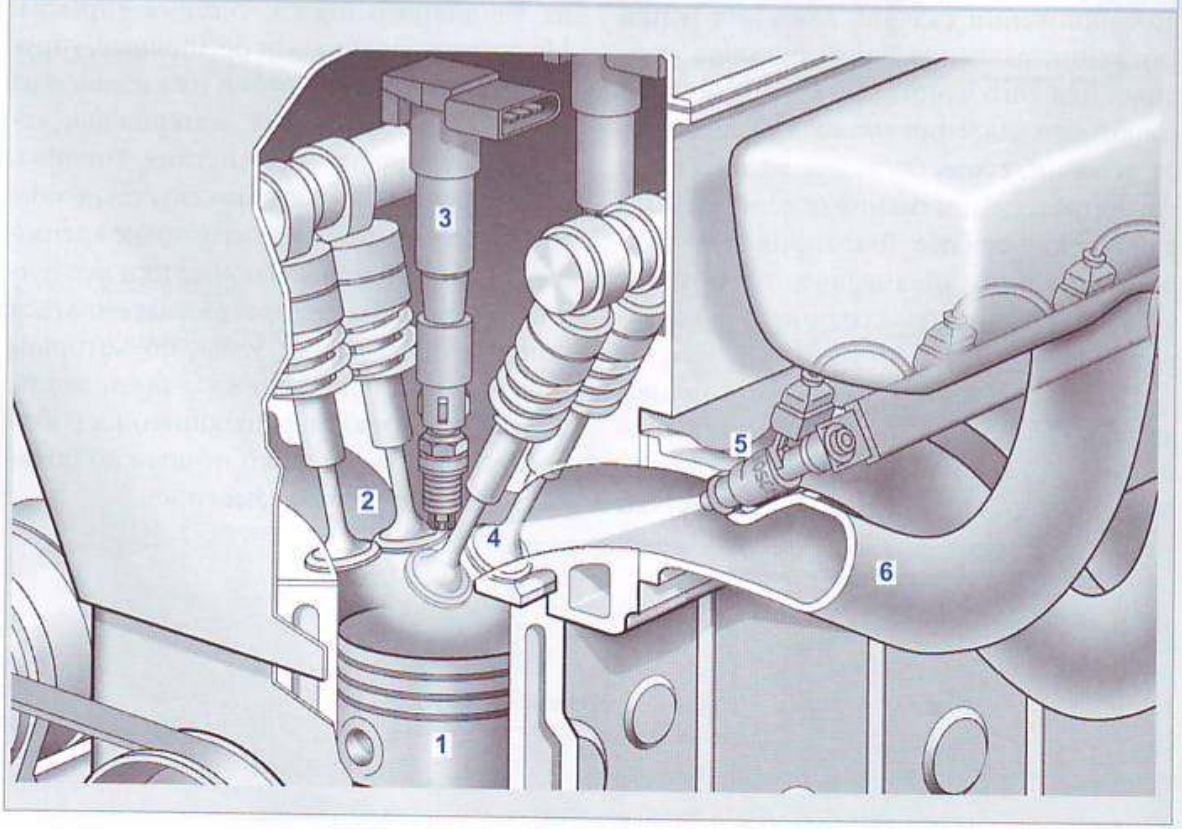


Рис. 1
1. Поршень
2. Выпускные клапаны
3. Катушка зажигания со свечой зажигания
4. Впускные клапаны
5. Форсунка
6. Впускной трубопровод

ные клапаны 4, где оно вместе с воздухом образует рабочую смесь, которая проходит через открытые впускные клапаны в цилиндр. Один цилиндр может иметь один, два либо три впускных клапана.

Впускные клапаны имеют такую конструкцию, что потребность двигателя в топливе покрывается при любых обстоятельствах, включая режим полной нагрузки и высокую частоту вращения коленчатого вала.

Образование рабочей смеси

Впрыскивание топлива

Топливный насос с электроприводом подает топливо к форсункам, где оно готово для впрыскивания. Там топливо находится под давлением в системе. В системах с распределенным впрыском на каждый цилиндр приходится одна форсунка, через которую дискретно впрыскивается топливо во впускной трубопровод 6 непосредственно на впускной клапан. Там тонко распыленное топливо большей частью испаряется и образует с воздухом, поступающим через дроссельную заслонку, рабочую смесь. Для того чтобы на образование рабочей смеси было достаточно времени, представляется оптимальным, когда топливо впрыскивается на закрытый впускной клапан и накапливается перед ним.

Часть топлива оседает в виде пленки на стенках вблизи впускных клапанов. Толщина пленки на стенках зависит от давления во впускном трубопроводе и, следовательно, от нагрузки на двигатель. Для хорошей динамичной реакции двигателя масса топлива, сохраняющаяся в виде пленки на стенках, должна быть как можно меньше. Это достигается за счет соответствующей формы впускного трубопровода и геометрии струи распыла топлива. Так как форсунка располагается прямо перед впускным клапаном, то эффект от такой пленки на стенках в системах распределенного впрыска намного меньше, чем в прежних карбюраторных двигателях и в системах с центральным впрыском.

Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор при наличии стехиометрического соотношения топлива и воздуха в рабочей смеси ($\lambda = 1$) обеспечивает химическую нейтрализацию значительной части токсичных веществ, образующихся при сгорании. Поэтому двигатели с впрыском во впускной трубопровод в большинстве своих рабочих режимов эксплуатируются с таким составом смеси.

Измерение массы воздуха

Для того чтобы рабочая смесь могла точно регулироваться, огромное значение придается измерению массы воздуха, участвующей в процессе сгорания.

Измеритель массы воздуха, расположенный перед дроссельной заслонкой, измеряет поток массы воздуха, который входит во впускной трубопровод, и посылает электрический сигнал в блок управления двигателем. В качестве альтернативы существуют также системы, которые с помощью датчика давления измеряют давление во впускном трубопроводе и на его основе, в сочетании с данными о положении дроссельной заслонки и частоте вращения коленчатого вала, рассчитывают массу поступившего воздуха. Блок управления, исходя из массы этого воздуха и нагрузки на двигатель в данный момент, вычисляет необходимую массу топлива.

Продолжительность впрыскивания топлива

Для впрыскивания расчетной массы топлива необходимо заданное время, называемое продолжительностью впрыскивания, которое является функцией площади поперечного сечения открытия форсунки и разницы давлений во впускном трубопроводе и системе подачи топлива.

Электромагнитные форсунки

Назначение

Электромагнитные форсунки (с управлением соленоидом) впрыскивают во впускной трубопровод топливо, находящее-

ся под давлением в системе. Они позволяют дозировать количество топлива, точно соответствующее потребности двигателя, и управляются сигналом, рассчитанным системой управления двигателем, посредством оконечных каскадов, которые интегрированы в блок управления двигателем.

Конструкция и принцип действия

Электромагнитные форсунки (рис. 1) состоят в основном из:

- корпуса 9 с электрическим 8 и гидравлическим 1 соединительными разъемами;
- обмотки электромагнита 4;
- подвижного игольчатого клапана 6 с якорем соленоида и запорным сферическим элементом;
- седла 10 клапана с распылительной пластиной (с отверстием) 7 для впрыскивания топлива;
- пружины 5.

Для обеспечения бесперебойной работы форсунки те ее части, которые контактируют с топливом, изготовлены из нержавеющей стали. Фильтровальная сетка 3 в приемном канале форсунки защищает ее от загрязнений, содержащихся в топливе.

Соединительные разъемы

В используемых в настоящее время форсунках подача топлива осуществляется по оси форсунки сверху вниз. Топливопровод закреплен на гидравлическом соединительном разъеме 1 с помощью специального зажимного устройства. Крепежные хомуты обеспечивают надежную фиксацию. Уплотнительное кольцо 2 на гидравлическом соединительном разъеме позволяет герметично соединить форсунку с топливной рейкой.

Форсунка имеет электрическое соединение с блоком управления двигателем.

Работа форсунки

Когда соленоид форсунки обесточен, пружина и усилие, возникающее за счет давления топлива, прижимают иглу клапана с запорным сферическим элементом к седлу клапана конической формы. За счет этого система подачи топлива герметизируется относительно впускного трубопровода. Когда на обмотку подается напряжение, за счет тока возбуждения возникает электромагнитное поле, которое притягивает якорь иглы клапана. Запорный сферический элемент приподнимается над седлом клапана, и происходит впрыскивание топлива. Когда ток возбуждения выключается, игла клапана, за счет усилия пружины, снова опускается на седло, закрывая форсунку.

Впрыскивание топлива

Распыление топлива осуществляется через одно или несколько отверстий в распылительной пластине. С помощью этих отверстий достигается точное постоянство впрыскиваемого количества топлива. Распылительная пластина с отверстиями исключает образование осадков топлива. Форма струи распыливаемого топлива зависит от расположения и числа этих отверстий.

Хорошая герметичность клапана в области седла обеспечивается за счет принципа уплотнения конус/сферический элемент.

Форсунка устанавливается в предусмотренное для этого отверстие во впускном трубопроводе. Нижнее уплотнительное кольцо служит для герметизации форсунки относительно впускного трубопровода. Количество топлива, впрыскиваемого за единицу времени, в основном определяется:

- давлением в системе подачи топлива;
- противодавлением во впускном трубопроводе;
- геометрией зоны выхода топлива.

Типы конструкций

С течением времени форсунки все больше совершенствовались и адаптировались к возрастающим требованиям со стороны технологии, качества, надежности и веса. Так появились различные конструкции форсунок.

Форсунка модели EV6

Форсунка EV6 представляет собой стандартный инжектор для современных систем впрыска топлива (рис. 1 и 2а). Эта форсунка отличается небольшими внеш-

ними размерами и незначительным весом, благодаря чему такие форсунки создают предпосылки концепции компактных впускных модулей.

Кроме того, форсунка EV6 демонстрирует хорошие качества при работе на горячем топливе, что, в свою очередь, означает незначительную склонность к образованию пузырьков паров топлива. Это облегчает применение систем подачи топлива без рециркуляции, в которых температура топлива в форсунке выше, чем в системах с рециркуляцией топлива. Благодаря наличию износостойких поверхностей, форсунка EV6 обладает большим сроком службы и высокой степенью воспроизводимости количества впрыскиваемого топлива за большой промежуток времени.

За счет высокой герметичности эти форсунки выполняют все перспективные требования, относящиеся к достижению низкой испаряемости топлива. Это означает, что пары топлива из форсунки не проступают.

Для лучшего распыления топлива был разработан вариант форсунки EV6 с воздушным кожухом. Тонкое распыление топлива может создаваться и другим способом: в перспективе, наряду с применяемыми сегодня распылительными пластинами, располагающими до четырех отверстий для впрыскивания топлива, будут использоваться пластины с десятью или двенадцатью отверстиями. Эти форсунки создают очень тонко распыленное облако топлива.

Для различных областей применения предлагаются форсунки разной конструкции, различающиеся длиной, расходом проходящего через форсунку топлива и электрическими характеристиками. Форсунка EV6 подходит также для использования с топливом, содержащим до 85% этанола (этилового спирта).

Форсунка модели EV14

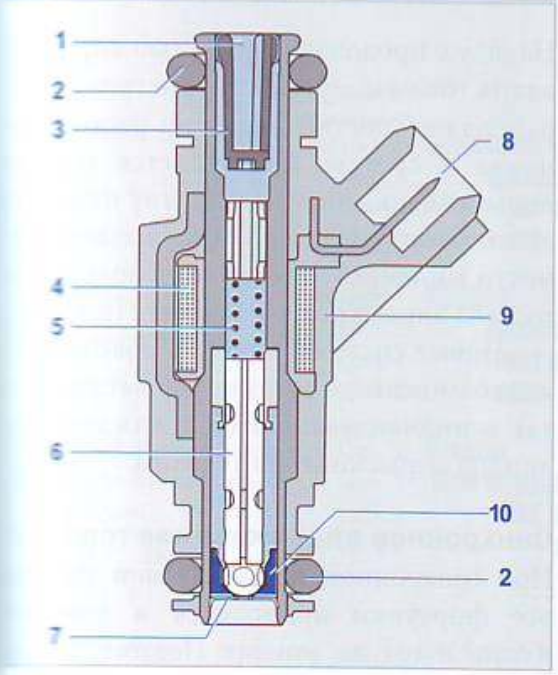
Совершенствование форсунок привело к появлению новой модели EV14 (рис. 2b), которая сконструирована на базе модели EV6. Новая форсунка стала еще компактнее, что позволяет интегрировать ее в топливную рейку.

Форсунка EV14 выпускается в трех различающихся длиной вариантах (компактный, стандартный и длинный). Это позволяет обеспечить индивидуальную адаптацию к геометрии впускного трубопровода двигателя.

Образование струи распыла топлива

Образование форсункой струи распыла топлива, т.е. форма, угол направления струи и размер капель топлива в ней, влияет на подготовку рабочей смеси. Ин-

1 Конструкция электромагнитной форсунки EV6



2 Модели форсунок

Рис. 1

1. Гидравлический соединительный разъем
2. Уплотнительное кольцо (круглого сечения)
3. Фильтровальная сетка
4. Обмотка
5. Пружина
6. Игла клапана с якорем и запорным сферическим элементом
7. Распылительная пластина с отверстиями для впрыскивания топлива
8. Электрический соединительный разъем
9. Корпус форсунки
10. Седло клапана

Рис. 2

a — стандартная модель EV6

b — компактная модель EV14

дивидуальная геометрия впускного трубопровода и головки блока цилиндров требуют создания разных вариантов образования струи распыла топлива. На рис. 3 показаны наиболее распространенные формы струи распыла топлива.

Шнуровая струя

С одним отверстием для впрыска в распылительной пластине форсунки образуется тонкая, концентрированная и импульсная струя топлива, которая в значительной степени не допускает смачивания стенок впускного трубопровода. Эти форсунки подходят для узких впускных трубопроводов и больших промежутков между точкой впрыскивания и впускным клапаном.

Из-за низкого уровня атомизации топлива, форсунки со шнуровой струей применяются в редких случаях.

Коническая струя

Через отверстия для впрыскивания топлива в пластине форсунки поступают отдельные струи топлива, при сложении которых образуется конус.

3 Формы струи распыла топлива форсунками

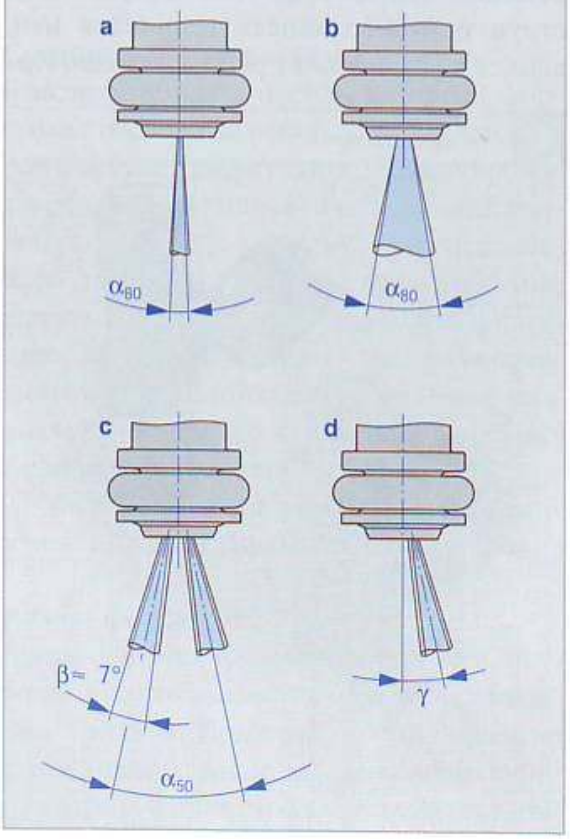


Рис. 3
a — шнуровая струя
b — коническая струя
c — двойная струя
d — отклонение оси распыла от продольной оси форсунки, угол α
α_{80}: 80% топлива находится внутри угла α
α_{50}: 50% топлива находится внутри угла α
β: 70% топлива в отдельной струе находится внутри угла β
γ: отклонение направления струи от продольной оси форсунки

Типичной областью применения форсунок с конической струей распыла являются двигатели с одним впускным клапаном на цилиндр. Но коническая струя подходит и для двух впускных клапанов на цилиндр.

Двойная струя

Приготовление двух струй часто используется в двигателях с двумя впускными клапанами на одном цилиндре, а при трех впускных клапанах двойная струя обязательно необходима.

Отверстия для впрыскивания топлива в пластине форсунки расположены таким образом, что из клапана впрыска выбрасываются две струи топлива, которые могут быть составлены из нескольких отдельных струй (две конические струи), и впрыскиваются перед впускными клапанами или на разделительную перегородку между ними.

Отклонение оси распыла от продольной оси форсунки

Струя топлива может быть отклонена от продольной оси форсунки на определенный угол. Форсунки, обеспечивающие такую форму струи, находят применение в условиях усложненного их монтажа.

Виды впрыскивания топлива

Наряду с продолжительностью впрыскивания топлива, другим параметром, который важен для оптимизации расхода топлива и состава ОГ, является момент впрыскивания топлива по углу поворота коленчатого вала. В этом случае возможности вариаций зависят от используемого вида впрыскивания топлива (рис. 1).

Новые системы впрыска обеспечивают возможность как последовательного, так и индивидуального для каждого цилиндра впрыскивания топлива.

Синхронное впрыскивание топлива

При синхронном впрыскивании топлива все форсунки приводятся в действие в один и тот же момент. Поэтому время,

которое имеется для испарения топлива, в каждом цилиндре разное. Для того чтобы, несмотря на это, добиться хорошего образования рабочей смеси, количество топлива, необходимое для сгорания, делится на две части и каждая из этих частей впрыскивается при каждом обороте коленчатого вала. При таком способе впрыскивания топлива в некоторых цилиндрах топливо накапливается не перед впускным клапаном, а впрыскивается через открытое впускное окно. Момент впрыскивания топлива изменен быть не может.

Групповое впрыскивание топлива

При групповом впрыскивании топлива форсунки объединены в две группы. За один оборот коленчатого вала форсунки одной группы впрыскивают полное количество топлива, требуемое для их цилиндров, а за следующий оборот коленчатого вала — форсунки другой группы.

Такая работа форсунок уже позволяет обеспечить выбор момента впрыскивания топлива в функции рабочего режима двигателя и избежать нежелательного впрыскивания в открытые впускные окна. Кроме того, здесь также и время, имеющееся для испарения топлива, в различных цилиндрах разное.

Последовательное впрыскивание топлива

Топливо впрыскивается в каждый цилиндр отдельно. Форсунки приводятся в действие последовательно одна за другой в соответствии с порядком зажигания. Продолжительность и момент впрыскивания — относительно ВМТ в каждом цилиндре — для всех цилиндров одинаковое. В этом случае топливо накапливается до входа в каждый цилиндр.

Начало впрыскивания свободно программируется и может корректироваться в зависимости от режима работы двигателя.

Индивидуальное впрыскивание топлива в каждый цилиндр

Этот вид впрыскивания топлива предлагает самую большую степень свободы. У него, по сравнению с последовательным впрыскиванием, то преимущество, что здесь можно оказывать индивидуальное влияние на момент впрыскивания в каждом цилиндре. Благодаря этому можно компенсировать неравномерность процессов, например, при наполнении цилиндров зарядом рабочей смеси.

1 Виды впрыскивания топлива во впускной трубопровод

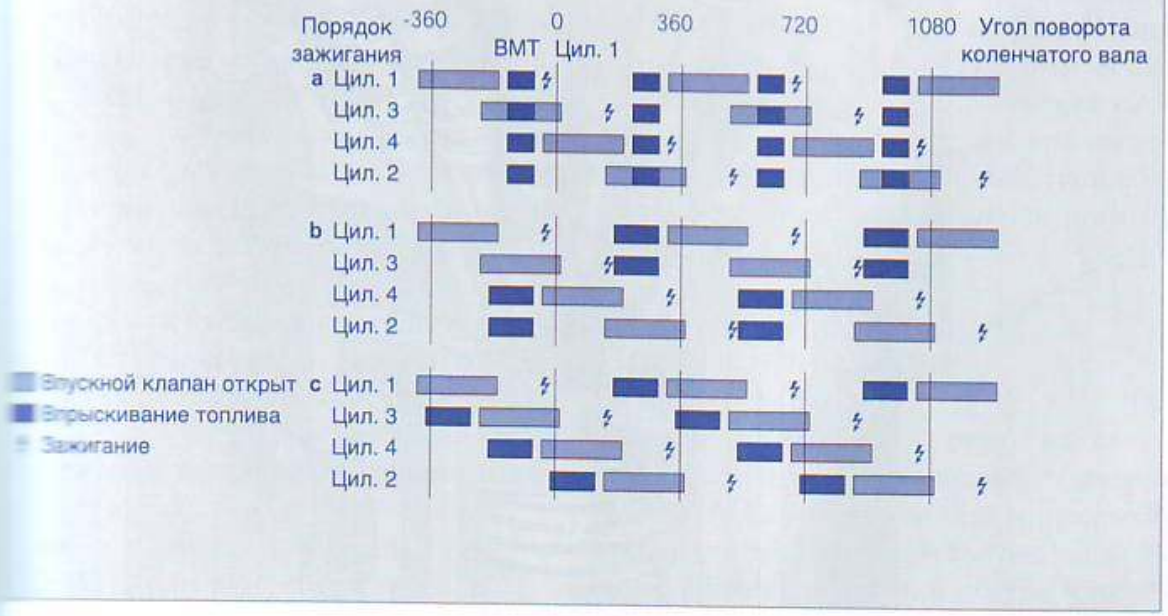


Рис. 1
a — синхронное впрыскивание
b — групповое впрыскивание
c — последовательное впрыскивание (SEFI) и индивидуальное впрыскивание в каждый цилиндр (CIFI)

Непосредственное впрыскивание топлива

Двигатели с непосредственным впрыскиванием топлива образуют рабочую смесь в камере сгорания. Через открытый впускной клапан при такте впуска в цилиндр поступает только воздух. Топливо впрыскивается специальными форсунками непосредственно в камеры сгорания цилиндров.

Обзор

Потребность в мощных двигателях с искровым зажиганием при одновременном низком расходе топлива привела к повторному открытию системы непосредственного впрыска бензина. Принцип не новый. Еще в 1937 г. использовался авиационный двигатель с искровым зажиганием, оснащенный механическим непосредственным впрыском топлива. В 1951 г. двухтактный двигатель с искровым зажиганием и механическим непосредственным впрыском впервые серийно устанавливался на легковой автомобиль Gutbrod. В 1954 г. появился автомобиль Mercedes 300 SL с четырехтактным двигателем с искровым зажиганием и непосредственным впрыском.

Конструкция двигателя с непосредственным впрыском для того времени была очень дорогостоящей. Кроме того, эта технология предъявляла высокие требования к используемым материалам. Срок службы такого двигателя был еще одной проблемой.

Все эти проблемы длительное время мешали прорыву в технологии непосредственного впрыскивания топлива.

Принцип работы

Системы с непосредственным впрыском отличаются впрыскиванием топлива под высоким давлением непосредственно в камеру сгорания. Рабочая смесь образуется, как и в дизельном двигателе, внутри камеры сгорания (внутреннее образование рабочей смеси).

Создание высокого давления топлива

Топливный насос с электроприводом подает топливо при начальном давлении 0,3…0,5 МПа (3…5 бар) к насосу высоко-

1 Элементы системы непосредственного впрыска топлива

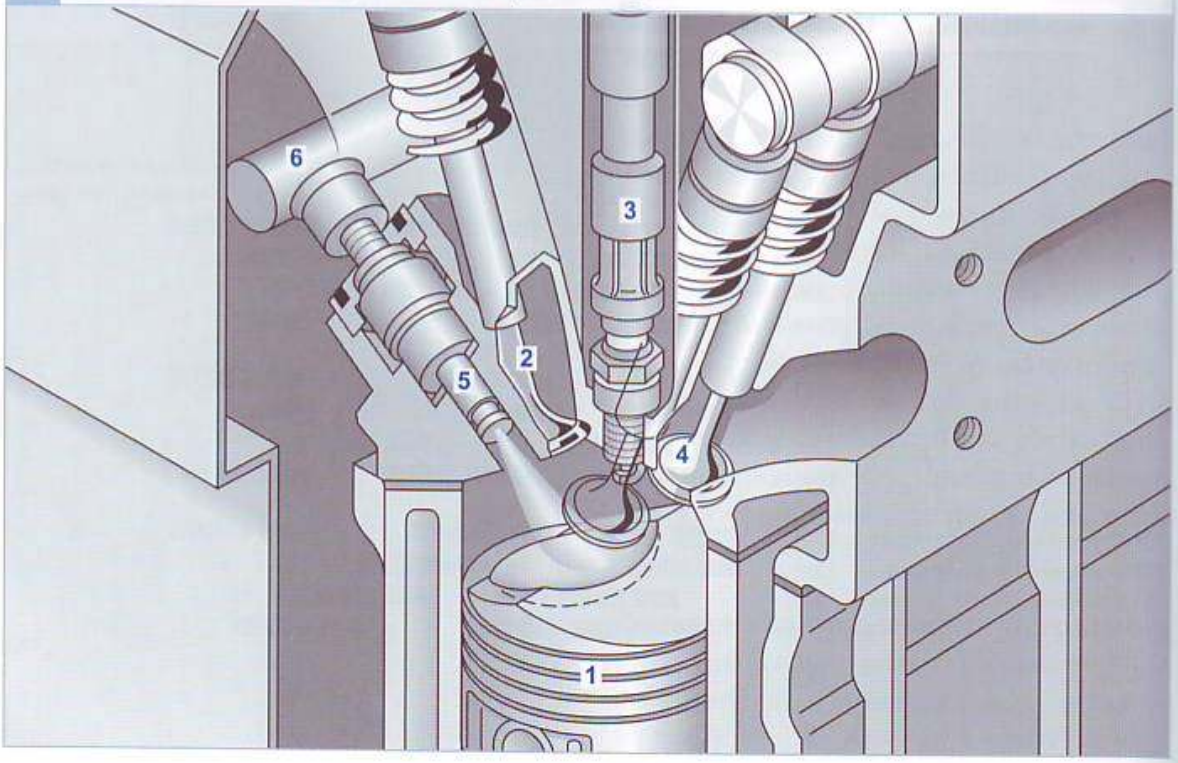


Рис. 1
1. Поршень
2. Впускной клапан
3. Катушка зажигания с установленной свечой зажигания
4. Выпускной клапан
5. Форсунка высокого давления
6. Топливная рейка

го давления. Этот насос создает давление в системе в зависимости от рабочего режима двигателя (требуемый крутящий момент и частота вращения коленчатого вала). Топливо под высоким давлением поступает в топливную рейку 6 (рис. 1) и там накапливается.

Давление топлива измеряется датчиком высокого давления и устанавливается клапаном регулировки давления в значении от 5 до 12 МПа.

В топливной рейке (называемой также Common Rail) расположены форсунки высокого давления 5, работа которых регулируется блоком управления двигателем. Форсунки впрыскивают топливо в камеру сгорания цилиндра.

Образование рабочей смеси

Впрыснутое тонко распыленное за счет высокого давления топливо образует с поступающим в камеру сгорания воздухом рабочую смесь. В зависимости от режима работы двигателя топливо впрыскивается так, что создается смесь, равномерно распределенная по всей камере сгорания с соотношением $\lambda \leq 1$ (гомогенный режим) или образуется облако с послойным зарядом с соотношением $\lambda \leq 1$ в области свечи зажигания (работа в условиях послойно распределенного заряда или обедненной смеси). Остальное пространство камеры сгорания при послойном распределении заряда наполнено либо всасываемым свежим воздухом с инертным газом, поступившим из системы рециркуляции ОГ, либо очень обедненной рабочей смесью. За счет этого в целом получается обедненная рабочая смесь с $\lambda_{\text{суммарн.}} > 1$.

Эти разные возможности эксплуатации двигателя называются режимами его работы. Выбор режима работы осуществляется, с одной стороны, на базе частоты вращения коленчатого вала и потребного крутящего момента, а с другой стороны, за счет функциональных требований, таких как, например, восстановление каталитического нейтрализатора накопительного типа.

Крутящий момент

При послойном распределении заряда впрыснутая масса топлива является основным параметром, определяющим величину производимого крутящего момента. Избыток воздуха даже при частичной нагрузке делает возможным обеспечить недросселированный режим работы с широко открытой дроссельной заслонкой. Эта мера снижает насосную работу (выпуск и заполнение цилиндров зарядом).

На режиме обедненной рабочей смеси при $\lambda > 1$ и гомогенном ее распределении также достигается экономия топлива за счет отсутствия дросселирования. Но она не такая большая, как при послойном распределении заряда.

При гомогенной смеси с соотношением $\lambda \leq 1$ двигатель с непосредственным впрыском ведет себя в основном так же, как двигатель с впрыском во впускной трубопровод.

Дополнительная обработка ОГ

Каталитические нейтрализаторы должны обеспечивать удаление токсичных веществ из ОГ. Для того чтобы получить максимальный эффект, для трехкомпонентного каталитического нейтрализатора нужна стехиометрическая топливо-воздушная смесь. Повышенная эмиссия оксидов азота, которая возникает вследствие избытка воздуха на режиме обедненной рабочей смеси, скапливается для временного хранения в каталитическом нейтрализаторе с аккумулирующей способностью к NOx. Здесь при кратковременной работе двигателя с избытком воздуха оксиды азота расщепляются до азота, диоксида углерода и воды.

Топливная рейка

Функциями топливной рейки являются накапливание поступающего от насоса высокого давления топлива и распределение его по форсункам высокого давления. Объем этой рейки достаточно ве-

лик для того, чтобы сглаживать пульсацию давления в топливоподающем контуре.

Топливная рейка изготавливается из алюминия. Конструктивные формы (объемы, размеры, вес и т.д.) зависят от типа двигателя и системы топливоподачи.

Топливная рейка располагает соединительными устройствами для связи с другими элементами системы впрыска (насос, клапан регулировки давления, датчик высокого давления, форсунки высокого давления). Конструкция топливной рейки обеспечивает герметичность ее самой, а также хорошую герметичность в переходных устройствах с различными элементами системы.

Насос высокого давления

Функции

Насос высокого давления должен сжимать топливо, подаваемое в достаточном количестве топливным электронасосом с начальным давлением 0,3...0,5 МПа до уровня 5...12 МПа, необходимого для впрыскивания под высоким давлением (непосредственное впрыскивание топлива).

При пуске двигателя топливо вначале впрыскивается при начальном давлении. Затем с повышением частоты вращения коленчатого вала происходит рост давления.

При эксплуатации насос высокого давления смазывается и охлаждается исключительно топливом.

Применяются трехцилиндровые, а также одноцилиндровые насосы, управляемые в зависимости от потребности в топливе.

Трехцилиндровый насос HDP1

По своей конструкции это насос радиально-поршневого типа с тремя поршнями, распределенными относительно друг друга через 120° по окружности. На рис. 1 показано реализованное решение такого насоса в продольном и поперечном разрезах.

С приводом от распределительного вала двигателя входной вал вращается с эксцентриком, который при этом обеспечивает возвратно-поступательное дви-

1 Трехцилиндровый насос высокого давления HDP1

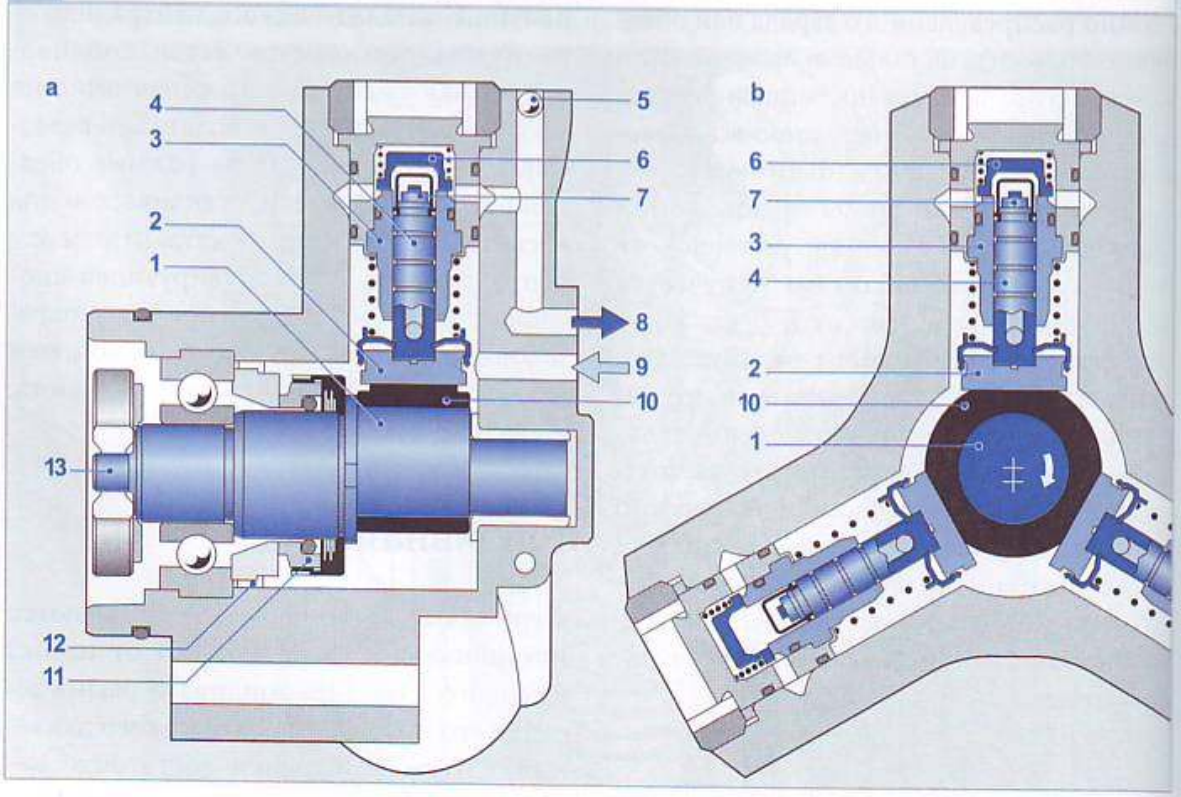


Рис. 1
a — продольный разрез
b — поперечный разрез

1. Эксцентрик
2. Контактный башмак
3. Цилиндр насоса
4. Поршень насоса (поршень полый, поступление топлива)
5. Запорный шарик
6. Выпускной клапан
7. Впускной клапан
8. Соединение с топливной рейкой (высокое давление)
9. Поступление топлива (низкое давление)
10. Кулачковая шайба
11. Осевое уплотнение (втулочное уплотнительное кольцо)
12. Неподвижная прокладка
13. Приводной вал

жение поршней в цилиндрах насоса. При ходе поршня вниз, топливо поступает при начальном давлении 0,3…0,5 МПа из подающего топливопровода через полый поршень насоса и впускной клапан в нагнетательную камеру. При движении поршня вверх этот объем топлива сжимается и топливо течет, преодолев давление в топливной рейке, через выпускной клапан к стороне узла высокого давления.

За счет выбранного расположения поршней попеременно осуществляется перекрытие подачи топлива, следствием чего является незначительная пульсация подачи и, следовательно, низкая пульсация давления топлива в топливной рейке. Количество подачи топлива пропорционально частоте вращения коленчатого вала.

Для гарантирования возможности изменения начального давления в соответствии с потребностью двигателя в топливе (даже при максимальном количестве его впрыскивания) максимальное количество подачи насоса рассчитывается на определенный объем. На режиме работы с постоянным давлением в топливной рампе или при частичной нагрузке давление топлива, поданного в избыточном количестве, сбрасывается клапаном регулировки давления до уровня давления на входе и топливо возвращается на сторону входа насоса.

Одноцилиндровый насос HDP2

Одноцилиндровый насос HDP2 выполнен в виде модуля с непосредственным приводом от распределительного вала. Передачу возвратно-поступательного движения на поршень насоса осуществляет цилиндрический толкатель, расположенный в головке блока цилиндров.

На рис. 2 показана принципиальная конструкция насоса. В подающей камере теперь, в дополнение к впускному и выпускному клапану, еще размещен клапан регулирования количества топлива с электрическим переключением и рециркуляцией топлива на вход насоса. В нормальном открытом положении не происходит подачи топлива под высоким давлением, т.к. весь поток топлива направляется в возвратную магистраль. На рабочем режиме работы клапан закрывается при на-

2 Одноцилиндровый насос высокого давления HDP2

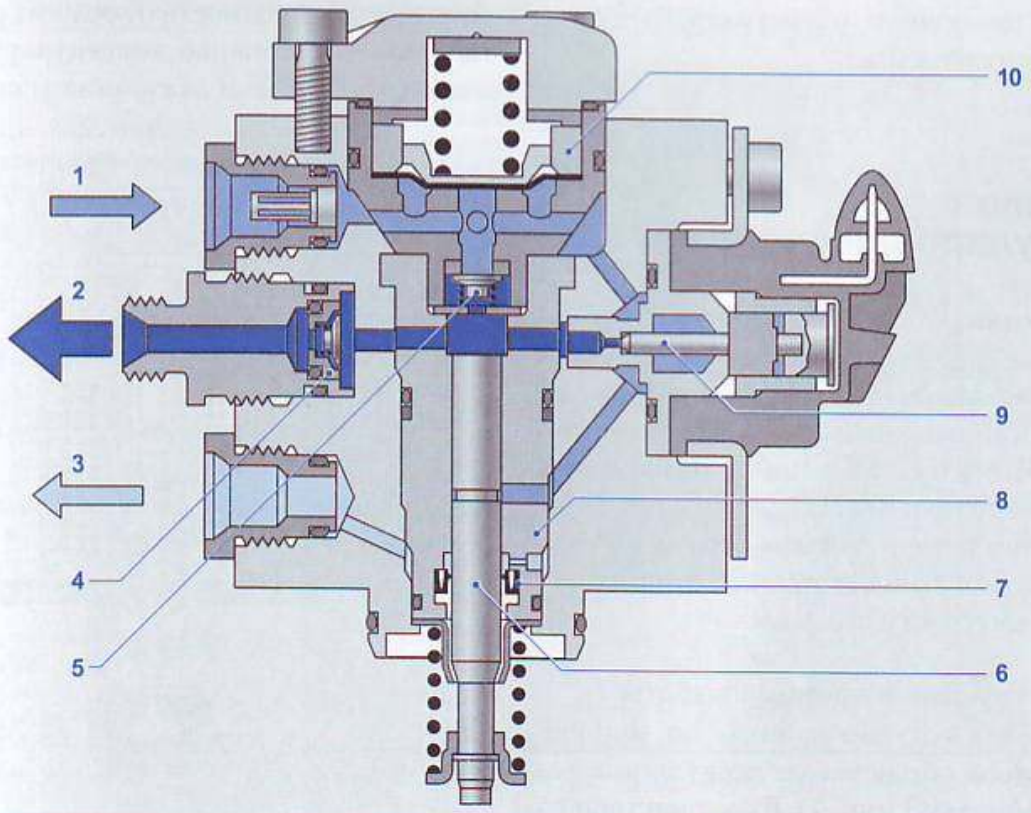


Рис. 2

1. Поступление топлива (сторона низкого давления)
2. Выход к топливной рейке (сторона высокого давления)
3. Возврат утечек топлива
4. Выпускной клапан
5. Впускной клапан
6. Поршень насоса
7. Уплотнительное кольцо поршня
8. Цилиндр насоса
9. Клапан регулирования количества топлива
10. Демпфер давления

Темно-синий цвет – контур высокого давления

Синий цвет — контур низкого давления

Голубой цвет — безнапорная область (рециркуляция)

хождении поршня в НМТ и открывается к концу подачи после достижения заданного давления в топливной рейке. Топливо, подаваемое насосом после прохождения поршнем ВМТ, пропускается обратно на вход насоса.

Этот вид регулирования гарантирует, что всегда подается лишь столько топлива, сколько необходимо двигателю, что, в свою очередь, снижает потребление мощности насосом и, следовательно, расход топлива.

Для демпфирования пульсаций давления, которые являются следствием присущей этому насосу характеристики подачи, в приемном канале прямо перед впускным клапаном установлен демпфер давления. При этом используется известный по впрыску во впускной трубопровод принцип накопителя с мембранной пружиной.

Другим важным функциональным элементом является расположенная в цилиндре насоса уплотняющая манжета поршня, используемая в качестве разделителя между топливом и моторным маслом, находящимся в системе смазки двигателя. Для повышения надежности в работе уплотняющая манжета разрушается путем подсоединения к возвратной топливной магистрали, ведущей к топливному баку.

Клапан регулировки давления

Функции

Клапан регулировки давления расположен между топливной рейкой и стороной низкого давления насоса высокого давления HDP1 и создает необходимое давление в топливной рейке за счет дросселирования подачи топлива насосом HDP1. Избыток поданного топлива возвращается в контур низкого давления.

Конструкция и принцип работы

Сигнал, смодулированный по ширине импульса, обеспечивает поступление тока в обмотку 3 (рис. 1). В соответствии со скважностью импульсов шарик клапана 7 приподнимается над седлом 8 в большей или меньшей степени. Это позволяет, в зависимости от потребности, изменять поперечное сечение выходного отверстия этого клапана.

Для того чтобы обеспечить необходимое давление в топливной рейке даже при отсутствии управляющего сигнала, клапан регулировки давления нормально находится в закрытом положении. Для защиты элементов от слишком высокого давления, существующего в топливной рейке, этот клапан имеет функцию механического ограничения давления.

Форсунка высокого давления

Функции

Форсунка высокого давления представляет собой переходное устройство между топливной рейкой и камерой сгорания. Задача этой форсунки заключается в том, чтобы обеспечивать дозирование топлива и путем его распыления добиваться контролируемого смешивания топлива и воздуха в определенной зоне камеры сгорания. В зависимости от режима работы двигателя, топливо концентрируется в зоне вокруг свечи зажигания (послой-

1 Клапан регулировки давления в разрезе

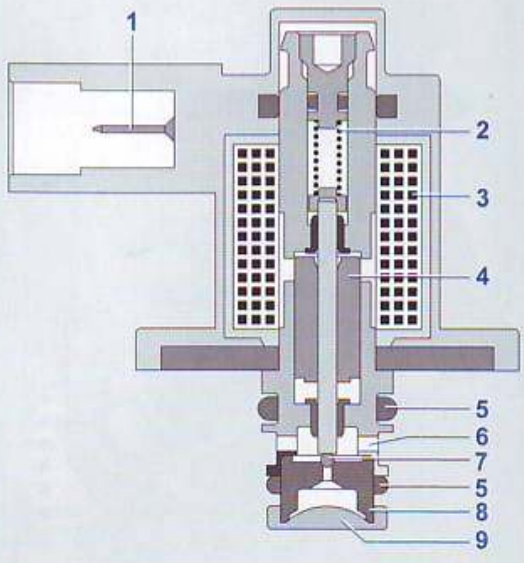


Рис. 1
1. Электрический разъем
2. Нажимная пружина
3. Обмотка электромагнита
4. Якорь соленоида
5. Уплотнительное кольцо (круглого сечения)
6. Выпускной канал
7. Шарик клапана
8. Седло клапана
9. Впуск топлива с сетчатым фильтром на входе

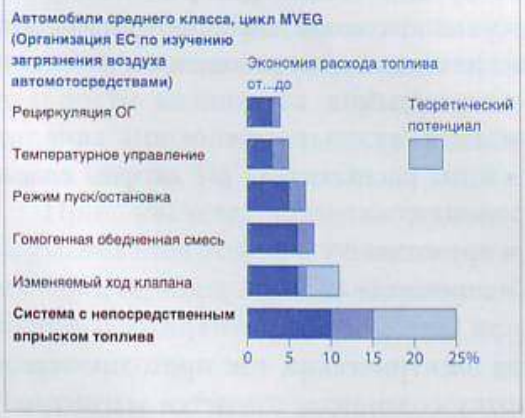
Снижение расхода топлива

Эмиссия углекислого газа (CO_2) — один из факторов, ответственных за парниковый эффект. При возрастающей интенсивности дорожного движения снижения CO_2 можно достичь за счет снижения расхода топлива на единицу пробега автомобиля.

Ассоциация конструкторов европейских автомобилей в Европе (ACEA) обязалась сократить выброс CO_2 с ОГ автомобилей (по состоянию на 1995 г.) на 25% до 2008 г. (рис. 1).

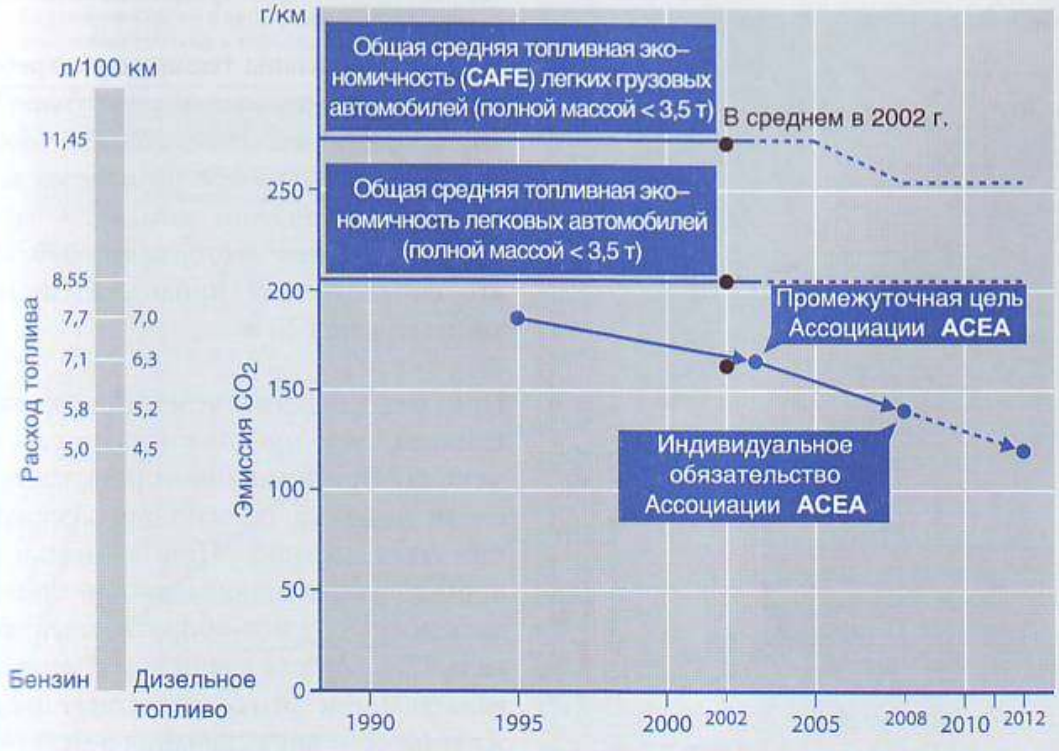
Самый большой потенциал снижения расхода топлива двигателями с искровым зажиганием (рис. 2) кроется в применении системы непосредственного впрыска топлива. С ее помощью в короткое время этот расход снижается на 10–15%, а теоретический потенциал равен даже 25%. Если параллельно с использованием этой системы реализуются и другие меры, то можно достичь (при оценочной базовой величине снижения эмиссии CO_2 в 12%) снижения этой эмиссии на 25% в целом (рис. 3). Это величина, которую требует ACEA.

2 Меры по снижению расхода топлива



3 Меры по снижению расхода топлива, применяемые в сочетании с непосредственным впрыском топлива

1 Прогнозируемое снижение расхода топлива легковыми автомобилями



ное распределение заряда) или равномерно распыляется по всей камере сгорания (гомогенное распределение заряда).

Конструкция и принцип работы

Форсунка высокого давления (рис. 1) состоит из следующих элементов:

- корпуса 5;
- седла 7;
- иглы распылителя 6 с якорем соленоида;
- пружины 3
- соленоида 4.

Когда электрический ток проходит через обмотку соленоида, создается магнитное поле. За счет этого игла, противодействуя давлению пружины, поднимается над седлом и открывает инжектирующее отверстие 8 форсунки. За счет разницы в давлении между топливной рейкой и камерой сгорания топливо впрыскивается в камеру сгорания.

1 Конструкция форсунки высокого давления

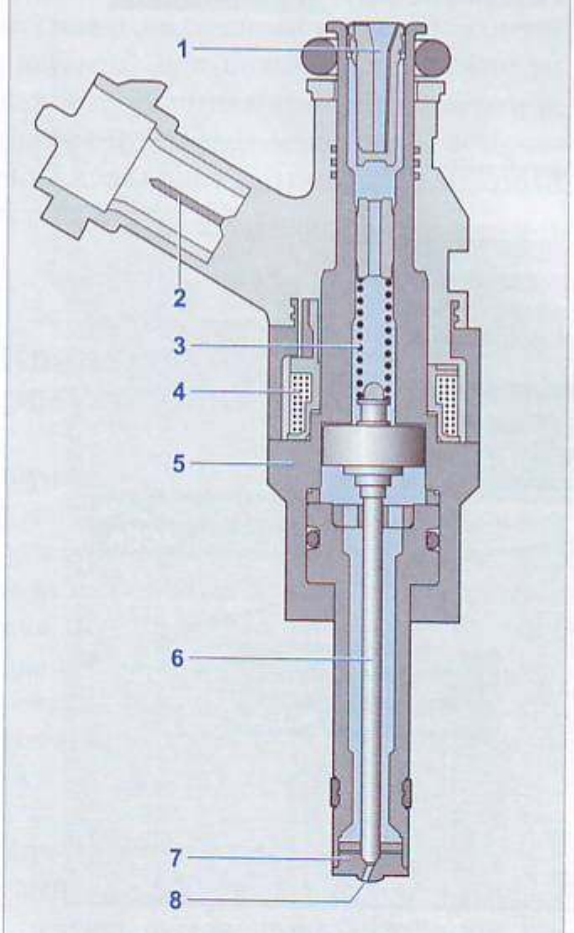


Рис. 1
1. Впускной канал с сетчатым фильтром тонкой очистки
2. Электрический разъем
3. Пружина
4. Соленоид
5. Корпус форсунки
6. Игла распылителя с якорем соленоида
7. Седло
8. Инжектирующее отверстие форсунки

При отключении электрического тока игла распылителя под действием усилия пружины опускается на седло клапана и прерывает поток топлива.

Форсунка быстро открывается, обеспечивая при открытии постоянную площадь поперечного сечения отверстия, и снова закрывается, преодолевая давление в топливной рейке. Впрыснутое количество топлива (при данной площади поперечного сечения отверстия) зависит от давления в топливной рейке, противодавления в камере сгорания и продолжительности открытия форсунки. За счет соответствующей геометрии распылителя на конце форсунки достигается очень хорошее распыление топлива.

В отличие от впрыскивания во впускной трубопровод, топливо при непосредственном впрыскивании поступает в камеру сгорания быстрее, точнее и с лучшим формированием струи топлива.

Требования

Существенными отличиями непосредственного впрыскивания топлива, по сравнению с впрыскиванием во впускной трубопровод, являются более высокое давление топлива и заметно меньшее время, предоставляющееся для поступления топлива непосредственно в камеру сгорания.

На рис. 2 показаны технические требования, предъявляемые к форсунке. При впрыске топлива во впускной трубопровод впрыскивание обеспечивается за два оборота коленчатого вала. При частоте вращения коленчатого вала 6000 мин$^{-1}$ это соответствует продолжительности впрыскивания 20 мс.

При непосредственном впрыскивании топлива эта продолжительность еще меньше. При гомогенном распределении смеси топливо должно впрыскиваться при такте впуска. При этом процесс впрыскивания топлива должен происходить только за пол-оборота коленчатого вала. При частоте вращения коленчатого вала 6000 мин$^{-1}$ это соответствует продолжительности впрыскивания 5 мс.

При непосредственном впрыскивании топлива потребность в топливе на режиме холостого хода намного меньше по сравнению с режимом полной нагрузки при впрыскивании во впускной трубопровод (отношение 1:12). Отсюда продолжительность впрыскивания топлива на холостом ходу равна примерно 1,4 мс.

Управление форсункой высокого давления

Для того чтобы обеспечить определенный и воспроизводимый процесс впрыскивания топлива, форсунка высокого давления должна включаться по сложной токовой характеристике. Микроконтроллер в блоке управления двигателем подает цифровой сигнал (a, рис. 3) на включение форсунки. На основе этого сигнала специальный управляющий модуль создает действительный сигнал (b, рис. 3) на выходе, с помощью которого оконечный каскад привода форсунки обеспечивает впрыскивание топлива.

Бустерный конденсатор создает управляющее напряжение в 50–90 В, достаточно высокое для получения большого электрического тока в начале процесса включения и, благодаря этому, обеспечивает быстрый подъем иглы (c, рис. 3). При открытой форсунке (максимальный ход иглы) достаточно меньшего управляющего электрического тока, для того чтобы поддерживать постоянным подъем иглы. При этом постоянном подъеме иглы достигается пропорциональность количества впрыскиваемого топлива продолжительности впрыскивания (d, рис. 3).

При расчете продолжительности впрыскивания топлива учитывается время предварительного намагничивания, в период которого форсунка еще не открывается.

Процесс сгорания

Процесс сгорания определяется тем способом, каким осуществляется преобразование в камере сгорания рабочей смеси в энергию.

В зависимости от выбранного способа сгорания в камере сгорания создаются воздушные потоки. Для того чтобы добиться требуемого послойного заряда смеси, форсунка впрыскивает топливо в поток воздуха таким образом, что оно испаряется в пространственно ограниченной зоне. Воздушный поток переме-

2 Сравнение систем с непосредственным впрыскиванием топлива и впрыскиванием во впускной трубопровод

3 Характеристики сигналов управления форсункой высокого давления

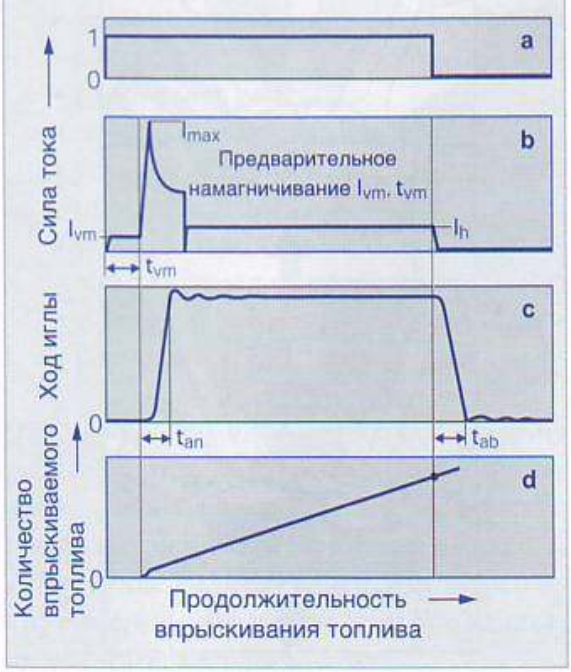


Рис. 2
Количество впрыскиваемого топлива как функция продолжительности впрыска

Рис. 3
a — управляющий сигнал на открытие форсунки
b — токовая характеристика форсунки
c — ход иглы
d — количество впрыснутого топлива

щает облако рабочей смеси к свече зажигания и оно подходит к этой свече в момент зажигания.

Возможны два принципиально разных способа зажигания: с направленной струей впрыскиваемого топлива и с направлением струи распыла топлива на стенку цилиндра.

Способ зажигания с направленной струей впрыскиваемого топлива

Способ зажигания с направленной струей отличается тем, что топливо впрыскивается в непосредственной близости от свечи зажигания и там испаряется (рис. 1a). Это требует точного позиционирования свечи зажигания и форсунки, а также точной направленности струи для того, чтобы иметь возможность воспламенить смесь в необходимый момент.

1 Виды течений при различных способах сжигания

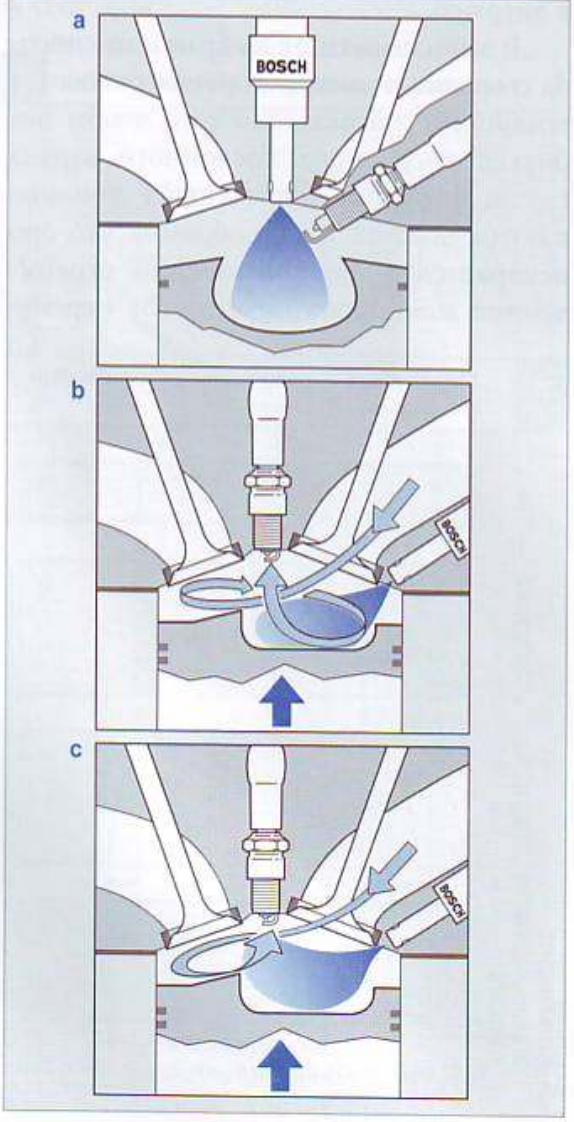


Рис.1
a — направленная струя впрыскиваемого топлива
b — вихревой воздушный поток, направленный на стенку цилиндра
c — цилиндрический воздушный поток, направленный на стенку цилиндра

При этом очень высока тепловая нагрузка на свечу зажигания, т. к. на горячую свечу при определенных обстоятельствах напрямую воздействует относительно холодная струя впрыскиваемого топлива.

Способ зажигания с направлением струи распыла топлива на стенку цилиндра

В этом способе зажигания различают два возможных пути перемещения потока воздуха, которые зависят от особенностей конструкции впускного окна и поршня. Форсунка впрыскивает топливо в этот поток воздуха. Образующаяся при этом рабочая смесь перемещается с этим потоком к свече зажигания в форме закрытого облачка смеси.

Вихревой воздушный поток

Воздух за счет движения поршня попадает через открытый впускной клапан в цилиндр, создавая турбулентный поток (вращательное движение воздуха) вдоль стенки цилиндра (рис. 1b). Этот способ зажигания также называется процессом вихревого сгорания.

Цилиндрический воздушный поток

При этом способе образуется воздушный поток цилиндрической формы, который, двигаясь сверху вниз, отражается от выемки в поршне и снова движется вверх в направлении свечи зажигания (рис. 1c).

Подготовка рабочей смеси

Функции

Задача образования рабочей смеси заключается в том, чтобы приготовить в максимальной степени гомогенную воспламеняемую смесь воздуха и топлива.

Технические требования

При работе двигателя на гомогенной смеси (гомогенная смесь при $\lambda \leq 1$, а также гомогенная обедненная смесь) эта рабочая смесь должна однородно распределяться по всей камере сгорания. Напротив, в ус-

виях послойного заряда, рабочая смесь гомогенна только в пределах пространственно ограниченной зоны, а в остальных зонах камеры сгорания находится свежий воздух или инертный газ.

Гомогенной может быть газообразная или парообразная топливная смесь только в том случае, если все топливо испарилось. На испарение оказывают влияние несколько факторов:

- температура в камере сгорания;
- размер капель топлива;
- время, которое имеется в распоряжении для испарения топлива.

Факторы влияния

Влияние температуры

В зависимости от температуры, давления и геометрии камеры сгорания, воспламеняемая рабочая смесь (воздух/бензин) может быть в диапазоне значений $\lambda = 0{,}6 \ldots 1{,}6$. При низких температурах топливо испаряется не полностью. Поэтому при этих условиях должно впрыскиваться больше топлива для того, чтобы получить способную к воспламенению смесь.

Образование смеси при гомогенном ее распределении в камере сгорания

Для того чтобы получить как можно больше времени для образования рабочей смеси, топливо впрыскивается как можно раньше. Поэтому при гомогенном распределении смеси впрыскивание происходит уже при такте впуска, и с помощью поступающего воздуха достигается быстрое испарение топлива и хорошая гомогенизация смеси.

Образование рабочей смеси при послойном распределении смеси

Для послойного заряда образование способного к воспламенению облака смеси, которое к моменту зажигания находится вблизи свечи зажигания, имеет решающее значение. Вот почему топливо впрыскивается при такте сжатия таким образом, что возникает облако смеси, которое направляется потоками воздуха в камеру сгорания и отводится двигающимся вверх поршнем в зону расположения свечи зажигания. Момент впрыскивания зависит от частоты вращения коленчатого вала и потребного крутящего момента.

Глубина проникновения

Величина капель впрыскиваемого топлива зависит от давления впрыскивания и давления в камере сгорания. С повышением давления впрыскивания можно получить меньший размер капель, которые быстрее испаряются. При постоянном давлении в камере сгорания так называемая глубина проникновения увеличивается параллельно с ростом давления впрыскивания. Глубина проникновения определяется через расстояние, которое проходит отдельная капля топлива перед полным испарением.

Если этот пройденный путь превышает расстояние от форсунки до стенки камеры сгорания, то смачиваются стенка цилиндра или поршень (смачивание стенок). Если это топливо не испаряется на стенке цилиндра и поршне до момента зажигания, то либо не происходит воспламенение смеси, либо оно не полное.

Условия работы

При использовании непосредственного впрыскивания топлива известны шесть условий его работы (рис. 1):

- условия послойного распределения смеси;
- гомогенная смесь;
- гомогенно-обедненная смесь;
- условия гомогенно-послойного распределения смеси;
- условия гомогенной смеси с защитой двигателя от детонации;
- поэтапное нагревание с послойным распределением.

Эти условия работы позволяют достичь максимальной адаптации к каждому режиму работы двигателя. Переключение режимов работы в процессе движения автомобиля осуществляется без скачков крутящего момента и поэтому не замечается водителем.

Линии на диаграмме (рис. 1) показывают, какие режимы работы проходит двигатель при сильном ускорении (заметное изменение крутящего момента при начальной неизменной частоте вращения коленчатого вала) и при постепенном ускорении (небольшое изменение крутящего момента при увеличении частоты вращения коленчатого вала).

Условия послойного распределения смеси

В нижнем диапазоне крутящего момента, примерно при 3000 мин$^{-1}$, двигатель работает в условиях послойного заряда. Для этого форсунка впрыскивает топливо при такте сжатия незадолго до момента зажигания. Во время краткого периода до момента зажигания воздушный поток в камере сгорания переносит рабочую смесь к свече зажигания. Распределения топлива по всей камере сгорания не происходит из-за позднего момента впрыскивания.

На режиме послойного заряда смесь, если рассматривать все пространство камеры сгорания, является обедненной. При большом значении коэффициента избытка воздуха эмиссия NO_x очень высока. При этих условиях лучшим способом снижения эмиссия NO_x является повышение доли рециркуляции ОГ. Возвратные (после рециркуляции) ОГ снижают температуру сгорания и за счет этого снижают эмиссию NO_x, зависящую от температуры.

Параметры «частота вращения коленчатого вала» и «крутящий момент» определяют ограничения на условия работы при послойном распределении смеси. При слишком большом крутящем моменте образуются частицы сажи за счет локальных зон переобогащенной смеси. При слишком высокой частоте вращения коленчатого вала, за счет высокой турбулентности смеси не может поддерживаться на необходимом уровне послойное распределение и эффективное перемещение рабочей смеси к свече зажигания.

Гомогенная смесь

При высоком крутящем моменте и высокой частоте вращения коленчатого вала двигатель вместо послойного распределения смеси работает на гомогенной смеси при $\lambda = 1$ (в исключительных случаях при $\lambda < 1$). Начало впрыскивания топлива приходится на такт впуска, поэтому полученная рабочая смесь может распределиться по всей камере сгорания. Впрыснутая масса топлива дозируется так, что рабочая смесь образует стехиометрическое соотношение или в исключительных случаях получается с небольшим избытком топлива ($\lambda \leq 1$).

Эти условия работы необходимы для получения высокого крутящего момента, т.к. используется вся камера сгорания. Благодаря имеющемуся стехиометрическому соотношению топлива и воздуха в смеси, гомогенная смесь также обеспечивает низкую токсичность ОГ.

При гомогенной смеси процесс сгорания в значительной степени соответствует этому процессу при впрыскивании топлива во впускной трубопровод.

Условия гомогенно-обедненной смеси

В переходном диапазоне между условиями работы на послойной и гомогенной смесях двигатель может эксплуатироваться на гомогенной обедненной рабочей смеси ($\lambda > 1$). При этом расход топлива меньше, чем при работе двигателя на гомогенной смеси при $\lambda \leq 1$, т.к. потери при изменении характера распределения рабочей смеси становятся меньше за счет отсутствия дросселирования.

A — работа двигателя на гомогенной смеси при $\lambda = 1$; эти условия работы возможны на всех диапазонах рабочих режимов двигателя

B — работа двигателя на обедненной или гомогенной смеси при $\lambda = 1$ при наличии системы рециркуляции ОГ; эти условия работы возможны также в зонах C и D

C — работа двигателя при послойном распределении смеси при наличии системы рециркуляции ОГ

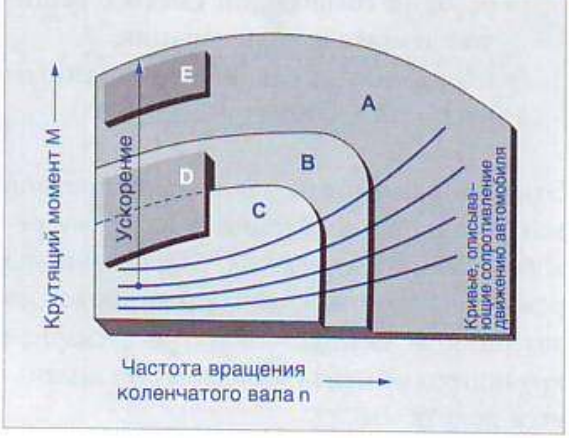
Режим работы с двойным впрыскиванием топлива:

C — условия поэтапного нагревания с послойным распределением смеси; тот же диапазон, как при условиях послойного распределения смеси при наличии системы рециркуляции ОГ

D — условия гомогенно-послойного распределения смеси

E — гомогенная смесь с защитой двигателя от детонации

1 Характеристики работы двигателя в зависимости от вида распределения смеси в камере сгорания (непосредственное впрыскивание топлива)



Условия гомогенно-послойного распределения смеси

В условиях работы двигателя при гомогенно-послойном распределении смеси вся камера сгорания заполняется гомогенно-обедненной рабочей смесью. Эта смесь образуется за счет впрыскивания незначительного количества топлива при такте впуска.

Второе впрыскивание (двойное впрыскивание) осуществляется во время такта сжатия. За счет этого образуется обогащенная зона в зоне расположения свечи зажигания. Этот заряд смеси с послойным распределением легко воспламеняется и может — по типу факельного зажигания — воспламенять остальную гомогенно-обедненную смесь, находящуюся в остальном пространстве камеры сгорания.

Гомогенно-послойное распределение смеси образуется при некоторых циклах во время перехода от послойного к гомогенному распределению смеси. За счет этого система управления двигателем может лучше регулировать крутящий момент во время этого перехода. Благодаря этому при использовании очень обедненной смеси с $\lambda > 2$ обеспечивается снижение эмиссии NO_x.

Коэффициент распределения между обоими впрыскиваниями составляет примерно 75%. Это означает, что при первом впрыскивании в цилиндр поступает 75% топлива, которое обеспечивает образование гомогенной базовой рабочей смеси.

Устойчивый режим двойного впрыскивания при малой частоте вращения коленчатого вала в диапазоне перехода между условиями работы на смесях с послойным и гомогенным распределением снижает образование сажи по сравнению с послойным распределением смеси и расход топлива по сравнению с гомогенным ее распределением.

Работа на гомогенной смеси с защитой от детонации

При такой работе с использованием двойного впрыскивания топлива при полной нагрузке можно отказаться от регулирования момента опережения зажигания в направлении его задержки, для того чтобы избежать детонации, т.к. послойное распределение заряда исключает появление детонации. Следствием более оптимального угла опережения зажигания одновременно является и получение более высокого крутящего момента.

Поэтапное нагревание с послойным распределением смеси

Следующий вид двойного впрыскивания топлива позволяет получить быстрый нагрев системы выпуска ОГ; хотя перед принятием такого решения этот способ должен быть оптимизирован. Поэтому при условиях послойного распределения смеси с большим избытком воздуха, впрыскивание осуществляется на такте сжатия (как в условиях послойного заряда), и затем еще раз при рабочем такте. Эта вторая часть топлива сгорает с очень большой задержкой, нагревая систему выпуска до очень высоких температур.

Другим важным случаем применения этого режима является нагревание каталитического нейтралитора NO_x до температуры выше 650° С, для того чтобы начать обессеривание этого нейтралитора. Для этого обязательно необходимо двойное впрыскивание, т.к. традиционными способами нагревания можно получить такую высокую температуру не на всех режимах работы.

Обзор систем зажигания

Бензиновый двигатель представляет собой двигатель внутреннего сгорания с принудительным искровым зажиганием. Искровой разряд воспламеняет сжатую в камере сгорания рабочую смесь и таким образом инициирует процесс сгорания. Эта искра образуется за счет возникновения дугового разряда между электродами свечи зажигания, которая входит в камеру сгорания. Система зажигания должна для генерирования этого разряда на свече зажигания создавать необходимое высокое напряжение, а также обеспечить своевременное образование искры.

Обзор

Для того чтобы получить искру зажигания в камере сгорания, необходимо превысить определенное напряжение, подаваемое на свечу зажигания («напряжение зажигания»). В зависимости от режима работы двигателя и состояния свечей зажигания, для этого требуется напряжение зажигания до 30 кВ (например, в двигателях с наддувом). После искрового разряда начинается процесс сгорания за счет переноса энергии искры на рабочую смесь.

Области применения

Для применения в легковых автомобилях получил распространение в качестве стандартного индуктивный способ зажигания (с использованием катушки зажигания) (рис. 1). При этом способе зажигания энергия накапливается в магнитном поле катушки зажигания для промежуточного хранения, и в момент зажигания, и затем после трансформации в высокое напряжение, отдается рабочей смеси.

Для того чтобы выполнить требования в отношении мощности двигателя и снижения токсичности ОГ, необходима точная установка момента зажигания и, следовательно, точная во времени отсечка электрического тока от катушки зажигания. Для этого необходимо комплексное управление процессами, которые с 1998 г. реализуются уже не раздельными

1 4-цилиндровый двигатель с непосредственным впрыскиванием топлива и полностью электронным зажиганием в разрезе (без распределителя высоковольтного напряжения)

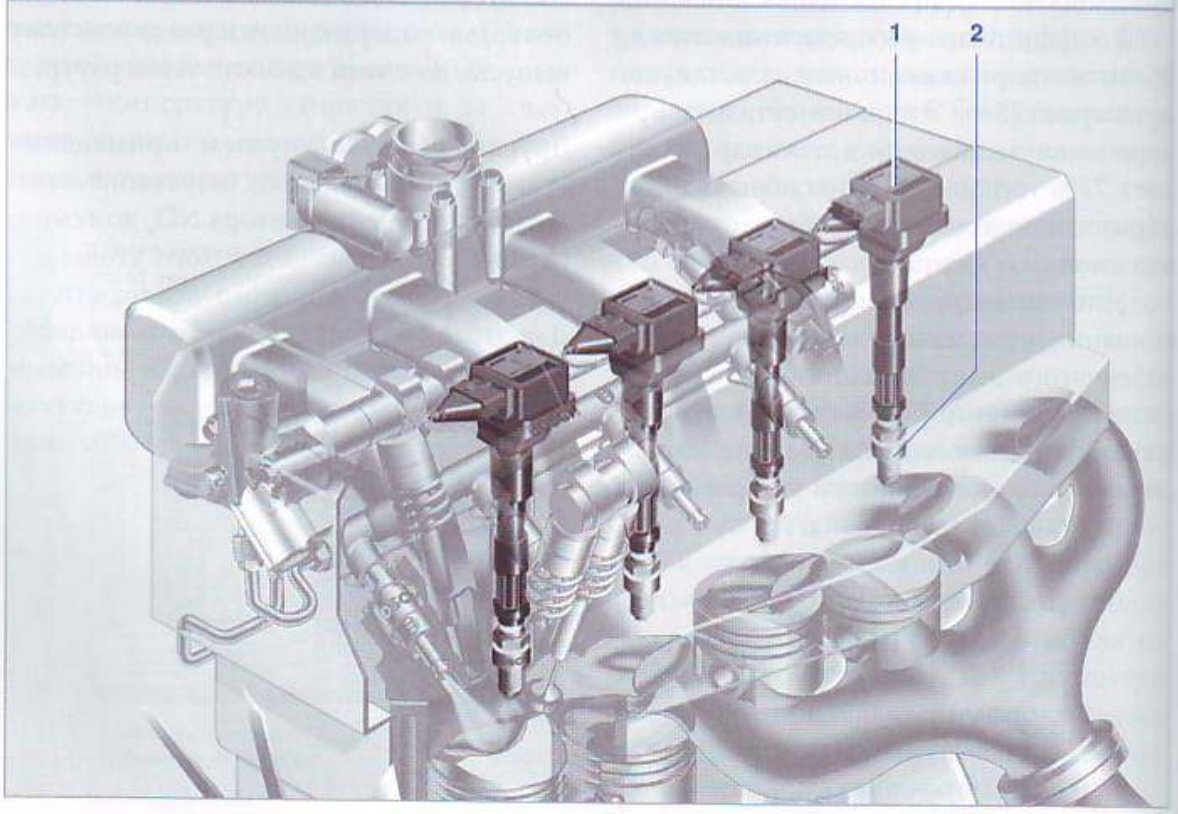


Рис.1
1 — одноискровая катушка зажигания
2 — свеча зажигания

блоками управления системой зажигания, а исключительно централизованной системой управления двигателем, которой фирма Bosch присвоила название Motronic.

Существуют также системы зажигания с емкостным накоплением энергии для форсированных высокомощных и гоночных двигателей. Они накапливают энергию зажигания в электрическом поле конденсатора.

Развитие систем зажигания (обзор)

Развитие систем зажигания начиналось фирмой Bosch на заре автомобилестроения с зажигания от магнето низкого напряжения. Но уже вскоре эта система зажигания, при которой воспламенение рабочей смеси вызывалось прерывателем переменного тока с образованием искры, уже не соответствовала тем требованиям, которые предъявлялись к автомобилю. Лишь представленное в 1902 г. зажигание высокого напряжения, в сочетании со свечой зажигания, в результате отказа от использования контактов прерывателя механического действия, позволило получить более высокие значения частоты вращения коленчатого вала и, следовательно, более высокую мощность двигателя. Свеча зажигания, разработанная фирмой Bosch, уже имеет столетнюю историю.

2 Развитие индуктивных систем зажигания

Между двумя мировыми войнами происходило интенсивное развитие автомобилестроения. В эти годы фирма Bosch усовершенствовала уже известную систему батарейного зажигания, при которой высокое напряжение, необходимое для образования искрового разряда на свечах, создавалось катушкой зажигания. С течением времени катушечные системы зажигания, в результате повышенных требований к мощности двигателя и составу ОГ, все больше совершенствовались. При этом все более важную роль играло возрастающее использование электроники (рис. 2).

Традиционное батарейное зажигание с использованием катушки зажигания (1934–1986 гг.)

Механические контакты прерывателя управляют электрическим током с помощью катушки зажигания (накопление энергии и инициирование зажигания). Механический центробежный автомат зажигания и вакуумный регулятор устанавливают угол опережения зажигания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки (механическая установка угла опережения зажигания). Распределение высокого напряжения по отдельным свечам зажигания осуществляет вращающийся кулачковый ротор в распределителе зажигания (роторное распределение высокого напряжения).

Транзисторное зажигание (1965–1993 гг.)

Механические контакты в прерывателе заменены на не подверженный износу силовой транзистор в коммутаторе. Искра создается контактами прерывателя или бесконтактно-индуктивным датчиком или датчиком Холла. Существовавшее ранее негативное влияние изношенных контактов прерывателя исключается.

Электронное зажигание (1982–1998 гг.)

Здесь распределение высокого напряжения еще осуществляется механическим путем (вращением кулачкового ротора),

но уже не применяется механический способ установки угла опережения зажигания. Частота вращения коленчатого вала и нагрузка определяются электронным путем и являются входными параметрами для выбора значения угла опережения зажигания, сохраняемого в памяти полупроводникового запоминающего устройства. Этот вид способа зажигания базируется на использовании электронного блока управления зажиганием с микроконтроллером.

Электронное зажигание с бесконтактным распределением высокого напряжения (1983–1998 гг.)

Распределение напряжения уже осуществляется не механическим, а полностью электронным путем с помощью электронного блока управления зажиганием (постоянное распределение зажигания). Благодаря этому в системе зажигания больше нет узлов, подвергаемых изнашиванию.

У истоков создания системы зажигания

Еще задолго до того как появились в конце XIX века первые двигатели на автомобилях, изобретатели работали над тем, чтобы двигателями внутреннего сгорания заменить паровые двигатели, широко распространенные при стационарном применении.

Первая известная попытка создания теплового энергетического устройства с внутренним сгоранием, призванного заменить топку, котел и пар, была предпринята Кристианом Гюйгенсом в 1673 г. Топливом здесь был порох 1 (рис. 1), а зажигание осуществлялось посредством фитиля 2. Принцип работы этого устройства прост: после зажигания газы сгорания выходят через обратные одноходовые клапаны 4 из ствола 3. Это создает разрежение, за счет которого поршень 5 реагирует на атмосферное давление путем перемещения вниз с выполнением работы по подъему груза 7.

Так как это устройство должно было перегружаться после каждого зажигания пороха, это не дает возможность назвать его двигателем с генерированием потока мощности.

Через 100 лет, в 1777 г. Алессандро Вольта определил, что болотный газ, который собирался в колодце, может воспламеняться. Вольта провел эксперименты и выяснил, что этот газ в смеси с воздухом может взрывообразно воспламеняться от искры. Для получения искры Вольта в 1775 г. сконструировал электрофор. Изобретатель использовал этот эффект в своем пистолете.

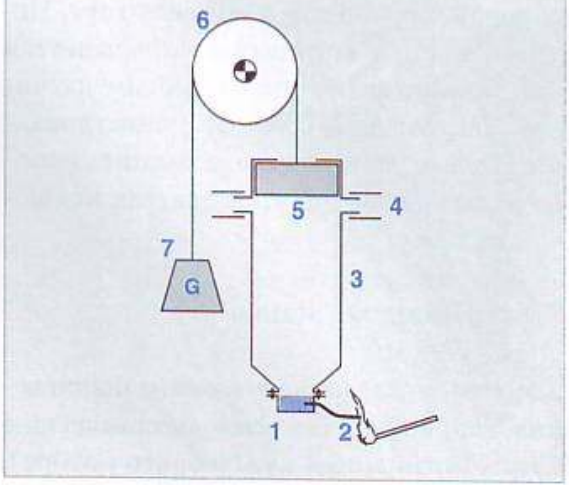
В 1807 г. Исаак де Рива разработал атмосферную поршневую машину. Он использовал принцип пистолета Вольта для первоначального воспламенения горю-

В пистолете Вольта применялась комбинация двух основополагающих элементов конструкции двигателя: с одной стороны, в нем использовалась топливовоздушная смесь, с другой стороны, — электрическая искра. Это положило начало истории электрического зажигания.

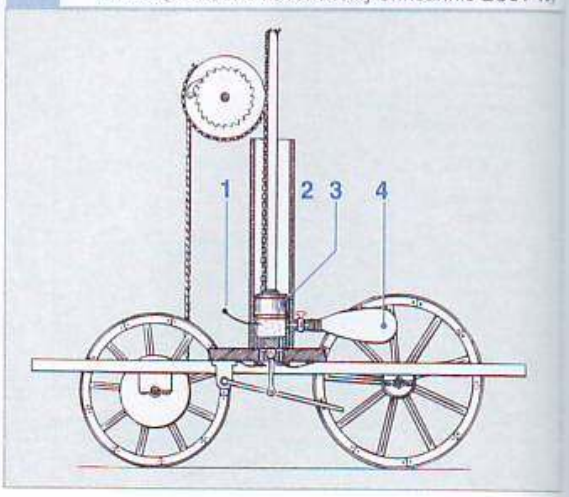
Рис. 1
1. Капсула с порохом
2. Фитиль
3. Ствол
4. Одноходовой обратный клапан
5. Поршень
6. Натяжной шкив
7. Полезная нагрузка G

Рис. 2
1. Кнопка включения системы образования искры зажигания
2. Цилиндр
3. Поршень
4. Емкость, наполненная водой

1 Принцип работы порохового энергетического устройства Кристиана Гюйгенса (1673 г.)



2 Схема механической тележки Исаака Ривы, оборудованной атмосферной поршневой машиной (согласно патентному описанию 1807 г.)



ей газовоздушной смеси с помощью электрической искры. Свою запатентованную машину Рива установил на опытную механическую тележку (рис. 2), но скоро прекратил работу из-за неудовлетворительных результатов. Принцип функционирования этой машины был похож на принцип действия порохового устройства Гюйгенса. Поршень, перемещаемый энергией взрыва вверх, затем двигался вниз за счет действия атмосферного давления, что позволяло перемещать эту тележку на несколько метров и затем приходилось снова запускать свежую горючую смесь в цилиндр и поджигать ее.

Для применения в автомобиле необходимо было изобрести двигатели, которые позволяли бы получать непрерывный поток мощности. Одной из важных проблем для того времени было обеспечение воспламенения горючей смеси в камере сгорания. Изобретатели, стремясь найти решение этой проблемы, создавали одновременно самые разные системы двигателей.

Зажигание высокого напряжения с вибратором

Концепция батарейного зажигания с вибратором была известна уже с 1860 г. Тогда француз Этьен Ленуар сконструировал «зажигание высокого напряжения с вибратором» (рис. 3) для своего стационарного газового двигателя. Для генерирования тока зажигания использовалась катушка Румкорфа 2, получающая электропитание от Вольтова столба, т. е. от гальванического элемента, или какого-нибудь другого источника электрического тока. Две платиновые проволоки 6 с фарфоровыми изоляторами служили электродами и обеспечивали образование искрового разряда. В основе этого принципа Ленуар создал прототип свечи зажигания. Для распределения тока на обе свечи зажигания в двигателе двойного действия Ленуар использовал высоковольтное распределительное устройство на контактных пинах 5.

Характерным для принципа действия катушки Румкорфа является то, что создается магнитное поле тогда, когда замкнута первичная электрическая цепь. Вследствие самоиндукции первичный ток растет медленно. Когда он достигает определенной величины, притягивается якорь 4, зуммерные контакты вибратора 3 размыкаются и первичный ток прерывается. За счет этого магнитное поле быстро исчезает и индуцирует во вторичной электрической цепи высокое напряжение, которое в искровом промежутке генерирует искровой разряд. Якорь после преодоления инерции своей массы через короткое время возвращается в исходное положение, снова замыкает первичную электрическую цепь и процесс повторяется (в конструкциях того времени 40–50 раз в секунду). Вибратор во время работы создает звук в виде зуммера.

Имелись две причины, почему это зажигание не получило распространения для применения в автомобилях. Во-первых, оно создавало несколько искровых разрядов при рабочем ходе и не могло обеспечить эффективное сгорание смеси при высокой частоте вращения коленчатого вала. Во всяком случае, оно подходило для двигателей из времен зарождения автомобилестроения, когда частота вращения коленчатого вала едва превышала 300 мин$^{-1}$. Во-вторых, в то время еще не было возможности генерировать необходимый электрический ток зажигания во время движения автомобиля.

Вибрационное зажигание высокого напряжения было усовершенствовано Карлом Бенцем в 1886 г. Благодаря этому появилась возможность увеличения частоты вращения коленчатого вала по сравнению с оборотами коленчатого вала первого двигателя Бенца, созданного для автомобиля (мощностью 0,8 л. с. при 250 мин$^{-1}$). Свечи зажигания Бенц спроектировал и изготовил сам. Проблема этого зажигания все еще заключалась в слабости гальванических элементов, подающих ток, которые должны были заменяться уже через 10 км пробега.

Зажигание было — как однажды высказался Карл Бенц — «проблемой проблем». «Если нет искры, тогда все напрасно, тогда не помогут самые остроумные конструкции».

Не зря на рубеже веков французские автолюбители желали себе не «Доброго пути!», а «Хорошего зажигания!» («Bon Allumage!»)

Зажигание от калильной головки

Увеличение частоты вращения коленчатого вала было существенным условием для получения необходимой мощности от двигателей с приемлемыми рабочими объемами. К сожалению, механизмы, используемые в системах пламенного зажигания в стационарных двигателях, не соответствовали высокой частоте вращения коленчатого вала.

В 1883 г. было запатентовано разработанное Готтлибом Даймлером непрерывно действующее зажигание от калильной головки. Эта система зажигания (рис. 4) состояла из канала, постоянно связанного с камерой сгорания цилиндра и своим концом входящего в газонепроницаемую калильную головку 2. Труба накаливания постоянно накаливалась маленькой горелкой 3. При сжатии рабочая смесь нагнеталась в калильную головку, воспламенялась там и затем воспламеняла остальную смесь в камере сгорания. Калильная головка должна была нагреваться так, чтобы зажигание возникало только в конце такта сжатия. Благодаря использованию этой калильной головки частоту вращения коленчатого вала удалось поднять до относительно высокого для того времени уровня. В зависимости от конструкции двигателя можно было достичь частоты вращения от 700 до 900 мин$^{-1}$.

Более десятилетия зажигание с калильной головкой было основным типом зажигания, которое использовалось многими изготовителями двигателей. Оно способствовало широкому применению двигателей Daimler и распространению автомобилей в целом. Однако такое зажигание имело серьезный недостаток, который заключался в том, что всегда необходимо было точно поддерживать определенную температуру нагрева калильной головки. Кроме того, пламя могло погаснуть при дожде или ветре, а при непрофессиональном обращении с горелкой мог возникнуть пожар. Не напрасно Вильгельм Майбах опубликовал в 1897 г. докладную записку, в которой он исходил из тезиса, что каждый автомобиль с зажиганием от калильной головки когда-нибудь однажды сгорит.

Зажигание от магнето стало использоваться на автомобиле в 1897 г., после того как Даймлер посчитал необходимым этим заинтересоваться.

Магнитоэлектрическое зажигание искрой низкого напряжения с прерыванием электрического тока

В магнитоэлектрическом зажигании искрой низкого напряжения, созданном Николаусом Августом Отто в 1884 г., магнитный индуктор с качающимся сдвоенным Т-образным якорем и стержневидным постоянным магнитом генерировал электрический ток зажигания низкого напряжения. При прерывании электрического тока создавался искровой разряд на контактах. Подпружиненный возвратный механизм якоря и толкатель, приво-

3 Вибрационное зажигание высокого напряжения Ленуара

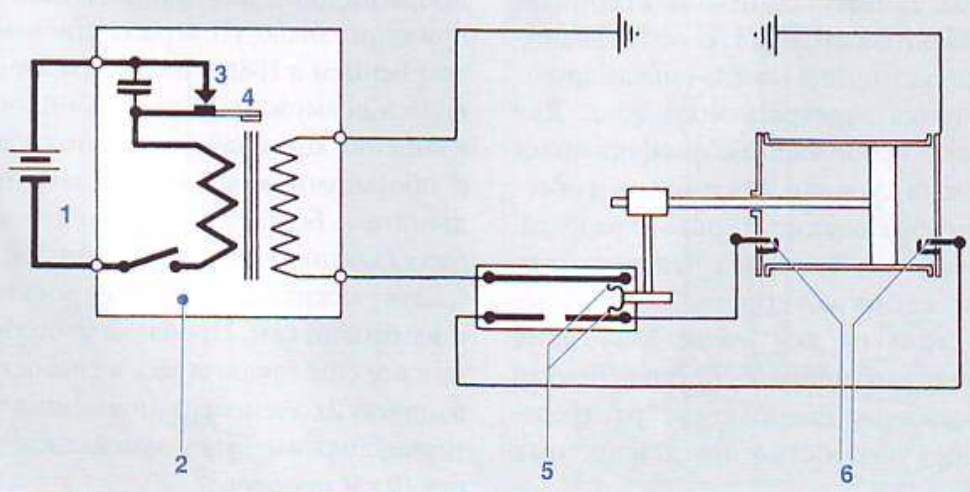


Рис. 3
1. Батарея (гальванический элемент)
2. Катушка Румкорфа
3. Контакты вибратора
4. Якорь
5. Распределитель с контактной пружиной
6. Свеча зажигания

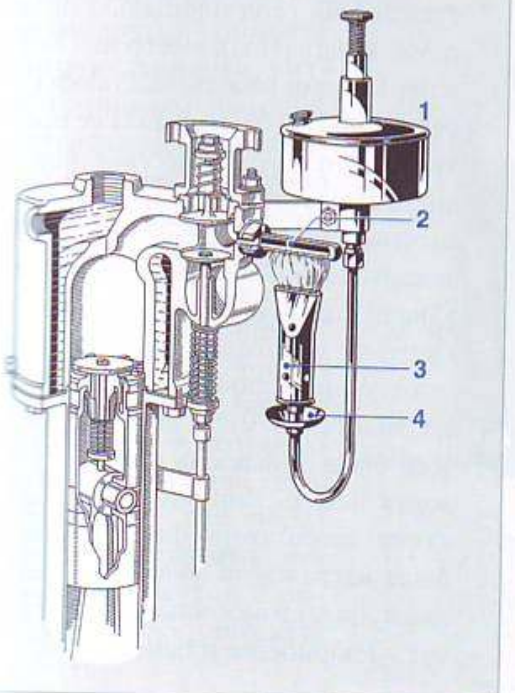
дящий в действие рычаг размыкания контактов, были скоординированы по работе так, что прерывание происходило в момент зажигания, при котором электрический ток якоря достигал своей максимальной величины. Это давало мощную искру в момент зажигания.

Четырехтактный двигатель, изобретенный Отто в 1876 г., работал на светильном газе и поэтому был пригоден только для стационарного применения. Магнитоэлектрическое зажигание низкого напряжения позволяло работать с бензином, но малая частота вращения коленчатого вала ограничивала его применение только медленно вращающимися, стационарными двигателями.

Зажигание от магнето

Проблема зажигания привела наконец к пригодному для автомобилей результату, полученному при участии специализированной фирмы, которая не занималась изготовлением двигателей, но поставляла на рынок системы зажигания для стационарных тихоходных двигателей. Эта фирма, основанная в 1886 г. в Штутгарте Робертом Бошем, носила название «Предприятие точной механики и электротехники» (фирма Bosch).

4 Зажигание с калильной головкой в двигателе Daimler 1885 г. выпуска



Магнето низкого напряжения Bosch с устройством прерывания электрического тока

Роберт Бош усовершенствовал магнитоэлектрические аппараты низкого напряжения для созданной Отто системы зажигания с устройством прерывания электрического тока (рис. 5), для того чтобы иметь возможность поставлять эти аппараты в качестве вспомогательного оборудования различным изготовителям стационарных бензиновых двигателей. Принципиальным преимуществом магнитоэлектрических аппаратов была готовность к работе без использования аккумуляторной батареи. Однако большой вес якоря магнето и медленное срабатывание механизма зажигания воспрепятствовали их применению в автомобильных двигателях. Но благодаря этой разработке фирма Роберта Боша приобрела ценный опыт.

Магнето низкого напряжения

На базе этого механизма замедленного прерывания электрического тока фирма Bosch разработала более легкий и быстрый способ зажигания от магнето, которое также могло использоваться в быстроходных автомобильных двигателях.

5 Конструкция магнето зажигания низкого напряжения Bosch с устройством прерывания электрического тока и фланцем зажигания 1887 г. выпуска.

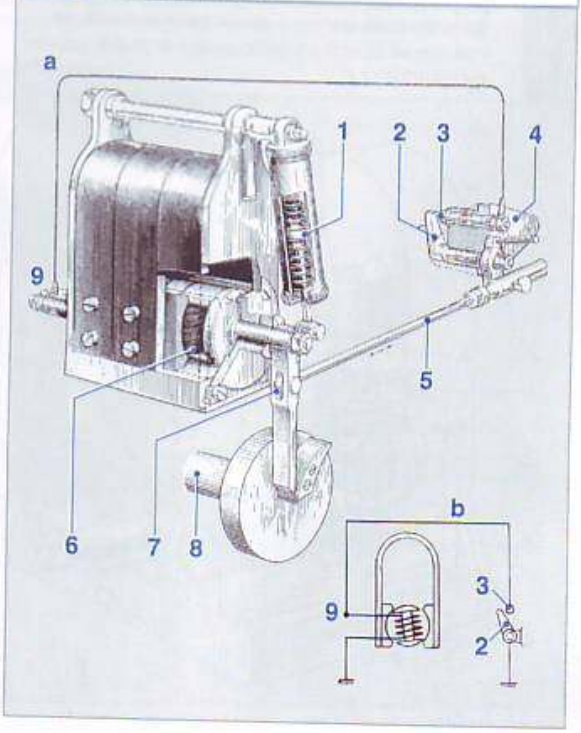


Рис. 4
1. Емкость с бензином для работы горелки
2. Калильная головка
3. Горелка
4. Чашеобразный предварительный нагреватель

На базе сдвоенного Т-образного якоря был создан «якорь Боша» — товарный знак фирмы Robert-Bosch-GmbH.

Рис. 5
a — конструкция
b — иллюстрация принципа действия (в разрезе)

1. Расположение нажимной пружины
2. Рычаг зажигания
3. Палец зажигания
4. Фланец зажигания
5. Толкатель
6. Сдвоенный Т-образный якорь
7. Коленчатый рычаг
8. Управляющий вал
9. Клемма

Вместо колебательного движения тяжелого якоря с обмоткой, между полюсными башмаками и неподвижным якорем размещалась втулка, совершающая колебательные движения и обеспечивающая получение пучка силовых линий (рис. 6). Втулка имела привод от конической зубчатой передачи, которая также служила устройством установки момента зажигания. Выступ кулачка использовался для проворачивания нажимного рычага и когда тот за счет усилия пружины сходил с выступа кулачка вниз, то рычаг зажигания в цилиндре быстро отходил от контакта зажигания и за счет этого создавал искру зажигания.

Концепция магнето с втулкой, а также принудительный привод сразу получили признание, т.к. эта система соответствовала потребности создания высокооборотных автомобильных двигателей.

Вскоре после этого она была представлена Готлибу Даймлеру, Вильгельму Майбаху и Карлу Бенцу. Даймлер установил такое зажигание в автомобиле и сам совершил пробную поездку из Штутгарта в Тироль, прошедшую успешно. На двигателях Даймлера, используемых на первых дирижаблях Цеппелина, также устанавливалась эта система зажигания, т.к. в дирижабле изначально исключалось применение зажигания с калильной головкой из-за опасности возгорания газа, используемого для его наполнения.

Но в этой системе речь все еще шла о зажигании от магнето низкого напряжения, когда образование искры зажигания происходило на контактах в камере сгорания, управляемых посредством нажимного рычажного механизма вначале механическим, а затем электромагнитным путем.

Зажигание магнето высокого напряжения

Вскоре система зажигания от магнето низкого напряжения уже перестала соответствовать требованиям, которые предъявляли к зажиганию двигатели с более высокими значениями частоты вращения коленчатого вала, давления сжатия и температуры сгорания. До тех

6 Конструкция магнето зажигания низкого напряжения Bosch с качающейся втулкой, конструкция 1897 г.

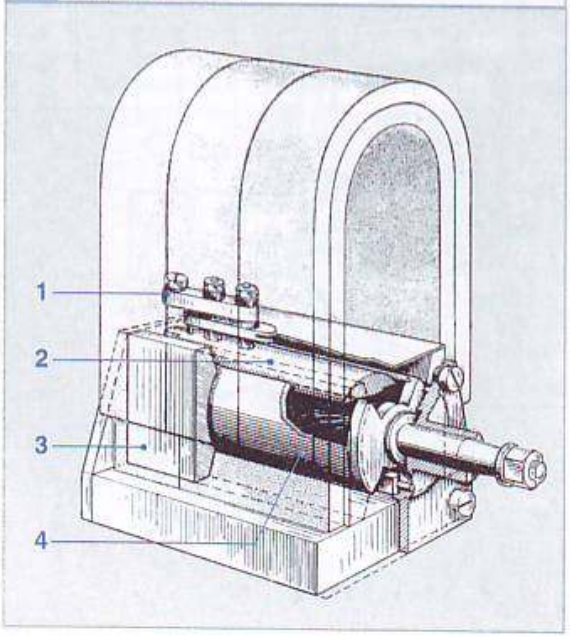


Рис. 6
1. Клемма
2. Сдвоенный Т-образный якорь (неподвижный)
3. Полюсные башмаки
4. Втулка (осуществляющая колебательные движения)

Презентация магнето низкого напряжения фирмы Bosch

Удобный случай показать общественности новое зажигание с прерыванием электрического тока также предоставила Первая международная выставка автомобилей в Берлине в 1899 г. У фирмы Robert Bosch в качестве выставочного стенда был стол площадью около двух квадратных метров. Хотя в первые дни работы выставки Роберт Бош сам рассказывал ее посетителям о преимуществах новой системы зажигания, эти преимущества казались не очень убедительными, и некоторые слушатели качали головой. К сожалению, эту систему зажигания нельзя было продемонстрировать ни на одном из выставляемых автомобилей, и ей была присвоена только бронзовая медаль. Лишь год спустя система зажигания фирмы Bosch была награждена золотыми медалями на автомобильных выставках в Нюрнберге и Вене.

пор пока проблема аккумуляторной батареи не была решена, следовало ожидать только усовершенствования зажигания от магнето, которое использовало бы вместо указанных контактов свечу зажигания. Для этого было необходимо получать электрический ток зажигания высокого напряжения.

Роберт Бош дал задание своему сотруднику Готтлобу Гонольду разработать магнитоэлектрическое зажигание без нажимного рычажного механизма и с неподвижными электродами зажигания. Это зажигание должно было изготавливаться так, чтобы моторостроительные фирмы могли использовать его как полнокомплектный блок.

Гонольд использовал магнето низкого напряжения с качающейся гильзой, которое он соответственно реконструировал. На сдвоенном Т-образном якоре появились две обмотки: одна с несколькими витками из толстой проволоки, вторая с многочисленными витками из тонкой проволоки (рис. 7 и 8). За счет вращения гильзы в обмотке якоря вначале создавалось низкое напряжение. Одновременно часть обмотки с небольшим количеством витков замыкалась прерывателем 3 (рис. 7). За счет этого там возникал сильный ток, который после этого прерывался. В результате этого в другой обмотке с многочисленными витками возникало высокое, быстро исчезающее напряжение, которое пробивало искровой промежуток на свече зажигания 5 и делало его токопроводящим. После этого в той же обмотке индуцировалось другое, значительно более низкое напряжение, но которого было достаточно для того, чтобы подать ток через ставший проводимым искровой промежуток и образовать электрическую дугу.

Прерыватель управлялся механически кулачком 4 таким образом, чтобы он мог замыкать и прерывать электрическую цепь обмотки низкого напряжения в точно определенный момент. Для устранения искрения на разомкнутых контактах прерывателя к ним параллельно подключался конденсатор.

Уже в декабре 1901 г. Гонольд сделал опытный экземпляр новой системы зажигания, как раз когда Бош вернулся из

7 Электрическая схема системы зажигания от магнето высокого напряжения фирмы Bosch (из описания патента №156117 от 7 января 1902 г.)

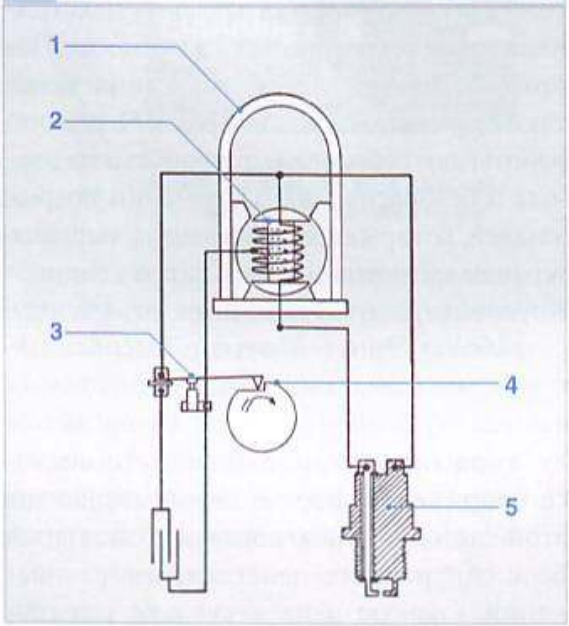


Рис. 7
1. Постоянный магнит
2. Сдвоенный Т-образный якорь
3. Контакты прерывателя
4. Кулачок
5. Свеча зажигания

24 сентября 1902 г. Появилось первое магнето высокого напряжения фирмы Bosch с используемыми вместе с ним свечами зажигания, которое начало поставляться фирме Daimler

8 Конструкция первого серийного магнето высокого напряжения Bosch 1902 г. выпуска, модель HDh с вращающейся втулкой

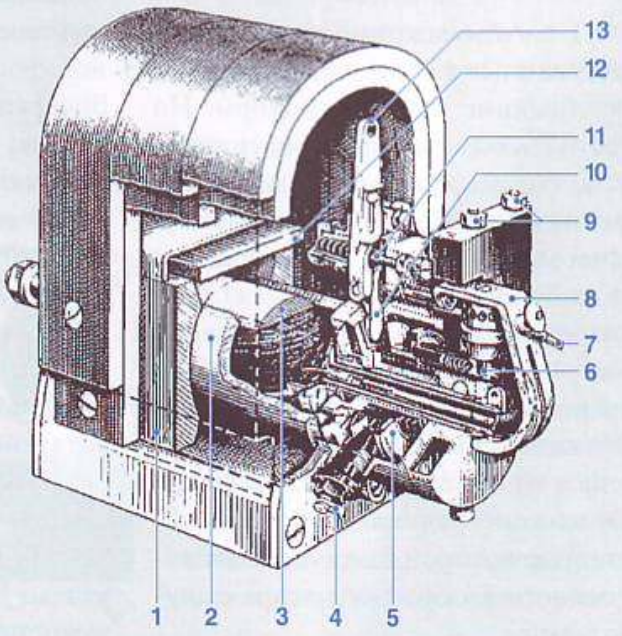


Рис. 8
1. Полюсный башмак
2. Втулка (вращающаяся)
3. Сдвоенный Т-образный якорь
4. Токоприемник с соединительной шиной к контактам подключения свечей зажигания
5. Диск распределителя с контактным кольцом
6. Электрическое соединение с диском распределителя (вторичная цепь)
7. К выключателю зажигания
8. Электрическое соединение с прерывателем (первичная цепь)
9. Клеммы подключения к свечам зажигания
10. Рычаг прерывателя
11. Контакты прерывателя
12. Конденсатор
13. Регулировка момента зажигания

длительной зарубежной поездки. Он не знал о результатах экспериментов, но когда увидел работу этой экспериментальной системы, то сразу понял значение новой конструкции и выразил свою радость обращенными к Гонольду словами: «Этим Вы превзошли всех».

Необходимо было также разработать новые свечи зажигания. Свечи, которые использовались в прежнем батарейном зажигании, не выдерживали горячую, похожую на световую дугу искру нового магнето. Электроды обгорали слишком быстро. Разработчикам не оставалось ничего другого, как самим браться за работу и изготавливать подходящие свечи зажигания. Поэтому создание свечей зажигания Bosch также приходится на это время. Огромной работы потребовала и разработка надежных и безопасных в эксплуатации прерывателей, которые с самого начала являлись сердцем магнето высокого напряжения.

Другой вариант зажигания от магнето разработал Эрнст Айземан. Высокое напряжение создавалось отдельно установленным трансформатором, который получал электропитание от магнето низкого напряжения. Хотя в новых вариантах этой системы использовался контактный блок синхронного действия, закорачивающий токовую цепь несколько раз при каждом повороте якоря, позднее конструкторы пришли к выводу о достаточности только одной цепи короткого замыкания.

В 1902 г. Айземан попытался найти заинтересованных в его изобретении лиц среди крупнейших немецких фирм. Но он встретил отказ, который мотивировался тем, что искра слишком мала и не подходит для двигателя. Айземану больше посчастливилось во Франции, где граф де ла Валетт — инженер по специальности — договором от 15 сентября 1902 г. зафиксировал свое эксклюзивное право на реализацию зажигания Айземана во Франции. Но позднее Айземан также перешел от отдельно расположенной катушки на конструкцию фирмы Bosch, особенностью которой было использование сдвоенного Т-образного якоря с двумя обмотками.

Батарейное зажигание

Когда фирма Robert Bosch AG в 1925 г. представила систему батарейного зажигания, в автомобильной промышленности еще доминировало зажигание от магнето. В то время зажигание от магнето считалось самой надежной системой зажигания. Между тем автомобилестроители требовали создания более дешевой системы, и благодаря постоянным работам в этом направлении появилось батарейное зажигание, которое в течение нескольких месяцев пробивало себе дорогу для использования на автомобилях и мотоциклах в Европе, в то время как в США оно уже использовалось серийно.

Первые серийные системы батарейного зажигания в США

Принцип батарейного зажигания был разработан американцем Чарльзом Ф. Кеттерингом еще в 1908 г., а в 1910 г. фирмой Cadillac было налажено серийное производство этой системы. Во время первой мировой войны батарейное зажигание получало все большее признание, несмотря на все его несовершенство. Стремление автопроизводителей предоставить широким слоям населения доступный автомобиль потребовало значительного удешевления его конструкции, но при условии, что придется смириться с зависимостью от аккумуляторной батареи. Зарядка аккумуляторной батареи во время движения обеспечивалась установкой генератора.

Внедрение батарейного зажигания фирмы Bosch в Европе

В Европе в первые годы после первой мировой войны автомобиль еще не получил широкого распространения. Но по мере возрастающего спроса на автомобили возникло, как и до этого в США, стремление к их удешевлению. В 20-е годы в Европе наметились условия для распространения батарейного зажигания. Необходимый опыт доведения новой разработки до серийной стадии у фирмы Bosch был давно накоплен. Например, предприятие Bosch уже до 1914 г. поставляло в США катушки зажигания — основной элемент батарей-

Применение зажигания от магнето

Зажигание от магнето фирмы Bosch, используемое на спортивных автомобилях

Особое испытание зажигание магнето низкого напряжения фирмы Bosch прошло на первом автомобиле Mercedes, победившем в 1901 г. на трех французских автомобильных гонках и завоевавшем в том же году и другие победы. Особенно важным событием были гонки Gordon-Bennett в Ирландии в 1903 г. Бельгиец Камилль Женатци на автомобиле Mercedes мощностью 60 л. с. завершил гонку победой, привлекшей всеобщее внимание, чему способствовали надежность и превосходство зажигания от магнето фирмы Bosch. На гонках Gordon-Bennett в1904 г. уже пять самых скоростных автомобилей были оснащены системой зажигания Bosch.

Подпись под рисунком:
Камилль Женатци в виде Боша-Мефистофеля на рекламном плакате фирмы Bosch в 1911 г.

В июне 1902 г. в гонке Париж — Вена победил легкий автомобиль Renault. За рулем был Марсель Рено, брат которого Луи Рено в 1898 г. привлек всеобщее внимание своим малолитражным автомобилем и одновременно заложил камень в основание знаменитой французской автомобилестроительной фирмы. Автомобиль-победитель фирмы Renault был оснащен новым зажиганием от магнето высокого напряжения фирмы Bosch, которое в то время еще не использовалось на обычных легковых автомобилях.

В 1906 г. победа в гонках Гран При Франции досталась автомобилю, оснащенному зажиганием от магнето высокого напряжения фирмы Bosch. После этого автомобилестроители стали активно отдавать предпочтение данному зажиганию и вскоре на него начался бурный спрос.

Зажигание от магнето в авиации

В мае 1927 г. летчик Чарльз Линдберг, летавший на почтовых самолетах, отправился в свой исторический одиночный полет через Атлантику. На одномоторном самолете «Spirit of St. Louis» он без приземления преодолел расстояние от Нью-Йорка до Парижа за 33,5 ч. Бесперебойное зажигание во время полета обеспечила система зажигания от магнето швейцарской фирмы Scintilla из Золотурна, которая сегодня входит в группу Bosch.

Первый беспосадочный полет над Атлантикой в направлении восток — запад в апреле 1928 г. совершили пионеры таких полетов Герман Коль, барон Гюнтер фон Хюнефельд и Джеймс Фицморис на самолете Junkers W33, изготовленном из гофрированного стального листа. Они стартовали в Ирландии и через 36 ч приземлились в Канаде у острова Гринли. Непосредственную цель — Нью-Йорк — они пропустили из-за сильных штормов. Но, как было написано на фото рукой одного из членов экипажа, «со свечами зажигания и магнето Bosch полет удался».

ного зажигания. Фирма Bosch отреагировала на запросы рынка одной из первых, предложив в 1925 г. европейским автопроизводителям систему батарейного зажигания, состоящую из катушки зажигания TA и распределителя зажигания VA. Вначале батарейное зажигание было использовано на автомобиле Brennabor 4/25. В 1931 г. уже 46 из 55 имеющихся в Германии типов автомобилей были оснащены этой системой зажигания.

Конструкция и принцип работы

Как правило, эта система зажигания состояла из двух пространственно разделенных между собой устройств: распределителя зажигания с приводом от двигателя и неподвижного узла с катушкой зажигания (рис. 9). Катушка зажигания 7, уже известная по системе зажигания от магнето высокого напряжения Айземана, имела первичную и вторичную обмотки, а также железный сердечник. В распределителе зажигания 8 располагались прерыватель 5 стационарного размещения, вращающийся кулачок 4 и распределительное устройство для вторичного тока высокого напряжения. Конденсатор зажигания 3 служил для предупреждения обгорания контактов прерывателя.

Кулачок прерывателя и ось распределителя были единственными подвижными элементами батарейного зажигания, которое в отличие от зажигания от магнето нуждалось в приводе.

Батарейное зажигание отличалось от зажигания от магнето еще и тем, что первичный ток низкого напряжения поступал из бортовой сети автомобиля.

9 Конструкция аккумуляторного зажигания

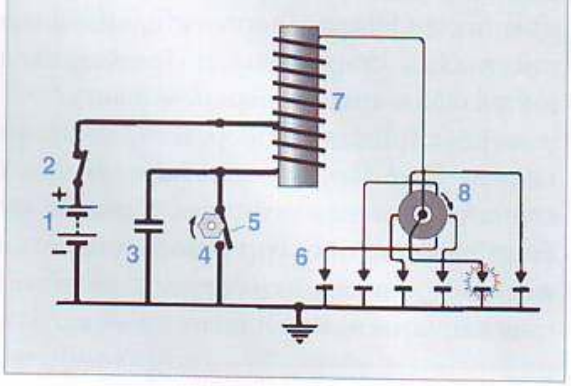


Рис. 9
1. Аккумуляторная батарея
2. Выключатель зажигания
3. Конденсатор
4. Кулачок прерывателя
5. Контакты прерывателя
6. Свечи зажигания
7. Катушка зажигания
8. Распределитель зажигания

Высокое напряжение вырабатывалось способом, сходным с зажиганием от магнето: ток, создающий в первичной обмотке магнитное поле, прерывался прерывателем с механическим управлением и за счет исчезновения магнитного поля во вторичной обмотке возникало высокое напряжение.

Требования к новой системе зажигания

Требования, которые двигатель внутреннего сгорания предъявлял в то время к системе зажигания, невероятно выросли и стали разнообразнее. Двигатели работали при более высокой степени сжатия и на более бедных рабочих смесях, а максимальная частота вращения коленчатого вала выросла. Одновременно к системе зажигания предъявлялись и другие требования, такие как:

- снижение шумности при работе;
- хорошие характеристики на режиме холостого хода;
- большие интервалы между техническими обслуживаниями;
- долговечность в тяжелых условиях эксплуатации;
- небольшой вес;
- небольшие размеры;
- низкая цена.

Повышенная степень сжатия в двигателях и регулировка карбюратора на получение более экономичной рабочей смеси требовали более высокого напряжения зажигания, чем раньше, для того чтобы искрообразование стало более надежным. Хорошие характеристики зажигания на холостом ходу можно было обеспечить только увеличенным расстоянием между электродами свечи, что требует увеличения напряжения зажигания, которое должно было возрасти более чем вдвое. Это, в свою очередь, оказывало влияние на конструкцию токопроводящих элементов, которые в цепи высокого напряжения должны быть защищены от искрения.

Двигатели требовали значительной коррекции момента зажигания к расширенному диапазону частоты вращения ко-

ленчатого вала. Поэтому стали необходимы большие диапазоны регулировки для угла опережения зажигания для того, чтобы на высоких оборотах коленчатого вала компенсировать увеличение угла поворота коленчатого вала между моментами зажигания и воспламенения рабочей смеси. В дальнейшем на многоцилиндровых двигателях прерыватель цепи низкого напряжения и механизм распределения высокого напряжения, поступающего от катушки зажигания, стали монтироваться на общей приводной оси в корпусе распределителя зажигания. Для установки момента зажигания рычажок прерывателя и кулачок могли проворачиваться относительно друг друга, что первоначально осуществлялось вручную с места водителя и предполагало наличие у водителя опыта и технического понимания этого процесса. Центробежный автоматический регулятор, регулирующий момент зажигания в зависимости от частоты вращения коленчатого вала, применявшийся еще в 1910 г. в зажигании от магнето высокого напряжения, был позаимствован для системы батарейного зажигания.

С повышением значения фактора снижения расхода топлива возникала необходимость учитывать при регулировке момента зажигания также зависимость процесса сгорания от нагрузки двигателя. Для этого был использован диафрагменный вакуумный регулятор, который реагирует на разрежение во впускном трубопроводе перед дроссельной заслонкой и через приводное устройство передает регулирующие усилия на распределитель зажигания. На основании этого, кроме изменения угла опережения с помощью центробежного регулятора, это изменение осуществляется и посредством вакуумного регулятора, который фирма Bosch внедрила в 1936 г. на своих распределителях зажигания.

При разработке контактов прерывателя фирма Bosch могла базироваться на опыте времен магнето. Со временем получили развитие все элементы батарейного зажигания. Дальнейшее развитие технологий — особенно новой технологии полупроводников — привело, в конце концов, к появлению новых систем зажигания, которые все еще работают по принципу первоначального батарейного зажигания, но сконструированы совсем по-другому.

Развитие батарейных систем зажигания

За время между началом использования батарейного зажигания Bosch в 1925 г. и разработкой новых систем зажигания эти системы постоянно изменялись и подвергались непрерывному совершенствованию.

За это время не произошло существенных изменений в принципах функционирования батарейного зажигания. Изменению подвергались в основном механизмы управления установкой момента зажигания. Это привело к изменению элементов системы. От первоначальных систем батарейного зажигания сохранились только катушка зажигания и свеча зажигания. В конце 90-х гг. управление зажиганием окончательно стало интегрироваться в систему управления двигателем Motronic, поэтому все описанные ниже системы зажигания с их отдельно сконструированными блоками управления зажиганием относятся к истории.

Традиционное катушечное зажигание (SZ)

Работа традиционной системы катушечного зажигания зависит от положения контактов прерывателя. Эти контакты размыкают и замыкают электрическую цепь для регулирования тока в катушке зажигания.

Конструкция и принцип работы

Традиционное катушечное зажигание состоит из следующих элементов (рис. 1):

- катушки зажигания 3;
- распределителя зажигания 4 с контактами прерывателя 6, конденсатора 5, центробежного регулятора момента зажигания и вакуумного регулятора зажигания 7;
- свечей зажигания 9.

Учебный плакат фирмы Bosch, выпущенный в 1969 г. на тему о принципах работы батарейного зажигания Bosch

Батарейное зажигание Bosch

Во время работы электрический ток от положительного вывода аккумуляторной батареи поступает на выключатель зажигания и, следовательно, на клемму 15 низкого напряжения катушки зажигания. При замкнутых контактах прерывателя электрический ток течет через первичную обмотку катушки зажигания (катушка зажигания с битумной заливкой, см. раздел «Катушки зажигания») на массу автомобиля. За счет этого в катушке зажигания образуется магнитное поле, в котором накапливается энергия зажигания. Из-за наличия индуктивности и сопротивления в первичной обмотке происходит постепенный рост электрического тока. Время зарядки катушки определяется углом замкнутого состояния контактов. Этот угол, в свою очередь, зависит от формы кулачка распределителя зажигания, который посредством взаимодействующего с ним рычажка замыкает и размыкает контакты прерывателя (рис. 2b). В конце периода замкнутого состояния контактов кулачок размыкает контакты и тем самым прерывает ток в катушке зажигания. Количество выступов на кулачке соответствует числу цилиндров двигателя.

Из-за износа следящего элемента кулачка (рычажка) за счет истирания, а также из-за обгорания контактов прерывателя, эти контакты должны регулярно заменяться.

Электрический ток, время замкнутого состояния контактов прерывателя, а также количество витков во вторичной обмотке в катушке зажигания в значительной степени определяют высокое напряжение зажигания, индуцируемое на вторичной обмотке.

Конденсатор, подключенный параллельно к контактам прерывателя, не допускает образования между контактами электрического разряда и за счет этого продолжения поступления электрического тока после размыкания контактов.

Высокое напряжение, создаваемое во вторичной обмотке катушки зажигания, подается на центральную клемму распределителя зажигания. Вращающийся ротор распределителя 8 (рис. 1) образует электрическое соединение между этой центральной клеммой и внешним электродом таким образом, что высокое напряжение направляется к свече зажигания того цилиндра, поршень в котором находится в конце такта сжатия и там создает искру зажигания. Синхронизация с вращением коленчатого вала и, следовательно, с положением поршней в отдельных цилиндрах обеспечивается за счет механической постоянной связи распределителя зажигания с распределительным валом или с любым другим валом, связанным с коленчатым валом при передаточном отношении между ними, равным 2:1.

Регулировка опережения зажигания

За счет этой постоянной механической связи между валиком распределителя зажигания и коленчатым валом регулируется момент зажигания в соответствии с углом поворота коленчатого вала путем проворачивания корпуса распределителя.

Центробежный регулятор опережения зажигания

Центробежный регулятор опережения зажигания регулирует момент зажигания в зависимости от частоты вращения ко-

1 Система катушечного зажигания

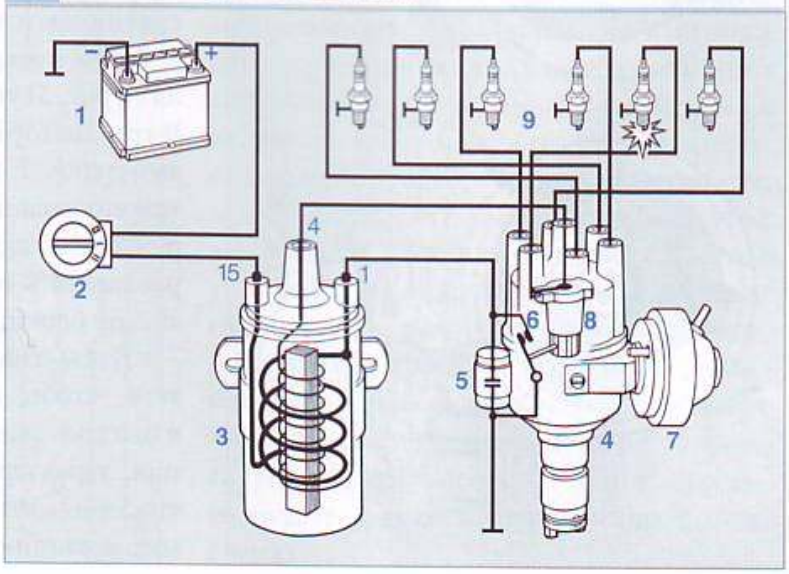


Рис. 1
1. Аккумуляторная батарея
2. Выключатель зажигания
3. Катушка зажигания
4. Распределитель зажигания
5. Конденсатор
6. Контакты прерывателя
7. Вакуумный регулятор зажигания
8. Ротор распределителя
9. Свеча зажигания

1, 4, 15 — обозначения клемм катушки зажигания

ленчатого вала. Вращающиеся вместе с валиком распределителя центробежные грузики 4 (рис. 2a) расположены на несущей пластине 1. С повышением оборотов коленчатого вала центробежные грузики расходятся и поворачивают другую пластину 5 по паллоиде 3 в направлении, противоположном вращению распределительного вала 6. За счет этого в том же направлении проворачивается также кулачок зажигания на установочный угол α. На этот угол смещается и момент зажигания в сторону опережения.

Вакуумный распределитель зажигания

Вакуумный распределитель зажигания регулирует момент зажигания в зависимости от нагрузки на двигатель. Мерой этой нагрузки является разрежение во впускном трубопроводе, которое воздействует на две анаэробные коробки (рис. 2b).

По мере снижения нагрузки на двигатель возрастает разрежение в вакуумном регуляторе опережения, вызывая перемещение диафрагмы 11 вместе с регулирующей тягой 16 вправо. Тяга проворачивает пластину прерывателя 8 оппозитно направлению вращения валика распределителя зажигания, в результате чего увеличивается угол опережения зажигания.

Разрежение в коробке управления запаздыванием зажигания, соединенной с впускным трубопроводом за дроссельной заслонкой, приводит к перемещению кольцеобразной диафрагмы 15 вместе с тягой влево и, благодаря этому, к уменьшению угла опережения зажигания в направлении запаздывания. Эта система установки запаздывания зажигания используется для снижения токсичности ОГ при определенных рабочих режимах двигателя (например, холостой ход, режим принудительного холостого хода).

2 Система установки катушечного зажигания

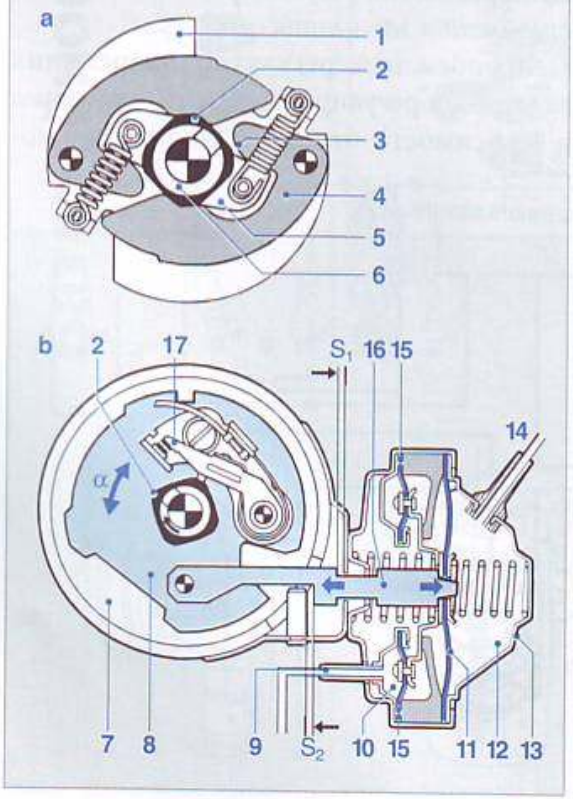


Рис. 2
a — центробежный регулятор опережения зажигания (показан в нерабочем положении)
b — вакуумный регулятор опережения и запаздывания зажигания
1. Опорная пластина
2. Кулачок распределителя зажигания
3. Контактная поверхность
4. Центробежный грузик
5. Несущая пластина
6. Валик распределителя зажигания
7. Распределитель зажигания
8. Подвижная пластина прерывателя
9. Подсоединение впускного трубопровода к коробке регулирования запаздывания зажигания в вакуумном регуляторе
10. Коробка регулирования запаздывания зажигания в вакуумном регуляторе
11. Диафрагма (система регулирования опережения зажигания)
12. Коробка регулирования опережения зажигания
13. Анероидная коробка вакуумного регулятора
14. Подсоединение впускного трубопровода к коробке регулирования опережения зажигания
15. Кольцеобразная диафрагма (система регулирования запаздывания зажигания)
16. Регулирующая тяга
17. Контакты прерывателя
S_1 — общее опережение зажигания
S_2 — общее запаздывание зажигания
α — угол поворота подвижной пластины прерывателя

Контактно-транзисторное зажигание (TZ-K)

Конструкция и принцип работы

Распределители зажигания в контактно-транзисторном зажигании идентичны распределителям зажигания, используемым в катушечном зажигании. Различие заключается в управлении первичной цепью. Вместо размыкания и замыкания этой цепи с помощью контактов прерывателя, в системе контактно-транзисторного зажигания данная цепь управляется транзистором, размещенным вместе с дополнительной электронной схемой в корпусе выключателя зажигания. В этой системе контакты прерывателя включают только управляющий ток для транзисторной системы зажигания. Поэтому и в данном случае речь идет о системе зажигания с контактным управлением. На рис. 3 сравниваются две системы зажигания.

При замкнутых контактах прерывателя 7 (рис. 3) управляющий ток течет в базу В транзистора, за счет чего путь между эмиттером Е и коллектором С становится токопроводящим и катушка зажигания заряжается. Если контакты разомкнуты, управляющий ток не течет в базу В, и транзистор блокирует ток в первичной цепи.

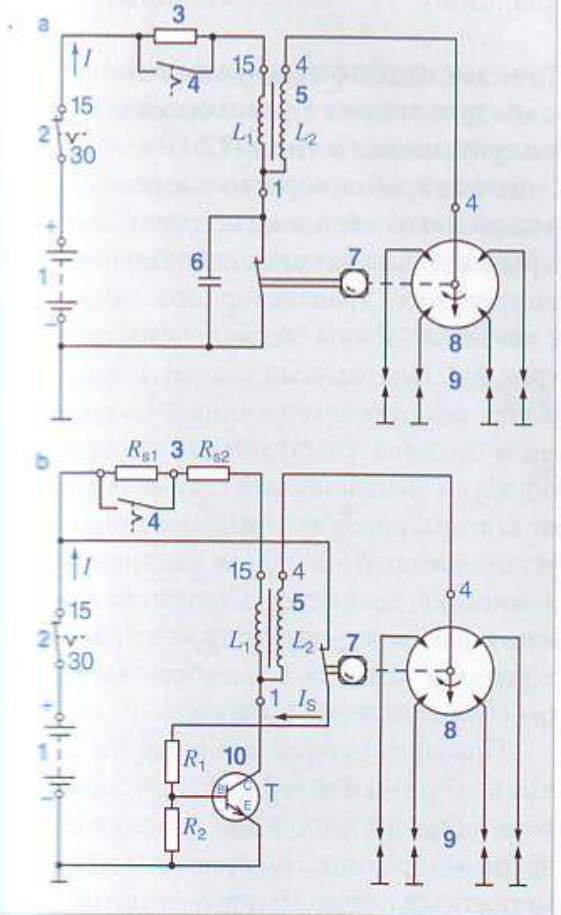
Балластные резисторы 3 служат для того, чтобы ограничить первичный ток в быстро заряжаемых катушках зажигания, характеризующихся малыми сопротивлениями, и применяемых в этих системах зажигания. При пуске двигателя одно

из этих сопротивлений шунтируется клеммой 50 на стартере для того, чтобы компенсировать возникающее при этом снижение напряжения аккумуляторной батареи.

Преимущества

Контактно-транзисторного зажигания по сравнению с традиционным катушечным зажиганием есть два существенных преимущества. Из-за минимальных токов, текущих через контакты прерывателя, обеспечивается значительное увеличение срока их службы. Другим преимуществом является то, что транзистор, по сравнению с механическим контактным прерывателем, может управлять более высокими токами первичной цепи, что позволяет *увеличить количество энергии, накопленной* в катушке зажигания, а это приводит к улучшению всех характеристик цепи высокого напряжения, включая величину этого напряжения, продолжительность искрового разряда и ток искры.

3 Сравнение традиционной катушечной системы зажигания с контактно-транзисторным зажиганием (TZ-K)



Бесконтактное транзисторное зажигание с датчиком Холла (TZ-H)

Конструкция

В этой бесконтактной транзисторной системе зажигания контакты прерывателя, которые еще присутствуют в контактно-транзисторной системе зажигания, заменены на датчик Холла, встроенный в распределитель зажигания. При вращении валика распределителя зажигания вращается и экран с прорезями 1 (рис. 4a), проходя через зазор 4 в магнитном поле постоянного магнита. Обе магнитомягких детали с постоянными магнитами (2) создают магнитное поле. Здесь отсутствует непосредственный механический контакт. Два магнитопроводящих элемента *с постоянными магнитами 2 создают* магнитное поле. Когда через зазор проходит прорезь экрана, она беспрепятственно пропускает это магнитное поле, которое воздействует на пластинку проводника 3 (датчик Холла). И, наоборот, когда в этот зазор входит заслонка экрана, магнитные силовые линии замыкаются через экран и не действуют на пластинку. Этот процесс обеспечивает генерирование цифрового сигнала напряжения (рис. 4b).

Так как количество заслонок на экране равняется количеству цилиндров, сигнал напряжения соответствует сигналу от контактов прерывателя в контактно-транзисторной системе. В этой системе на основе высоты выступа на кулачке валика распределителя задается угол замкнутого состояния контактов, а в другой системе применяется коэффициент импульса сигнала напряжения, вырабатываемого заслонками экрана. Ширина b отдельных заслонок, в зависимости от характеристики прибора управления зажиганием, может определять максимальный угол замкнутого состояния контактов. Этот угол остается постоянным на протяжении всего срока службы датчика Холла, по крайней мере, в системах без раздельного управления этим углом. Благодаря этому становится ненужной регулировка угла замкнутого состояния контактов, как в контактно-транзисторных системах.

Рис.3
a — схема соединений в традиционной системе катушечного зажигания
b — схема соединений в системе транзисторного зажигания с контактным управлением (TZ-K)

1. Аккумуляторная батарея
2. Выключатель зажигания
3. Последовательно подключенный резистор
4. Выключатель, подключенный в обход резистора
5. Катушка зажигания с первичной обмоткой L_1 и вторичной обмоткой L_2
6. Конденсатор
7. Контакты прерывателя
8. Распределитель зажигания
9. Свечи зажигания
10. Электронные схемы с резисторами для распределения напряжения R_1, R_2 и транзистором T

1, 4, 15, 30 — обозначения клемм

Регулировка тока и угла

Применение быстро заряжающихся катушек, обладающих малым сопротивлением, обеспечило принятие мер по ограничению тока в первичной цепи и потерь мощности. Эти функции реализованы в блоке управления системой зажигания.

Регулировка тока

Регулировка тока в первичной цепи служит для ограничения магнитного потока внутри катушки и снижения нарастания тока до требуемого уровня. На фазе регулировки тока транзистор входит в свой активный диапазон, и потери на транзисторе напряжения оказываются при этом больше, чем в режиме переключения. Это приводит к более высоким потерям мощности в цепи.

Регулировка угла

Для минимизации этих потерь мощности необходима регулировка угла закрытия до минимальной его продолжительности. Так как в аналоговой технологии регулирующие процессы могут осуществляться просто за счет сдвига порогов напряжения, пусковой сигнал прямоугольной формы датчика Холла путем зарядки и разрядки конденсатора преобразуется в напряжение (рис. 4c), изменяющееся по наклонным прямым в зависимости от времени.

В конце 70% соответствующей ширины заслонки имеется момент зажигания, определяемый углом поворота валика, что соответствует концу ширины заслонки экрана (корреляция 70%) распределителя зажигания. Регулировка угла закрытия установлена таким образом, что время регулировки тока t_1* точно соответствует необходимому для получения динамичного режима опережения зажигания. Параметр t_1 используется для создания напряжения в целях сравнивания с падением напряжения по наклонной прямой. В точке пересечения «вкл.» включается первичный ток, начинается угол закрытия. За счет изменения этого напряжения точка пересечения на наклонном напряжении может сдвигаться и в результате этого момент включения угла закрытия как угодно изменяться и адаптироваться к каждому рабочему диапазону.

4 Датчик Холла в распределителе зажигания

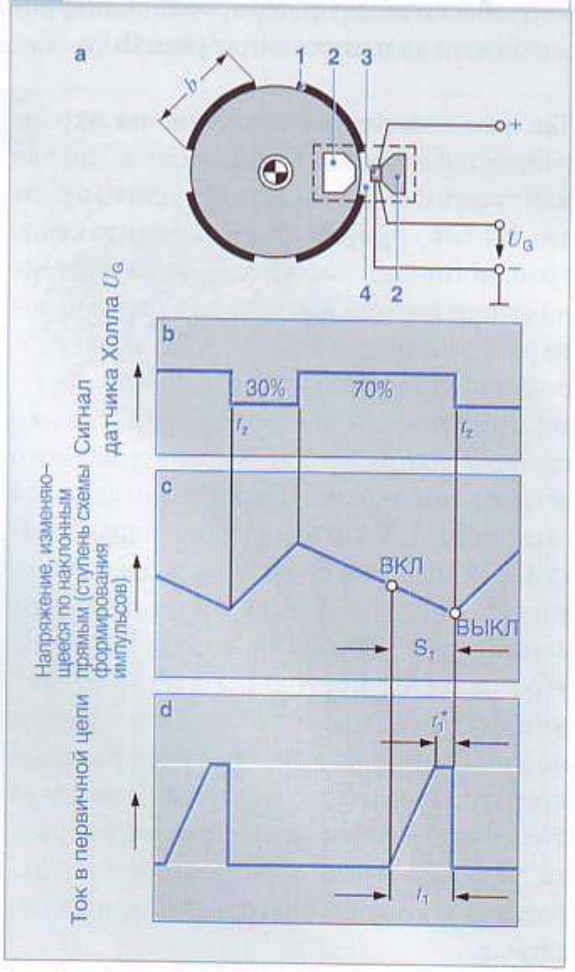


Рис. 4
a — принципиальная схема вращающегося экрана
b — напряжение на выходе датчика Холла
c — напряжение для регулировки угла закрытия (изменяется по наклонным прямым)
d — ток в первичной цепи катушки зажигания

1. Заслонка с шириной b
2. Постоянный магнит с элементом, обладающим слабой магнитной проницаемостью
3. Интегральная схема датчика Холла
4. Воздушный зазор

t_1 — время закрытия
t_1* — время ограничения тока (время регулировки тока)
t_z — момент зажигания

Транзисторное зажигание с импульсным генератором индукционного типа (TZ-I)

Этот тип транзисторного зажигания с индукционным датчиком, встроенным в распределитель зажигания, отличается от бесконтактного транзисторного зажигания с датчиком Холла весьма незначительно (рис. 5a). Постоянный магнит 1, индукционная обмотка и сердечник 2 индукционного датчика (импульсного генератора) образуют неподвижный статор. В отличие от статора, ротор импульсного генератора, установленный на валике распределителя зажигания, вращается. Сердечник и ротор изготовлены из магнитопроницаемого материала. У них есть зубцеобразные выступы (зубцы статора и ротора).

Принцип работы заключается в том, что воздушный зазор между зубцами ротора и статора постоянно изменяется при вращении ротора. Вместе с ним меняется магнитный поток. Изменение потока соз-

дает в индукционной обмотке переменное напряжение (рис. 5b). Пиковое напряжение зависит от частоты вращения: около 0,5 В при малой и около 100 В при высокой. Частота f соответствует количеству искровых разрядов в минуту.

Процесс управления током и углом установки момента зажигания в системе протекает аналогично этому процессу в системе TZ-H. В создании напряжения, изменяющегося по наклонной прямой, нет необходимости. Вместо этого для управления моментом зажигания может напрямую использоваться индуктируемое напряжение переменного тока.

Электронная система зажигания (EZ)

Распределители зажигания с центробежным и вакуумным регуляторами момента зажигания, использующие только очень простые характеристики регулировки этого момента, уже не соответствуют растущим требованиям к управлению двигателем. Использование микроэлектроники в автомобиле в начале 80-х гг. позволило найти новые варианты при разработке систем зажигания.

Конструкция и принцип работы

Электронное зажигание не нуждается ни в центробежном, ни в вакуумном регуляторах момента зажигания. Вместо этого датчиками определяются частота вращения коленчатого вала и нагрузка двигателя и затем эти параметры преобразуются в электрические сигналы, которые обрабатываются в блоке управления зажиганием. Функциональность электронного зажигания требует наличия блока управления с микроконтроллером.

Для определения частоты вращения коленчатого вала служит индукционный импульсный датчик, который определяет количество проходов зубцов специального зубчатого колеса, установленного на коленчатом валу. В качестве альтернативы частота вращения коленчатого вала может определяться с помощью датчика Холла в распределителе зажигания.

Давление во впускном трубопроводе через шланг воздействует на датчик давления, встроенный в блок управления. В двигателях, оснащенных системой электронного впрыскивания топлива, сигнал о нагрузке двигателя, используемый для управления смесеобразованием, может также использоваться для управления зажиганием.

С помощью этих данных блок управления выдает сигнал на оконечную корректировку момента зажигания. Соответствующая корректирующая схема может интегрироваться в блок управления или устанавливаться снаружи, например, на катушке зажигания.

Преимущество электронного зажигания лучше всего выражается в возможности использования программируемой диаграммы оптимизирования момента зажигания. Эта характеристика содержит оптимальный момент зажигания (рис. 6a), выбираемый в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки, что является наилучшим компромиссом на стадии проектирования двигателя. Угол опережения зажигания выбирается для определенных условий работы двигателя с учетом следующих факторов:

- крутящего момента;
- расхода топлива;
- состава ОГ;
- расстояния до границы детонации;
- динамических характеристик и т.п.

В зависимости от критериев оптимизации перевешивает та или иная точка зрения. Поэтому пространственная характеристи-

5 Индукционный датчик в распределителе зажигания

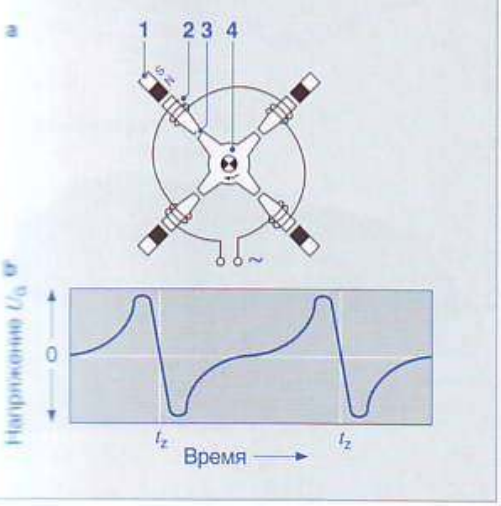


Рис. 5
a — принципиальная схема датчика
b — кривая изменения индуктируемого напряжения

1. Постоянный магнит
2. Индукционная обмотка с сердечником
3. Изменяющийся воздушный зазор
4. Ротор

t_z — момент зажигания

ческая диаграмма угла опережения зажигания при электронном управлении представляет собой изломанное поле, в отличие от характеристической диаграммы системы механического управления с ровными наклонными плоскостями (рис. 6b).

Для угла, соответствующего моменту зажигания, предназначена характеристическая диаграмма, построенная на базе данных о частоте вращения коленчатого вала и напряжения аккумуляторной батареи. В результате этого энергия, накопленная в катушке зажигания, может дозироваться так же точно, как при отдельном управлении моментом зажигания по углу поворота коленчатого вала.

Дополнительно на угол опережения зажигания могут оказывать влияние еще и другие параметры. Для этого используются датчики, контролирующие:

- температуру двигателя;
- температуру всасываемого воздуха (необязательно);
- положение дроссельной заслонки (на холостом ходу и на режиме полной нагрузки).

Также возможно контролировать напряжение аккумуляторной батареи (важный корректирующий параметр для установки момента зажигания) без датчика. Эти аналоговые сигналы напряжения преобразуются в аналого-цифровом преобразователе в цифровую информацию, пригодную для переработки в микроконтроллере.

Преимущества системы:

- лучшая адаптация угла опережения зажигания к условиям работы двигателя;
- облегчение пуска двигателя, более устойчивая работа двигателя на холостом ходу и пониженный расход топлива;
- контроль за большим числом рабочих характеристик;
- возможность интеграции в систему контроля за детонацией (EZ-K).

Полностью электронная система зажигания без распределителя (VZ)

Полностью электронное зажигание (VZ) обладает всеми функциями базовой электронной системы EZ. Но здесь отсутствует распределитель зажигания с вращающимся ротором (ROV) и распределение зажигания осуществляется блоком управления (неподвижное распределение зажигания, RUV). Для этого в системе VZ для каждого цилиндра генерируется отдельный управляющий сигнал. При этом варианте для каждого цилиндра требуется собственная катушка зажигания. При двухискровом зажигании катушка зажигания обслуживает два цилиндра.

Преимущества системы:

- существенно меньший уровень электромагнитных помех, т.к. отсутствует открытое искрообразование;
- нет вращающихся деталей;
- снижение шума;
- уменьшившееся количество соединений высокого напряжения;
- конструктивные преимущества для изготовителей двигателей.

6 Сравнение оптимизированной электронной характеристической диаграммы угла опережения зажигания с аналогичной диаграммой для системы механического регулирования момента зажигания

Рис.6
a — характеристика угла опережения зажигания в системе EZ
b — регулировка угла опережения зажигания в традиционном катушечном зажигании (SZ)

Индуктивная система зажигания

Воспламенение рабочей смеси в бензиновом двигателе осуществляется электрическим путем с помощью возникающей между электродами искры зажигания. Энергия, содержащаяся в искре, воспламеняет сжатую смесь в области свечи зажигания и фронт пламени, идущий из этого места, обеспечивает возгорание смеси во всей камере сгорания. Индуктивная система зажигания создает при каждом рабочем ходе высокое напряжение, необходимое для возникновения искры. Электрическая энергия берется из аккумулятора и временно накапливается в катушке зажигания.

Конструкция

На рис. 1 показана базовая конструкция индуктивного способа зажигания на примере системы без распределителя зажигания, которая используется почти всегда с одноискровыми катушками зажигания. Цепь зажигания состоит из следующих элементов:

- оконечного каскада зажигания 5, который может быть встроен в катушку зажигания или в блок управления Motronic;
- катушки зажигания 3, выполненной в виде компактного одноискрового (как показано на рис. 1) или двухискрового варианта или в виде стержневой катушки зажигания;
- свечи зажигания 4;
- соединительных и противопомеховых средств.

Более старые системы зажигания нуждаются еще в распределителе высокого напряжения, который распределяет по свечам зажигания высокое напряжение, полученное от отдельной катушки зажигания.

Схема цепи индуктивной системы зажигания с неподвижным распределением напряжения и одноискровыми катушками зажигания.

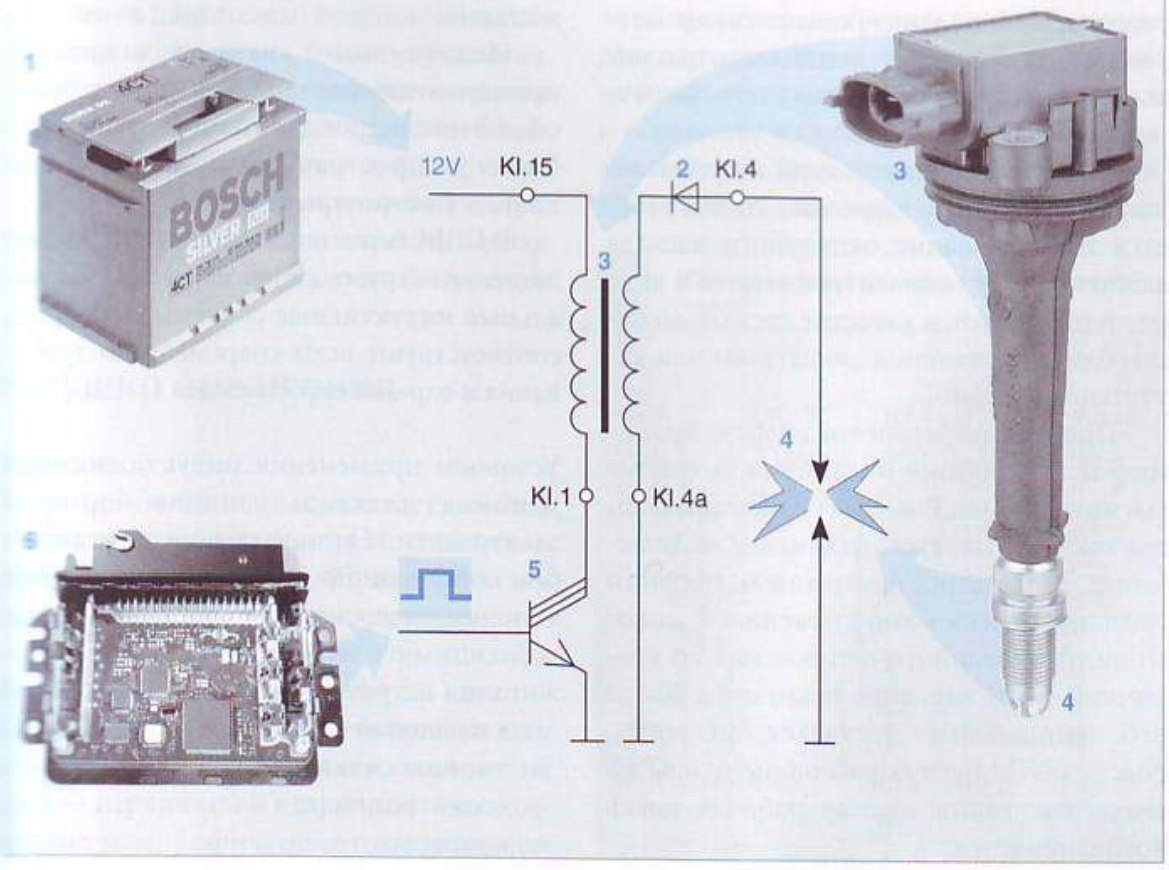


Рис. 1
1. Аккумуляторная батарея
2. Диод EFU (подавление искрения), встроенный в катушку зажигания
3. Катушка зажигания
4. Свеча зажигания
5. Задающий каскад зажигания, встроенный в электронный блок управления двигателем или в катушку зажигания
6. Электронный блок управления двигателем Motronic

Kl. 15, Kl. 4, Kl. 4a — обозначение клемм

_ _ _ — управляющий сигнал задающего каскада зажигания

Принцип работы

Момент, когда искра зажигания воспламеняет рабочую смесь в камере сгорания, должен устанавливаться очень точно. Установка момента зажигания в соответствии с текущим режимом работы двигателя необходима с целью получения:

- большого крутящего момента;
- небольшой эмиссии токсичных веществ в ОГ.

Параметрами, которые существенно определяют момент зажигания, являются частота вращения коленчатого вала, нагрузка двигателя и крутящий момент. Дополнительно используются еще и другие параметры для определения наиболее благоприятного момента зажигания, например, температура двигателя. Эти величины определяются датчиками и направляются в блок управления двигателем (Motronic). Там они преобразуются в цифровую форму для дальнейшей обработки. Блок управления использует программу и эталонные характеристики работы двигателя, находящиеся в памяти, по которым рассчитываются оптимальный момент зажигания и продолжительность действия искрового разряда. На базе этих временных параметров блок управления двигателем рассчитывает управляющий сигнал для оконечного каскада зажигания.

Так как в первичной цепи катушки зажигания протекают высокие токи, требуется использование оконечного каскада зажигания. Эти элементы имеются в виде разных моделей, в качестве составной части блока управления двигателем или катушки зажигания.

При прохождении тока через первичную цепь катушки зажигания создается магнитное поле. В момент зажигания, когда ток прерывается, магнитное поле исчезает. Это быстрое изменение магнитного поля приводит к возникновению высокого индуцированного напряжения во вторичной цепи катушки зажигания. Когда это напряжение достигает значения, обеспечивающего образование искры на свече зажигания, сжатая рабочая смесь воспламеняется.

По своим конструктивным формам и рабочим характеристикам все элементы системы зажигания выбираются в соответствии с требованиями системы в целом.

Области применения

Индуктивные системы зажигания встречаются повсюду там, где двигателем с искровым зажиганием оснащаются:

- легковые автомобили;
- в отдельных случаях грузовые автомобили (в Европе в основном применяются дизельные двигатели);
- одноколейные транспортные средства (мотоциклы);
- в отдельных случаях катера и небольшие суда.

Главной областью применения этой системы зажигания являются легковые автомобили с двигателями с искровым зажиганием. В отличие от дизельного двигателя, который работает на самовоспламенении сжатой рабочей смеси, воспламенение рабочей смеси в бензиновом двигателе зависит от этого внешнего источника зажигания.

Индуктивные системы зажигания применяются на легковых автомобилях с 3–12-цилиндровыми двигателями. Наиболее распространены четырехтактные двигатели с четырьмя цилиндрами.

В США бензиновыми двигателями оснащены и грузовые автомобили. Специальные индуктивные системы зажигания соответствуют всем современным требованиям охраны окружающей среды.

Условием применения индуктивного зажигания является наличие бортовой электросети. На небольших двигателях без собственной бортовой электросети используются системы зажигания с колеблющимися магнето. Такие системы зажигания встречаются:

- в садовой технике (например, в газонокосилках);
- электропилах;
- мопедах.

Задающий каскад зажигания

Задача

Задающий каскад зажигания предназначен для управления током низкого напряжения (первичная цепь) в катушке зажигания.

Конструкция и принцип работы

Задающие каскады зажигания обычно содержат силовые транзисторы. Функции ограничения первичных напряжения и тока полностью интегрированы в обычный каскад зажигания и защищают элементы системы зажигания от перегрузки.

Во время работы задающие каскады зажигания нагреваются сами и нагревают катушку зажигания. Для того чтобы не были превышены допустимые рабочие температуры, теплота должна отводиться в окружающую среду. Для безопасной работы задающего каскада вводится такая его функция как ограничение тока в первичной цепи в случае неисправности (например, короткого замыкания).

Существуют внутренние и внешние задающие каскады зажигания: внутренние располагаются на печатной плате блока управления двигателем; внешние — в собственном корпусе вне блока управления. Из-за повышенной стоимости внешние каскады в новых конструкциях задающих каскадов зажигания уже не применяются.

Другая, все чаще практикуемая конструкция заключается в интеграции задающих каскадов в катушку зажигания.

Катушка зажигания

Функции

Катушка зажигания накапливает необходимую энергию зажигания и создает высокое напряжение для образования искрового разряда в момент зажигания.

Конструкция

Катушка зажигания, соответствующая новейшему уровню техники, состоит из двух — первичной и вторичной — соединенных между собой обмоток (из медной проволоки), железного сердечника, составленного из отдельных пластин, и пластмассового корпуса. В зависимости от конструкции, сердечник выполняется или в закрытой форме (компактные катушки), или в виде стержня (стержневые катушки). Устройство и положение первичной и вторичной обмоток зависит от конкретной конструкции. Вторичная обмотка может быть выполнена в виде дисковой или камерной обмотки — для повышения прочности изоляции.

Корпус залит эпоксидной смолой — для электроизоляции обмоток между собой и относительно сердечника. Конструкция и характеристики катушки зажигания соответствуют каждому способу применения.

Принцип работы

Работа катушки зажигания основывается на законе индукции. Энергия, накапливаемая в магнитном поле первичной обмотки, посредством магнитной индукции передается на вторичную обмотку катушки зажигания. Ток и напряжение преобразуются в зависимости от соотношения числа витков (коэффициента трансформации) первичной и вторичной обмоток.

В экономичной схеме (рис. 2a) в каждом случае выводы первичной и вторичной обмоток соединены между собой и подведены к клемме 15 (от выключателя зажигания). Другой вывод первичной обмотки соединен с задающим каскадом за-

2 Схематическое изображение катушек зажигания

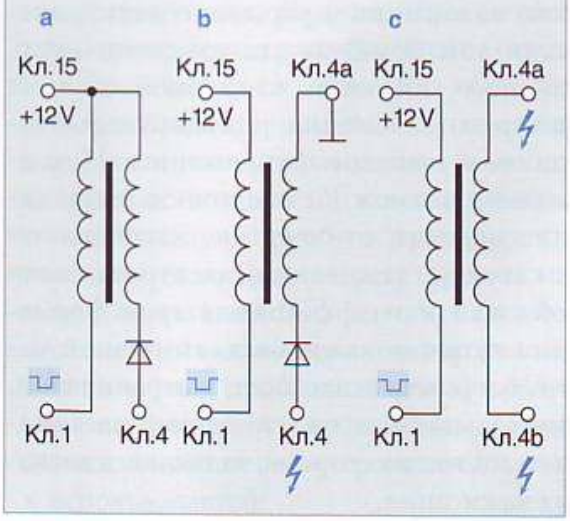


Рис. 2
a — экономичная схема одноискровой катушки зажигания (диод EFU в системах зажигания с распределением высокого напряжения с помощью вращающегося ротора не требуется)
b — одноискровая катушка зажигания
c — двухискровая катушка зажигания

жигания (клемма 1). Второй вывод вторичной обмотки (клемма 4) соединен с распределителем зажигания при распределении с помощью вращающегося ротора (ROV) или со свечой зажигания в системах без распределителя (RUV). За счет устранения дополнительного вывода на катушке зажигания, работающей по принципу экономичного трансформатора, снижается стоимость катушки. Однако из-за того что взаимоизоляция между электрическими цепями отсутствует, помехи от катушки зажигания могут поступать в бортовую сеть.

На рис. 2b и 2c первичная и вторичная обмотки не связаны друг с другом. При одноискровой катушке зажигания один из выводов вторичной обмотки (клемма 4a) подключен к массе, а другой (клемма 4) — напрямую к свече зажигания. При двухискровой катушке зажигания выводы вторичной обмотки идут к каждой свече зажигания (клеммы 4a и 4b).

Генерирование высокого напряжения

Блок управления двигателем активирует задающий каскад зажигания на расчетный период времени, когда отсутствует искрообразование. В пределах этого времени первичный ток катушки зажигания вырастает до номинальной величины и создает при этом магнитное поле.

Сила первичного тока и величина первичной индуктивности катушки зажигания определяют энергию, накопленную в магнитном поле.

В момент зажигания задающий каскад зажигания прерывает электрический ток. В результате изменения магнитного потока во вторичной обмотке катушки зажигания индуцируется вторичное высокое напряжение. Максимально возможное вторичное напряжение зависит от энергии, накопленной в катушке зажигания, электроемкости обмотки и коэффициента трансформации катушки зажигания, вторичной нагрузки (свеча зажигания) и ограничений, накладываемых на первичный электрический ток со стороны задающего каскада зажигания.

Вторичное напряжение в каждом случае должно быть выше напряжения, необходимого для образования искры между электродами свечи зажигания (напряжение зажигания). Энергия искры должна быть достаточной для воспламенения рабочей смеси, даже при возникновении повторной искры. Повторные искрообразования возникают в том случае, если путь искры зажигания отклоняется или искра срывается за счет турбулентности рабочей смеси. При включении первичного тока во вторичной обмотке индуцируется нежелательное напряжение около 1–2 кВ (напряжение включения), имеющее полярность, противоположную полярности высокого напряжения зажигания. Образование искры на свече зажигания (искра включения) должно предотвращаться.

В системах с вращающимся ротором распределения высокого напряжения искра включения эффективно подавляется в междуэлектродном зазоре свечи зажигания. В системе неподвижного распределения зажигания с одноискровыми катушками зажигания искру включения блокирует диод (диод EFU, см. рис. 2a и 2b) в цепи высокого напряжения. Диод EFU может находиться как на «горячей стороне» (в цепи, ведущей к свече), так и на на «холодной стороне» (от свечи). При двухискровых катушках зажигания искра включения подавляется только за счет высокого пробивного напряжения в последовательно соединенных цепях, питающих две свечи зажигания.

При отключении первичного тока в первичной обмотке возникает напряжение самоиндукции в несколько сотен вольт, которое для защиты задающего каскада должно ограничиваться значениями 200–400 В.

Распределение напряжения

Функции

Высокое напряжение, генерируемое в катушке зажигания, на момент зажигания должно поступить на определенную свечу зажигания. Эту задачу решает система распределения напряжения.

Распределение высокого напряжения с помощью вращающегося ротора (ROV)

При таком распределении высокое напряжение, создаваемое в катушке зажигания 2 (рис. 3a), распределяется механическим путем распределителем зажигания 3 по отдельным свечам зажигания 5.

Этот способ распределения напряжения в новых системах управления работой двигателя уже не применяется.

Неподвижное распределение напряжения (RUV)

При использовании систем электронного или неподвижного распределения напряжения (RUV) нет необходимости в механических элементах распределения (рис. 3b). Катушки зажигания напрямую соединены со свечами зажигания и распределение напряжения осуществляется на первичной стороне катушек зажигания. Исключается и применение элементов, которые подвержены потерям энергии в них, а также износу. Такой способ распределения напряжения применяется в двух вариантах: с одно- и двухискровыми катушками зажигания.

Система с одноискровыми катушками зажигания

На каждый цилиндр приходится один оконечный каскад зажигания и одна катушка зажигания. Блок управления двигателем включает в работу оконечные каскады зажигания в соответствии с установленным порядком зажигания.

Так как отсутствуют потери энергии в распределителе, то эти катушки зажигания могут быть очень небольших размеров. В основном они располагаются непосредственно над свечами зажигания.

Неподвижное распределение напряжения с одноискровыми катушками зажигания применимо универсально для любого количества цилиндров. Нет ограничений на диапазоны регулировки опережения угла зажигания. Однако здесь необходимо применение датчика вращения распределительного вала с целью синхронизации работы всей системы с частотой вращения этого вала.

Система с двухискровыми катушками зажигания

На каждые два цилиндра приходится по одному оконечному каскаду зажигания и по одной катушке зажигания. Концы вторичной обмотки подключены к свечам зажигания в разных цилиндрах. Цилиндры выбраны так, что при такте сжатия в одном цилиндре во втором происходит такт выпуска (при четном количестве цилиндров). В момент зажигания на обеих свечах зажигания образуется искра. Так как при такте выпуска важно исключить искрообразование и воспламенение остаточных ОГ или всасываемого свежего заряда, требуется ограничение возможного диапазона регулировки момента зажигания. Но в синхронизации этого момента с вращением распределительного вала необходимости нет. Из-за этих ограничений двухискровые катушки зажигания не могут рекомендоваться к использованию.

3 Принцип действия системы распределения напряжения

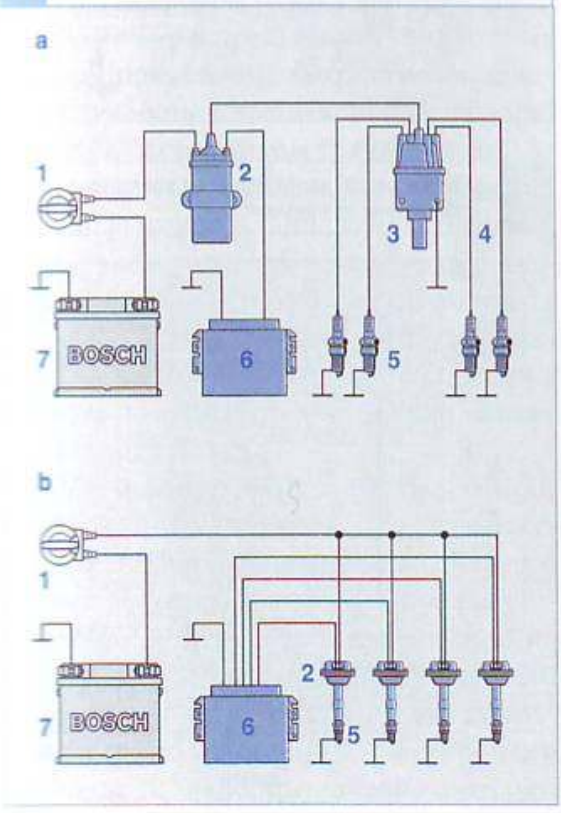


Рис. 3
a — распределение зажигания с помощью вращающегося ротора (ROV)
b — неподвижное распределение (RUV) с одноискровыми катушками зажигания
1. Выключатель зажигания
2. Катушка зажигания
3. Распределитель зажигания
4. Высоковольтные провода, идущие к свечам зажигания
5. Свеча зажигания
6. Электронный блок управления двигателем
7. Аккумуляторная батарея

Свеча зажигания

Функции

Свеча зажигания воспламеняет рабочую смесь в камере сгорания за счет искрового разряда, образующегося между электродами свечи.

Конструкция и принцип работы

Свеча зажигания (рис. 4) представляет собой газонепроницаемый проводник в керамическом изоляторе, передающий энергию высокого напряжения в камеру сгорания. Свеча содержит один центральный электрод 1 и один или несколько боковых электродов 2, связанных с «массой» автомобиля.

Положение боковых электродов определяет тип искрового разряда. Если боковой электрод расположен непосредственно над центральным электродом, то между ними образуется искровой промежуток (зазор). Боковые электроды поперечного расположения относительно центрального электрода образуют полуповерхностный или поверхностный искровой промежуток.

После прерывания первичного тока в момент зажигания в течение короткого времени (около 30 мкс, см. рис. 5) во вторичной обмотке катушки зажигания напряжение возрастает до напряжения зажигания. При превышении уровня пробивного напряжения искровой промежуток свечи зажигания между центральным и боковым электродами становится токопроводящим. Емкостные элементы (свечи зажигания, высоковольтные провода и катушки зажигания) во вторичной цепи заряжаются до напряжения зажигания и затем происходит резкий их разряд с образованием головной части искры. После этого накопленная энергия катушки зажигания при типичной продолжительности искрового разряда 1–2 мс преобразуется в тлеющий разряд (хвостовая часть искры). На последней стадии разряжается содержащаяся в катушке зажигания остаточная энергия.

Износ свечи зажигания

Во время работы двигателя электроды свечи зажигания изнашиваются вследствие эрозии за счет искрового тока и коррозии за счет горячих газов в камере сгорания. При этом зазор между электродами возрастает. В результате этого увеличивается потребное пробивное напряжение зажигания. Оно должно адекватно компенсироваться резервным напряжением во вторичной цепи

4 Свеча зажигания и путь искры

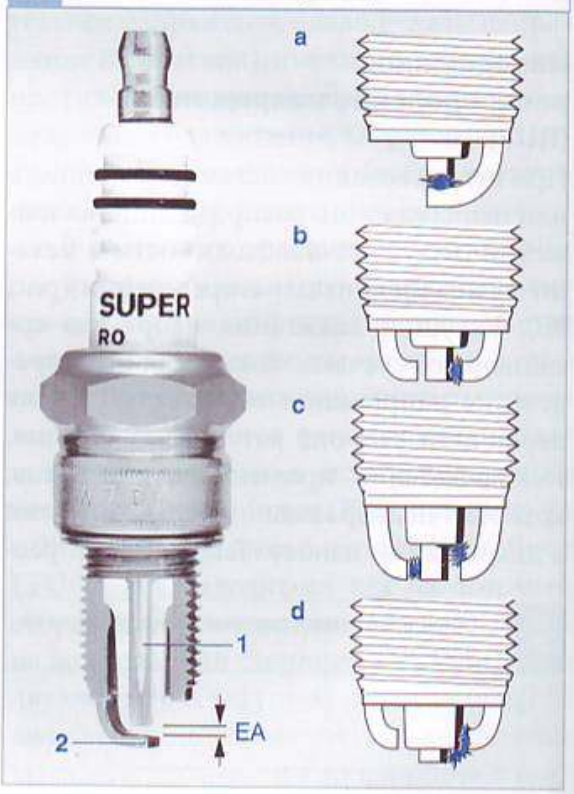


Рис. 4
1. Центральный электрод
2. Боковой электрод

a — путь искры в воздушном зазоре при размещении бокового электрода над центральным

b — путь искры в воздушном зазоре при боковом электроде

c — путь искры при полуповерхностном искровом промежутке (воздушно-скользящая искра)

d — путь искры при поверхностном искровом промежутке (скользящая искра)

EA — зазор между электродами (искровой промежуток)

5 Зависимость напряжения на электродах свечи зажигания от времени

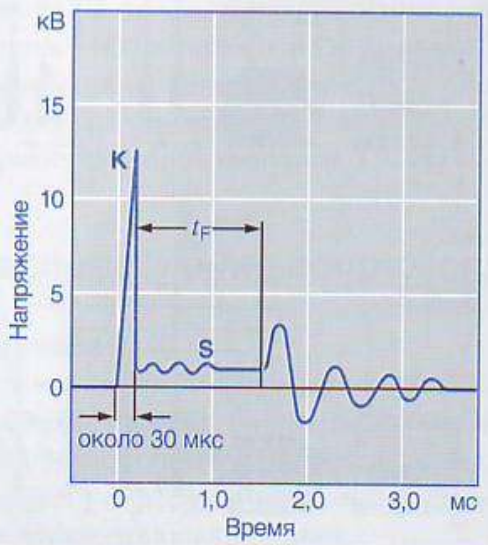


Рис. 5

K — головная часть искры

S — хвостовая часть искры

t_F — продолжительность искрового разряда

зажигания, что позволит получать гарантированный искровой разряд до конца срока службы свечи зажигания.

Соединительные и противопомеховые средства

Высоковольтные провода

Высокое напряжение, генерированное в катушке зажигания, должно быть подано к свече зажигания. Для этого в системах, в которых катушка зажигания не установлена непосредственно на свече зажигания, используются провода с синтетической изоляцией, обеспечивающие пропуск высокого напряжения. На концах проводов располагаются электроразъемы для соединения с элементами высокого напряжения.

Так как каждый высоковольтный провод имеет склонность к уменьшению вторичного напряжения (является емкостной нагрузкой для системы зажигания), то эти провода должны быть как можно короче.

Противопомеховые сопротивления, экранирование

Каждый искровой разряд на свече зажигания или распределителе зажигания (при распределении высокого напряжения с помощью вращающегося ротора) является источником радиопомех. За счет противопомеховых сопротивлений в цепи высокого напряжения пиковый ток во время этого разряда ограничивается. Для того чтобы минимизировать эти помехи в цепи высокого напряжения, противопомеховые сопротивления должны находиться как можно ближе к источнику помех.

Обычно противопомеховые сопротивления интегрируются в разъемы свечей зажигания, соединительные штекеры, а также в ротор распределителя зажигания. Кроме того, есть свечи зажигания с интегрированным противопомеховым сопротивлением. Но повышение сопротивления во вторичной электроцепи приводит к дополнительным потерям энергии в цепи зажигания и, следовательно, к более низкой энергии искры на свече зажигания.

Другим способом снижения помех является частичное или полное экранирование системы зажигания. При этом экранируются также высоковольтные провода. Это оправдано только в особых случаях (правительственные, армейские автомобили, радиосвязь).

Напряжение зажигания

Напряжение зажигания является тем уровнем энергии, при котором на электродах свечи зажигания происходит искровой разряд. Помимо прочего, напряжение зажигания зависит от следующих условий:

Техника безопасности при работе системы зажигания

Все системы зажигания являются системами высокого напряжения. Чтобы исключить опасность, при любых работах с этими системами должно всегда выключаться зажигание или отсоединяться источник напряжения. Такими работами, например, являются:

- замена таких устройств, как катушка зажигания, свечи зажигания, электропровода и т.д.;
- подключение приборов для тестирования двигателя, например, стробоскопа для проверки момента зажигания, тестера для определения замкнутого состояния контактов и частоты вращения коленчатого вала, осциллографа зажигания и т. д.

При проверке системы зажигания с включенным зажиганием во всей системе генерируются опасные напряжения. Поэтому проверочные работы должны проводиться только специально подготовленным персоналом.

- от плотности рабочей смеси в камере сгорания, а также от выбранного момента зажигания;
- от состава рабочей смеси (коэффициент избытка воздуха);
- от скорости потока смеси и ее турбулентности;
- от геометрии электродов;
- от материала электродов;
- от величины зазора между электродами.

Должно быть гарантировано, что потребность в напряжении зажигания будет обеспечена системой зажигания при всех условиях работы.

Энергия зажигания

Электрический ток прерывания и параметры катушки зажигания определяют энергию, которая накапливается в катушке зажигания и затем используется в качестве энергии зажигания в искровом разряде. Энергия зажигания оказывает решающее влияние на воспламенение рабочей смеси. Хорошее воспламенение этой смеси является условием производительного и при этом содержащего мало вредных веществ в ОГ режима работы двигателя. Это предъявляет высокие требования к системе зажигания.

Энергетический баланс системы зажигания

Энергия, накопленная в катушке зажигания, освобождается при искровом разряде. Эта энергия делится на две разные части: головную и хвостовую.

Головная часть

Энергия E, которая накапливается в конденсаторе C вторичной цепи зажигания и молниеносно высвобождается в момент зажигания. Эта энергия пропорциональна квадрату величины напряжения U ($E = 1/2\ CU^2$). Поэтому кривая, изображенная на рис. 6, построена на основе этой квадратичной зависимости.

Хвостовая часть искры

Затем высвобождается остальная энергия, накопленная в катушке зажигания (индуктивная часть). Эта энергия возникает в результате различия между суммарной энергией, накопленной в катушке зажигания, и энергией, высвобожденной за счет разряда конденсатора.
Это означает следующее: чем выше потребляемое напряжение зажигания, тем выше доля суммарной энергии, которая содержится в головке искры.

При высокой потребности в напряжении зажигания, например, при изношенных свечах зажигания, энергии, имеющейся в хвосте искры, при определенных

6 Энергетический баланс в системе зажигания без потерь на шунтирование, сопротивление и без зенеровских потерь

Рис. 6
Характеристики эталонной системы зажигания при электроемкости катушки зажигания 35 пФ и внешней нагрузки 25 пФ (суммарная электроемкость C = 60 пФ) и индуктивности вторичной цепи 15 Гн

обстоятельствах уже недостаточно для того, чтобы обеспечить устойчивый фронт пламени в смеси после ее первоначального зажигания или создать дополнительный искровой разряд.

При дальнейшем повышении потребности в напряжении зажигания достигается граница перебоев в зажигании. Имеющаяся в наличии энергия уже не способна обеспечить получение пробойного напряжения и искровой разряд постепенно затухает (перебои в зажигании).

Потери энергии на шунтирование

Эти условия изображены в упрощенной форме на рис. 6. За счет электрического сопротивления в катушке зажигания и высоковольтных проводах, а также за счет противопомеховых сопротивлений возникают потери, которые снижают генерируемую энергию зажигания.

Другие потери возникают за счет шунтирования тока. Они могут вызываться грязью на электроразъемах высокого напряжения, но особенно отложениями и нагаром на свече зажигания внутри камеры сгорания.

Уровень потерь на шунтирование также зависит от потребного напряжения зажигания. Чем выше напряжение на свече зажигания, тем больше потери тока в элементах, действующих как шунты.

7 Искра зажигания в двигателе с непосредственным впрыскиванием топлива

Воспламенение рабочей смеси

Для воспламенения рабочей смеси от электрической искры при идеальных условиях зажигания требуется энергия примерно 0,2 мДж, если используется стационарная, гомогенная и стехиометрическая смеси. Обогащенные и обедненные смеси при таких условиях требуют энергии более 3 мДж.

Энергия, необходимая для воспламенения рабочей смеси, является лишь небольшой частью общей энергии искры зажигания. В традиционных системах зажигания с высокими пробойными напряжениями уровни энергия, превышающие 15 мДж, необходимы для генерирования искрового разряда высокого напряжения в момент зажигания. Для поддержания требуемой продолжительности искрового разряда и покрытия потерь, например, на сопротивление на шунтирование на свече зажигания за счет грязи, должна генерироваться дополнительная энергия. Это требует энергии не менее 30–50 мДж. Это соответствует энергии, которая должна накапливаться в катушке зажигания, в 60–120 мДж.

Турбулентность смеси, которая возникает при послойном распределении топлива с непосредственным впрыскиванием, может отклонять искру зажигания до ее полного срыва (рис. 7). В этом случае для воспламенения смеси необходима дополнительная искра, энергия которой тоже должна генерироваться в катушке зажигания.

При обедненных смесях требуется особенно высокая энергия для того, чтобы можно было покрыть повышенную потребность в напряжении зажигания и одновременно обеспечить оптимальную продолжительность искрового разряда, т. к. воспламеняемость смеси с повышением в ней доли воздуха снижается.

Если генерируется недостаточная энергия зажигания, то воспламенение смеси не происходит и возникают перебои в зажигании.

По этой причине должно генерироваться столько энергии зажигания, чтобы даже при самых неблагоприятных внешних

Рис. 7 Фотография искры зажигания: снята высокоскоростной фотокамерой в двигателе с прозрачными стенками

1. Искровой разряд
2. Струя топлива

условиях рабочая смесь надежно воспламенялась. При этом может быть достаточным, если от искры воспламеняется небольшой объем смеси. Смесь, воспламеняемая у свечи зажигания, воспламеняет затем остальную смесь в цилиндре и таким образом инициирует процесс сгорания.

Факторы, влияющие на воспламеняемость

Эффективное смесеобразование с обеспечением легкого доступа смеси к свече зажигания улучшает воспламеняемость так же, как и большие продолжительность и длина искрового разряда, создаваемые большим зазором между электродами свечи зажигания. Благоприятно на воспламеняемости сказывается турбулентность смеси при условии, что для получения дополнительной искры имеется достаточное количество энергии. Турбулентность смеси обеспечивает ускоренное расширение фронта пламени в камере сгорания и, следовательно, ускоренное сгорание смеси во всей камере сгорания.

Имеет значение также загрязнение свечи зажигания, которое действует как шунтирующее сопротивление, снимающее энергию с катушки зажигания при накоплении в ней высокого напряжения. Это приводит к снижению генерируемого высокого напряжения и сокращению продолжительности искрового разряда, что влияет на эмиссию токсичных веществ в ОГ. В экстремальных случаях (при сильно загрязненной или мокрой свече зажигания) это приводит к перебоям в зажигании.

Перебои в зажигании вызывают перебои в сгорании, что повышает расход топлива и эмиссию вредных веществ в ОГ и может повредить каталитический нейтрализатор ОГ.

Момент зажигания

С момента возникновения искрового разряда зажигания до полного сгорания рабочей смеси проходит около 2 мс. При неизменном составе рабочей смеси это время сохраняется постоянным. Поэтому с повышением частоты вращения коленчатого вала момент зажигания должен постепенно смещаться в направлении «опережения» по углу поворота коленчатого вала.

При малой плотности заряда рабочей смеси она становится менее воспламеняемой. Это вызывает больший сдвиг зажигания, и угол опережения зажигания должен больше смещаться в направлении «опережения». Для получения максимального крутящего момента угол опережения зажигания должен выбираться таким, чтобы пик процесса сгорания и, следовательно, пик давления располагался сразу после прохождения поршнем ВМТ, но при этом не допускалось бы детонационное сгорание (рис. 8).

В условиях послойного распределения топлива (непосредственное впрыскивание) область изменения момента зажигания ограничивается окончанием впрыскивания и временем, необходимым для приготовления смеси во время такта сжатия.

8 Кривые изменения давления в камере сгорания при разных углах опережения зажигания (моментах зажигания)

Рис. 8
1 — зажигание Z_a в необходимый момент зажигания
2 — слишком раннее зажигание Z_b (детонационное сгорание)
3 — слишком позднее зажигание Z_c

Катушки зажигания

Катушка зажигания является тем элементом индуктивной системы зажигания, который преобразует низкое напряжение аккумуляторной батареи в высокое напряжение, необходимое для получения искрового разряда на свече зажигания. Получая электропитание постоянного тока из бортовой сети автомобиля с постоянным напряжением, катушка генерирует импульсы зажигания для свечи зажигания с необходимыми высоким напряжением и энергией искры. Катушка зажигания постоянно совершенствовалась и адаптировалась к растущим требованиям, предъявляемым к бензиновым двигателям.

Функции

Высокое напряжение, необходимое для воспламенения рабочей смеси, и энергия зажигания должны генерироваться и накапливаться перед искрообразованием. Катушка зажигания является одновременно трансформатором и аккумулятором. Она накапливает электромагнитную энергию в магнитном поле, создаваемом в первичной цепи, и высвобождает энергию при прерывании тока в первичной цепи в момент зажигания.

Катушка зажигания должна быть точно адаптирована к остальным элементам системы зажигания (оконечному каскаду, свечам). Важными параметрами являются:

- энергия искры W_{Fu}, поступающая на свечу зажигания;
- ток искры I_{Fu}, проходящий через свечу зажигания на момент зажигания;
- продолжительность искрового разряда на свече зажигания t_{Fu} ;
- напряжение зажигания U_Z , соответствующее всем условиям работы.

При определении параметров системы зажигания должно учитываться, с одной стороны, взаимодействие отдельных параметров системы с задающим каскадом зажигания, катушкой зажигания и свечой зажигания, с другой стороны, специальные требования, предъявляемые данной концепцией двигателя.

1 Основные типы катушек зажигания Bosch

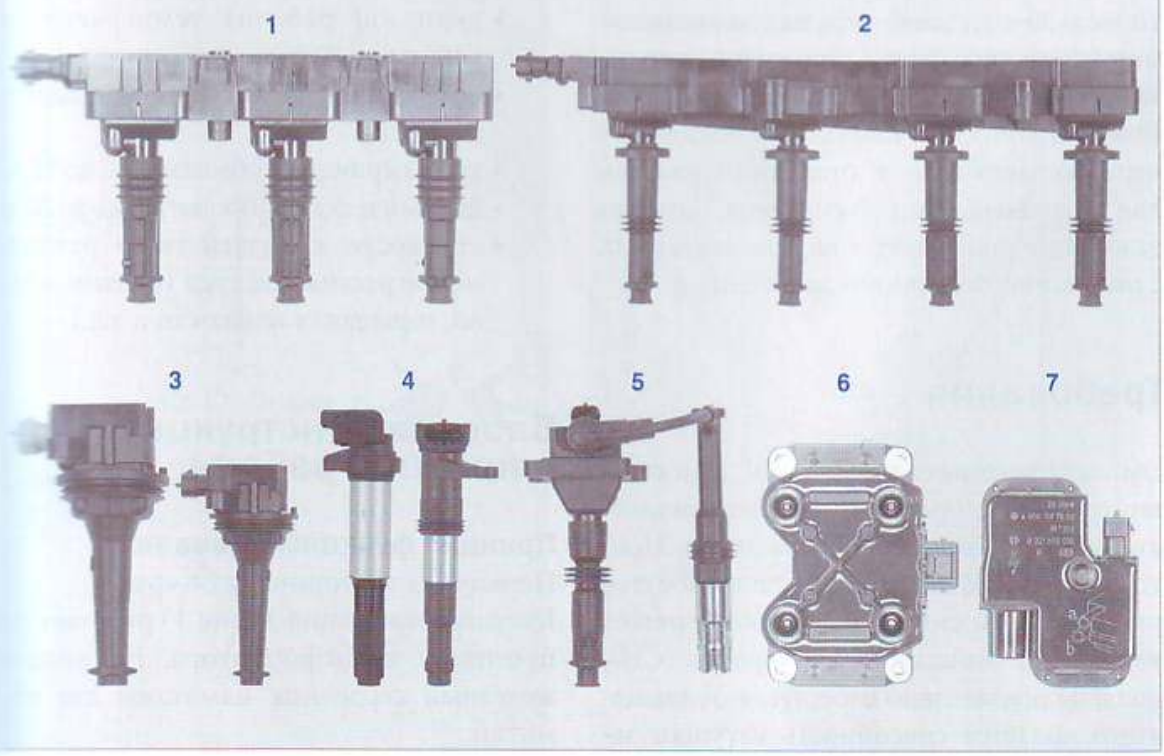


Рис. 1

1. Модуль с тремя одноискровыми катушками зажигания
2. Модуль с четырьмя одноискровыми катушками зажигания
3. Одноискровая катушка зажигания (компактная катушка зажигания)
4. Одноискровая катушка зажигания (стержневая катушка зажигания)
5. Двухискровая катушка зажигания (один магнитопровод)
6. Двухискровая катушка зажигания с двумя магнитопроводами (четыре вывода высокого напряжения)
7. Модуль с двумя одноискровыми катушками зажигания

Примеры:

- для того чтобы при любых условиях обеспечить надежное воспламенение рабочей смеси, двигатели с турбонаддувом нуждаются в более высокой энергии искры, чем двигатели со впрыскиванием топлива во впускной трубопровод; двигатели с непосредственным впрыскиванием топлива требуют всегда максимальной энергии;
- ток искры в современных свечах зажигания не оказывает большого влияния на срок службы свечи;
- для двигателей с наддувом и турбонаддувом требуются более высокие напряжения зажигания, чем для двигателей без наддува;
- для оптимизации управления током в первичной обмотке катушки зажигания последняя должна быть адаптирована к задающему каскаду зажигания;
- соединения между катушкой зажигания и свечой зажигания при всех условиях (напряжение, температура, вибрация, воздействие окружающей среды) должны быть с функциональной точки зрения отрегулированы и выполнены надежно.

Области применения

С появлением батарейного зажигания, которое в 30-е гг. взяло верх над зажиганием от магнето, свое первое применение катушка зажигания нашла в системах зажигания Bosch. С этого времени она постоянно совершенствовалась и приспосабливалась для различных целей применения. Катушка зажигания применяется во всех двигателях с индуктивной системой зажигания.

Требования

Эмиссия вредных веществ с ОГ двигателя внутреннего сгорания строго ограничивается нормативными требованиями. Поэтому перебои в зажигании и неполное сгорание рабочей смеси, вызывающие резкое увеличение эмиссии углеводородов (CH), должны обязательно избегаться. Условием этого является способность катушки зажигания на протяжении всего срока службы генерировать достаточно большую энергию зажигания. Это условие предъявляло все более высокие требования к электрическим характеристикам катушки зажигания, поэтому данный элемент системы зажигания должен постоянно совершенствоваться и улучшаться.

Наряду с этими требованиями должны учитываться также геометрические и конструктивные данные двигателя. В прежних системах зажигания распределением высокого напряжения с помощью вращающегося ротора (распределитель зажигания, катушка зажигания с битумной заливкой изоляции, высоковольтные провода) катушка зажигания выполнялась в стандартизированном варианте для установки ее на двигателе или на кузове автомобиля.

Катушка зажигания является элементом, подвергающимся высоким электрическим, механическим и химическим нагрузкам в автомобиле, который должен выполнять свою функцию на протяжении всего срока службы автомобиля без технического обслуживания и сбоев в работе. В зависимости от размещения в автомобиле (часто она непосредственно устанавливается в головке блока цилиндров) катушка зажигания должна надежно работать при следующих условиях:

- диапазон рабочих температур от –40° до +150 °C;
- напряжение во вторичной обмотке до 30 кВ;
- ток в первичной обмотке от 7 до 15 А;
- динамическая вибронагрузка до 50 г;
- стойкость к воздействию различных агрессивных сред (бензин, масло, тормозная жидкость и т.д.).

Базовая конструкция и принцип работы

Принцип функционирования

Первичная и вторичная обмотки

Катушка зажигания 3 (рис. 1) работает по принципу трансформатора. На общий железный сердечник намотаны две обмотки.

Первичная обмотка состоит из нескольких витков толстой проволоки. Вывод этой обмотки соединен через выключатель зажигания с положительной клеммой аккумуляторной батареи 1 (клемма 15). Другой вывод (клемма 1) подключен к задающему каскаду зажигания 4 для управления током низкого напряжения (ток в первичной цепи).

Хотя до конца 70-х гг. для этой цели использовались контакты прерывателя в распределителях зажигания, сегодня они больше не применяются.

Вторичная обмотка состоит из многочисленных витков тонкой проволоки. Коэффициент трансформации общепринято находится в диапазоне от 1:50 до 1:150.

Создание магнитного поля

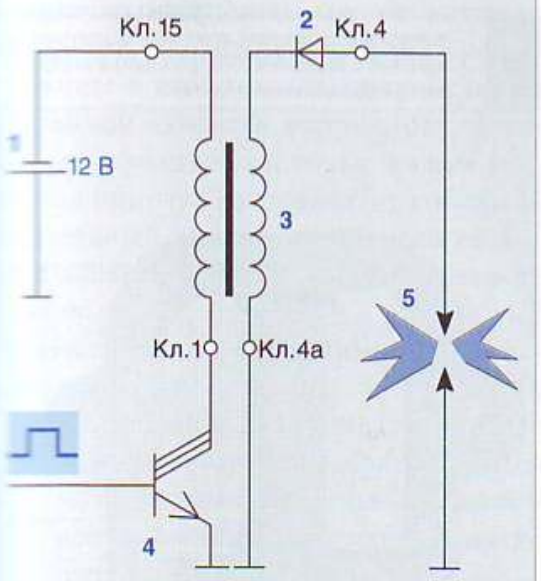
Как только задающий каскад зажигания замыкает первичную цепь тока, в катушке зажигания создается магнитное поле. За счет самоиндукции в этой катушке образуется индуктированное напряжение, которое согласно закону Ленца противодействует росту магнитного поля за счет повышения тока в первичной обмотке. По этой причине рост магнитного поля, в зависимости от поперечного сечения железного сердечника и обмотки (индуктивности), осуществляется относительно медленно (рис. 2).

Если электрическая цепь остается замкнутой, ток в первичной обмотке будет продолжать расти до определенной величины, при которой наступает магнитное насыщение до уровня, зависящего от применяемого ферромагнитного материала. При этом индуктивность снижается и ток с этого момента будет расти сильнее. Электрические потери в катушке зажигания также резко возрастают. Поэтому желательно обеспечить работу катушки в условиях ниже уровня электромагнитного насыщения. Это определяется углом замкнутого состояния контактов.

Кривая намагничивания и гистерезис

Сердечник катушки зажигания состоит из магнитомягкого материала (кроме этого существуют постоянные магниты из магнитотвердого материала). Для этого материала характерна кривая на-

1 Принципиальная схема генерирования высокого напряжения в катушке зажигания



2 Изменение силы тока в первичной обмотке катушки зажигания

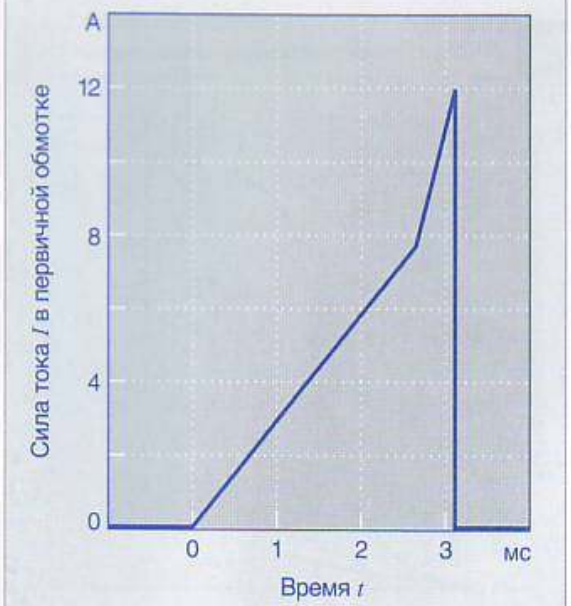


Рис. 1

1. Аккумуляторная батарея
2. Диод EFU (встроен в катушку зажигания)
3. Катушка зажигания с железным сердечником, первичной и вторичной обмотками
4. Задающий каскад зажигания (альтернативно может встраиваться в электронный блок управления двигателем или в катушку зажигания)
5. Свеча зажигания

Кл. 1, кл. 4, кл. 4а, кл. 15 — обозначения клемм

магничивания, показывающая зависимость напряженности магнитного поля H от магнитной индукции B в материале (рис. 3). После достижения максимальной магнитной индукции при дальнейшем повышении напряженности магнитного поля достигается лишь незначительное увеличение магнитной индукции и наступает так называемое «магнитное насыщение».

Другим свойством материала является магнитный гистерезис, проявляющийся на кривой намагничивания. Он характеризует свойство материала, которое заключается в том, что при намагничивании и размагничивании при одной и той же магнитной индукции необходима разная напряженность магнитного поля. Чем сильнее выражен гистерезис, тем выше потери энергии на гистерезис в материале. В этом случае площадь, ограниченная петлей гистерезиса, является большой.

Магнитопровод

Материалом, чаще всего используемым в катушках зажигания, является электротехническая листовая сталь, которая выпускается разной толщины и качества. В зависимости от требований применяется материал с ориентируемой кристаллической структурой (повышенная максимальная магнитная индукция, но материал дорогой) или с не ориентируемой доменной структурой (меньшая максимальная магнитная индукция).

В основном используется листовая сталь толщиной 0,3–0,5 мм. Для снижения потерь за счет вихревых токов вставляются пластины из листовой стали с электроизоляцией между ними. Пластины штампуются, складываются стопками в «штампованные пакеты» и соединяются; таким способом создаются необходимое поперечное сечение и геометрическая форма сердечника.

Для того чтобы получить требуемые электрические характеристики при любой геометрии катушки зажигания, необходимо определить оптимальную геометрию магнитопровода.

Для выполнения электрических требований и повышения накапливаемой магнитной энергии необходим воздушный зазор 1 (рис. 4) в сердечнике. Воздушный зазор вызывает срез ферромагнитной цепи. Это приводит к тому, что магнитное насыщение магнитопровода происходит лишь при значительно более высоких токах. Без воздушного зазора насыщение наступало бы уже при небольших токах и при дальнейшем повышении тока накопленная энергия увеличивалась бы незначительно (рис. 5).

Рис. 3
1 — ветвь кривой намагничивания (кривая намагничивания размагниченного железного сердечника)
2 — петля гистерезиса

H_c — коэрцитивная сила магнитного поля
B_r — остаточная магнитная индукция

3 Кривая намагничивания с петлей гистерезиса

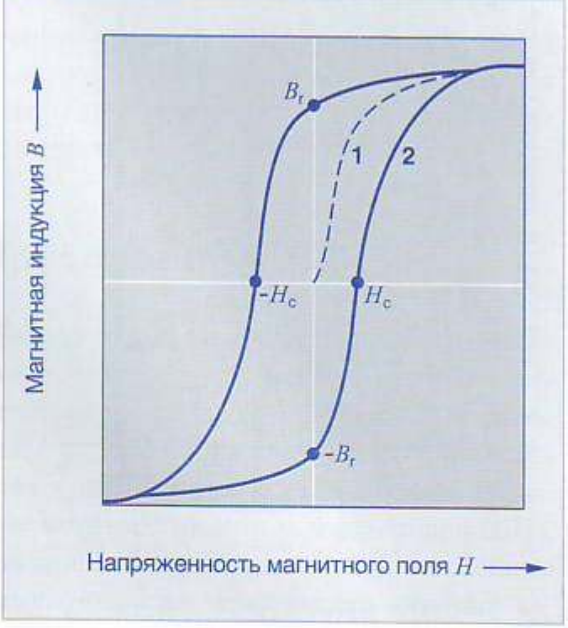
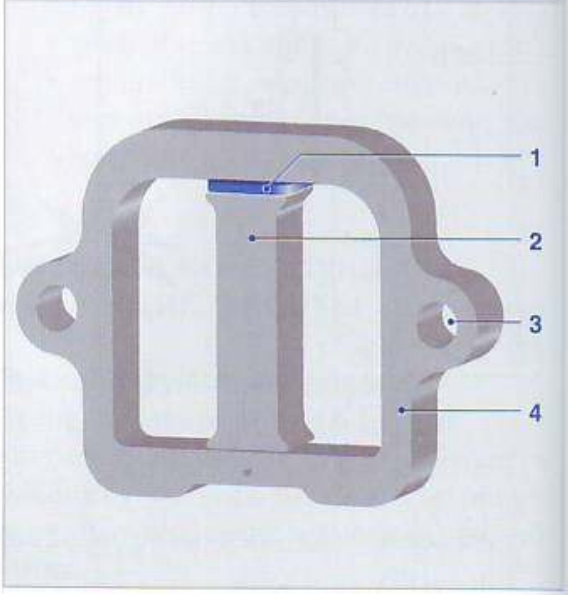


Рис. 4
1. Воздушный зазор или постоянный магнит
2. Внутренняя часть I-образного сердечника
3. Отверстие крепления
4. Внешняя часть O-образного сердечника

4 Железный сердечник компактной катушки зажигания с внешним (O-образным) и внутренним (I-образным) элементами



В связи с этим важно, чтобы в воздушном зазоре накапливалась наибольшая часть магнитной энергии.

При проектировании катушки по методу конечных элементов зажигания рассчитываются размерные параметры магнитопровода и воздушного зазора, которые смогут обеспечить потребные электрические характеристики. Для этого геометрия оптимизируется до тех пор, пока при заданном токе не достигается максимум накапливаемой магнитной энергии без магнитного насыщения магнитопровода.

Также могут быть удовлетворены требования, касающиеся ограничения пространства для размещения катушки (это особенно касается стержневых катушек зажигания) за счет использования постоянных магнитов (1, рис. 4). При этом постоянный магнит так поляризуется, что его магнитное поле направлено против магнитного поля, создаваемого обмоткой. Преимуществом предварительно намагничиваемых материалов является то, что в таком магнитопроводе может накапливаться больше энергии.

Генерирование высокого напряжения

В момент зажигания задающий каскад зажигания прерывает ток от катушки зажигания. Магнитное поле, быстро исчезающее в этот момент, индуцирует во вторичной обмотке вторичное напряжение. С физической точки зрения вторичная обмотка представляет собой колебательный контур, состоящий из индуктивных, емкостных и омических элементов.

Максимально достижимое напряжение зависит от:

- соотношения количества витков первичной и вторичной обмоток и ограничений, накладываемых на первичное напряжение со стороны задающего каскада зажигания;
- электроемкости обмоток и ее отношения к электроемкости соседних элементов в катушке зажигания;
- накопленной энергии;
- нагрузки во вторичной цепи (например, свечи зажигания и т.д.);
- количества пластин ферромагнитной цепи.

Образование искрового разряда

При подаче тока в первичную цепь при изменении градиента тока происходит резкое изменение магнитного потока в железном сердечнике. За счет этого во вторичной обмотке индуцируется напряжение. Оно обладает противоположной полярностью относительно индуцированного высокого напряжения при прерывании тока, т. к. градиент изменения тока положительный. Поскольку этот градиент по отношению к градиенту отключения первичного тока очень небольшой, индуцированное напряжение относительно мало, несмотря на большое значение числа витков в обеих обмотках. Оно находится в диапазоне 1–2 кВ и при определенных обстоятельствах достаточно для генерирования искрового разряда и воспламенения рабочей смеси. Во избежание повреждений двигателя, образование искрового разряда на свече зажигания должно быть исключено.

При распределении высокого напряжения с помощью вращающегося ротора этот дуговой разряд подавляется в искро-

5 Срез магнитопровода

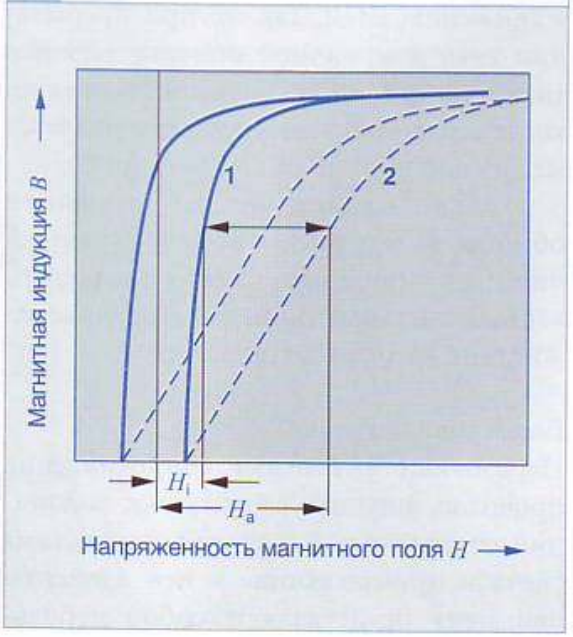


Рис. 5
1 — гистерезис при железном сердечнике без воздушного зазора
2 — гистерезис при железном сердечнике с воздушным зазором
H_1 — управление магнитным насыщением при железном сердечнике без воздушного зазора
H_2 — управление магнитным насыщением при железном сердечнике с воздушным зазором

вом промежутке распределителя. Контакт на роторе распределителя в момент включения не располагается напротив контакта на крышке распределителя зажигания.

При неподвижном распределении напряжения с одноискровыми катушками зажигания, появление дугового разряда предотвращается подавительным диодом EFU (2, см. рис. 1). При использовании двухискровых катушек зажигания этот разряд подавляется за счет высокого пробойного напряжения при последовательном соединении двух свечей зажигания без других дополнительных мер.

Нагрев катушки зажигания

КПД, определяемый как отношение энергии во вторичной обмотке к накопленной первичной энергии, находится в диапазоне 50–60%. У мощных катушек зажигания специального назначения КПД при определенных условиях может достигать 80%.

Разность энергий преобразуется в теплоту за счет омических потерь в обмотках, потерь при перемагничивании и от вихревых токов.

Дополнительным источником тепловых потерь может быть задающий каскад, интегрированный непосредственно в катушку зажигания. Первичный ток вызывает падение напряжения в материале полупроводника, которое приводит к снижению КПД. Так же при прерывании тока в первичной обмотке теряется значительная часть энергии, особенно, когда задающий контур характеризуется медленной динамической реакцией.

Уровни напряжения во вторичной обмотке имеют предел за счет ограничения первичного напряжения задающего каскада; часть накопленной в катушке зажигания энергии рассеивается.

Емкостная нагрузка

Паразитные емкостные сопротивления проводов, идущих от катушки зажигания, отверстие под свечу зажигания, сама свеча и примыкающие к ней элементы двигателя представляют собой небольшие, но все же емкостные сопротивления со значительным влиянием, учитывая высокие напряжения и их градиенты. За счет повышенного емкостного сопротивления снижается рост вторичного напряжения. В результате этого в обмотках увеличиваются резистивные потери и напряжение снижается. В конце концов вся имеющаяся энергия во вторичной обмотке не может быть использована для воспламенения смеси.

Энергия искры

Электрическая энергия, поступающая из катушки к свече зажигания, называется энергией искры. Она является важной характеристикой при проектировании катушки зажигания и, кроме этого, в зависимости от параметров обмотки, определяет пробивной ток и продолжительность искрового разряда на свече зажигания.

Для воспламенения рабочей смеси в безнаддувных и турбонаддувных двигателях нормальная энергия искры должна быть в пределах 30 — 50 мДж. У двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива для обеспечения надежного воспламенения при всех рабочих режимах двигателя необходима более высокая энергия искры (до 100 мДж).

Типы катушек зажигания

Одноискровая катушка зажигания

В системах зажигания с одноискровыми катушками каждая свеча зажигания имеет свою катушку.

Одноискровая катушка зажигания за один рабочий ход генерирует одну искру зажигания. Поэтому в этих системах требуется синхронизация работы катушки с вращением распределительного вала.

Двухискровая катушка зажигания

Одна свеча зажигания на цилиндр

Двухискровая катушка генерирует напряжение зажигания одновременно для двух свечей зажигания. Распределение по цилиндрам осуществляется таким образом, что:

- рабочая смесь в одном цилиндре воспламеняется в конце такта сжатия;

- искра зажигания в другом цилиндре создается в фазе перекрытия клапанов в конце такта выпуска.

Двухискровая катушка зажигания генерирует искровой разряд за один поворот коленчатого вала, т. е. дважды за каждый рабочий ход. Поэтому в этой системе не требуется синхронизация работы катушки с вращением распределительного вала. Однако эта схема может применяться только на двигателях с четным числом цилиндров.

К моменту перекрытия клапанов сжатие смеси в цилиндре отсутствует, и поэтому напряжение искрения на свече зажигания очень мало. Эта «поддерживающая» искра, таким образом, требует только небольшого пробойного напряжения.

Двойное зажигание

В системах с двумя свечами зажигания на каждом цилиндре напряжение зажигания, генерированное катушкой зажигания, распределяется по двум разным цилиндрам. Преимущества этой схемы заключаются в следующем:

- снижение токсичности эмиссии ОГ;
- некоторое увеличение мощности двигателя;
- наличие двух искровых разрядов в разных точках камеры сгорания;
- возможность получения более равномерного сгорания за счет смещения по времени момента зажигания;
- приемлемые характеристики аварийного режима работы при выходе из строя одной катушки зажигания.

Варианты исполнения

Фактически все катушки зажигания, применяемые в настоящее время, можно отнести к следующим типам:

- компактные;
- стержневые.

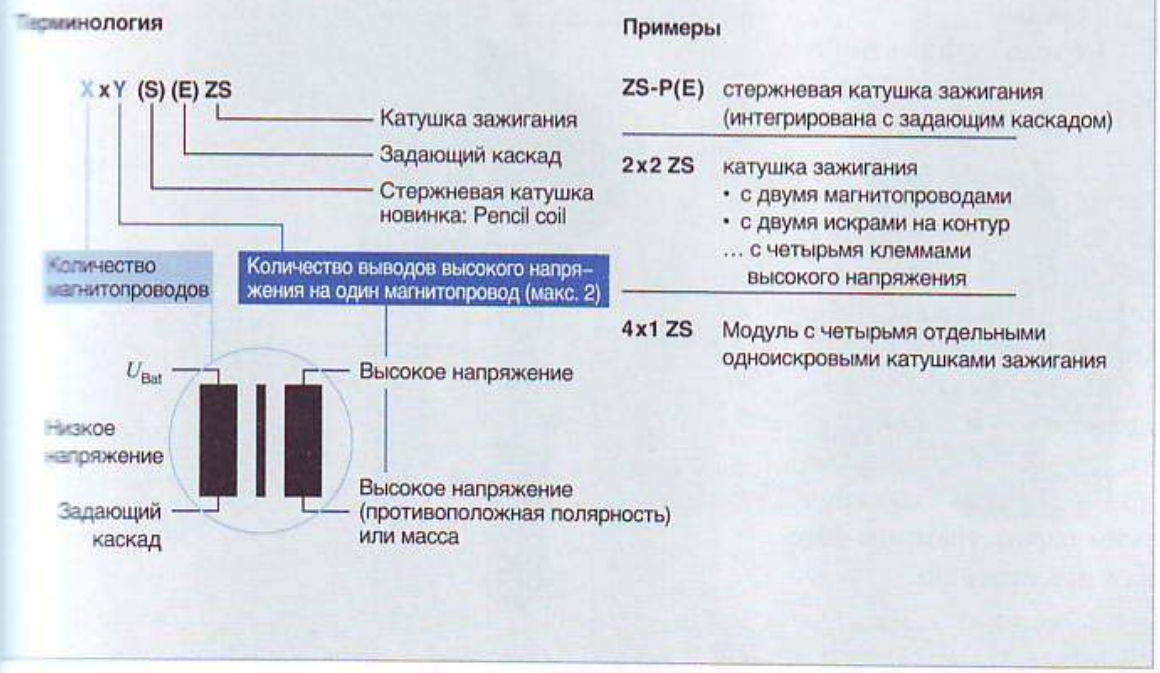
В описанных далее вариантах частично возможна интеграция задающего каскада зажигания в корпус.

Компактная катушка зажигания

Конструкция

Магнитопровод компактной катушки зажигания состоит из О- и I-образного сердечников (рис. 1), на которые нама-

Основные типы катушек зажигания Bosch



Для упрощения определения типов катушек зажигания Bosch были введены следующие обозначения

тываются первичная и вторичная обмотки. Эта конструкция встраивается в корпус катушки зажигания. Первичная обмотка (I-образный сердечник, обмотанный проводом) соединяется электрическим и механическим путем со штекерным разъемом. Точно так же соединяется начало вторичной обмотки (корпус катушки, обмотанный проводом). Соединение между вторичной обмоткой и свечой зажигания также располагается в корпусе, формируясь при производстве обмоток.

В корпус вмонтирована крышка с выводами высокого напряжения, которая содержит, с одной стороны, контакты узла соединения со свечой зажигания и, с другой стороны, слой силиконовой оболочки изоляции для предотвращения попадания тока высокого напряжения на примыкающие детали катушки и отверстие для свечи зажигания.

После сборки всех элементов катушки внутренняя часть корпуса заливается в вакууме полимерной смолой, которая затем твердеет. Это дает:

- высокую механическую прочность;
- хорошую защиту от влияния окружающей среды;
- очень эффективную изоляцию высокого напряжения.

Затем силиконовая оболочка изоляции натягивается на крышку с выводами высокого напряжения и фиксируется.

После заключительного полного испытания катушки на соответствие всем нормируемым электрическим параметрам она готова к применению.

Дистанционный вариант и COP-вариант катушек зажигания

За счет небольших размеров компактной катушки зажигания возможно выполнение ее в варианте, изображенном на рис. 1. В этой конструкции, сокращенно называемой COP (Coil on Plug), катушка монтируется прямо на свече зажигания, поэтому соединение высокого напряжения оказывается излишним (рис. 2а). Это дает меньшую емкостную нагрузку во вторичной цепи катушки зажигания. Дополнительно за счет уменьшения количества конструктивных элементов повышается надежность (например, уже невозможно перекусывание проводов вредителями).

В дистанционном варианте, применяемом значительно реже, компактные катушки зажигания крепятся болтами

1 Конструкция компактной свечи зажигания

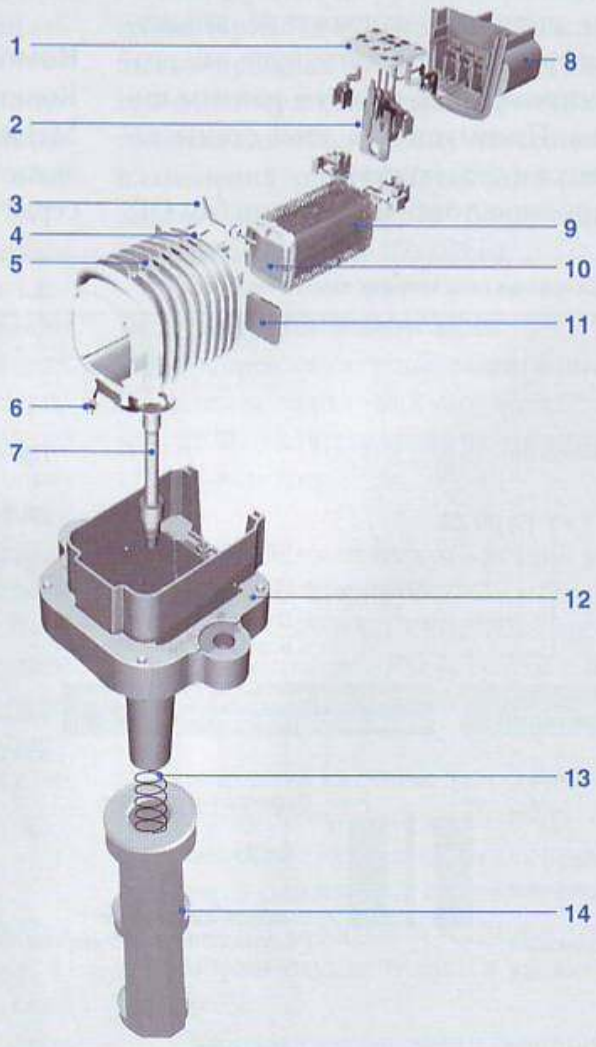


Рис. 1
1. Печатная плата
2. Задающий каскад
3. Диод EFU
4. Элемент вторичной обмотки
5. Провод вторичной обмотки
6. Контактная металлическая пластина
7. Стержень высокого напряжения
8. Разъем первичной цепи
9. Провод первичной обмотки
10. I-образный сердечник (внутренний)
11. Постоянный магнит
12. O-образный сердечник (внешний)
13. Пружина
14. Силиконовая изолирующая оболочка

в моторном отсеке. Для этого предусматриваются крепежные петли или дополнительный кронштейн. Высоковольтные провода обеспечивают передачу тока высокого напряжения от катушки к свече зажигания.

Хотя дистанционная катушка зажигания и катушка на свече зажигания (COP) имеют почти одинаковые конструкции, дистанционный вариант (монтаж на кузове) обладает меньшей сопротивляемостью температурным и вибрационным нагрузкам.

Другие конструктивные варианты катушек зажигания

ZS 2×2

Распределение высокого напряжения с помощью вращающегося ротора было быстро заменено неподвижным распределением напряжения. Для того чтобы изготовители автомобилей могли переоборудовать существующие двигатели под это неподвижное распределение, возникла необходимость в поиске подходящего решения.

Для простого переоборудования двигателя на неподвижное распределение подходят катушки ZS 2×2 (рис. 3) или ZS 3×2. Эта катушка зажигания имеет два или три магнитопровода и генерирует две искры на каждый магнитный контур. Ею можно заменить распределитель зажигания в четырех- или шестицилиндровом двигателе. Затраты автомобилестроителя по адаптации невелики, т. к. катушки можно размещать почти в любом месте моторного отсека, но при этом требуется некоторая модификация электронного блока управления двигателем. Хотя при этом решении с дистанционной катушкой зажигания в большинстве случаев необходимо применение высоковольтных проводов зажигания.

Модули ZS катушек зажигания

В модулях катушек зажигания несколько катушек зажигания объединены в общем корпусе в один блок (рис. 4). С функциональной точки зрения эти катушки зажигания работают независимо друг от друга.

Преимущества, возникающие за счет применения модулей катушек зажигания, заключаются в следующем:

- упрощенный монтаж (только одна рабочая операция на три или четыре катушки зажигания);
- меньшее количество винтовых соединений;

2 Одноискровые катушки зажигания

3 Катушка зажигания 2x2 для переоснащения с вращающегося на неподвижное распределение напряжения

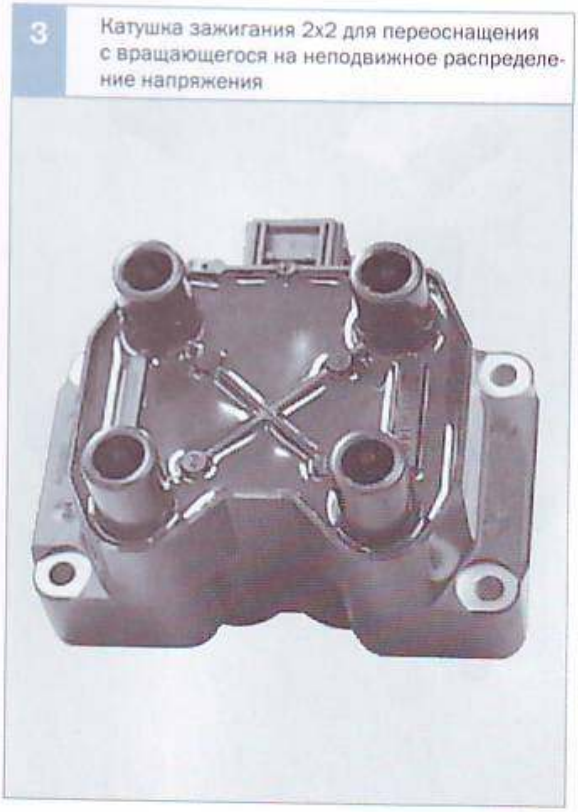


Рис. 2
a — COP-вариант одноискровой компактной катушки зажигания для установки на свече зажигания
b — вариант дистанционной катушки: две одноискровые катушки зажигания в одном модуле, соединенные со свечами зажигания посредством двух высоковольтных проводов

- подсоединение к жгуту проводов на двигателе только через один штекерный разъем;
- сокращение затрат за счет ускоренной сборки и упрощенной электропроводки.

Недостатки:

- необходимость приспособления геометрической формы модуля к конкретному двигателю;
- отсутствие универсальности, т. к. для каждой головки блока цилиндров должны применяться свои модули.

Стержневая катушка зажигания

Стержневая катушка зажигания позволяет наиболее оптимально использовать пространство моторного отсека. За счет своей цилиндрической формы катушка может использовать отверстие под свечу зажигания в качестве дополнительной установочной зоны, что способствует оптимизации свободного пространства в головке блока цилиндров (рис. 5).

Стержневые катушки зажигания всегда устанавливаются непосредственно на свечу зажигания, поэтому не требуется никаких дополнительных соединительных высоковольтных проводов.

Конструкция и магнитопровод

Стержневые катушки зажигания (называемые также Pencil Coil) работают как компактные катушки зажигания по тому же индуктивному принципу. Но за счет осесимметричности существенно отличаются по конструкции от компактных катушек зажигания.

Самым заметным отличием является магнитопровод. Расположенный в центре стержневой сердечник 5 (рис. 6) складывается в стопку из штампованных металлических пластин разной ширины и пакетируется. Магнитопровод образован гильзой из магнитного металла 9, скатанной и шлицованной из электротехнической листовой стали, иногда в несколько слоев.

4 Модули с компактными катушками зажигания

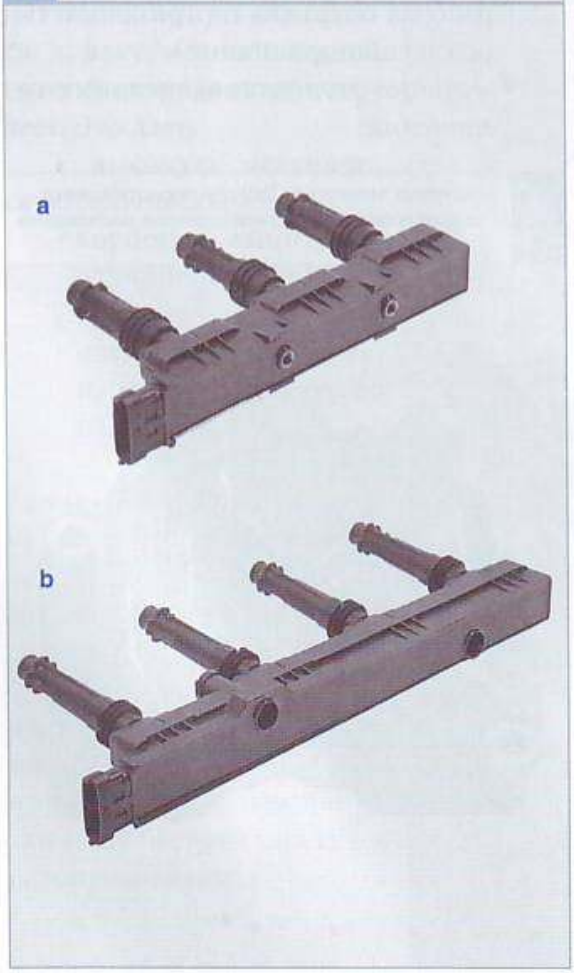


Рис. 4
a — ZS 3×1M
b — ZS 4×1M

5 Монтаж в отверстии под свечу зажигания: сравнение размеров компактной катушки зажигания со стержневой катушкой зажигания

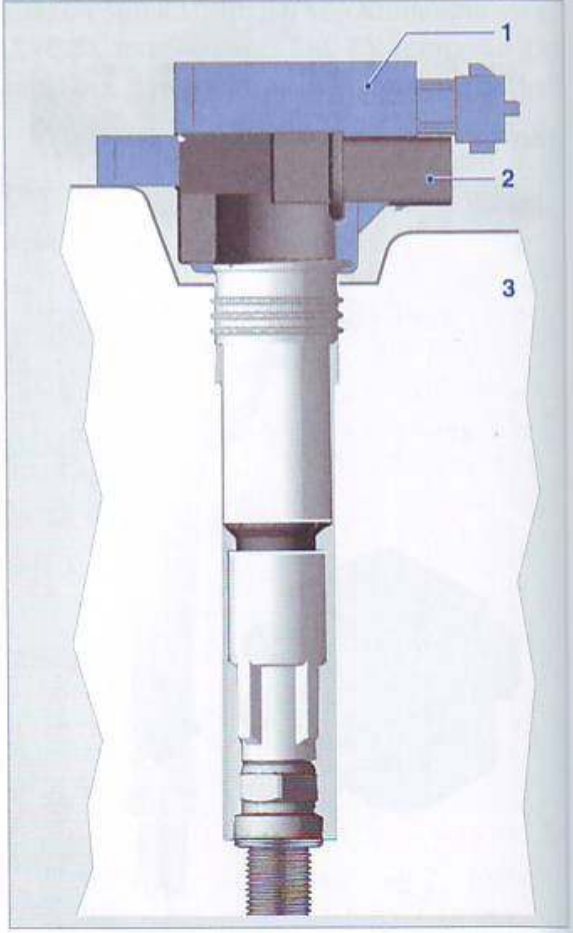


Рис. 5
1. Компактная катушка зажигания
2. Стержневая катушка зажигания
3. Головка блока цилиндров

В отличие от компактной катушки зажигания, первичная обмотка 7 с большим диаметром располагается вокруг вторичной обмотки 6. Корпус катушки также служит в качестве опоры для стержневого сердечника. Это обеспечивает ей конструктивные преимущества и повышенную работоспособность.

Компактная конструкция стержневой катушки зажигания с заданной геометрией допускает очень ограниченную вариацию магнитопровода (стержневой сердечник, металлическая пластинчатая гильза) и обмоток. Чтобы наиболее эффективно удовлетворить запросы в отношении электрических параметров и геометрии, необходимым условием является применение моделирования по методу конечных элементов и других средств компьютерной поддержки.

В большинстве случаев применения стержневых катушек зажигания ограниченное пространство для их размещения делает необходимым введение постоянных магнитов в катушку для увеличения энергии искрового разряда (см. рис. 6).

Соединение со свечами зажигания и подключение к жгуту проводов двигателя в стержневых катушках зажигания сравнимы с компактными катушками зажигания.

Варианты

Стержневые катушки зажигания предлагаются в нескольких вариантах (например, различные диаметры и длина) для различного применения. Как вариант, задающий каскад зажигания может интегрироваться в корпус.

Часто встречающийся диаметр, замеряемый по цилиндрической средней части, (металлическая пластинчатая гильза или корпус) равен примерно 22 мм. Этот размер соответствует диаметру отверстия под свечу зажигания в головке блока цилиндров при использовании свечей стандартного типа, а именно под ключ «на 16». Длина стержневой катушки зажигания определяется положением в головке блока цилиндров и номинальными или возможными электрическими параметрами. Но удлинению активной части (трансформатора) есть пределы из-за возникающего при этом увеличения паразитных емкостных сопротивлений и снижения КПД магнитопровода. При этом уже нельзя получить оптимальные электрические параметры катушки.

6 Конструкция стержневой свечи зажигания

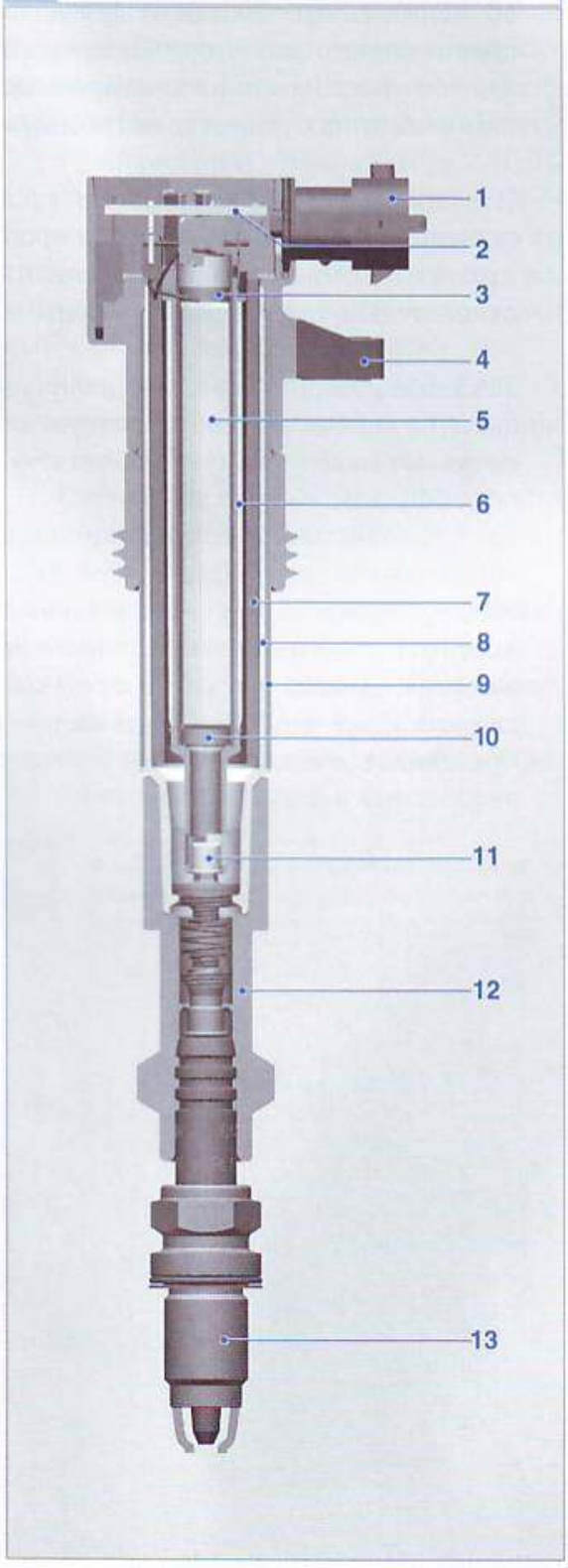


Рис. 6

1. Штекерный разъем
2. Печатная плата с задающим каскадом зажигания
3. Постоянный магнит
4. Крепежный кронштейн
5. Сердечник пакетированных пластин из электротехнической листовой стали (стержневой сердечник)
6. Вторичная обмотка
7. Первичная обмотка
8. Корпус
9. Корпус крепления катушки
10. Постоянный магнит
11. Цилиндрический элемент передачи высокого напряжения
12. Силиконовая оболочка
13. Подсоединенная свеча зажигания

Полости заполнены отверждающей смолой

История разработки катушек зажигания: катушка зажигания с битумной заливкой

Катушка зажигания с битумной заливкой (см. рис.) — реликт прошедших времен — до сих пор встречается на некоторых старых автомобилях.

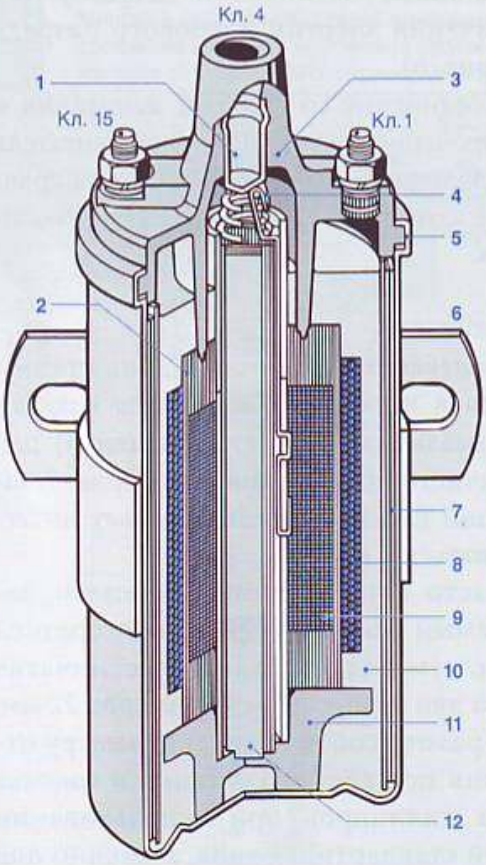
Такая катушка зажигания состоит из корпуса 5, в который встроена гильза 7 из магнитных металлических пластин. Вторичная обмотка 9 намотана непосредственно на пластинчатый железный сердечник 12 и через него имеет электрическое соединение с центральной клеммой в крышке катушки зажигания 3.
Так как ток высокого напряжения проходит через железный сердечник, то он должен быть изолирован от других частей катушки с помощью крышки и дополнительного изолятора 11, находящегося в нижней части катушки. Первичная обмотка 8 намотана на вторичную обмотку. Изоляция и механическая фиксация обмоток осуществляются посредством битумной заливки.

Изолированная крышка катушки также содержит клемму низкого напряжения, связанную с аккумуляторной батареей (клемма 15), и клемму для соединения с распределителем зажигания (клемма 1), которые располагаются симметрично относительно центральной клеммы высокого напряжения (клемма 4).

Тепловые потери, возникающие преимущественно в первичной обмотке, отводятся на стакан через обшивочную жесть. Широкие крепежные хомуты 6 обеспечивают максимальную теплоотдачу на кузов.

Катушка зажигания с битумной заливкой в 80-е гг. все больше утрачивала свое значение в новых системах и была заменена пластмассовой катушкой зажигания. Однако катушка старой конструкции все еще изготавливается в Бразилии для использования в качестве запасных частей.

Конструкция битумной катушки зажигания



1. Подача тока высокого напряжения на крышку катушки зажигания
2. Битумная изоляция
3. Изолированная крышка (крышка катушки зажигания)
4. Внутренний подвод высокого напряжения через подпружиненный контакт
5. Корпус катушки
6. Крепежный кронштейн
7. Гильза из магнитного металла
8. Первичная обмотка
9. Вторичная обмотка
10. Заливочная масса (битум)
11. Изолятор корпуса
12. Железный сердечник

Электронные катушки зажигания

В старых схемах задающий каскад зажигания обычно встраивался в отдельный модуль и крепился к катушке зажигания или распределителю зажигания с вращающимся ротором в моторном отсеке.

С переходом на неподвижное распределение напряжения и с возрастающей миниатюризацией электроники разрабатывались компактные задающие каскады зажигания в виде интегральных схем, которые могли встраиваться в блоки управления зажиганием или в блоки управления двигателем.

Применение электронных блоков управления двигателем (Motronic) и новых концепций двигателей (например, с непосредственным впрыскиванием топлива) увеличивают термонагрузки (потери тепла в задающих каскадах) и требуют меньшего пространства для своего размещения. Это требует разобщения задающего каскада и блока управления. Есть возможность для встраивания задающего каскада в катушку зажигания, что дает возможность сокращения длины провода низкого напряжения и, следовательно, уменьшения потерь энергии в токоподводящем проводе.

Конструкция

Возможна интеграция задающего каскада как в компактную, так и в стержневую катушку зажигания. На рис. 1 показан вариант размещения его в стержневой катушке зажигания. Модуль задающего каскада (частично с дополнительными функциями) выполнен на небольшой печатной плате. Из-за ограниченных размеров используются конструктивные элементы SMD (Surface Mounted Device — метод поверхностного монтажа).

Транзисторы задающего каскада 7 интегрированы в стандартные TO-корпуса и соединены с печатной платой или электропроводниками. Дополнительные функции контроля, диагностики или другие функции (например, усиление сигнала ионного тока, многоискровое зажигание и т.д.) по желанию интегрируются в других электронных конструктивных чипах 3. Клемма низкого напряжения 1 напрямую связана с печатной платой, под которой находятся контакты первичной обмотки катушки зажигания 4.

Задающие каскады зажигания

Традиционные задающие каскады построены по BIP-технологии (Bosch Integrated Power — интегрированный силовой элемент фирмы Bosch, выполненный по биполярной технологии). Благодаря появлению транзистора IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor — смешанная форма полевого и биполярного транзистора), создана новая технология, которая по сравнению с BIP-технологией имеет следующие преимущества:

- управление напряжением без потерь мощности вместо управления током;
- меньшее напряжение насыщения при более высоких токах;
- небольшое время включения;
- более высокое активное напряжение переключения;
- более высокая энергия переключения;
- не требуется регулировка или ограничение тока;

1 Размещение задающего каскада зажигания в корпусе стержневой катушки зажигания

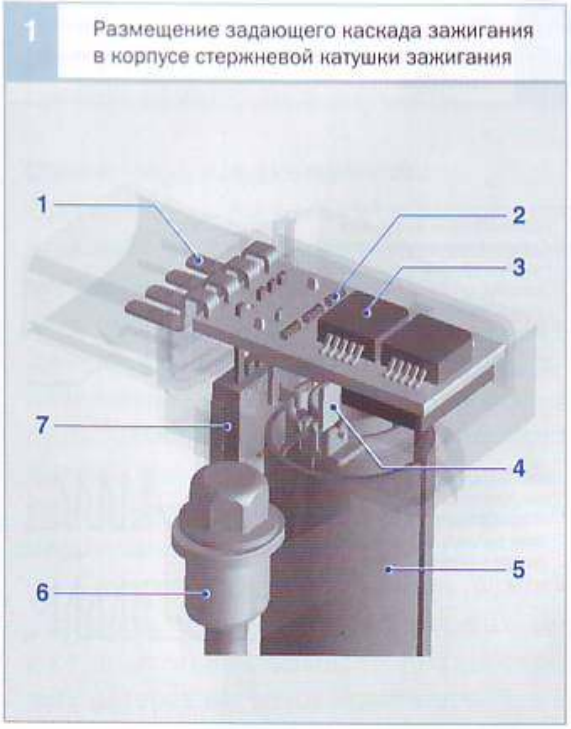


Рис. 1
1. Электрический разъем для подключения провода низкого напряжения
2. SMD-элементы
3. Электронный блок для многоискрового зажигания и измерения ионного тока
4. Контакты первичной обмотки
5. Трансформатор стержневой катушки зажигания
6. Крепежное гнездо
7. Задающий каскад

- более высокая термостойкость в условиях непрерывной работы.

Недостаток высокого входного сопротивления IGBT компенсируется дополнительным монтажом на чипе; за счет этого снижается чувствительность к помехам.

Некоторые задающие каскады передают сигналы обратно в блок управления, что позволяет распознавать сбои в работе (короткое замыкание, падение мощности) и оценивать их. Некоторые задающие каскады могут отключаться с целью предотвращения выхода их из строя при перегреве.

Многоискровое зажигание (MFZ)

Накопленная энергия в небольших катушках зажигания при критических условиях не всегда оказывается достаточной для ее надежного воспламенения рабочей смеси. Для управления энергией зажигания в соответствии с ее потребностью имеются дорогостоящие решения (зажигание с двумя свечами, система зажигания с использованием переменного тока и др.). Многоискровое зажигание (MFZ), также называемое многоимпульсным зажиганием (PZZ), является более дешевым решением.

Принцип работы

Основой многоискрового зажигания является быстрозаряжающаяся катушка зажигания (рис. 2). После начального искрового разряда происходят повторяющиеся включение и выключение задающего каскада с целью образования пульсирующего искрового ряда, состоящего из нескольких следующих друг за другом искровых разрядов. Повторный заряд может происходить с опережением для прерывания отдельных искровых разрядов. На фазе дозарядки не происходит передача энергии на свечу зажигания для воспламенения рабочей смеси.

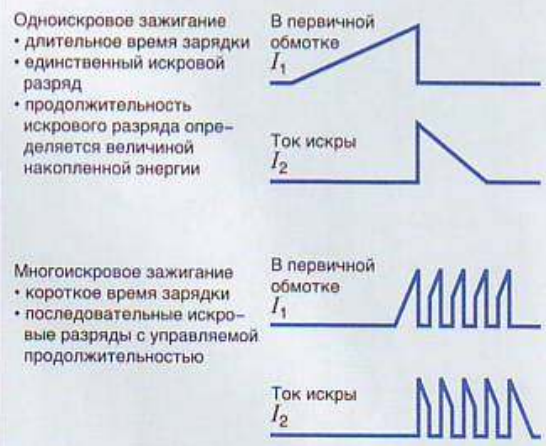
Одноискровое зажигание (EFZ) характеризуется следующими признаками:

- длительное время зарядки;
- образование одного искрового разряда;
- продолжительность искрового разряда определяется количеством накопленной энергии;
- система Motronic с электронным блоком управления может обеспечивать создание последовательных искровых разрядов только при очень малой частоте вращения коленчатого вала.

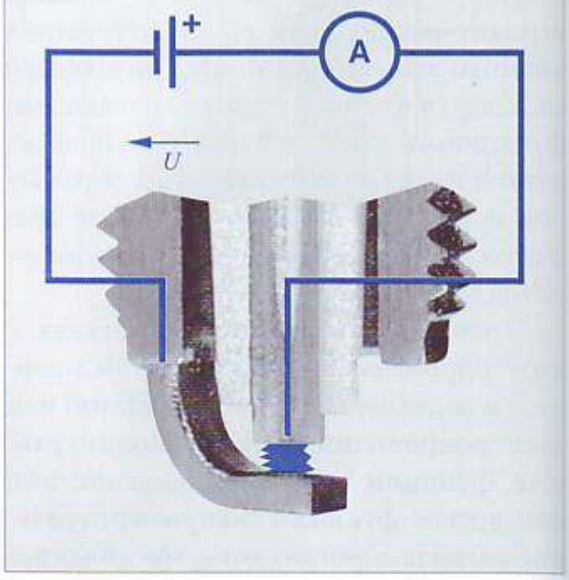
Многоискровое зажигание отличается:

- коротким временем зарядки катушки зажигания;

2 Сравнение кривых изменения сигнала о работе одноискровой и многоискровой систем зажигания



3 Измерение ионного тока на электродах катушки зажигания



- образованием последовательных искровых разрядов с изменяемой продолжительностью.

Выше определенной частоты вращения коленчатого вала генерирование более чем одной искры не имеет смысла, т. к. на создание второй искры имеется слишком мало времени и за этот период коленчатый вал двигателя уже повернется на несколько угловых градусов.

Измерение ионного тока

После исчезновения искры зажигания зазор между электродами свечи зажигания ионизируется. Электрическая цепь, образованная источником напряжения, свечой зажигания и устройством контроля тока (рис. 3), замыкается. По изменению тока можно сделать вывод о качестве сгорания.

Оценка этого сигнала весьма затруднена и требует значительных электронных и программных ресурсов.

Детектирование детонационного сгорания с помощью этой системы вполне возможно. Другие, более детальные способы анализа процесса сгорания, находятся в процессе разработки.

Электрические параметры

Индуктивность

Индуктивность определяется материалом и поперечным сечением магнитопровода, по которому проходит ток, количеством витков и геометрией медной обмотки, а также током, проходящим по обмотке.

Катушка зажигания обладает первичной и вторичной индуктивностью, при этом вторичная индуктивность во много раз выше первичной.

Емкость

В катушке зажигания различают собственные и паразитные емкости, а также емкости нагрузки.

Собственные емкости в основном определяются внутренней емкостью вторичной обмотки (в зависимости от ее формы). В стержневых катушках зажигания важную роль также играет ограниченное количество изоляции между двумя обмотками и сердечником. Электростатические параметры катушки зажигания, оптимизированные с помощью методов моделирования, позволяют уменьшить эти электроемкости и, следовательно, улучшить электрические характеристики катушки зажигания.

Внешние нагрузочные емкости определяются местоположением катушки (например, отверстие для свечи зажигания), свечой зажигания, а также разъемами и проводами высокого напряжения. На эти условия чаще всего нельзя повлиять, и они должны учитываться в соответствующих параметрах катушки зажигания.

Накопленная энергия

В зависимости от параметров катушки зажигания (геометрии, материала магнитопровода, наличия дополнительных магнитов) и используемого задающего каскада зажигания, когда ток в первичной обмотке катушки зажигания достигает определенной величины, при любом дополнительном увеличении этого тока будет происходить только незначительный рост накопленной энергии, но при этом непропорционально увеличиваются потери, что в конце концов приводит к выходу из строя катушки зажигания.

Оптимальные условия работы катушки зажигания поэтому (с учетом всех допусков) соответствуют режиму, при котором магнитное насыщение в магнитопроводе немного не достигнуто.

Омическое сопротивление

Омическое сопротивление обмоток определяется удельным сопротивлением меди, зависящим от температуры.

Сопротивление первичной обмотки должно быть как можно меньше для обеспечения благоприятных условий запуска холодного двигателя (при пониженном напряжении аккумуляторной батареи). Оно составляет величину порядка нескольких сотен мОм.

Сопротивление вторичной обмотки находится в диапазоне нескольких кОм и отрицательно сказывается на собственных потерях катушки зажигания.

Потери мощности

Потери в катушке зажигания определяются электросопротивлением обмоток, емкостными потерями и потерями на перемагничивание, а также отклонениями формы магнитопровода от идеальной его формы. При КПД 50–60%, имеют место высокие потери мощности при повышенной частоте вращения коленчатого вала. Катушки зажигания, специально созданные для минимизации этих потерь, используются в комбинации с термостойкими материалами.

Соотношение витков

Соотношение витков является арифметическим отношением числа витков медной проволоки в первичной обмотке к числу витков во вторичной. Для стандартных катушек зажигания оно равно порядка 1:50–1:150. Путем выбора необходимого соотношения витков и задающего каскада зажигания можно воздействовать на такие параметры, как ток искры и, в определенной мере, максимальное напряжение во вторичной обмотке.

Характеристики высокого напряжения и искры

Работа идеальной катушки зажигания остается относительно независимой от нагрузки и одновременно генерирует максимально возможное напряжение за очень короткий период времени. Это гарантирует получение пробивного напряжения на свече зажигания и надежное воспламенение рабочей смеси.

Но все же здесь есть пределы, обусловленные реальными свойствами обмоток, магнитопровода и применяемого задаваемого каскада.

Высокое напряжение поляризовано таким образом, что центральный электрод свечи зажигания сохраняет отрицательный потенциал относительно массы автомобиля. Отрицательная полярность препятствует эрозии электрода на свече зажигания.

Динамическое внутреннее сопротивление

Другим важным параметром является динамическое внутреннее сопротивление (импеданс) катушки зажигания, т. к. оно в сочетании с внутренней и внешней емкостями обмоток помогает в определении времени нарастания напряжения и, следовательно, является критерием количества энергии, способной стекать с катушки зажигания через шунтирующие сопротивления утечки в момент начала зажигания. Малое внутреннее сопротивление выгодно при загрязненной или мокрой свече зажигания. Внутреннее сопротивление зависит от вторичной индуктивности.

1 Параметры катушек зажигания

I_1	Первичный ток	6,5...9,0 А
T_1	Время зарядки	1,5...4,0 мс
U_2	Напряжение во вторичной обмотке	29...35 кВ
T_{Fu}	Продолжительность искры	1,3...2,0 мс
W_{Fu}	Энергия искры	30...50 мДж
I_{Fu}	Ток искры	80...115 мА
R_1	Омическое сопротивление первичной обмотки	0,3...0,6 Ом
R_2	Омическое сопротивление вторичной обмотки	5...15 кОм
N_1	Количество витков первичной обмотки	150...200
N_2	Количество витков вторичной обмотки	8000...22000
	для непосредственного впрыскивания топлива	до 100 мДж

Таблица 1

Разработка катушек с использованием методов моделирования

При разработке катушки зажигания с учетом все возрастающих технических запросов можно обеспечить ее эффективность методом проб и ошибок. Другой путь состоит в методе автоматизированной разработки CAE (Computer Aided Engineering) — это собирательное понятие всех способов разработки, базирующихся на применении компьютерных технологий. Этот метод содержит все положения автоматизированного проектирования CAD (Computer Aided Design), а также все расчетные операции.

Преимущества применения метода CAE:

- обоснованные решения на ранних стадиях разработки (возможно без прототипов);
- создание спецификаций для прототипов, уже подготовленных для испытаний;
- лучшее понимание физических взаимосвязей.

При разработке катушки зажигания применяются расчетные программы в различных областях моделирования, в таких, например, как:

- структурная механика (анализ механических и тепловых нагрузок);
- гидродинамика (анализ процессов заполнения формы);
- электромагнитометрия (анализ электромагнитных характеристик системы).

При разработке свечи зажигания особое значение имеет применение методов электромагнитного моделирования, которые используются для моделирования геометрических и рабочих характеристик катушек.

При выборе геометрии катушки зажигания применяется метод конечных элементов (FEM — Finite-Element-Methode), базирующийся на модели CAD. Затем для включения в модель FEM определяются различные характеристики (плотность тока, электрические потенциалы и т.д.). На следующем этапе осуществляется переход к расчетной модели и вывод характеристик на основе системы соответствующих уравнений. В результате этих операций достигается расчетное решение проблемы выбора характеристик катушки.

Этот метод позволяет получить на компьютере чисто виртуальные, основанные на моделировании параметры катушки зажигания. В зависимости от цели анализа при этом может быть получена геометрия катушки зажигания (оптимальные магнитные свойства ферромагнитной цепи, наилучшие электростатические характеристики электропроводящих контуров).

После проведения анализа геометрических параметров катушки может быть использован метод моделирования для определения ее электрических характеристик внутри системы, состоящей из задающего каскада зажигания, катушки и свечи зажигания. Этот анализ проводится для оценки реальных условий работы катушки. Такой расчетный метод позволяет определить исходные параметры катушки, а также способствует проведению последующих расчетных операций электрических параметров, например, энергии и тока искры.

Применение методов электромагнитного моделирования делает возможным виртуальную разработку катушек зажигания. Исходя из результатов моделирования, определяются геометрические параметры и конструкция обмоток, на основе чего могут создаваться прототипы. Электрические характеристики этих прототипов катушки зажигания соответствуют результатам моделирования. Количество рекурсий, требующих больших затрат времени при традиционном способе проектирования катушек зажигания, здесь можно существенно снизить.

Производство катушек зажигания

Катушки зажигания Bosch изготавливаются по полностью автоматизированной технологии. Ниже представлен весь процесс производства.

Термопластичные детали, отлитые под давлением

1. Первичные и вторичные обмотки катушек
2. Корпус катушки зажигания
3. Клемма низкого напряжения

Штампованная и пакетированная электротехническая листовая сталь

1. О-образный сердечник (внешний) и I-образный сердечник (внутренний) (компактная катушка зажигания)
2. Стержневой сердечник и металлическая пластинчатая гильза (стержневая катушка зажигания)

Штампованные электроразъемы

1. Токоподводящие шины
2. Контактные элементы

Последовательность технологических операций

1. Наложение покрывающего слоя на О-образный (корпус) и I-образный (каркас первичной катушки) сердечники или на стержневой сердечник (первичная обмотка)
2. Намотка первичной и вторичной обмоток (рис. 1)
3. Подключение высоковольтного провода к контактному элементу
4. Сборка отдельных элементов

4.1. Монтаж токоподводящих шин и токовых разъемов низкого напряжения

4.2. Соединение клеммы низкого напряжения с первичной обмоткой

4.3. Введение предварительно собранной первичной обмотки во вторичную обмотку

4.4. Установка высоковольтного штеккера в корпус катушки

4.5. Стержневая катушка зажигания: установка металлической пластинчатой гильзы в корпусе

4.6. Установка полностью собранного узла обмотки в корпус катушки

Заливка изоляции

1. Предварительное нагревание
2. Вакуумная заливка
3. Отверждение

Окончательная сборка

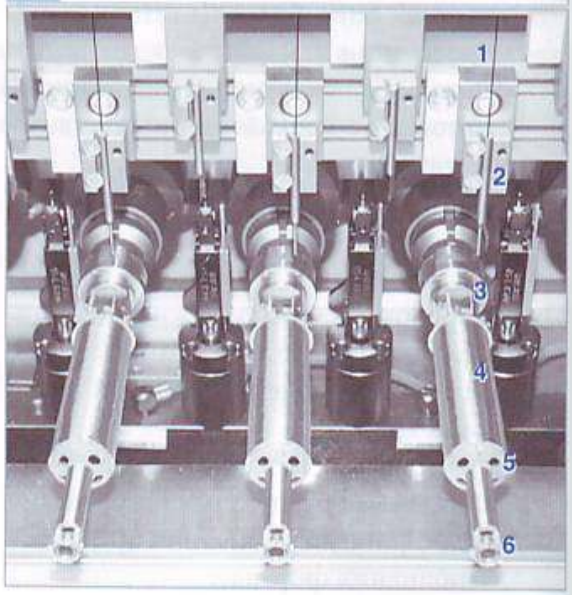
1. Силиконовая оболочка и любые оставшиеся элементы

Заключительная проверка

1. Проверка электрических и механических параметров на соответствие нормам
2. Нанесение маркировки

Упаковка и отправка потребителям

1 Обмотка каркаса катушки



2 Установка обмоток в корпус катушки зажигания

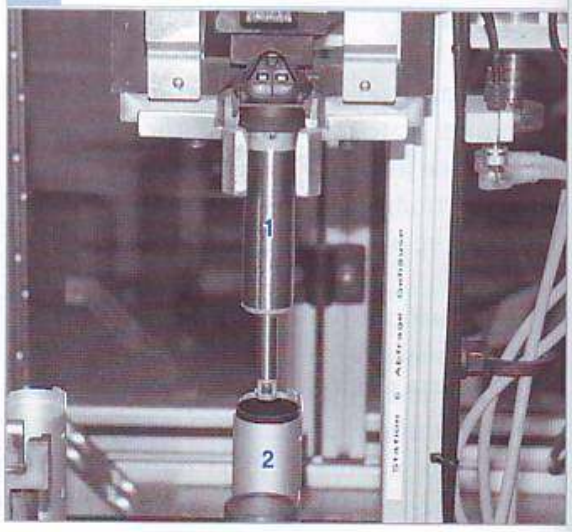


Рис. 1
1. Обмоточный провод (толщина 0,05 мм, на фото указан линией)
2. Направляющая провода
3. Шпиндель
4. Вторичная обмотка
5. Каркас вторичной обмотки
6. Контактный элемент

Рис. 2
1. Обмотки катушки зажигания
2. Корпус катушки зажигания

Свечи зажигания

Зажигание рабочей смеси в двигателе с искровым зажиганием (бензиновом двигателе) осуществляется электрическим путем. Электрическая энергия поступает из аккумуляторной батареи и временно накапливается в катушке зажигания. Высокое напряжение, генерируемое в катушке зажигания, вызывает пробой зазора между электродами свечи зажигания и создание искрового разряда в камере сгорания двигателя. Энергия, заключенная в этом разряде, воспламеняет сжатую рабочую смесь.

Функции

Свеча зажигания предназначена для подачи в камеру сгорания бензинового двигателя энергии зажигания, с тем чтобы за счет электрической искры между электродами инициировать процесс воспламенения рабочей смеси.

Конструкция свечи зажигания должна гарантировать принудительную изоляцию между искровым разрядом и головкой блока цилиндров, а камера сгорания должна быть герметична по отношению к внешней среде.

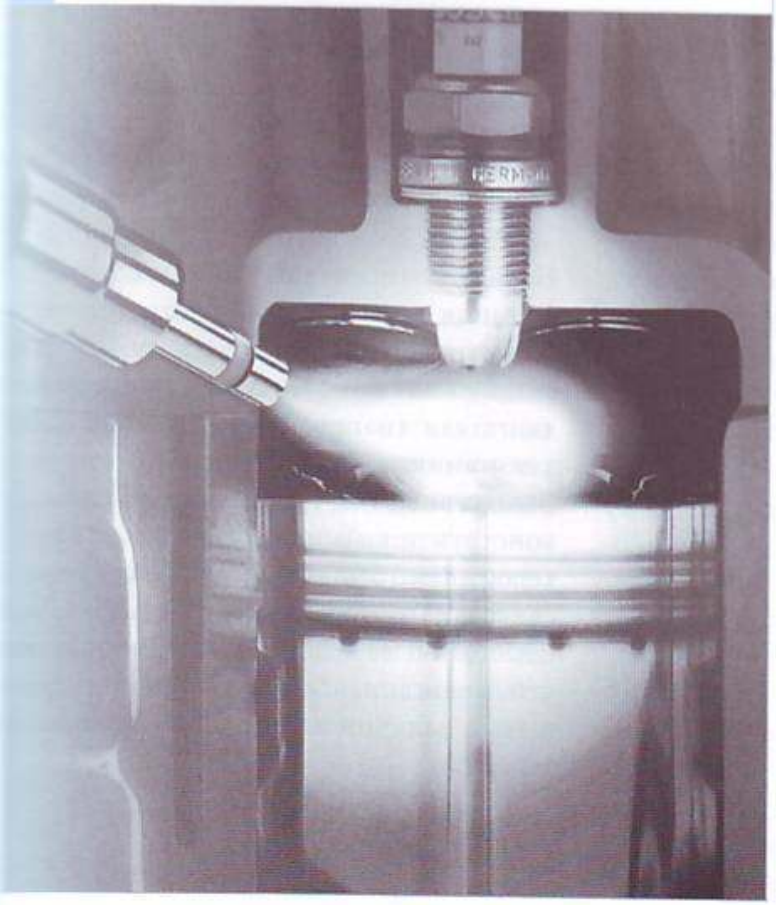
Вместе с другими элементами двигателя, например, системами зажигания и впуска рабочей смеси, свеча зажигания в решающей степени определяет функциональные характеристики бензинового двигателя. Свеча зажигания должна:

- способствовать надежному пуску холодного двигателя;
- обеспечивать на протяжении всего срока службы бесперебойный режим работы системы зажигания;
- не перегреваться при длительной работе в диапазоне максимальных частот вращения коленчатого вала.

Для того чтобы на протяжении всего срока службы гарантировать выполнение этих функций, концепция функционирования свечи зажигания должна определяться на ранних стадиях разработки двигателей. Для определения оптимальной конструкции свечи зажигания с точки зрения снижения токсичности ОГ и бесшумности работы исследуется процесс воспламенения.

Другим важным параметром свечи зажигания является калильное число (показатель сопротивляемости тепловым нагрузкам). Свеча зажигания с оптимальным калильным числом не перегревается при эксплуатации настолько, чтобы становиться источником термического воспламенения, что приводит к повреждению двигателя.

1 Свеча зажигания в бензиновом двигателе



Применение

Области применения

Впервые свеча зажигания была применена фирмой Bosch в 1902 г. на легковом автомобиле, оборудованном системой зажигания с магнето. После этого началось ее повсеместное внедрение в автомобильную технику.

Свеча зажигания находит применение практически во всех технических средствах, оснащенных бензиновыми двигателями (работающими как по двухтактному, так и по четырехтактному принципу). К ним относятся:

- легковые автомобили;
- грузовые автомобили;
- двухколесные транспортные средства (мотоциклы, мотороллеры, мопеды);
- катера и суда;
- сельскохозяйственные и строительные машины;
- мотопилы;
- садовые приборы (например, газонокосилки) и т.д.

Наибольшее количество применяемых свечей зажигания приходится на сектор легковых автомобилей, т.к. в каждом автомобиле, в соответствии с количеством цилиндров в двигателе, требуется сразу несколько свечей зажигания.

В маломощном оборудовании с механическим приводом, как правило, используются одноцилиндровые двигатели — они нуждаются лишь в одной свече зажигания.

На грузовых автомобилях в Европе (по меньшей мере, на тяжеловесных автомобилях) применяются преимущественно дизельные двигатели, поэтому в этом секторе потребность в свечах зажигания низкая. Но это не относится к США, где даже на тяжеловесных грузовых автомобилях больше всего распространены двигатели с искровым зажиганием.

Диапазон типажа свечей зажигания

Если в 1902 г. двигатели на каждые 1000 см³ рабочего объема развивали мощность около 6 л. с., то в настоящее время достигнуты мощности в 100 л. с., а у гоночных двигателей — до 300 л. с. Технические затраты на разработку и производство свечей зажигания, которые позволяют получать такие мощности, огромны.

Первая свеча зажигания должна была создавать искровой разряд частотой 15–20 раз в секунду. Современная свеча зажигания должна делать это в 5 раз чаще. Верхняя граница ее рабочей температуры поднялась с 600 до 900 °C, напряжение зажигания — с 10 до 30 кВ. Наконец, если раньше свечу приходилось заменять через каждую 1 тыс. км пробега, то сегодня она должна выдерживать минимум 15 тыс. км пробега.

Хотя основные принципы работы свечи зажигания за 100 лет изменились мало, фирма Bosch за это время разработала более 20 тыс. различных типов свечей зажигания, для того чтобы они могли соответствовать развитию конструкций двигателей.

Существующий диапазон свечей зажигания охватывает широкую гамму моделей. К свече зажигания предъявляются определенные требования в отношении:

- электрических свойств;
- механических свойств;
- способности выдерживать химические нагрузки;
- способности выдерживать термические нагрузки.

Наряду с этими требованиями, свеча зажигания должна также соответствовать геометрическим характеристикам, зависящим от конструкции конкретного двигателя (например, положение свечи зажигания в головке блока цилиндров). Вследствие этих требований, вызванных конструктивными особенностями двигателей, требуется многообразие типов свечей зажигания. В настоящее время имеется более 1250 различных типов свечей зажигания Bosch, которые должны быть в наличии на рынке или в автомастерских.

Требования

Требования к электрическим характеристикам

При работе в электронных системах зажигания свечи должны выдерживать напряжения свыше 30 кВ, не приводящие к пробою изолятора. Продукты процесса сгорания (например, твердые частицы, масляный нагар и т. п.) топлива и присадок масла при определенных условиях становятся электропроводными. Тем не менее, даже при таких обстоятельствах не должно быть пробоев изолятора при высоких напряжениях.

Электрическое сопротивление изолятора должно быть достаточным до температур в 1000 °C и может снижаться лишь незначительно на протяжении всего срока службы свечи зажигания.

Требования к механическим свойствам

Свеча зажигания должна выдерживать периодически возникающие в камере сгорания пики давления (примерно до 100 бар), не утрачивая газонепроницаемость. Дополнительно требуется высокая механическая прочность, особенно керамического изолятора, который подвергается нагрузке при установке свечи зажигания в отверстие блока цилиндров и во время работы со стороны разъема свечи и высоковольтного провода. Корпус свечи должен воспринимать момент затяжки без следов деформации.

Требования к способности выдерживать химические нагрузки

Часть свечи зажигания, входящая в камеру сгорания, может нагреваться до красного каления и при высокой температуре подвергается воздействию происходящих здесь химических процессов. Компоненты, содержащиеся в топливе, могут откладываться на свече зажигания в виде агрессивных осадков и изменять ее свойства.

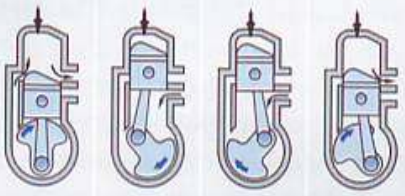
Требования к способности выдерживать термическую нагрузку

При эксплуатации свеча зажигания испытывает чередующиеся термические нагрузки: поглощает теплоту горячих газов сгорания (должна это делать быстро) и вскоре после этого охлаждается поступающей в камеру сгорания рабочей смесью. Поэтому к термостойкости изолятора предъявляются высокие требования.

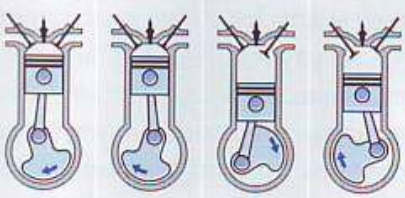
Также свеча зажигания должна как можно лучше отводить тепловую энергию из камеры сгорания в головку блока цилиндров двигателя; верхняя часть свечи зажигания должна нагреваться как можно меньше.

1 Термическая и механическая нагрузки, воздействующие на свечу зажигания

Двухтактный двигатель

Такты рабочего цикла	Перепуск рабочей смеси	Сжатие	Сгорание и работа расширения	Выпуск
Температура газа	...120 °C	200... 400 °C	2000... 2800 °C	500... 1200 °C
Давление газа	1 бар	5...8 бар	15...30 бар	1...3 бар
Положение поршня				
Угол поворота коленчатого вала	0° НМТ	90°	180° ВМТ	270° 360° НМТ

Четырехтактный двигатель

Такты рабочего цикла	Сжатие	Сгорание и работа	Выпуск	Впуск
Температура газа	300... 600 °C	2000... 3000 °C	1300... 1600 °C	...120 °C
Давление газа	8...15 бар	30...50 бар	1...5 бар	0,9 бар
Положение поршня				
Угол поворота коленчатого вала	0° ВМТ	180° НМТ	360° ВМТ	540° НМТ 720° ВМТ

Конструкция

Важнейшими элементами свечи зажигания (рис. 1) являются:

- контактная головка 1;
- изолятор 2;
- корпус 3;
- прокладка и посадочная поверхность 6;
- электроды 8, 9.

Контактная головка

Контактная головка из стали вплавляется в изолятор с электропроводящим стеклогерметиком, что создает электропроводное соединение с центральным электродом. Концевая часть контактной головки, выходящая из изолятора, имеет резьбу, в которую входит разъем высоковольтного провода. Некоторые контактные головки выполнены в соответствии с тебованиями стандартов ISO/DIN и на них наворачиваются соединительные устройства с внутренней резьбой.

Изолятор

Изолятор изготовлен из специального керамического материала. Он должен изолировать центральный электрод и контактную головку от корпуса. Требования хорошей теплопроводности при высокой электрической изоляционной способности находятся в сильном противоречии со свойствами большинства изоляционных материалов. Материал, применяемый фирмой Bosch, состоит из оксида алюминия (AL_2O_3), в который в небольшом количестве подмешиваются другие материалы. После обжига этого специального керамического материала выполняются не только требования к механической и химической прочности, но и к плотности микроструктуры с целью получения высокой сопротивляемости электрическим пробоям.

Для улучшения условий повторного пуска холодного двигателя можно также изменить внешний контур основания изолятора с оптимизацией тепловых характеристик свечи зажигания.

Поверхность концевой части изолятора покрыта глазурью, не содержащей свинца. К гладкой глазури меньше прилипают влага и грязь, за счет чего в значительной степени удается избежать утечек тока с поверхности.

Корпус

Корпус изготавливается из стали методом холодной формовки. Из пресс-формы выходит полуфабрикат уже со своим окончательным контуром, который должен лишь в отдельных местах подвергаться механической обработке. Нижняя

1 Конструкция свечи зажигания (на примере свечи зажигания типа SUPER)

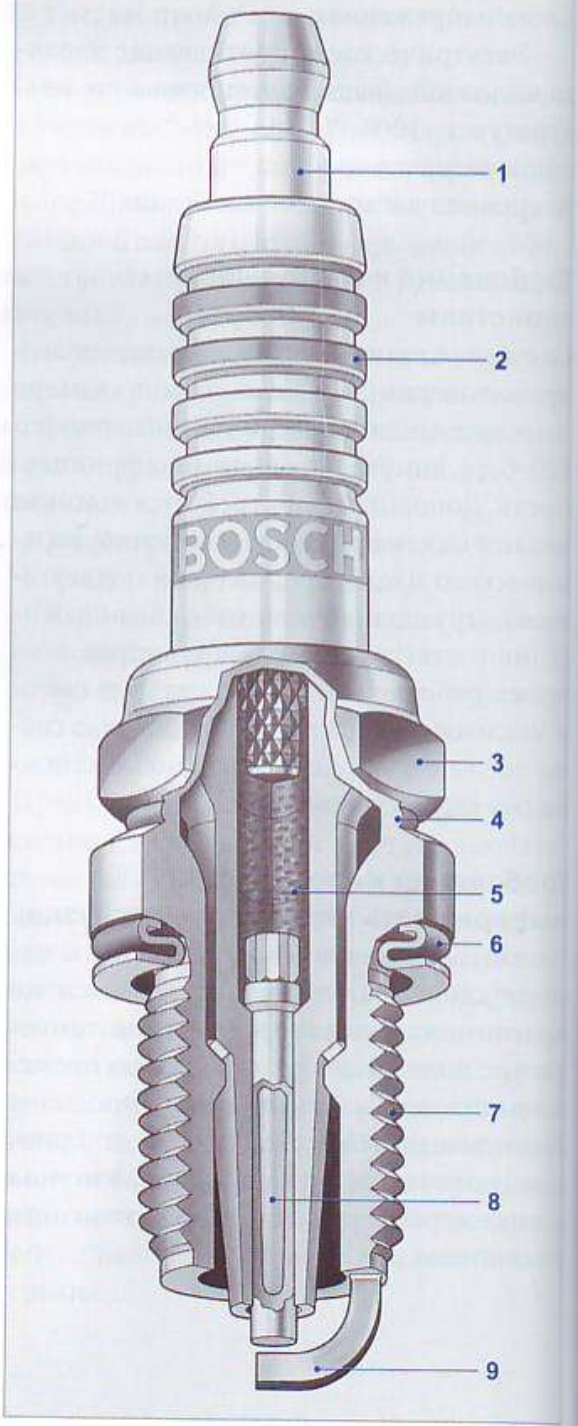


Рис. 1
1. Контактная головка с гайкой
2. Керамический изолятор (AL_2O_3)
3. Корпус свечи
4. Термоосадочная канавка
5. Токопроводящий стеклогерметик
6. Уплотнительная прокладка
7. Резьбовая часть свечи
8. Биметаллический центральный электрод (из композитного материала Ni/Cu)
9. Боковой электрод, связанный с массой (здесь из композитного материала Ni/Cu)

часть корпуса имеет резьбу (7, рис. 1), для того чтобы можно было вворачивать свечу зажигания в головку блока цилиндров и заменять после определенного периода времени в зависимости от конструкции свечи зажигания. К торцу этой части на сварке крепится до четырех боковых электродов.

Для защиты корпуса от коррозии на его поверхность гальваническим способом наносится слой никеля, который не допускает заедания резьбового соединения в алюминиевых головках блоков цилиндров.

На верхней части корпуса находится шестигранник (в свечах зажигания новейших моделей — двойной шестигранник) для установки свечного ключа. С двойным шестигранником при неизменной геометрии изолятора можно уменьшать внутренний размер ключа. За счет этого свеча зажигания, при размещении ее в головке блока цилиндров, требует меньше места, и конструктор имеет большую свободу в выборе месторасположения и конфигурации каналов охлаждения.

Свеча в сборе, содержащая изолятор с центральным электродом и контактной головкой, вводится в корпус. Последующий процесс горячепрессовой посадки — индуктивное нагревание под высоким давлением — создает герметичное соединение между изолятором и корпусом и гарантирует хорошую теплопроводность.

Уплотняющая поверхность

В зависимости от конструкции двигателя плоская или конусная уплотняющая поверхность (рис. 2) герметизирует поверхность прилегания между свечой зажигания и головкой блока цилиндров.

При плоской уплотняющей поверхности в качестве герметизирующего элемента используется кольцеобразная прокладка 1, которая остается постоянно закрепленной на свече зажигания. Ей придана специальная форма, так чтобы она образовывала надежное и эластичное уплотнение свечи при ее установке в отверстие головки блока цилиндров. При конусной уплотняющей поверхности скругленная поверхность 2 на корпусе свечи зажигания обеспечивает герметизацию без дополнительного применения уплотняющей прокладки за счет плотного прилегания этой поверхности к головке блока цилиндров.

2 Герметизация свечи зажигания

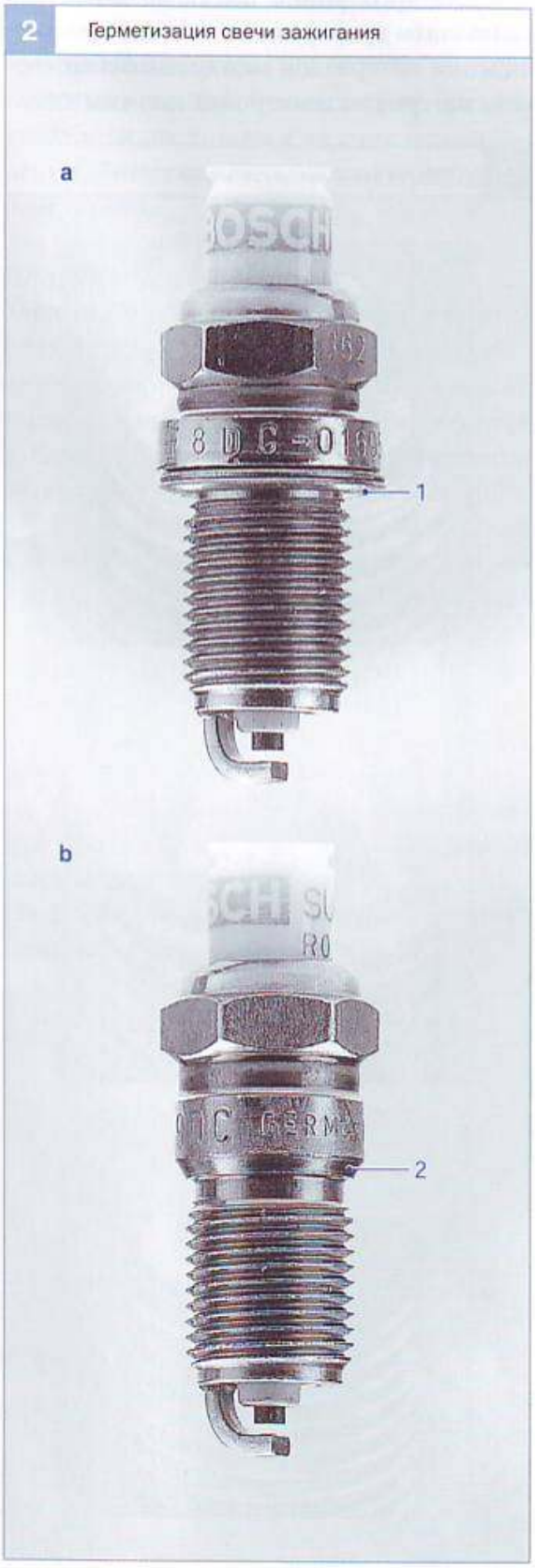


Рис. 2
a — плоская уплотняющая поверхность с кольцевой прокладкой
b — конусная уплотняющая поверхность без кольцевой прокладки

1. Кольцевая прокладка
2. Конусная уплотняющая поверхность

Электроды

При искровых разрядах на свече зажигания вместе с возникающими нагрузками в условиях работы при повышенных температурах материал электродов подвергается эрозионному износу и, соответственно, увеличивается зазор между электродами. Для того чтобы иметь возможность выполнять требования относительно увеличения интервалов между заменами свечей, материалы электродов должны обладать эффективной сопротивляемостью эрозионному износу (обгорание из-за искрения) и коррозии (износ под действием агрессивных термохимических процессов). В основном это достигается за счет применения термостойких никелевых сплавов.

Центральный электрод

Этот электрод (8, см. рис. 1) закреплен своей верхней частью в токопроводящем стеклогерметике и для лучшего теплоотвода имеет медный сердечник.

В свече зажигания «Longlife» («Долговечная») центральный электрод служит в качестве держателя для стержня, выполненного из благородного металла, который путем лазерной сварки постоянно соединен с основным электродом (соединение призводится лазерной сваркой). Кроме того, существуют еще такие типы свечей зажигания, в которых электрод изготовлен только из тонкой платиновой проволоки. Эта проволока спекается с керамическим основанием с целью обеспечения хорошей теплопередачи.

Массовые электроды

Эти электроды (9, рис. 1) закреплены на корпусе и имеют преимущественно прямоугольное поперечное сечение. Различают электроды, располагаемые над центральным электродом, и боковые электроды (см. рис. 3). Срок службы массовых электродов определяется их теплопроводностью. Теплоотвод может улучшаться за счет применения биметаллических материалов (как в центральных электродах), но в конечном итоге температуру массовых электродов, а, следовательно, износостойкость определяют их длина и площадь поперечного сечения.

За счет увеличения площади торца электродов, а также использования нескольких электродов повышается срок службы свечей зажигания.

3 Формы массовых электродов

Рис. 3
a — массовый электрод над центральным электродом
b — боковые электроды
c — свеча зажигания с поверхностным искровым промежутком без массового электрода (изготавливается специально для двигателей гоночных автомобилей)

Материалы электродов

Чистые металлы всегда обладают лучшей теплопроводностью, чем сплавы. С другой стороны, чистые металлы, например, никель, менее химически стойки, чем сплавы, при воздействии на них продуктов сгорания и частиц нагара. За счет присадок марганца и кремния химическая стойкость никеля повышается, прежде всего, против агрессивного диоксида серы (сера является компонентом смазочного масла и топлива). Кроме того, присадки из алюминия и иттрия повышают сопротивляемость материала образованию окалины и окислению.

Биметаллические электроды

В производстве свечей зажигания широко используются устойчивые против коррозии никелевые сплавы. С добавлением медного сердечника может дополнительно повышаться теплопередача, поэтому эти биметаллические электроды соответствуют высоким требованиям к таким их характеристикам, как теплопроводность и сопротивление коррозии (рис. 1).

Массовые электроды, которые должны обладать определенной гибкостью для установки необходимого зазора между электродами, также могут быть изготовлены на базе никелевого сплава или биметаллического материала.

Серебряные центральные электроды

Среди всех материалов самой высокой электро- и теплопроводностью обладает серебро. Кроме того, оно имеет чрезвычайно высокую химическую стойкость, если используется неэтилированный бензин и материал не подвергается воздействию высокой температуры в восстановительной атмосфере (обогащенная рабочая смесь).

Существенное повышение теплостойкости достигается за счет использования биметаллического материала на базе серебра.

Платиновые электроды

Платина или сплавы на основе платины обладают очень хорошей сопротивляемостью коррозии и окислению, а также термоэрозии. Поэтому они используются в качестве материалов для изготовления электродов в свечах зажигания «Longlife».

В некоторых типах свечей зажигания платиновый стержень вплавляется в керамический корпус на стадии изготовления свечи. При последующем процессе спекания (агломерации) керамический материал усаживается на платиновом стержне для надежного постоянного закрепления в этом своем положении.

В других типах свечей зажигания тонкие платиновые стержни закрепляются сваркой на центральном электроде (рис. 2). На фирме Bosch прочное соединение обеспечивается с помощью лазера.

1 Свечи зажигания с биметаллическими электродами

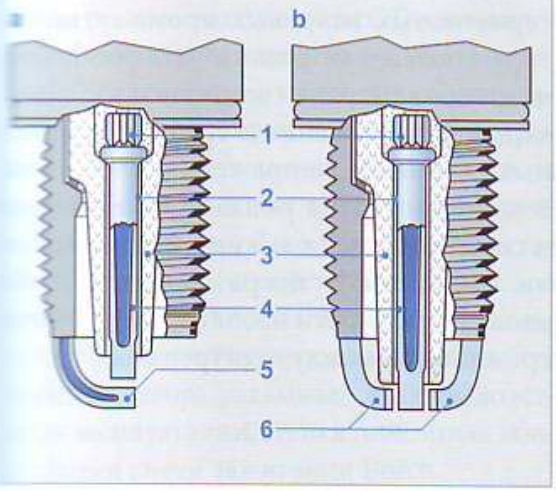


Рис. 1
a — с массовым электродом, расположенным над центральным электродом
b — с боковыми электродами

1. Электропроводящий стеклогерметик
2. Зазор между электродами
3. Тепловой конус изолятора
4. Биметаллический центральный электрод
5. Биметаллический массовый электрод
6. Массовые электроды

2 Стержни, сваренные лучом лазера

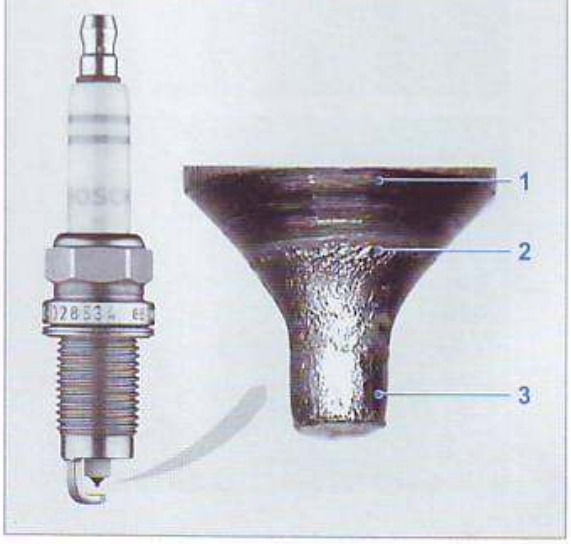


Рис. 2
1. Биметаллический электрод (Ni/Cu)
2. Шов лазерной сварки
3. Платиновый стержень

Типы свечей зажигания

Противолежащее расположение электродов и положение массового электрода относительно изолятора определяет тип свечи зажигания (рис. 1).

Искровой промежуток (воздушная искра)

Массовый электрод по отношению к центральному установлен так, чтобы искровой разряд происходил непосредственно между этими электродами и воспламенял рабочую смесь, которая располагается в этом пространстве.

1 Типы свечей зажигания с разными искровыми промежутками

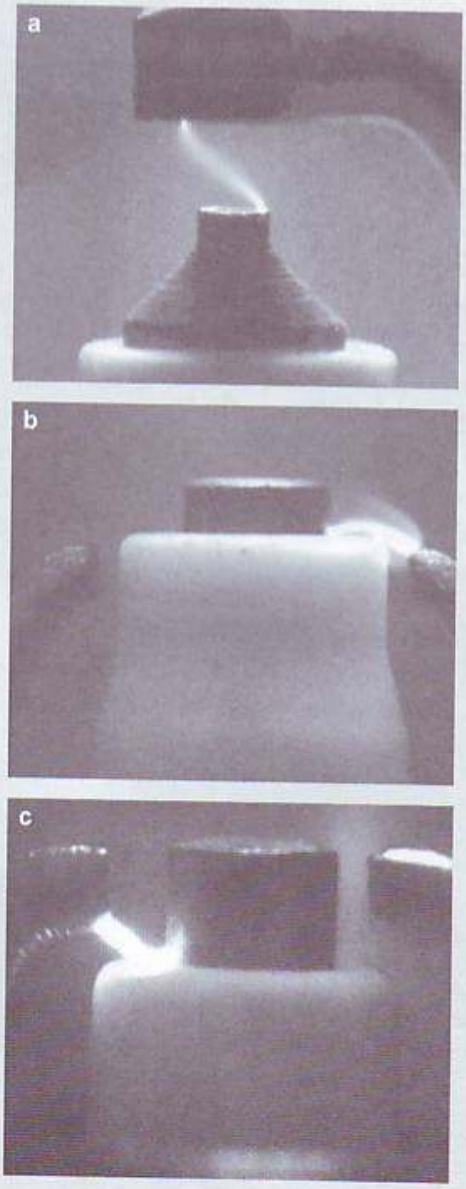


Рис. 1
a — искровой промежуток (воздушная искра)
b — поверхностный искровой промежуток (скользящая искра)
c — полуповерхностный искровой промежуток (воздушно-скользящая искра)

Поверхностный искровой промежуток (скользящая искра)

За счет определенной установки массового электрода относительно изолятора искра вначале выходит от центрального электрода по поверхности вершины теплового конуса изолятора и затем пробивает воздушный зазор, направляясь к массовому электроду. Так как для получения искрового разряда требуется более низкое напряжение зажигания чем при непосредственном пробое искрового промежутка такого же размера для разрядки через воздушный зазор такого же размера, то искра в поверхностном искровом промежутке при одинаковом напряжении зажигания может пробивать больший зазор между электродами, чем искра, напрямую проходящая между электродами. За счет этого образуется большее ядро пламени, что увеличивает эффективность получения устойчивого фронта пламени.

Одновременно такой искровой разряд при повторном пуске холодного двигателя обладает очищающим эффектом и не допускает оседания сажи на наконечнике изолятора. Улучшаются характеристики частого пуска двигателя при пониженной температуре.

Полуповерхностный искровой промежуток (воздушно-скользящая искра)

В этих свечах массовые электроды находятся на определенном расстоянии от центрального электрода и от торца изолятора. За счет этого возникают два альтернативных искровых промежутка, которые позволяют реализовать обе формы искрового разряда (воздушную и скользящую искру), которые требуют двух разных значений напряжения зажигания. В зависимости от условий эксплуатации и состояния свечи зажигания (износ свечи зажигания), искра проходит либо вдоль поверхности изолятора, либо непосредственно между электродами.

Зазор между электродами

Зазор между электродами — самое короткое расстояние между центральным и массовыми (боковыми) электродами. Чем меньше этот зазор, тем ниже напряжение, необходимое для создания искры зажигания (пробивное напряжение).

При очень небольшом зазоре между электродами возникает лишь незначительное ядро пламени в области электродов. Так как через контактные поверхности электродов пламя еще забирает энергию (подавление), ядро пламени распространяется слишком медленно. В экстремальном случае отвод энергии может быть настолько большим, что могут возникать даже перебои в зажигании.

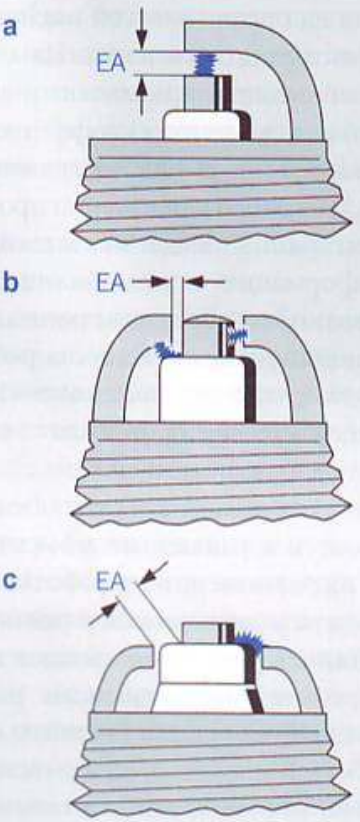
По мере увеличения зазора между электродами (например, при износе электродов) условия для воспламенения улучшаются, т. к. потери на гашение искры уменьшаются, однако большие зазоры требуют большей величины напряжения зажигания повышается (рис. 2). Имеющиеся резервы напряжения в катушке зажигания снижаются и повышается опасность возникновения перебоев в зажигании.

Оптимальное значение зазора между электродами для каждого двигателя производители двигателей определяют с помощью различных тестов. Первым шагом при этом являются испытания параметров зажигания при различных рабочих режимах двигателей, что позволяет определить минимальный зазор между электродами. Его определение осуществляется путем оценки токсичности ОГ, плавности работы и расхода топлива.

В последующих длительных испытаниях двигателя определяются характеристики износа этих свечей зажигания в их взаимозависимости от потребного напряжения зажигания. Затем устанавливается номинальное значение этого зазора в той рабочей точке, которая является предельной и за которой происходят перебои. Это значение зазора указывается в руководстве по эксплуатации, либо в описаниях конструкции свечи зажигания Bosch.

В свечах зажигания Bosch номинальный зазор между электродами свечи устанавливается на заводе.

1 Зазор между электродами (EA)



a — свеча зажигания с массовым электродом, расположенным над центральным электродом (воздушный искровой промежуток)
b — свеча зажигания с боковыми электродами (воздушный или полуповерхностный искровой промежуток)
c — свеча зажигания с полуповерхностным искровым промежутком

2 Взаимозависимость между величиной зазора между электродами и напряжением зажигания

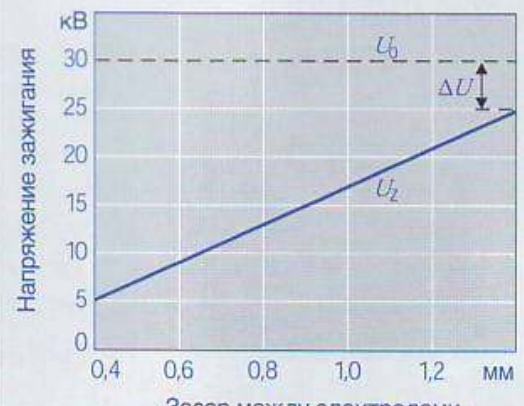


Рис. 2
U_0 — имеющееся напряжение зажигания
U_z — изменение напряжения зажигания в зависимости от величины зазора между электродами
ΔU — резерв напряжения зажигания

Положение искры

Положение искрового разряда — это перемещение искры относительно стенок камеры сгорания (рис. 1a). В современных двигателях (особенно в двигателях с непосредственным впрыскиванием топлива) наблюдается заметное влияние положения искрового разряда на процесс сгорания. Критерием, определяющим качество процесса сгорания, является равномерность работы двигателя, которая, в свою очередь, базируется на статистической оценке среднего эффективного давления. На основании среднего квадратичного отклонения от стандарта, описываемого коэффициентом вариаций ($cov = s/p_{mi} \cdot 100$, %), делается вывод о том, насколько равномерно протекает процесс сгорания. Эти показатели дают также информацию о том влиянии, которое оказывают на работу двигателя задержки зажигания или зажигание с перебоями. В качестве меры предельной величины *cov*, при которой еще не происходят перебои зажигания, установлено значение 5%.

На рис. 1 показано влияние обеднения рабочей смеси и различных моментов зажигания на равномерность работы двигателя при двух положениях искрового разряда. Линии на рис. 1 показывают постоянные уровни равномерности работы. Граничная величина в 5% выделена синим цветом. Величины над этой кривой (диапазон <5%) коррелируют с равномерной работой двигателя — циклически равномерный процесс сгорания и без больших колебаний. Величины под этой кривой (диапазон >5%) описывают неравномерную работу двигателя — сгорание осуществляется не всегда равномерно, в экстремальном случае могут возникать отдельные перебои или задержки в зажигании.

Путем сравнения этих двух диаграмм можно сделать вывод, что в этом двигателе при перемещении искры дальше вглубь в камеры сгорания можно заметно улучшить зажигание, т. к. диапазон угла опережения зажигания над 5%-ной линией увеличивается и предел возникновения перебоев в зажигании сдвигается в сторону более высоких коэффициентов избытка воздуха.

Однако более длинные массовые электроды приводят к более высоким температурам, что, в свою очередь, является причиной износа электродов. Кроме того, снижается резонансная частота собственных колебаний, что может привести к усталостным изломам. Вследствие этого положение искры смещается вперед и для того чтобы получить необходимую долговечность свечи зажигания, требуется принятие ряда мер:

- удлинения корпуса свечи зажигания за пределами стенки камеры сгорания; за счет этого пояска снижается опасность излома электродов;
- введения медного сердечника в массовые электроды; путем прямого контакта меди с корпусом свечи зажигания температура может быть снижена примерно на 70 °C;
- применения в электродах термостойких материалов.

Рис. 1
a — определение положения искры *f*
b — диаграмма при *f* = 3 мм
c — диаграмма при *f* = 7 мм

Линиями показаны рабочие точки с постоянными значениями cov

$cov = s/p_{mi} \cdot 100$, %
s — среднеквадратическое отклонение
p_{mi} — среднее замеренное давление

5%-ная кривая: граница перебоев в зажигании
диапазон <5%: хорошая равномерность работы
диапазон >5%: недостаточная равномерность работы

1 Равномерность и неравномерность работы двигателя для разных положений искры (*f*)

Диапазоны рабочих температур свечи зажигания

Тепловой диапазон работы свечи зажигания

Рабочий диапазон

Непрогретый двигатель работает на обогащенной рабочей смеси. Это приводит к неполному сгоранию и образованию нагара, откладываемого на поверхностях камеры сгорания и свечах зажигания. Этот нагар откладывается на тепловом конусе изолятора, приводя к частичной электропроводимости между центральным электродом и корпусом свечи зажигания (рис. 1). Этот шунт отводит часть энергии зажигания в виде «ответвленного тока» и снижает полную энергию, необходимую для действительного зажигания. По мере увеличения загрязнения возрастает вероятность того, что искровой разряд вообще будет отсутствовать.

Отложение продуктов сгорания на тепловом конусе изолятора свечи сильно зависит от его температуры и происходит в основном преимущественно при температурах примерно ниже 500 °C. При более высокой температуре продукты сгорания, содержащие углерод, сгорают на основании изолятора — свеча зажигания «очищается» сама.

Поэтому после пуска двигателя рабочая температура теплового конуса должна как можно быстрее достигнуть величины 500 °C (для неэтилированного бензина).

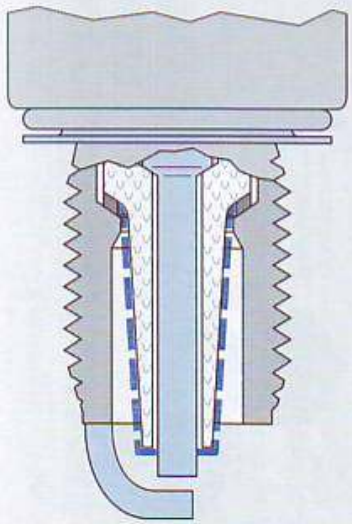
Верхняя граница температуры около 900 °C не должна превышаться, иначе электроды подвергаются сильному износу за счет окисления и высокотемпературной коррозии.

При дальнейшем повышении температуры уже не исключено калильное зажигание (рис. 2). При этом рабочая смесь воспламеняется от соприкосновения с очень горячими элементами свечи зажигания; это неуправляемое зажигание может подвергать двигатель очень сильной нагрузке или даже привести к его повреждению.

Сопротивление повышенным тепловым нагрузкам

Свеча зажигания при работе двигателя нагревается за счет температур, возникающих в процессе сгорания. Часть теплоты, поглощенной свечой зажигания, отдается свежей рабочей смеси. Большая часть передается на корпус свечи зажигания и головку блока цилиндров через центральный электрод и изолятор (рис. 3). Предельная рабочая температура устанавливается как равновесная между поглощением тепла от двигателя и теплоотдачей на головку блока цилиндров.

1 Шунт при отложении нагара на тепловом конусе приводит к снижению имеющегося высокого напряжения



2 Тепловой диапазон работы свечи зажигания

Рис. 1
- - - электрический ток в шунте

Рис. 2
1 — свеча зажигания, работающая в оптимальном диапазоне температур
2 — свеча зажигания, работающая в диапазоне низких температур (холодная свеча зажигания)
3 — свеча зажигания, работающая в диапазоне высоких температур (горячая свеча зажигания)

Температура нагрева теплового конуса изолятора в рабочем диапазоне при различных нагрузках двигателя должна быть в пределах 500–900 °C

Теплопередача зависит от конфигурации двигателя. В камерах сгорания двигателей с высокой удельной мощностью, как правило, температуры сгорания более высокие, чем в двигателях с более низкой удельной мощностью.

Конструкция теплового конуса изолятора является определяющим фактором теплоотдачи. Площадь поверхности этого конуса основания изолятора определяет теплоотдачу, в то время как площадь поперечного сечения конуса и центральный электрод влияют на теплопередачу.

Тепловая характеристика свечи зажигания должна соответствовать типажу двигателя. Показателем сопротивляемости свечи зажигания очень большим тепловым нагрузкам является калильное число.

Диапазоны рабочих температур и калильное число

Диапазон рабочих температур каждой свечи зажигания описывается с помощью калильного числа. Низкое калильное число (например, 2–5) соответствует холодной свече зажигания с малой способностью к теплопоглощению из-за короткого теплового конуса изолятора. Высокое калильное число (например, 7–10) соответствует горячей свече зажигания с высокой способностью теплопоглощения за счет длинного теплового конуса изолятора. Для того чтобы было легче различать свечи зажигания с разным калильным числом и приписывать их к соответствующим двигателям, обозначение калильного числа является составным элементом содержания маркировки свечи зажигания.

Правильное калильное число определяется в результате измерений при полной нагрузке, т. к. на этих рабочих режимах тепловая нагрузка свечи самая высокая. При эксплуатации свеча зажигания никогда не должна нагреваться до такой степени, чтобы становиться источником самовоспламенения смеси (калильное зажигание). Рекомендации по диапазону рабочих температур всегда определяются пределом безопасности по отношению к границе калильного зажигания, с тем чтобы покрыть допуски при изготовлении двигателей и свечей зажигания. Эти границы также важны с точки зрения наличия изменений по времени тепловых характеристик двигателя. Например, нагарообразование в камере сгорания может повышать степень сжатия двигателя, что, в свою очередь, приводит к повышению тепловой нагрузки на свечи зажигания. Если во время заключительных испытаний выбранных свечей зажигания с наличием на них нагара при данном калильном числе не возникает перебоев зажигания, то оптимальное калильное число для двигателя считается найденным.

Из-за разных свойств автомобильных двигателей с точки зрения эксплуатационных нагрузок, режимов работы, степени сжатия, частоты вращения коленчатого вала, характера охлаждения, а также используемых топлив невозможно обойтись одним типом свечи зажигания для

3 Направления теплоотвода в свече зажигания

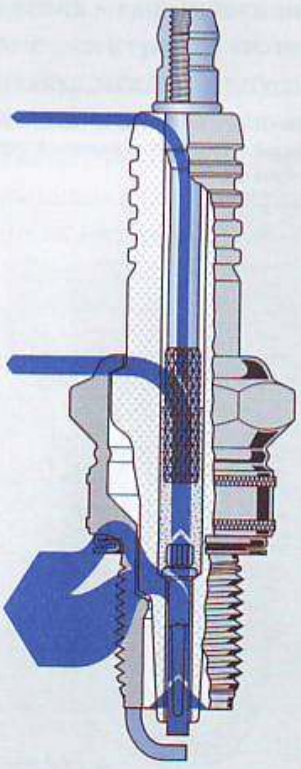


Рис. 3
Большая часть теплоты, поглощенной свечей в камере сгорания, отводится за счет теплопроводности (здесь не учитывается небольшое охлаждение порядка 20% за счет впуска свежей рабочей смеси)

всех двигателей. Одна и та же свеча зажигания на одном двигателе может очень сильно нагреваться, а на другом работать при относительно низких температурах.

Выбор свечей зажигания

Фирма Bosch совместно с производителями двигателей обеспечивает оптимальный выбор свечей зажигания для каждого двигателя.

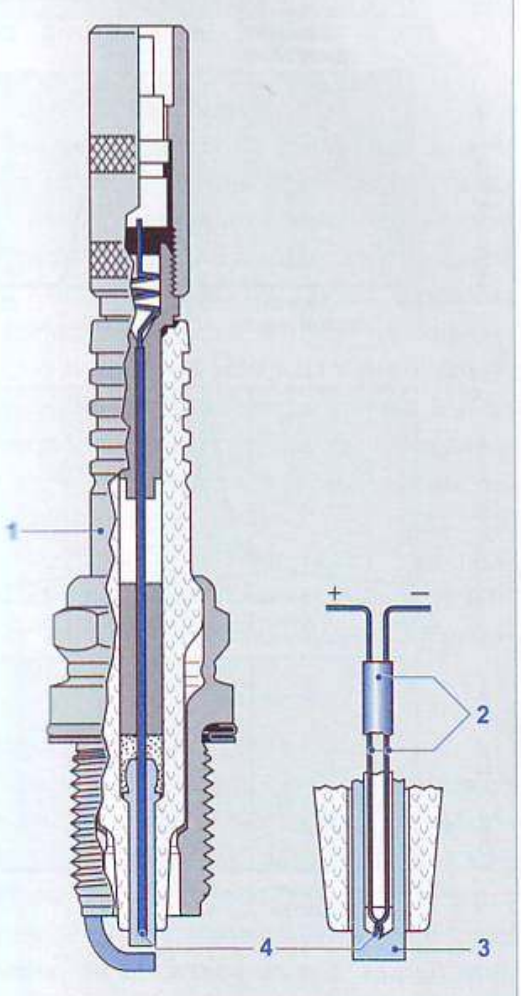
Измерение температур свечей зажигания

Первоначальную информацию о правильно подобранной свече зажигания дает контроль за рабочими температурами специальной свечи зажигания (рис. 1). С помощью термоэлемента 2, вмонтированного в центральный электрод 3, имеется возможность контроля за температурой в зависимости от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки. Этот процесс представляет собой простой инструмент для определения цилиндра с наибольшей тепловой нагрузкой и условий работы свечи зажигания для последующих замеров с целью выбора оптимального типа свечи для любого конкретного применения.

Измерение ионного тока

С помощью методов Bosch измерения ионного тока определяются характеристики сгорания в качестве показателя правильного выбора калильного числа свечи зажигания. Ионизирующий эффект пламени позволяет посредством измерения электропроводимости в искровом промежутке оценить развитие процесса сгорания по времени (рис. 2). На момент зажигания ионный ток очень сильно возрастает, т. к. за счет искры зажигания в искровом промежутке имеется очень много носителей заряда. Хотя после разрядки катушки зажигания электрический ток ослабевает, но за счет сгорания все еще имеется достаточно носителей заряда, поэтому процесс сгорания продолжает оставаться контролируемым. Если параллельно этому контролируется и давление в камере сгорания, то нормальное сгорание будет иметь место

1 Свеча зажигания с термопарой для измерения температуры



2 Схема цепи для измерения ионного тока

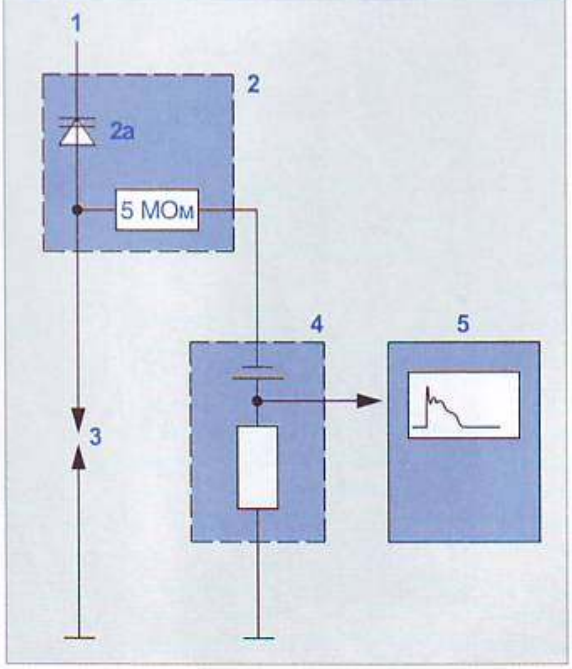


Рис. 1
1. Изолятор
2. Измерительная термопара
3. Центральный электрод
4. Место измерения температуры

Рис. 2
1. Высокое напряжение от распределителя зажигания
2. Адаптер для измерения ионного тока

2a. Диод

3. Свеча зажигания
4. Прибор для измерения ионного тока
5. Осциллограф

с равномерным ростом давления, пик которого находится после ВМТ зажигания. Если при этих опытах калильное число свечи зажигания меняется, то результирующие характеристики сгорания показывают типичные изменения чувствительности свечи зажигания в зависимости от тепловой нагрузки (рис. 4).

Преимущество этого метода по сравнению с измерением только температуры в камере сгорания заключается в определении вероятности воспламенения, которая зависит не только от температуры, но и от конструктивных параметров двигателя и самой свечи зажигания.

Терминология

Терминология и определение неконтролируемого зажигания рабочей смеси для установления диапазона рабочих температур свечи зажигания зафиксированы в международном документе (ISO 2542-1972, рис. 3).

Термическое самовоспламенение рабочей смеси (калильное зажигание)

Под термином «самовоспламенение» понимают воспламенение рабочей смеси, которое возникает независимо от свечи зажигания, обычно начинаясь на горячей

3 Используемая терминология при определении калильного числа свечи зажигания

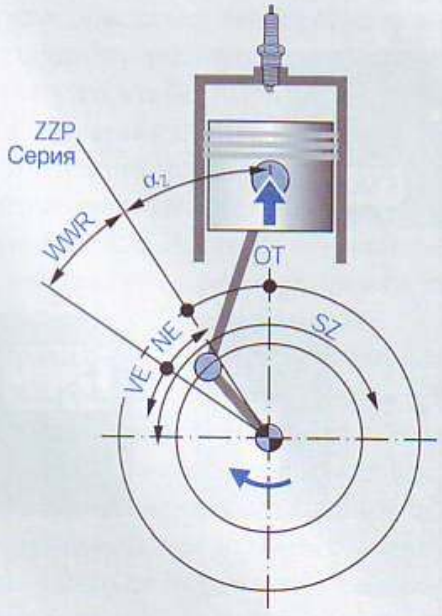


Рис. 3
SZ — самовоспламенение
OT — ВМТ
VE — раннее зажигание
NE — позднее зажигание
WWR — резерв температурного диапазона по углу поворота коленчатого вала
ZZP — момент зажигания по углу поворота коленчатого вала до ВМТ
α_z — угол опережения зажигания

4 Характеристические осциллограммы ионного тока

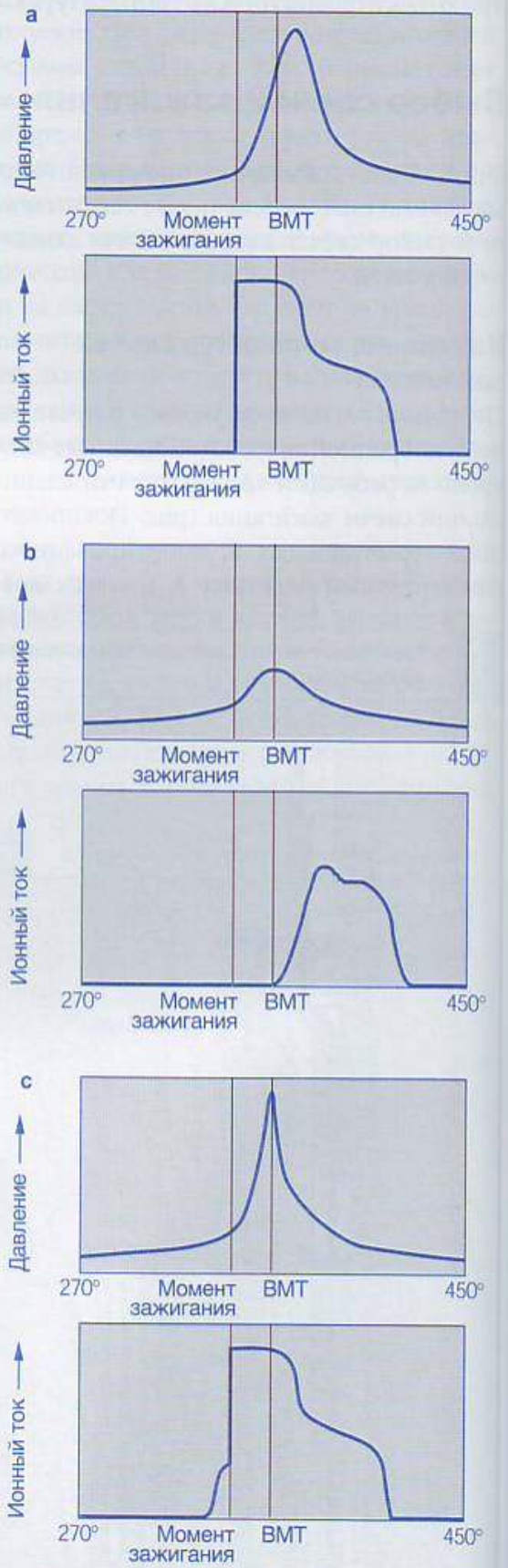


Рис. 4
a — нормальное сгорание
b — подавленное зажигание с поздним воспламенением рабочей смеси
c — раннее воспламенение рабочей смеси

поверхности (например, на слишком горячей поверхности теплового конуса изолятора свечи зажигания с высоким калильным числом). За счет своего положения относительно момента зажигания воспламенение подразделяется на две категории: позднее и раннее.

Позднее воспламенение

Так как позднее воспламенение возникает после электрически индуцированного зажигания, то оно не оказывает большого влияния на действительную работу двигателя, поскольку электрическое зажигание всегда осуществляется с опережением. Для определения замеров с целью определения наличия калильного зажигания от свечи зажигания должна подавляться электрическая искра зажигания. Когда происходит позднее воспламенение, ионный ток заметно возрастает только после момента зажигания. Но т. к. это инициирует процесс сгорания, должны также регистрироваться рост давления и соответствующий крутящий момент (рис. 4b).

Раннее воспламенение

Раннее воспламенение возникает до момента зажигания (рис. 4c) и за счет неуправляемого протекания может приводить к серьезным повреждениям двигателя. За счет слишком раннего начала сгорания не только сдвигается к ВМТ пик давления, но и уровень максимального давления в камере сгорания смещается в диапазон повышенных величин, что приводит к дополнительным термическим нагрузкам на элементы в камере сгорания. Поэтому выбор свечей зажигания должен осуществляться таким образом, чтобы не было раннего воспламенения рабочей смеси.

Оценка результатов измерений

С помощью метода Bosch измерения ионного тока могут быть определены оба типа калильного зажигания. Но для индикации позднего воспламенения через определенные промежутки времени должна подавляться искра зажигания. Положение позднего воспламенения относительно момента зажигания, а также процентная доля таких воспламенений относительно коэффициента подавления искры дают информацию о нагрузке свечи зажигания в двигателе. Так как свечи зажигания с более длинными тепловыми конусами изолятора (горячие свечи зажигания) поглощают больше теплоты из камеры сгорания и хуже отводят поглощенную теплоту, то вероятность того, что эти свечи могут вызывать поздние или даже ранние воспламенения, выше, чем при свечах зажигания с короткими тепловыми конусами изолятора. Поэтому при выборе для каждого двигателя свечи зажигания с оптимальным калильным числом используется опытная проверка, при которой сравниваются между собой свечи зажигания с разными калильными числами и регистрируется их склонность к позднему и раннему воспламенению.

Эти опытные проверки при выборе свечей зажигания предпочтительнее осуществлять на роликовом стенде для испытаний двигателей и динамометрическом шасси. Длительные поездки по дорогам общего пользования с целью проведения измерений для определения самой горячей рабочей точки не допустимы с точки зрения безопасности.

5 Обложка каталога свечей зажигания Bosch, изданного в Германии

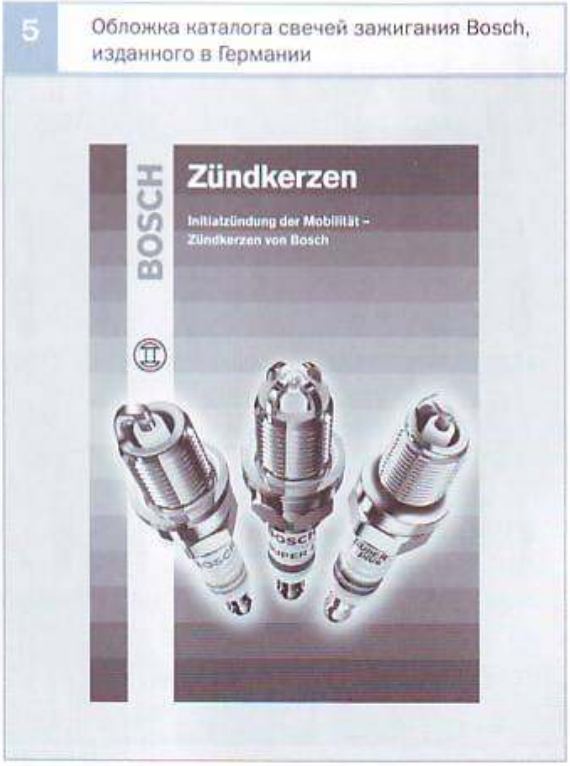
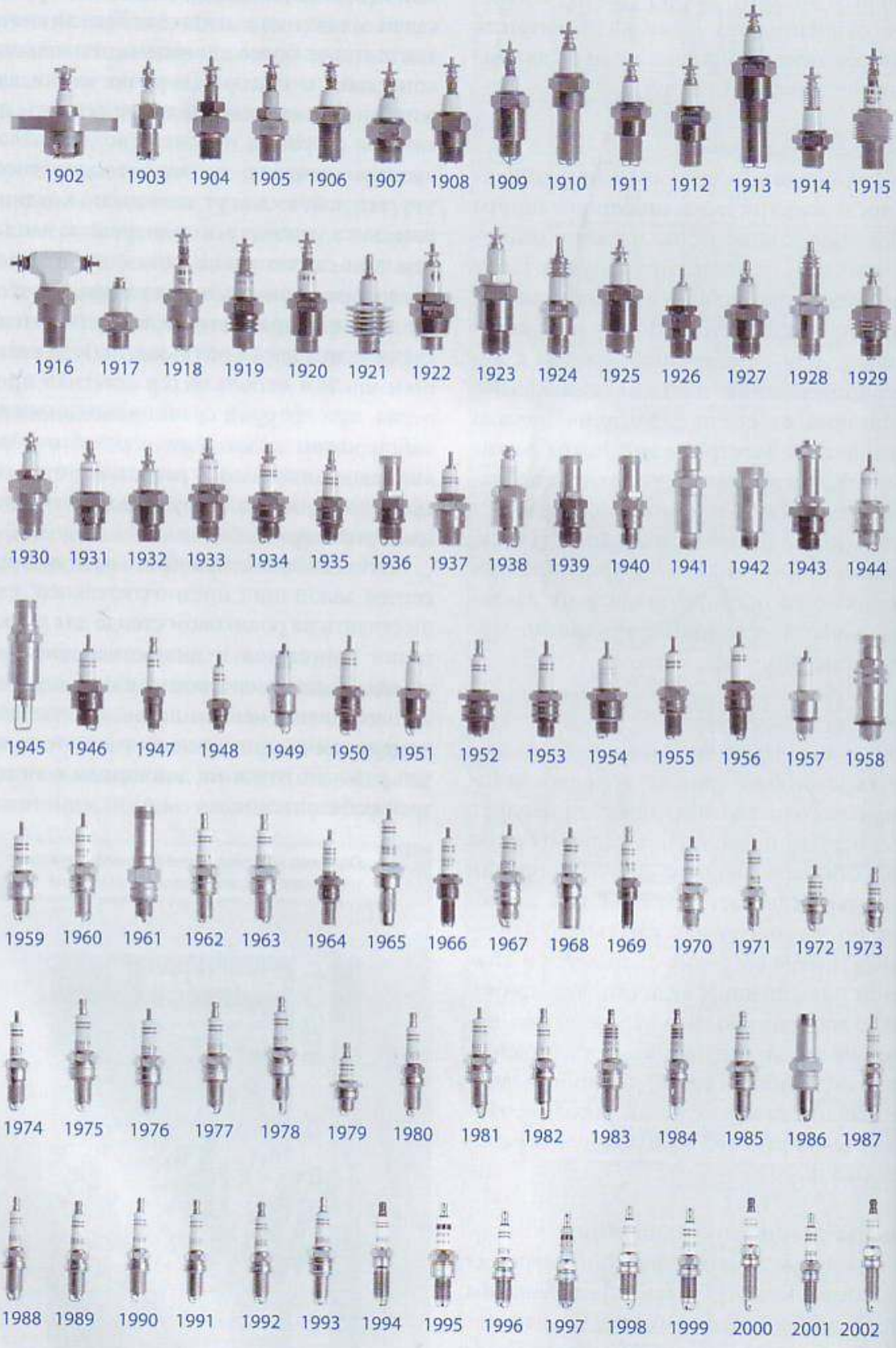


Рис. 5
Выбор свечей зажигания: для водителей обязательны инструкции производителей двигателей или рекомендации, имеющиеся в технической документации фирмы Bosch.
Фирма Bosch предлагает для каждого двигателя оптимальную свечу зажигания — ее можно найти в этом каталоге

Многообразие свечей зажигания за 100 лет производства



Выбор свечей зажигания

Цель выбора заключается в определении той свечи, которая не будет создавать раннего воспламенения и которая располагает достаточным резервом диапазона рабочих температур. Это означает, что ранние воспламенения могут возникать только при свечах зажигания, более горячих, как минимум, на две единицы калильного числа.

Как уже рассматривалось в этом разделе, выбор и использование свечей зажигания является точно регулируемым процессом. Более того, выбор подходящих свечей зажигания обычно происходит при тесном сотрудничестве между производителями двигателей и поставщиками свечей зажигания.

Характеристики свечей зажигания

Изменения в процессе эксплуатации

При эксплуатации свечи зажигания в агрессивной среде, а иногда в условиях достаточно высоких температур, происходит эрозия электродов, что вызывает рост потребности в напряжении зажигания. Если эта потребность больше не покрывается напряжением, создаваемым катушкой зажигания, возникают перебои в зажигании.

Далее, на функционирование свечи зажигания могут отрицательно сказываться изменения в двигателе, обусловленные его старением, или загрязнения самой свечи. Старение двигателя может привести к нарушению герметичности, которое, в свою очередь, повлечет за собой повышение проникновения масла в камеру сгорания. Это ведет к увеличению отложений сажи и масляного нагара на свече зажигания, которые могут привести к шунтированию тока и, следовательно, к перебоям в зажигании. Кроме того, если в бензин добавляются присадки для улучшения его детонационных свойств, то могут образовываться отложения, которые под воздействием температуры способны становиться электропроводными и приводить к образованию прочих шунтов. Это также приводит к перебоям в зажигании, что связано с заметным ростом эмиссии вредных веществ с ОГ и повреждением каталитического нейтрализатора. Поэтому свечи зажигания должны регулярно заменяться.

Износ электродов

Износ (эрозия) электродов приводит к потерям металла на них и со временем к заметному увеличению зазора между электродами. Этот процесс в основном зависит от двух причин:

- искровой эрозии;
- коррозионного износа в камере сгорания.

Искровая эрозия и коррозионный износ

Пробой искрового промежутка приводит к росту температуры электродов вплоть до температуры их плавления. Микроскопически мелкие, оплавленные участки поверхности вступают в реакцию с кислородом или другими ингредиентами продуктов сгорания. Следствием этого становится эрозия материала, которая ве-

1 Износ центрального и массовых электродов

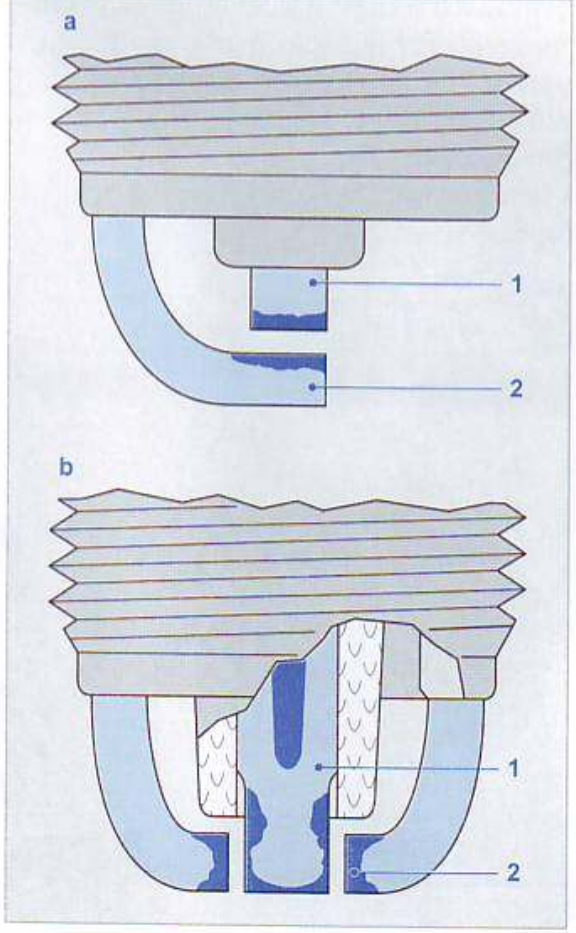


Рис. 1
a — свеча зажигания с боковым массовым электродом, расположенным над центральным
b — свеча зажигания с боковыми электродами

1. Центральный электрод
2. Массовый электрод

дет к увеличению зазора между электродами и величины потребного напряжения зажигания (рис. 1).

Для минимизации износа электродов применяются материалы с высокой термостойкостью (например, платина и платиновые сплавы). Также эрозию материала можно снизить без ограничения долговечности свечи зажигания за счет выбора соответствующей геометрии электрода (например, меньшие диаметры, утонченная центральная часть) и изменения конструкции свечи (свечи с поверхностным искровым промежутком).

Омическое сопротивление в стеклогерметике также уменьшает эрозию.

Ненормальные режимы работы

К ненормальным режимам работы, приводящим к повреждению двигателя и свечей зажигания, относятся:

- калильное зажигание;
- детонационное сгорание;
- высокий расход масла (образование золы и масляного нагара).

Двигателю и свечам зажигания могут повредить неправильно отрегулированные системы зажигания, использование свечей зажигания с калильным числом, не соответствующим данному двигателю, а также применение несоответствующего сорта бензина.

Калильное зажигание

При работе двигателя на режиме полной нагрузки (полный дроссель) к калильному зажиганию могут приводить местные зоны сильного нагрева, возникающие в следующих местах:

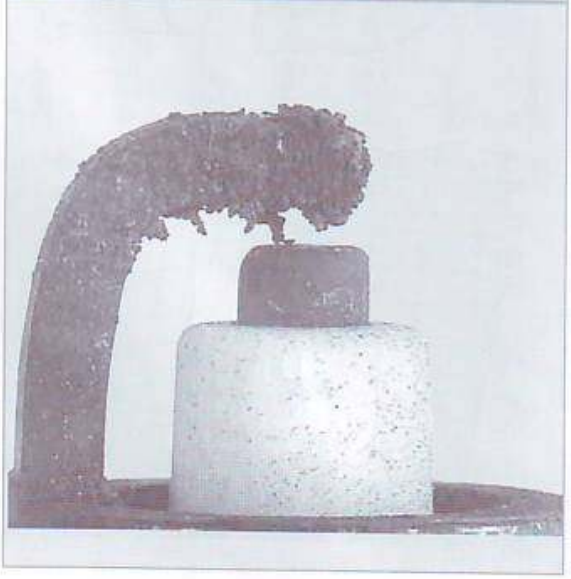
- на тепловом конусе изолятора свечи зажигания;
- на выпускных клапанах;
- на выступающих частях прокладки головки блока цилиндров;
- на отслаивающихся отложениях.

Калильное зажигание представляет собой неконтролируемый процесс воспламенения, при котором температура в камере сгорания может подниматься до такого уровня, когда возникают серьезные повреждения двигателя и свечи зажигания.

Детонационное сгорание

Под детонацией понимают неконтролируемое сгорание с очень резким подъемом давления. Оно возникает за счет самовоспламенения тех частей рабочей смеси, которые располагаются перед фронтом пламени, инициированного электрической искрой зажигания. При этом процесс сгорания протекает существенно быстрее, чем нормальное сгорание. Возникают высокочастотные колебания давления с высокими пиками давления, которые накладываются на нормальный процесс роста давления (рис. 3). Высокие

2 Картина повреждения массового электрода в результате сильной детонации



3 Характеристическая кривая изменения давления в цилиндре двигателя

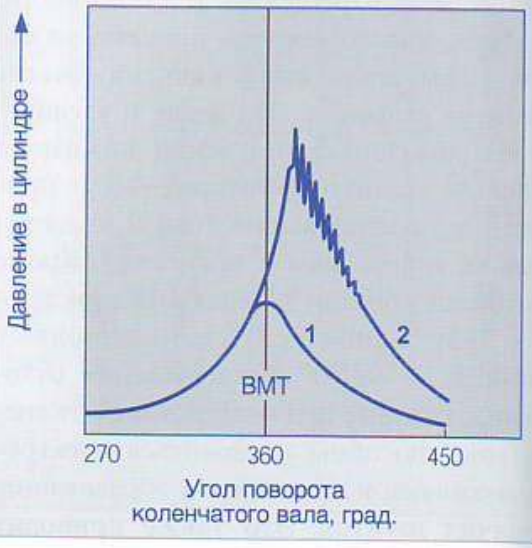


Рис. 3
1 — при нормальном сгорании
2 — при детонационном сгорании

градиенты давления приводят к высоким термическим нагрузкам на конструктивные узлы (головку блока цилиндров, клапаны, поршни и свечи зажигания), что может вызвать повреждение одного или нескольких конструктивных узлов.

Картина повреждения похожа на кавитационные повреждения, возникающие за счет потоков, движущихся со сверхзвуковой скоростью. Последствия детонационного сгорания распознаются на свече зажигания вначале в виде выкрашивания поверхности массового электрода.

Варианты исполнения

В соответствии с многообразием областей применения свечей зажигания существует более 1400 вариантов различных конструктивных исполнений свечей для:

- легковых автомобилей;
- грузовых автомобилей;
- двухколесных транспортных средств;
- катеров и судов;
- сельскохозяйственных и строительных машин;
- моторных пил;
- садовых инструментов и т.д.

Свеча зажигания типа SUPER

Свечи зажигания типа SUPER (рис. 1) являются наиболее распространенными в производственной программе свечей зажигания Bosch и служат основой для многих базирующихся на них типов свечей зажигания и их концепций. Почти для каждого типа применения имеется соответствующий вариант, который адаптирован по своему диапазону рабочих температур к каждому двигателю.

Изображение свечи зажигания типа SUPER в разрезе приведено выше в разделе «Конструкция» (рис. 1) данной главы. Существенными признаками свечи зажигания SUPER являются:

- биметаллический центральный электрод из хромоникелевого сплава с включенным в него медным сердечником;
- биметаллический (как вариант) массовый электрод для снижения эрозии за счет уменьшения максимальных температур электрода;
- зазор между электродами (устанавливается заранее на заводе в соответствии с характером применения свечи).

1 Свеча зажигания SUPER фирмы Bosch

2 Формы электродов свечи зажигания SUPER

Рис. 1
1. Биметаллический центральный электрод с медным сердечником

Рис. 2
a — массовый боковой электрод расположен над центральным электродом классической свечи зажигания SUPER
b — массовый боковой электрод расположен над центральным электродом со смещенным вперед положением искры
c — массовый боковой электрод расположен над платиновым центральным электродом

Формы электродов свечи зажигания выбираются в зависимости от специфических предъявляемых к ней требований. По сравнению с классической свечой зажигания SUPER (рис. 2a), на рис. 2b изображен современный вариант, который, наряду с более глубоко проникающей искрой в камеру сгорания, обладает также оптимизированной геометрией теплового конуса изолятора и, кроме того, выполнен с центральным электродом меньшего диаметра, для того чтобы улучшить рабочие характеристики свечи при повторном пуске холодного двигателя.

Вариант свечи, показанный на рис. 2c, снабжен стержнем из благородного металла, закрепленным лазерной сваркой, что не только гарантирует более долгий срок службы, но и обеспечивает лучшие характеристики в отношении воспламенения рабочей смеси и распространения пламени за счет своего уменьшенного диаметра.

Свеча зажигания SUPER 4

Конструкция

Эту свечу фирмы Bosch от традиционных свечей зажигания типа SUPER отличают следующие признаки:

- четыре симметрично расположенных массовых электрода (рис. 3);
- центральный электрод с серебряным покрытием;
- величина зазора между электродами, установленная заранее, не требует регулировок за весь срок службы свечи.

Принцип работы

Четыре массовых электрода сделаны из тонкого профиля, для того чтобы обеспечить оптимальные зажигание и распространение фронта пламени. Эти электроды установлены на определенном расстоянии от центрального электрода и от теплового конуса изолятора для получения возможности изменения вида искры в зависимости от условий работы, так чтобы искра могла либо проходить напрямую между электродами (воздушная искра), либо образовываться как воздушно-скользящая искра. В целом имеются восемь возможных траекторий искровых разрядов. Действительная траектория искры обычно является стохастическим процессом.

Равномерный износ электродов

Так как вероятность распространения искры одинакова для всех электродов, искровой разряд распределяется по тепловому конусу изолятора равномерно. За счет этого степень износа электродов также равномерно распределяется по всем четырем массовым электродам.

3 Электроды свечи зажигания типа SUPER 4 фирмы Bosch

4 КПД свечи зажигания

Рис. 4
1 — традиционная свеча зажигания
2 — свеча зажигания типа SUPER 4 фирмы Bosch

Диапазон рабочих температур

Покрытый серебром центральный электрод хорошо отводит теплоту. За счет этого снижается опасность возникновения калильного зажигания в результате перегрева и расширяется диапазон надежной работы свечи. Благодаря этому свеча зажигания типа SUPER 4 охватывает минимум два диапазона калильных чисел традиционных свечей зажигания. Относительно ограниченное количество типов свечей зажигания, таким образом, обеспечивает оптимальную их замену на большом количестве моделей автомобилей.

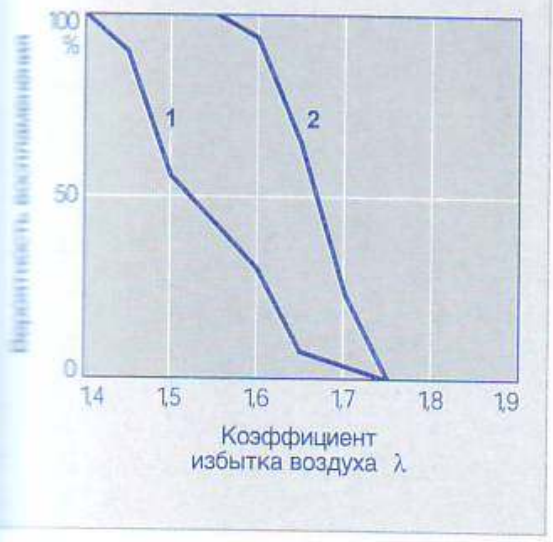
КПД свечей зажигания

За счет использования на свече зажигания типа SUPER 4 массового электрода малого диаметра, он поглощает меньше энергии зажигания, чем электрод традиционной свечи. КПД свечи зажигания повышается, т. к. для воспламенения рабочей смеси при каждом зажигании имеется примерно на 4% больше энергии (рис. 4).

Вероятность воспламенения

При повышении коэффициента избытка воздуха (обедненная смесь, $\lambda > 1$) снижается вероятность того, что энергия, отдаваемая рабочей смеси, окажется достаточной для ее надежного воспламенения. Если с помощью свечи зажигания типа SUPER 4 в условиях лабораторных испытаний можно надежно воспламенить рабочую смесь при коэффициенте избытка воздуха вплоть до значений $\lambda = 1{,}55$, то с помощью стандартной свечи зажигания при тех же условиях более половины всех попыток воспламенения рабочей смеси оказались неудачными (рис. 5).

5 Влияние состава рабочей смеси на вероятность воспламенения



Характеристики свечи зажигания при пуске холодного двигателя

За счет образования скользящей искры в полуповерхностном искровом промежутке осуществляется самоочищение свечи даже при низких температурах. За счет этого можно производить в три раза больше холодных пусков двигателя, чем при использовании традиционных свечей зажигания (запуски без прогрева двигателя).

Защита окружающей среды и каталитический нейтрализатор ОГ

Улучшенные характеристики при повторном пуске холодного двигателя и повышенная надежность воспламенения рабочей смеси при всех любых условиях снижают долю несгоревшего топлива и уменьшают за счет этого эмиссию углеводородов в ОГ.

Преимущества

Свеча зажигания типа SUPER 4 обладает, по сравнению с традиционными свечами, следующими улучшенными характеристиками:

- повышенной надежностью воспламенения за счет наличия восьми возможных искровых траекторий;
- самоочищением за счет использования поверхностного искрового промежутка;
- расширенным диапазоном рабочих температур.

Свеча зажигания Platin+4

Конструкция

Свеча зажигания типа Platin+4 (рис. 6), являясь свечой зажигания со скользящей искрой (поверхностный искровой промежуток), обеспечивает увеличение интервалов между заменами во время

Рис. 5
1. Традиционная свеча зажигания
2. Свеча зажигания типа SUPER 4 фирмы Bosch

эксплуатации. Ее отличия от традиционных свечей зажигания состоят в следующем:

- наличие четырех симметрично расположенных массовых электродов с двойным изгибом 9;
- включение в керамический изолятор центрального платинового электрода 8 малого диаметра;
- наличие внутреннего токопроводящего стержня 7 специальной формы, изготовленного из специального сплава;
- наличие керамического изолятора 2 с высокой сопротивляемостью пробоям;
- наличие теплового конуса изолятора специальной формы.

Принцип действия

Надежность воспламенения

Увеличенный зазор между электродами, равный 1,6 мм, обеспечивает свече зажигания типа Platin+4 сверхвысокую надежность воспламенения. Кроме того, четыре массовых электрода расположены в камере сгорания двигателя настолько идеально, что не происходит нарушений доступа искры к рабочей смеси. За счет этого ядро пламени может почти беспрепятственно распространяться по объему камеры сгорания и полностью воспламенять весь заряд рабочей смеси.

Обеспечение повторных холодных пусков двигателя

Повторные холодные пуски двигателя благодаря использованию поверхностного искрового промежутка заметно улучшены по сравнению со свечами зажигания с воздушным искровым промежутком.

Износ электродов

В отношении износа электродов преимущества свечи зажигания типа Platin+4 заключаются в том, что как устойчивый к эрозии платиновый стержень центрального электрода, так и улучшенный материал четырех массовых электродов способствуют увеличению срока службы свечи. Омическое сопротивление токопроводящего стеклогерметика снижает емкостной разряд, что также уменьшает эрозию электродов.

Сравнительный анализ на рис. 7 показывает увеличение потребной энергии зажигания на свече Platin+4 во время ее

6 Конструкция свечи зажигания типа Platin+4

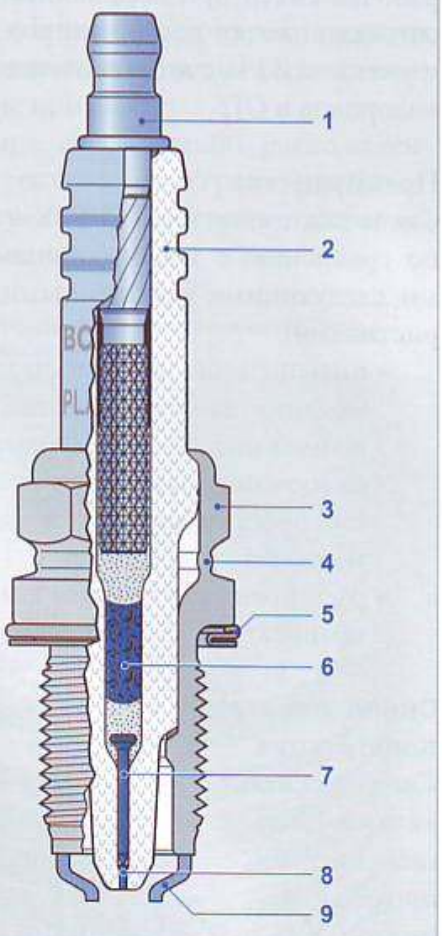


Рис. 6
1. Контактная головка
2. Изолятор
3. Корпус
4. Зона тепловой усадки
5. Уплотнительное кольцо
6. Токопроводящий стеклогерметик
7. Токопроводящий штифт
8. Платиновый стержень (центральный электрод)
9. Массовые боковые электроды (на разрезе изображены два из четырех электродов)

7 Увеличение потребности в напряжении зажигания за время работы двигателя

Рис. 7
1. Свеча зажигания с воздушным искровым промежутком (зазор = 0,7 мм)
2. Свеча зажигания типа Platin+4 с поверхностным искровым промежутком (зазор = 1,6 мм)

дительных проверок на двигателе в течение 800 ч, проводимых на испытательном стенде (соответствует 100 тыс. км пробега в реальном режиме эксплуатации). Достигнутый меньший износ электродов приводит к значительно меньшему увеличению потребности в напряжении зажигания, чем при традиционных свечах зажигания. На рис. 8 и 9 дополнительно показаны состояния новой и испытанной в течение 800 ч свечей зажигания типа Platin+4. После завершения этих испытаний был зафиксирован лишь незначительный износ электродов.

8 Состояние новой свечи зажигания типа Platin+4

9 Состояние свечи зажигания типа Platin+4 после 800 ч работы в двигателе

Преимущества свечи зажигания типа Platin+4

Свеча зажигания типа Platin+4 отличается различными качествами, которые идеально подходят для долговременной ее эксплуатации. К ним относятся:

- наличие долговечных электродов и изолятора, которые удлиняют сроки до замены свечи зажигания до 100 тыс. км пробега;
- возможность производить большее количество повторных холодных пусков двигателя;
- очень хорошие характеристики воспламенения и распространения фронта пламени, являющиеся главным фактором обеспечения равномерности работы двигателя.

Свечи зажигания для бензиновых двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива

В отличие от двигателей с впрыскиванием топлива во впускной трубопровод, двигатели с непосредственным впрыскиванием топлива отличаются наличием ярко выраженного вихревого перемещения заряда рабочей смеси, улучшающего перемещение этой смеси к свече зажигания. Так как масса и направление потока смеси изменяются при разных условиях работы двигателя, то большое преимущество обеспечивает свеча, глубоко выдвинутая в камеру сгорания. Хотя эта концепция смещенной вперед искры отрицательно сказывается на температуре массового бокового электрода, должны быть приняты меры для снижения этой температуры. За счет удлинения корпуса можно снова уменьшить длину массовых электродов и, следовательно, снизить их температуру, в результате чего получаются устойчивые конструкции. Свечи с воздушным и поверхностным искровыми промежутками могут применяться в зависимости от используемой концепции сгорания (рис. 10).

10 Свечи зажигания для бензиновых двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива

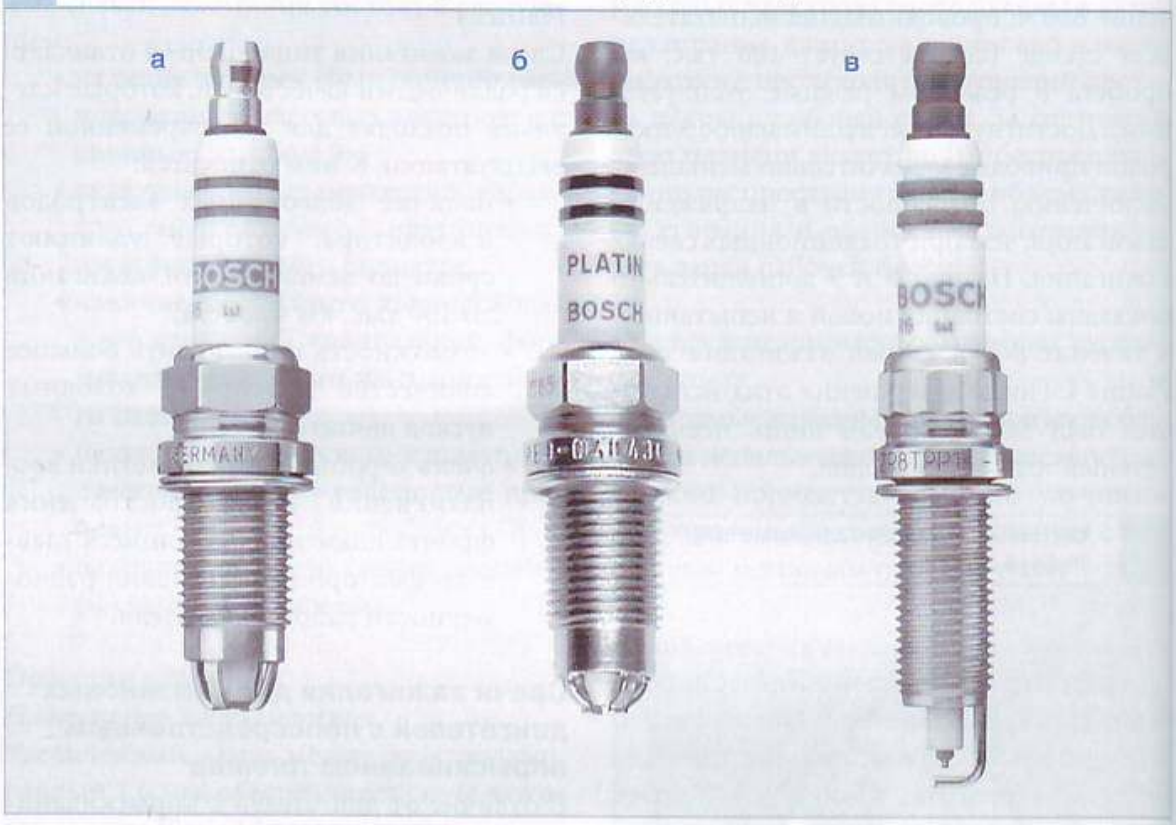


Рис.10
a — свечи зажигания с поверхностным искровым промежутком, изготовленные без применения благородных металлов
b — свечи зажигания с поверхностным искровым промежутком и с платиновым центральным электродом
c — свечи зажигания с воздушным искровым промежутком и с платиновым покрытием центрального электрода

11 Свеча зажигания для спортивных и гоночных автомобилей

Рис. 11
1. Серебряный центральный электрод
2. Короткий изолятор

Свечи зажигания специального назначения

Применение

При особых требованиях используются свечи специального назначения. Они отличаются специальной конструкцией, которая определяется условиями применения и местом установки на двигателе.

Свечи зажигания для гоночных и спортивных автомобилей

Свечи зажигания, используемые на двигателях таких автомобилей, которые большую часть времени работают на режиме полной нагрузки, подвергаются высоким тепловым воздействиям. Свечи зажигания для таких условий эксплуатации чаще всего имеют электроды из благородных металлов (серебро, платина) и короткий тепловой конус изолятора. Поглощение теплоты такими свечами зажигания через этот тепловой конус очень незначительно, но они обладают высокой теплоотдачей через центральный электрод (рис.11).

Свечи зажигания с сопротивлением

За счет установки резистора во внутреннем электропроводнике свечи зажигания может подавляться передача импульсов

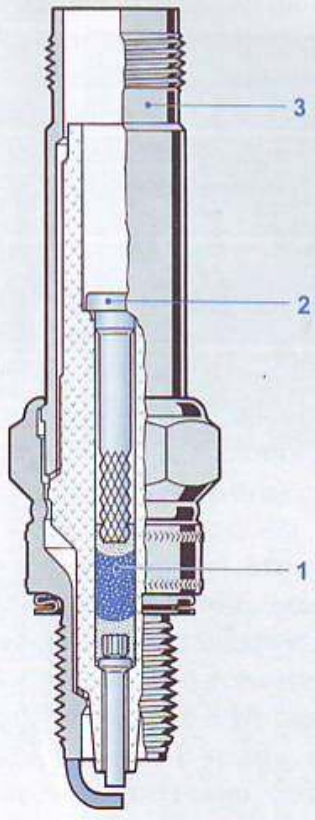
помех на провод зажигания и, следовательно, могут устраняться радиочастотные помехи. Понижением величины тока в фазе электродугового разряда зажигания снижается также эрозия электродов. Резистор состоит из специального стеклогерметика, располагаемого между центральным электродом и контактной головкой. Необходимая величина сопротивления достигается соответствующими добавками в стеклогерметик.

Полностью экранированные свечи зажигания

При очень строгих требованиях к подавлению помех (устройство радиосвязи, мобильный телефон в автомобиле) может оказаться необходимым экранирование свечей зажигания.

При полностью экранированных свечах зажигания изолятор окружен экранированной гильзой из металла. Соединение находится внутри изолятора. Экранированный высоковольтный провод зажигания крепится к гильзе накидной гайкой. Полностью экранированные свечи зажигания водонепроницаемы (рис. 12).

12 Полностью экранированная свеча зажигания



Маркировочные коды свечей зажигания

Идентификация свечей зажигания осуществляется с помощью маркировочных кодов (рис. 1). В этот код включены все характеристики свечи зажигания — за исключением зазора между электродами. Эти коды дополнительно наносятся на упаковку. Характеристики свечей зажигания для конкретных двигателей устанавливаются и рекомендуются производителями двигателя и фирмой Bosch.

Разработка свечей зажигания на базе методов моделирования

Метод конечных элементов (FEM) является методом математической аппроксимации для решения дифференциальных уравнений и описания свойств физических систем. Для этого изучаемая конструкция делится на отдельные сектора (конечные элементы).

Этот метод при разработке свечей зажигания используется для расчета температурных диапазонов, электрических свойств и механических характеристик. Изменения в геометрии и в материале свечи зажигания или различные физические граничные условия и их последствия могут определяться предварительно без дорогостоящих испытаний. Это является базой целенаправленного изготовления опытных образцов, с помощью которых осуществляется проверка результатов расчетов.

Температурное поле

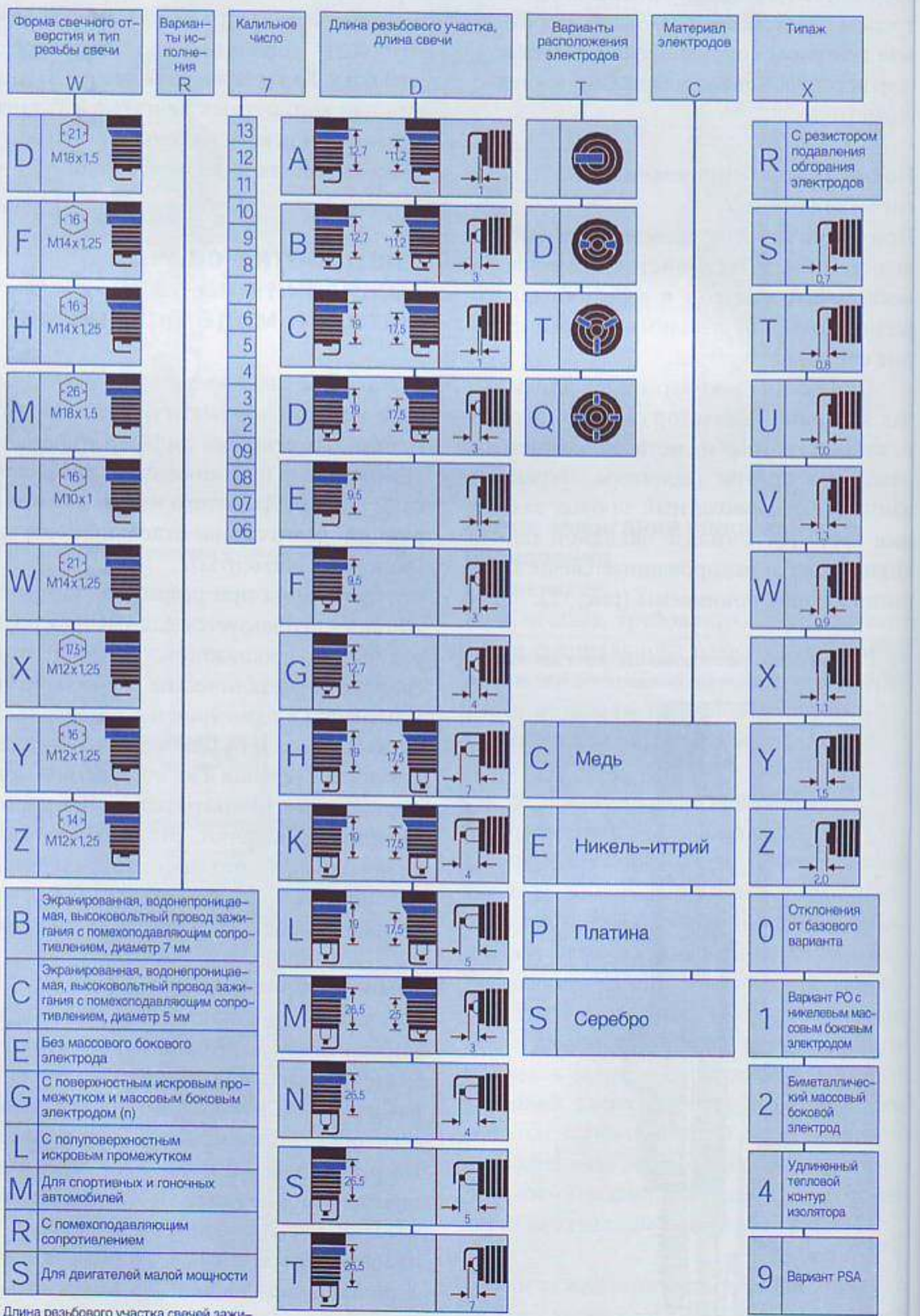
Для выбора калильного числа свечи зажигания решающими факторами являются значения максимальной температуры керамического изолятора и центрального электрода, входящего в камеру сгорания. На рис. 1а наглядно показана осесимметричная половина свечи зажигания и часть головки блока цилиндров в разрезе. По изображенным серыми цветами температурным полям видно, что максимальная температура возникает на вершине теплового конуса керамического изолятора.

Рис. 12
1. Специальный стеклогерметик (противопомеховое сопротивление)
2. Подсоединение высоковольтного провода зажигания
3. Экранирующая гильза

Электрическое поле

Подача тока высокого напряжения к свече в момент зажигания приводит к генерации искрового разряда на электродах. Пробои керамического материала или прохождение тока между керамическим изолятором и корпусом свечи могут привести к задержке воспламенения или перебоям в за-

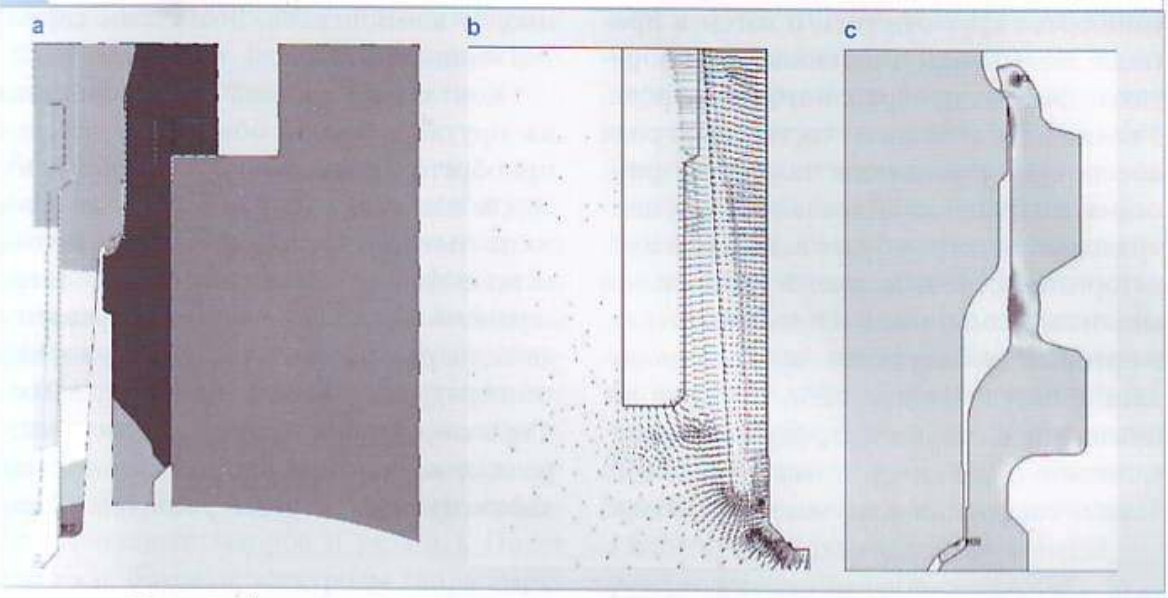
1 Маркировочные коды свечей зажигания Bosch



Длина резьбового участка свечей зажигания с формой свечного отверстия D и положением искры A или B равна 10,9 мм

Табл. 1

1 Применение метода конечных элементов при разработке свечи зажигания



жигании. На рис. 1b показана осесимметричная модель с соответствующими векторами напряженности поля между центральным электродом и корпусом. Электрическое поле пронизывает непроводящий керамический материал и газовую смесь.

Механические характеристики

Высокие давления в камере сгорания требуют обеспечения газонепроницаемого соединения между корпусом свечи зажигания с керамическим изолятором. На рис. 1c показана осесимметричная модель свечи зажигания в разрезе после затягивания и теплового осаживания корпуса свечи зажигания. Рассчитываются сила сжатия и механические напряжения в корпусе свечи зажигания.

Изготовление свечей зажигания

Завод в Бамберге — единственное место изготовления свечей зажигания Bosch на территории Европы — ежедневно выпускает около миллиона свечей. Наряду с этим, для локальных рынков и заводской комплектации автомобилей свечи зажигания, согласно стандарту качества Bosch, действующему во всем мире, изготавливаются на заводах в Индии, Бразилии, Китае и России. В целом ежегодно производится значительно более семи миллиардов свечей зажигания Bosch.

Отдельные детали свечей — изолятор, сердцевина и корпус — изготавливаются при использовании трех параллельных технологических процессов, затем эти детали собираются на стадии конечного монтажа.

Изолятор

Высококачественный керамический материал состоит, в основном, из оксида алюминия. При изготовлении изолятора в оксид алюминия добавляются наполнители и вяжущие вещества и затем происходит их дробление. Гранулированный продукт заполняется в формы и прессуется под высоким давлением. При этом заготовке придается необходимая форма. Путем шлифовки внешнего контура образуется мягкая сердцевина, которая уже имеет очень большое сходство с будущей центральной частью свечи зажигания. Керамические корпуса пропускаются через агломерационную печь и при температуре около 1600°C приобретают свою окончательную форму. Усадка, возникающая в процессе агломерации, составляет примерно 20% и должна учитываться при изготовлении мягкой сердцевины. После обжига изоляторов на корпус изолятора наносится маркировка, которая затем покрывается глазурью, не содержащей свинец.

Сердцевина свечи зажигания

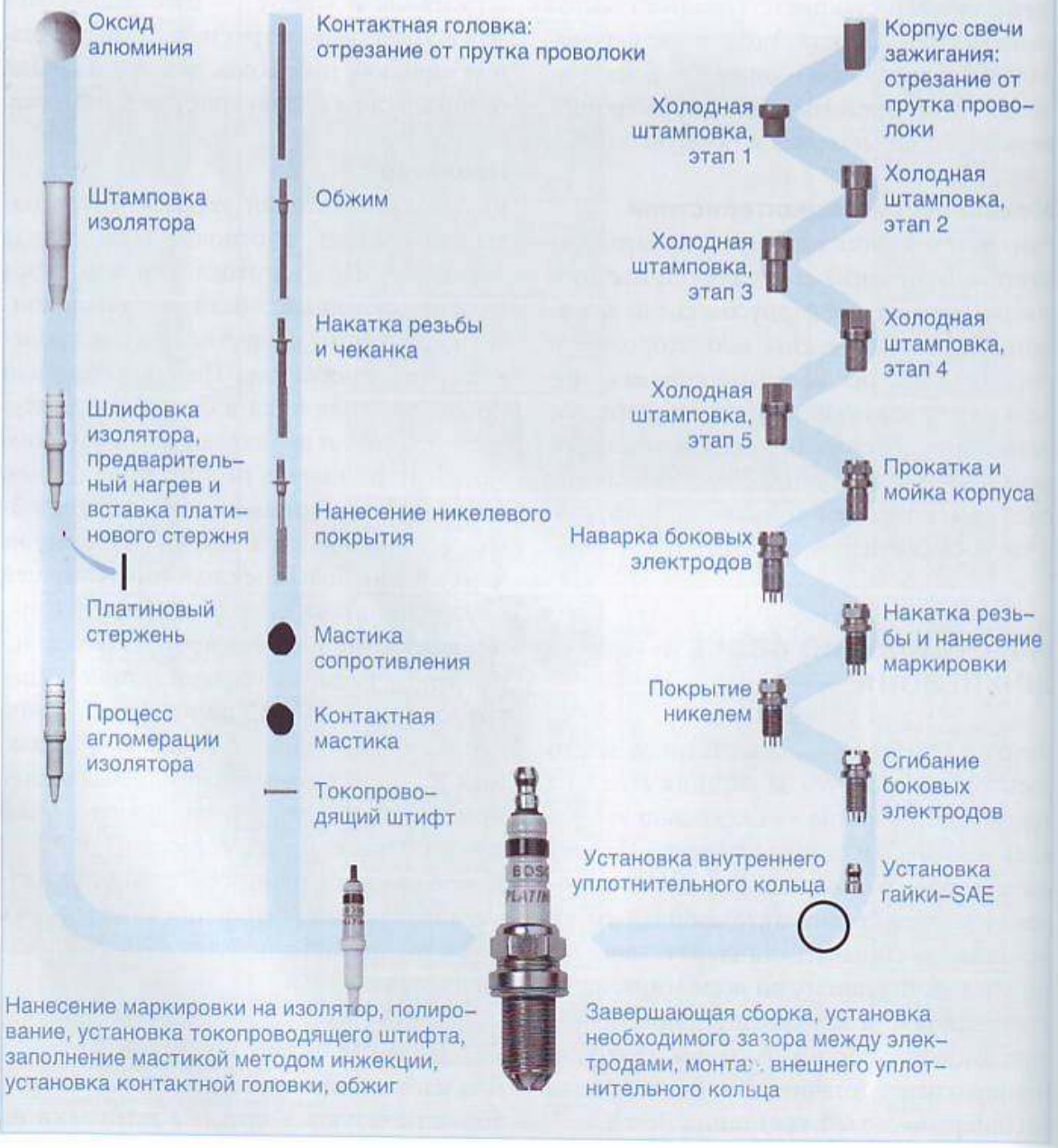
Для изготовления центральных электродов используются круглые заготовки из

Рис. 1
Осесимметричные модели свечи зажигания
a — распределение температуры в керамическом изоляторе и в центральном электроде
b — напряженность электрического поля в области центрального электрода и корпуса
c — сила сжатия и механические напряжения в корпусе свечи зажигания

меди и никелевого сплава, которые соединяются друг с другом и затем в процессе штамповки с вытяжкой приобретают форму центрального электрода. Утолщение в задней части электрода обеспечивает затем его надежную фиксацию в сердцевине. После того как центральный электрод будет вставлен в изолятор, отверстие заполняется специальной мастикой, состоящей из частиц стекла, в которые добавляются электропроводящие частички, для того чтобы после плавления создать электропроводное соединение с контактной головкой свечи. Также сопротивление мастики можно варьировать за счет изменения отдельных ее компонентов. Возможны сопротивления до 10 кОм.

Контактная головка изготавливается из прутка и путем обжатия и насечки приобретает свою окончательную форму. После нанесения на контактную головку защитного никелевого покрытия, она вставляется в сердцевину свечи. Затем сердцевина проходит печь и нагревается до температуры свыше 850 °C. При таких температурах мастика плавится, заполняя зазоры вокруг центрального электрода, и контактная головка может быть зафиксирована в этом расплаве. После

1 Технологический процесс изготовления свечи зажигания



охлаждения сердцевины образуется газонепроницаемое и электропроводящее соединение между центральным электродом и контактной головкой.

Корпус

Корпус изготавливается из стали путем штамповки. Для этого отрезок прутка длиной несколько сантиметров формуется холодным способом в прессе в несколько операций до тех пор, пока не будет получен окончательный контур корпуса свечи зажигания. Затем необходимо выполнить всего несколько операций по механической обработке корпуса (для изготовления тепловых зазоров и резьбы). После того как боковые электроды (до четырех электродов — в зависимости от типа свечи) крепятся на сварке к корпусу, накатывается резьба и затем на весь корпус наносится никелевое покрытие для защиты его от коррозии.

Сборка свечи зажигания

При сборке свечи зажигания в ее корпус устанавливаются уплотнительное кольцо и сердцевина, которая фиксируется в корпусе за счет обжатия и отбортовывания верхней части корпуса. Последующий процесс осаживания (при этом часть корпуса нагревается посредством индукции до температуры выше 900 °C) обеспечивает газонепроницаемое соединение между корпусом свечи зажигания и ее сердцевиной. Затем в свечах зажигания с плоской уплотнительной поверхностью монтируется внешнее уплотнительное кольцо, которое под воздействием легкого давления деформируется и таким образом образует герметичную прокладку. В результате этого при последующей установке свечи в головке блока цилиндров гарантируется герметизация камеры сгорания.

В определенных моделях свечей зажигания на контактную головку, снабженную резьбой М4, навинчивается гайка SAE и для обеспечения надежного крепления несколько раз зачеканивается.

После установки зазора между электродами, регламентируемого производителем двигателя, процесс сборки считается завершенным и свечи зажигания упаковываются для последующей реализации.

Система управления двигателем Motronic

Motronic — название системы управления двигателем, объединяющей функции разомкнутого и замкнутого контуров управления бензиновым двигателем в одном электронном блоке управления. Первая система Motronic была запущена в серию фирмой Bosch в 1979 г. Она в основном выполняла функции электронного впрыскивания топлива и электронного зажигания. С развитием микроэлектроники эффективность системы Motronic все больше возрастала. Шаг за шагом объем функций адаптировался к актуальным требованиям развития двигателей и за счет этого повышалась сложность системы Motronic.

Обзор системы

Основу первых систем Motronic составляли электронные системы одноточечного впрыска L-Jetronic с дискретным впрыскиванием топлива, а также электронная система зажигания с программным управлением, с распределителем высокого напряжения с вращающимся ротором (ROV). Позднее все еще необходимый для ROV механический распределитель зажигания был заменен электронным зажиганием с так называемым неподвижным распределением зажигания (RUV).

Вначале система Motronic, из-за высокой стоимости, использовалась только в автомобилях высшего класса. Но в связи с требованиями норм по снижению токсичности ОГ эта система получила большое распространение. В настоящее время в новых разработках двигателей используются только системы Motronic от фирмы Bosch.

Контроль за рабочими характеристиками двигателя

Сенсорные датчики и датчики заданных значений

Посредством этих датчиков в системе Motronic осуществляется сбор рабочих данных для разомкнутого и замкнутого контуров управления двигателем (рис. 1). Датчики заданных значений (например, выключатели) регистрируют выбранные водителем командные сигналы, например:

- положение ключа зажигания в замке зажигания (клемма 15);
- положение выключателя системы кондиционирования воздуха;
- положение выключателя рычага регулировки скорости движения.

Сенсорные датчики определяют физические и химические параметры и на их базе делают вывод о текущем режиме работы двигателя. Примерами таких параметров являются:

- температура двигателя;
- масса всасываемого воздуха;
- давление во впускном трубопроводе;
- угол поворота дроссельной заслонки;
- коэффициент избытка воздуха λ;
- частота вращения коленчатого вала;
- положение распределительного вала;
- скорость движения автомобиля.

Различные датчики выдают сигналы в цифровой, импульсной или аналоговой формах.

Обработка сигналов в блоке управления

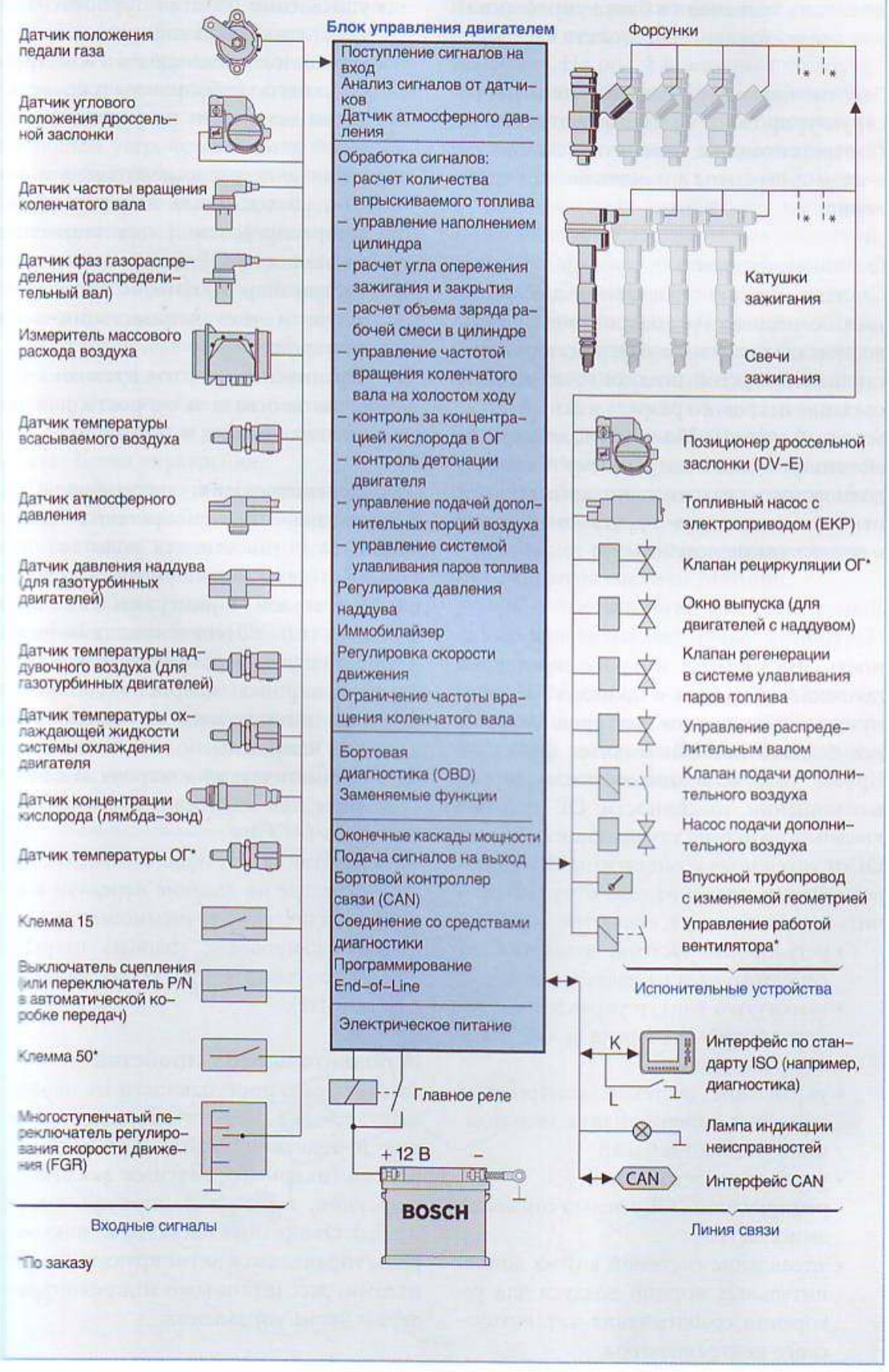
Входные сигналы в блоке управления или все чаще в самих датчиках обеспечивают адаптацию сигналов для их последующей обработки. Эти схемы служат для трансформации напряжений в такие сигналы, которые могут быть аналитически обработаны в микропроцессоре блока управления.

Цифровые входные сигналы непосредственно поступают в микроконтроллер и хранятся в его памяти в цифровой форме. Аналоговые сигналы преобразуются аналого-цифровым преобразователем (ADW) в цифровые данные.

Обработка рабочих данных

По входным сигналам, поступающим на блок управления двигателем, и показаниям мониторов (определяют командные

1 Компоненты электронного управления работой двигателя в системе Motronic



*По заказу

сигналы от водителя и вспомогательных устройств) идентифицируется текущий режим работы двигателя и на основе этого осуществляется процесс расчета управляющих сигналов (в блоке управления) для исполнительных устройств системы.

Задачи блока управления двигателем структурированы на несколько функций. Соответствующие алгоритмы заложены в виде программы в память блока управления.

Основные функции

Система Motronic выполняет две функции. Во-первых, это дозирование точного количества топлива в соответствии с поступившей массой воздуха и, во-вторых, создание искрового разряда в самый оптимальный момент зажигания. С интеграцией этих функций в одну систему появилась возможность максимально адаптировать относительно друг друга зажигание и впрыскивание топлива.

Дополнительные функции

Постоянно растущая расчетная мощность имеющихся микроконтроллеров позволяет включать в процессы разомкнутого и замкнутого контуров Motronic все больше дополнительных функций. Кроме того, ужесточающиеся нормы в отношении токсичности ОГ требуют введения функций, улучшающих очистку ОГ от токсичных компонентов. Функциями, которые потенциально могут обеспечить эти требования, являются:

- регулировка частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу;
- замкнутый контур управления концентрацией кислорода в ОГ (лямбда-регулировка);
- управление системой контроля за эмиссией паров топлива (вентиляция топливного бака);
- управление детонацией;
- рециркуляция ОГ с целью снижения эмиссии NO_x;
- управление системой впуска дополнительных порций воздуха для ускорения срабатывания каталитического нейтрализатора.

В соответствии с повышенными требованиями к работе трансмиссии система может дополнительно выполнять следующие функции:

- управление работой турбонагнетателя (замкнутый контур);
- управление изменением геометрии впускного трубопровода для увеличения мощности и крутящего момента двигателя;
- управление распределительным валом, позволяющее изменять фазы газораспределения для снижения токсичности ОГ с одновременным улучшением топливной экономичности и увеличением мощности двигателя;
- ограничение частоты вращения коленчатого вала и скорости для защиты двигателя и автомобиля.

При проектировании автомобилей все большее значение приобретает создание комфорта и удобств для водителя, что также влияет на характеристики управления двигателем. Примерами типичных функций по обеспечению комфорта и удобств для водителя являются:

- регулировка скорости движения (так называемый круиз-контроль или Tempomat);
- автоматический контроль за движением или адаптивный круиз-контроль (ACC);
- адаптация крутящего момента при переходе на высшие передачи в автоматических трансмиссиях;
- демпфирование ударных нагрузок (в соответствии с требованиями водителя).

Исполнительные устройства

За счет тока, поступающего от оконечных каскадов, обеспечивается включение в действие исполнительных устройств (например, катушек зажигания, форсунок, клапана рециркуляции ОГ и т. д.). Оконечные каскады, в свою очередь, управляются активирующими сигналами, рассчитанными микроконтроллером блока управления.

Электронная диагностика

Диагностические функции, интегрированные в блоке управления, обеспечивают контроль за работой системы Motronic (блок управления с датчиками и исполнительными устройствами) и регистрируют дефекты и неисправности. Система реагирует на распознанные дефекты с помощью кодов неисправностей, хранимых в запоминающем устройстве, и, если необходимо, запускает вспомогательные функции по устранению этих неисправностей. Посредством диагностической лампы или дисплея на панели приборов автомобиля обеспечивается информирование водителя о возникновении этих неисправностей.

Диагностический интерфейс позволяет получить доступ к любому коду неисправности, а также о любой информации, хранящейся в запоминающем устройстве блока управления.

Первоначально электронная диагностика должна была облегчать только техническое обслуживание автомобиля вне СТОА. С введением в действие в США закона об обязательном использовании бортовой диагностики (OBD) эта диагностика стала применяться и для выявления проблем, связанных с повышенной токсичностью ОГ. Эти требования в несколько измененном виде были внесены в европейское законодательство (EOBD).

Управление двигателем

Посредством каналов связи, например, бортового контроллера связи (CAN), система Motronic может обеспечивать связь между блоком управления этой системы и другими электронными системами автомобиля. На рис. 2 показаны некоторые примеры такой связи. Блоки управления могут интегрировать у себя данные от других систем в виде вспомогательных входных сигналов для использования в создании своих алгоритмов контуров управления с обратной и без обратной связи. Например, для получения более плавного переключения передач система Motronic уменьшает крутящий момент в ответ на получение сигнала об изменении передаточного числа в трансмиссии.

Варианты системы Motronic

Система Motronic вследствие повышающихся требований к системам автомобиля постоянно совершенствуется.

В настоящее время существуют следующие варианты системы Motronic:

- M-Motronic с описанными ранее основными и дополнительными функциями;
- ME-Motronic — на базе M-Motronic с дополнительно интегрированной в нее системой EGAS (электронно-управляемая педаль газа);

2 Компоненты передачи данных в систему Motronic (примеры)

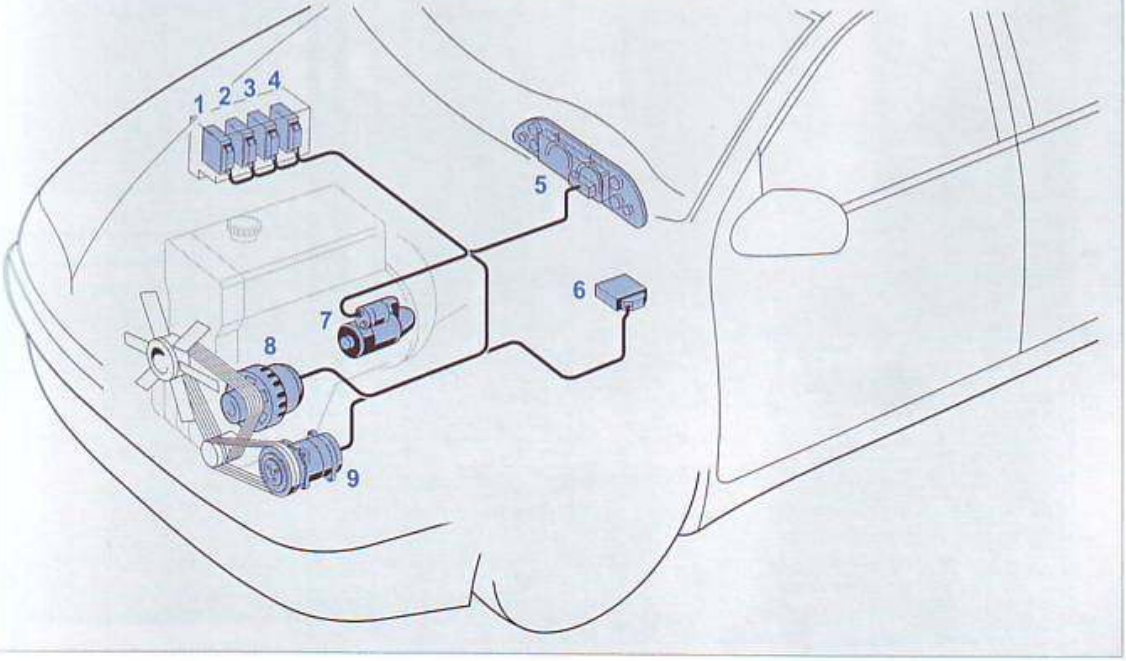


Рис. 2

1. Блок управления двигателем (Motronic)
2. Блок управления динамикой автомобиля ESP (системы ABS и ASR)
3. Блок управления трансмиссией
4. Блок управления системой кондиционирования воздуха (климат-контроль)
5. Приборный модуль с бортовым компьютером
6. Блок управления иммобилайзером
7. Стартер
8. Генератор
9. Компрессор системы кондиционирования воздуха

- MED-Motronic — дальнейшее развитие системы ME-Motronic за счет введения контура управления непосредственным впрыскиванием топлива (с обратной связью).

Существуют также системы Motronic с интегрированным управлением трансмиссией (например, MEG-Motronic). Но они не очень распространены из-за высоких требований к их аппаратной части.

Функциональная структура системы

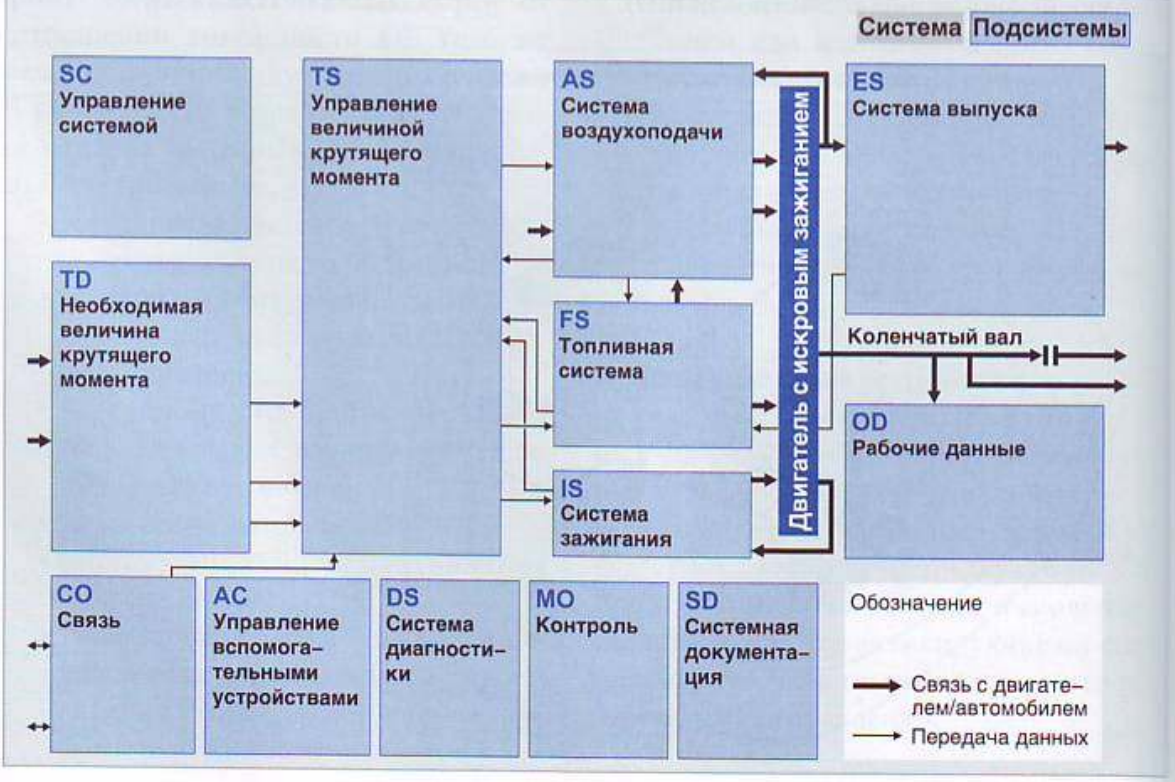
Несколько лет назад функциональность систем Motronic можно было еще представить как простую систему за счет описания ее функций. В настоящее время процессы управления и регулирования в двигателе с искровым зажиганием стали настолько сложными, что требуется описание структуры системы.

Введение функции управления величиной крутящего момента можно считать вехой в развитии систем Motronic. Все данные о необходимом крутящем моменте двигателя обрабатываются в системе Motronic как параметры крутящего момента и координируются централизованно. Эта функция впервые была введена в системе ME-Motronic. Эта система рассчитывает требуемый крутящий момент и распределяет его путем выполнения регулировок:

- дроссельной заслонки с электроприводным управлением (система подачи воздуха);
- угла опережения зажигания (система зажигания);
- количества подаваемого топлива на двигателях с непосредственным впрыском (топливная система);
- ограничения впрыска;
- регулирования выпуска на двигателях с турбонаддувом.

На рис. 3 показана функциональная структура новых систем Motronic с различными подсистемами, одни из которых структурированы в блоке управления исключительно в программном виде (например, функция расчета необходимого крутящего момента), а другие системы содержат также аппаратные компоненты (например, топливная система с форсунками). Подсистемы связаны друг с другом посредством определенных интерфейсов.

3 Функциональная структура системы Motronic



Системы Motronic на двигателях спортивных автомобилей

В настоящее время, с вводом системы Motronic в серийное производство, стали применяться адаптированные варианты, предназначенные для спортивных автомобилей. Если главными целями при проектировании обычных серийных автомобилей являются комфорт, безопасность, долговечность, минимизация токсичных продуктов в ОГ и расхода топлива, то при проектировании спортивных автомобилей основное внимание уделяется получению кратковременной максимальной мощности. Затраты на производство, связанные с выбором материалов и размеров узлов и агрегатов, на таких автомобилях не являются главным фактором.

До настоящего времени обе модели Motronic базируются на идентичных фундаментах, т.к. в обоих случаях сходные функции ведут к достижению этих противоположных целей. Примерами этого являются цепи автоматического регулирования коэффициента избытка воздуха и детонации.

Экологические нормы должны все больше учитываться также и на спортивных автомобилях. Например, спортивные автомобили, участвующие в Чемпионате DTM (Die Deutschen Tourenwagen Masters), снабжены каталитическими нейтрализаторами ОГ. Все больше автомобилей, относящихся к гоночному классу, должны придерживаться ограничений в отношении шума и расхода топлива. Так, например, в 24-часовой гонке в Ле Мане в 2001 г. впервые победил автомобиль, оснащенный двигателем с системой непосредственного впрыскивания топлива фирмы Bosch.

Высокая частота вращения коленчатого вала на гоночных автомобилях минимизирует время каждого рабочего цикла. Информация, подлежащая обработке, требует использования процессов с высокими тактовыми частотами и все большего применения микропроцессорных систем.

Наряду с блоком управления очень быстро должны работать также элементы систем зажигания и впрыска. Это требует наличия катушек зажигания с более коротким временем зарядки и элементов топливной системы, которые могут соответствовать таким режимам работы и повышенным давлениям. Свечи зажигания с меньшим диаметром резьбовой части позволяют им работать в условиях высокой степени сжатия.

Во время автогонок по радио могут передаваться данные из автомобиля на пункты обслуживания. С помощью этой телеметрии, можно постоянно контролировать рабочие параметры двигателя.

Эта функциональная структура находит применение также в новых системах M-Motronic с функцией расчета необходимого крутящего момента.

Система M-Motronic

Система M-Motronic включает в себя все элементы, необходимые для управления двигателем с впрыском во впускной трубопровод и традиционной дроссельной заслонкой. На рис. 1 показан пример системы M-Motronic. Ее диапазон применения определяется требованиями в отношении мощности двигателя, а также ограничениями, накладываемыми со стороны законодательства на токсичность ОГ. Центральным узлом управления системы M-Motronic является блок управления двигателем 21, который регистрирует все входящие сигналы и вырабатывает сигналы управления, поступающие на исполнительные устройства.

На протяжении истории эволюции системы Motronic возникли поколения вариантов этой системы (например, M1, M3, M7), которые отличаются в первую очередь содержанием аппаратных средств. Существенными отличительными признаками являются микроконтроллеры, периферийные модули и модули оконечных каскадов (набор чипов). Варианты аппаратных средств, возникающие в соответствии с требованиями различных производителей автомобилей, отличаются идентификационными кодовыми номерами производителей автомобилей (например, M4.3).

Элементы воздухоподачи системы

Дроссельная заслонка

Педаль газа соединена с дроссельной заслонкой 16 рычажным механизмом или тросиком. Положение дроссельной заслонки определяет степень открытия воздуховпускного отверстия. Это позволяет управлять массовым расходом воздуха, проходящего в цилиндры через впускной трубопровод.

Рис. 1

1. Абсорбер с активированным углем
2. Диагностический модуль негерметичности топливного бака[1]
3. Клапан регенерации
4. Насос подачи дополнительных порций воздуха
5. Клапан подачи дополнительных порций воздуха
6. Датчик массового расхода воздуха со встроенным датчиком температуры
7. Датчик давления во впускном трубопроводе[1]
8. Впускной трубопровод с изменяемой геометрией (с заслонками управления)
9. Топливная рампа
10. Топливная форсунка
11. Исполнительные устройства и датчики изменения фаз газораспределения
12. Катушка зажигания с установленной свечой зажигания
13. Датчик фаз
14. Датчик углового положения дроссельной заслонки
15. Регулятор частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу
16. Дроссельная заслонка
17. Клапан рециркуляции ОГ
18. Датчик детонации
19. Датчик температуры в системе охлаждения двигателя
20. Лямбда-зонд перед каталитическим нейтрализатором
21. Блок управления двигателем
22. Датчик частоты вращения коленчатого вала
23. Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор (в ряде случаев используются отдельные основной и вспомогательные каталитические нейтрализаторы)
24. Диагностический интерфейс
25. Лампа-индикатор неисправностей [1]
26. Интерфейс блока управления иммобилайзером автомобиля
27. Интерфейс блока управления трансмиссией [2])
28. Интерфейс бортового контроллера связи (CAN)
29. Топливный бак
30. Датчик давления в топливном баке [1]
31. Топливопровод
32. Модуль, встроенный в топливный бак, содержащий электроприводной топливный насос, топливный фильтр и регулятор давления топлива
33. Лямбда-зонд за каталитическим нейтрализатором [1]

[1] Элементы, специально используемые в системе бортовой диагностики (конфигурация системы показана для CARB-OBD)

[2] Возможна также связь через бортовой контроллер связи (CAN)

1 Элементы электронного управления работой двигателя с помощью системы M-Motronic (пример)

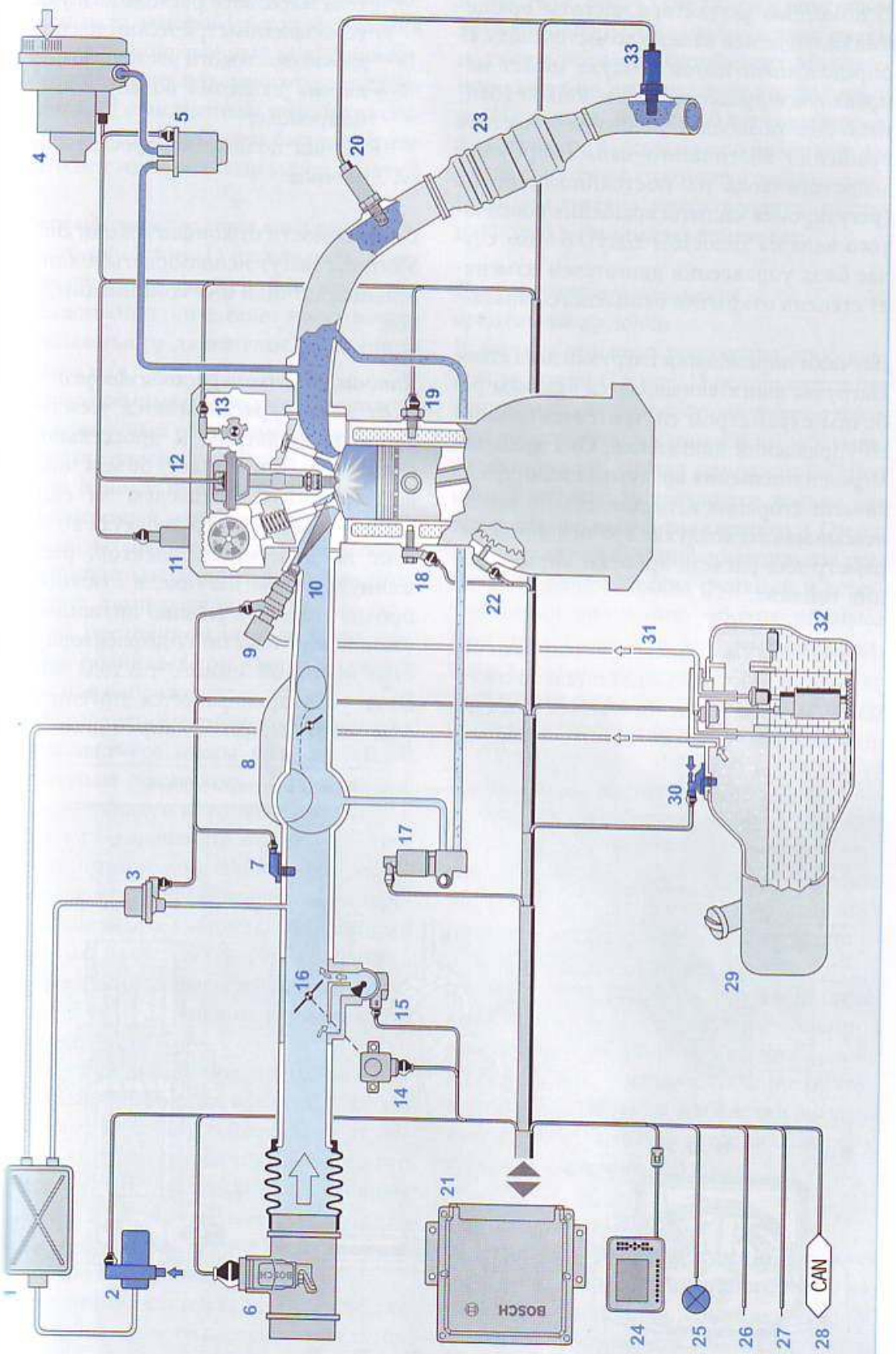


Рис. 2
a — датчик объемного расхода воздуха
b — тепловой расходомер воздуха
c — термоанемометрический датчик массового расхода воздуха (HFM5)
d — датчик положения дросселя
e — датчик давления во впускном трубопроводе
1. Клапанный затвор в датчике
2. Датчик температуры воздуха
3. Соединение с электронным блоком управления
4. Потенциометр
5. Объем сжатия
6. Компенсационная заслонка
7. Резистор компенсации температуры
8. Сенсорное кольцо с нитью накала
9. Измерительный резистор
10. Выводы
11. Корпус сенсорной трубки
12. Электронный анализатор
13. Измерительный элемент датчика
14. Корпус датчика
15. Измерительный канал
16. Выход воздушного потока
17. Вход воздушного потока QM
18. Ось дроссельной заслонки
19. Дорожка потенциометра 1
20. Дорожка потенциометра 2
21. Поворотный рычаг со скользящим контактом
22. Разъем
23. Штуцер
24. Элемент измерения давления
25. Уплотнение
26. Цепь анализатора
27. Схема датчика
Q_L — поток всасываемого воздуха
Q_M — массовый поток воздуха
p — давление

Регулятор частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу

С помощью регулятора частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу 15 определенный поток воздуха может направляться дроссельной заслонкой (байпас). Это позволяет удерживать частоту вращения коленчатого вала на режиме холостого хода на постоянном уровне (регулировка частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу). В этом случае блок управления двигателем изменяет степень открытия байпасного канала.

Датчики определения нагрузки двигателя

Нагрузка двигателя является важным рабочим параметром системы электронного управления двигателем. Она является мерой наполнения воздухом цилиндра на момент сгорания и, следовательно, массы всасываемого воздуха. Это основной параметр для расчета времени впрыскивания топлива.

Существуют различные возможности определения нагрузки на двигатель. В системах M-Motronic используются следующие датчики (рис. 2):

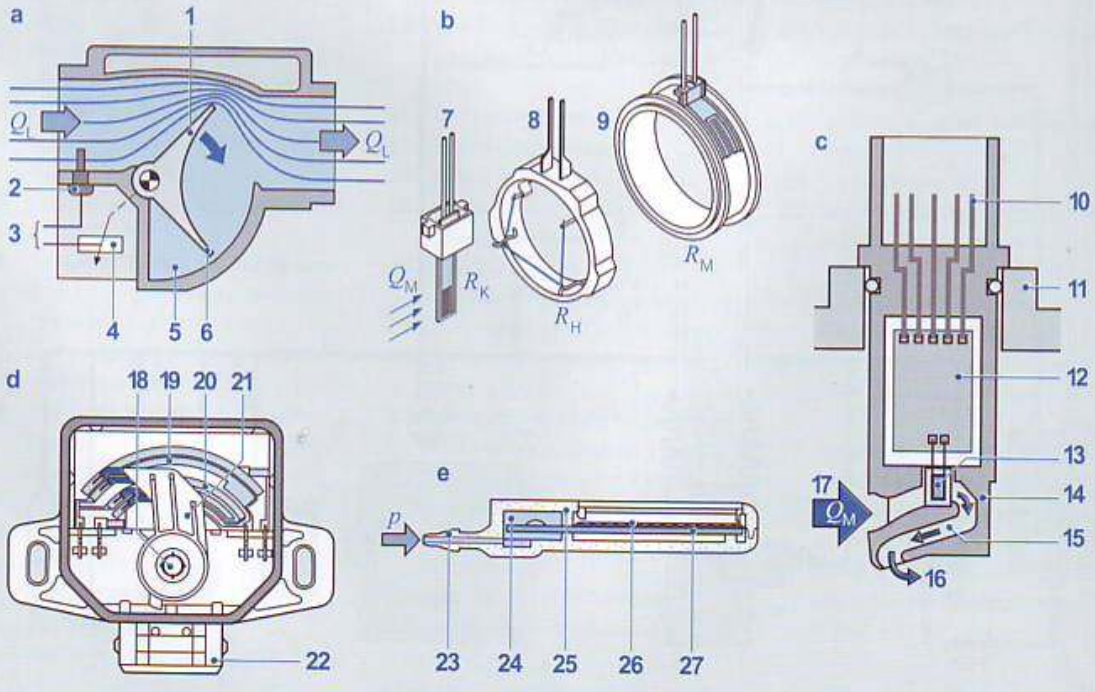
- измеритель объемного расхода воздуха;
- термоанемометрический измеритель массового расхода воздуха;
- термоанемометрический пленочный датчик массового расхода воздуха;
- датчик давления во впускном трубопроводе;
- датчик положения дроссельной заслонки.

В зависимости от конфигурации системы Motronic могут использоваться лишь отдельные датчики или комбинации датчиков.

Датчик объемного расхода воздуха

Этот датчик располагается между воздушным фильтром и дроссельной заслонкой и определяет объем воздуха, всасываемого двигателем за единицу времени (м³/ч). Поток воздуха воздействует на пластину-дефлектор, расположенную в этом датчике, и отклоняет ее, противодействуя усилию пружины. Угол отклонения пластины-дефлектора является мерой объемного расхода воздуха. Этот угол преобразуется потенциометром в электрическое напряжение.

2 Примеры датчиков нагрузки, применявшихся в процессе развития системы M-Motronic



Для того чтобы учитывать изменения плотности воздуха при изменении температуры всасываемого воздуха, в этот датчик встроен датчик температуры, с помощью сигнала которого блок управления рассчитывает поправочный коэффициент.

Раньше датчик объемного расхода воздуха являлся стандартным элементом системы M-Motronic, но затем был постепенно вытеснен измерителями массы воздуха.

Датчик массового расхода воздуха

Этот датчик (6, рис. 1) располагается между воздушным фильтром и дроссельной заслонкой и определяет массу воздуха, всасываемого двигателем за единицу времени (кг/ч).

Термоанемометрические проволочный и пленочный расходомеры являются датчиками тепловой нагрузки. Они работают по одному принципу: нагреваемое тело (сенсорный элемент) отдает тепловую энергию потоку воздуха. Ток накала, зависящий от массы потока воздуха, поддерживает температуру сенсорного элемента на постоянном уровне. Цепь анализатора оценивает ток накала и создает сигнальное напряжение.

В термоанемометрическом проволочном расходомере массы воздуха (HLM) нагреваемым элементом — проволокой накала — является тонкая платиновая проволока («горячая проволока»). В термоанемометрическом плёночном расходомере воздуха (HFM) сенсорным нагреваемым элементом является платиновый пленочный резистор («горячая пленка»). Этот элемент располагается вместе с другими деталями датчика на керамической пластинке.

При использовании этого датчика учитывается плотность воздуха, т. к. она определяет величину теплоотдачи от нагреваемого элемента датчика воздушного потока. В пленочном расходомере дополнительно определяется масса воздуха в обратном потоке и она учитывается при обработке данных.

В последних системах M-Motronic для измерения массового расхода воздуха используются только термоанемометрические пленочные тепловые датчики.

Датчик давления во впускном трубопроводе

Датчик давления во впускном трубопроводе (7, рис. 1) соединен с впускным трубопроводом пневматическим путем и, таким образом, определяет абсолютное давление во впускном трубопроводе. На основе данных об этом давлении, температуре всасываемого воздуха и частоте вращения коленчатого вала может быть рассчитана масса воздуха, поступающего в цилиндры двигателя.

Датчик углового положения дроссельной заслонки

В датчике углового положения дроссельной заслонки (14, рис. 1) используется потенциометр, который определяет положение дроссельной заслонки и вырабатывает аналоговый сигнал напряжения. Этот сигнал обычно используется только как вспомогательный сигнал нагрузки. Он дает дополнительную информацию для реализации динамических функций и детектирования диапазона рабочих режимов двигателя (холостой ход, частичная нагрузка, полная нагрузка) и является дублирующим сигналом при выходе из строя основного датчика нагрузки двигателя.

Если датчик углового положения дроссельной заслонки используется в качестве основного датчика нагрузки двигателя, то требования к точности измерений возрастают. Более высокая точность достигается за счет использования двух потенциометров и улучшенных подшипников поворотного рычага.

Масса всасываемого воздуха определяется на основе оценки угла поворота дроссельной заслонки и частоты вращения коленчатого вала. Зависящие от температуры изменения плотности воздуха учитываются путем измерения температуры всасываемого воздуха.

Рециркуляция ОГ

С помощью рециркуляции ОГ может быть повышена доля инертного газа в наполнении цилиндров. Система рециркуляции ОГ формирует связь между системой выпуска и впускным трубопроводом. За счет изменения поперечного сечения

рециркуляционного клапана (17, рис. 1) возможно определять долю ОГ, повторно попадающих в цилиндры (коэффициент рециркуляции). Эти рециркулирующие ОГ влияют на процесс сгорания. Они снижают пиковую температуру и тем самым уменьшают эмиссию NO_X с ОГ.

За счет уменьшения дросселирования всасываемого воздуха дополнительно уменьшается расход топлива.

Степень открытия рециркуляционного клапана не напрямую регулируется сигналом от электропневматического преобразователя, вырабатываемым блоком управления двигателем. Последние типы клапанов рециркуляции ОГ могут непосредственно управляться электрическим путем — за счет потенциометра к ним поступает обратный сигнал о положении клапана. Этот обратный сигнал позволяет обеспечить очень точную установку степени открытия клапана.

Допустимая степень рециркуляции ОГ существенно зависит от режима работы и условий эксплуатации двигателя (например, от температуры двигателя). Слишком высокая степень такой рециркуляции приводит к замедлению процесса сгорания вплоть до возникновения перебоев в зажигании и, следовательно, к неравномерной работе двигателя. Эти обстоятельства должны учитываться при калибровке системы в соответствии с параметрами конкретного двигателя.

Изменяемая геометрия впускного трубопровода

Впускные трубопроводы с изменяемой геометрией (8, рис. 1) могут применяться для того чтобы иметь возможность эффективнее использовать динамические эффекты турбонаддува, зависящие от частоты вращения коленчатого вала. Системы с изменяемой геометрией впускного трубопровода обеспечивают лучшее наполнение цилиндров зарядом рабочей смеси и, следовательно, лучшую характеристику крутящего момента.

Геометрия впускного трубопровода изменяется с помощью блока управления двигателем в зависимости от режима работы двигателя (особенно от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки), например, с помощью заслонок с электрическим или электропневматическим приводом.

Турбонаддув ОГ

Турбонаддув ОГ является другой возможностью повышения наполнения цилиндров зарядом рабочей смеси и, следовательно, крутящего момента (рис. 3). Турбокомпрессор располагается в системе выпуска,

3 Система турбонаддува ОГ

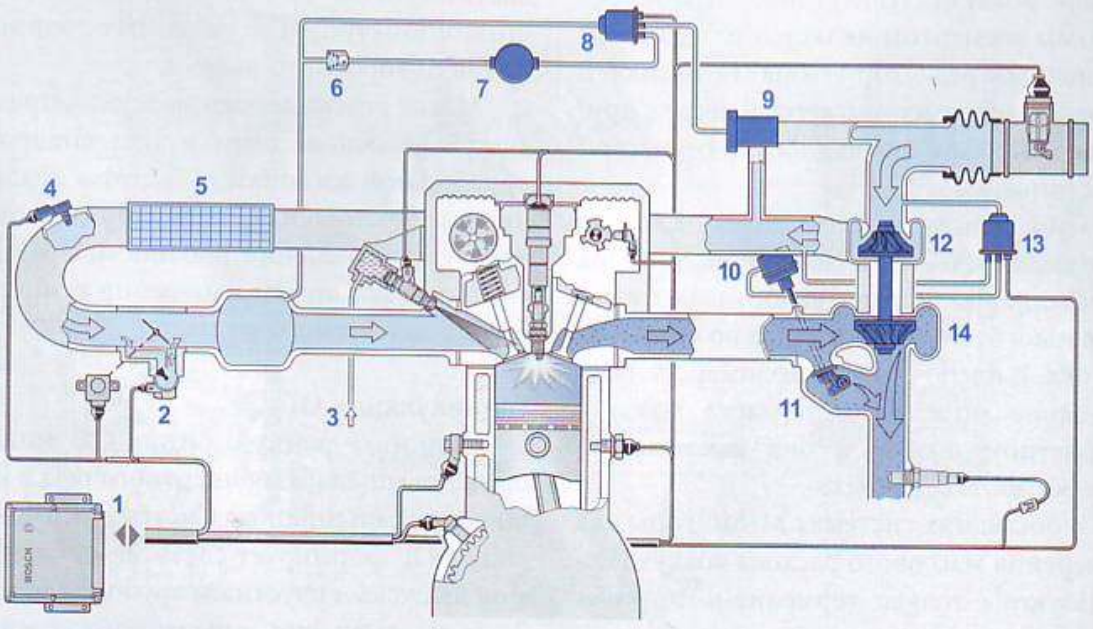


Рис. 3
1. Блок управления двигателем
2. Дроссельная заслонка с регулятором холостого хода и датчиком углового положения дроссельной заслонки
3. Подача топлива
4. Датчик давления наддува и температуры наддувочного воздуха
5. Воздушный охладитель
6. Обратный клапан
7. Вакуумный аккумулятор
8. Электромагнитный (тактовый) клапан
9. Клапан отклонения потока воздуха (клапан сброса)
10. Клапан регулировки давления наддува
11. Обводной (байпасный) канал
12. Компрессор турбонагнетателя
13. Электромагнитный (тактовый) клапан
14. Турбина турбонагнетателя ОГ

так что ОГ могут вращать турбину 14. Компрессор 12, рабочее колесо которого расположено на общем валу с турбиной, сжимает всасываемый воздух и за счет этого повышает наполнение цилиндров. Воздух, нагретый в результате этого сжатия, проходит через промежуточный охладитель 5 для нового снижения его температуры.

Для того чтобы избежать компрессорного сжатия и, следовательно, возникновения мешающих шумов или даже повреждения компрессора, когда дроссельная заслонка 2 закрыта, происходит открытие байпасного канала в компрессоре с помощью воздухоотклоняющего клапана 9.

Давление наддува должно регулироваться в соответствии с режимом работы двигателя. При большой частоте вращения коленчатого вала и высокой потребности в крутящем моменте массовый поток ОГ настолько велик, что без дополнительных мер двигатель может быть перегружен. Поэтому через выпускной клапан (выход ОГ, поз. 11) часть этого потока массы ОГ пропускается мимо турбины. За счет этого ограничивается частота вращения турбины и, следовательно, давление наддува во впускном трубопроводе. Поперечное сечение байпасного канала регулируется пневматическим клапаном управления давлением наддува 10. Этот клапан управляется тактовым клапаном 13, который, в свою очередь, управляется сигналом ШИМ (широтно-импульсная модуляция) от блока управления двигателем.

Регулировка фаз газораспределения за счет поворота распределительного вала

Благодаря адаптации фаз газораспределения к режиму работы двигателя увеличивается крутящий момент и снижается токсичность ОГ.

Системы с изменяемыми фазами газораспределения распределительного вала могут варьировать время открытия-закрытия впускных клапанов. Путем изменения фазы открытия впускных клапанов за счет изменения положения распределительного вала относительно коленчатого можно регулировать фазу перекрытия клапанов и, следовательно, долю инертных газов в камере сгорания.

Узлы топливной системы

Топливный насос с электроприводом

Электроприводный топливный насос (EKP) (32, рис.1) прокачивает топливо из топливного бака (29, рис.1) через топливопроводы (31, рис.1) под давлением, определяемым регулятором. В старых системах впрыска насос монтировался вне топливного бака в топливопроводе, в новых системах он интегрирован в модуль, встроенный в топливный бак.

Топливный фильтр

Топливный фильтр задерживает загрязнения, содержащиеся в топливе, защищая от них узлы системы впрыска. Топливный фильтр располагается в топливопроводе за пределами топливного бака, но он может также интегрироваться в модуль внутри топливного бака.

Регулятор давления топлива

Регулятор давления топлива устанавливает в топливной системе давление определенной величины, возвращая избыточное количество поданного топлива по рециркуляционному топливопроводу обратно в топливный бак.

В топливных системах с рециркуляцией регулятор давления топлива, как правило, установлен на топливной рампе. Воздушная трубка, которая ведет к впускному трубопроводу, создает постоянную разность в давлениях между форсунками и впускным трубопроводом.

В топливных системах без возвратного трубопровода (RLFS) постоянное давление в системе подачи топлива поддерживается относительно атмосферного. Изменяющаяся разность между давлением топлива и давлением во впускном трубопроводе требует ввода коррекций при расчете времени впрыска. В этих системах регулятор давления топлива встроен в топливный бак.

В зависимости от конструкции системы впрыска колебания давления могут демпфироваться с помощью уменьшителя давления топлива.

Система снижения эмиссии паров топлива

Эта система должна способствовать тому, чтобы пары топлива не попадали в атмосферный воздух. Топливные пары, испаряющиеся из топливного бака, улавливаются в заполненном активированным углем абсорбере (1, рис. 1), который является частью системы снижения эмиссии и улавливания паров топлива. Накапливающиеся в этом абсорбере пары топлива захватываются всасываемым через запорный клапан (2, рис. 1) воздухом и направляются во впускной трубопровод, а затем попадают в цилиндры двигателя. За счет этого активированный уголь снова восстанавливается (регенерируется). Блок управления двигателем регулирует регенерируемый поток посредством клапана регенерации (3, рис. 1) в зависимости от режима работы двигателя.

Топливная рампа

Топливо, поданное насосом, поступает в топливную рампу (9, рис. 1), на которой закреплены форсунки.

Электромагнитные форсунки

Электромагнитные форсунки (10, рис. 1) входят во впускной трубопровод таким образом, что струя впрыска попадает в зону перед тарелкой или непосредственно на тарелку впускного клапана (в некоторых случаях также на несколько впускных клапанов). Здесь во впускном трубопроводе топливо вместе со всасываемым воздухом образует рабочую смесь. Каждый цилиндр снабжен форсункой.

Форсунки управляются блоком управления двигателем в тактовом режиме. Продолжительность сигналов на впрыск определяет количество впрыскиваемого топлива. В зависимости от типа впрыска, форсунки работают одновременно или по отдельности. В новых разработках применяется только последовательное или индивидуальное впрыскивание топлива для каждого цилиндра. В каждый цилиндр впрыскивается точно дозированное количество топлива в самый благоприятный для этого момент.

Модули задающих каскадов интегрированы в блок управления.

Элементы системы зажигания

Катушка зажигания

Катушка зажигания накапливает энергию зажигания, необходимую для воспламенения рабочей смеси, и генерирует высокое напряжение (потребное напряжение зажигания), необходимое для создания искрового разряда на свече зажигания.

В системе M-Motronic катушка зажигания (12, рис.1) крепится непосредственно к свече зажигания. Речь идет о системе зажигания с так называемым неподвижным распределением зажигания и об одноискровых катушках зажигания, обслуживающих каждый цилиндр, обеспечивая генерирование высокого напряжения. Распространены также системы с двухискровыми катушками зажигания, в которых две свечи зажигания обслуживаются одной общей катушкой зажигания. Системы только с одной катушкой зажигания требуют применения распределителя высокого напряжения с механическим вращающимся ротором. В современных системах зажигания эти типы распределения уже не применяются.

Свечи зажигания

Свеча зажигания за счет образования искрового разряда между электродами воспламеняет рабочую смесь, находящуюся в цилиндре.

4 Катушки зажигания для систем Motronic с неподвижным распределением напряжения (примеры)

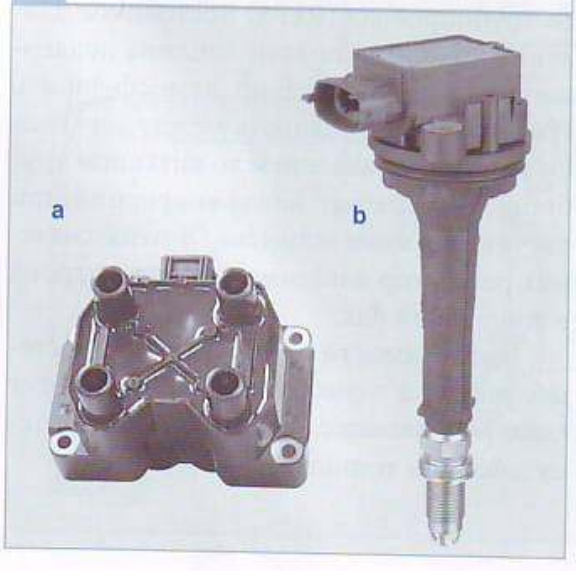


Рис. 4
a — катушка зажигания типа 2×2: модуль с двумя двухискровыми катушками зажигания, т. е. четырьмя клеммами высокого напряжения для четырех свечей зажигания (подсоединение свечей зажигания осуществляется через высоковольтные провода)
b — катушка зажигания типа 1×1: одноискровая катушка зажигания (вариант компактной катушки зажигания), установленная на свече зажигания

Элементы системы очистки ОГ

Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор ОГ

Этот нейтрализатор преобразовывает образующиеся в результате сгорания рабочей смеси токсичные вещества — оксид углерода (CO), углеводороды (CH) и оксиды азота (NO_X) в водяной пар (H_2O), азот (N_2) и углекислый газ (CO_2).

Лямбда-зонды

Лямбда-зонд (20, рис. 1) измеряет содержание кислорода в ОГ и таким образом позволяет сделать выводы о составе рабочей смеси в цилиндрах двигателя. Блок управления двигателем использует сигнал лямбда-зонда, для того чтобы иметь возможность поддерживать стехиометрическое соотношение топлива и воздуха в смеси ($\lambda = 1$). При таком составе смеси трехкомпонентный каталитический нейтрализатор обладает максимальной эффективностью очистки ОГ от токсичных веществ.

В системах M-Motronic используются исключительно двухточечные лямбда-зонды. В зависимости от системы, за нейтрализатором ОГ может устанавливаться дополнительный лямбда-зонд (33, рис. 1), что повышает эффективность очистки ОГ и обеспечивает контроль за старением каталитического компонента нейтрализатора.

Система подачи дополнительных порций воздуха

Кратковременная подача воздуха в выпускной коллектор после пуска двигателя приводит к добавочному сгоранию несгоревших углеводородов (CH), содержащихся в ОГ. Эта мера снижает эмиссию углеводородов. С другой стороны, она сокращает время нагревания каталитического нейтрализатора, и он быстрее достигает своей рабочей температуры.

Этот (дополнительный) воздух нагнетается вспомогательным насосом (4, рис. 1). При этом подающий воздухопровод при неработающем насосе перекрыт клапаном подачи дополнительного воздуха (5, рис. 1). Для этого блок управления двигателем управляет работой этих обоих элементов.

Устройства бортовой диагностики

В калифорнийских нормах по предельной токсичности ОГ (CARB) регламентируются особенно строгие требования к диагностике системы Motronic. Некоторые системы, обеспечивающие снижение токсичности ОГ, могут диагностироваться только с помощью дополнительных устройств.

Рабочие характеристики

Наряду с уже упоминавшимися датчиками, рабочие характеристики регистрируются еще целым рядом дополнительных датчиков. В качестве примера можно привести:

- датчик частоты вращения коленчатого вала (22, рис. 1) для определения положения коленчатого вала и расчета частоты вращения коленчатого вала двигателя;
- фазный датчик (13, рис. 1) для определения положения фазы (т. е. фазы рабочего цикла двигателя) распределительного вала;
- датчики температуры охлаждающей жидкости (19, рис. 1) и температуры всасываемого воздуха для расчета поправок, зависящих от этих значений температуры;
- датчик детонации (18, рис. 1) для определения детонации двигателя.

Вспомогательные системы

Вентилятор двигателя

В зависимости от температуры двигателя, блок управления включает вентилятор в системе охлаждения для дополнительного охлаждения двигателя и снижает его температуру. Вентилятор двигателя, в зависимости от системы, может также работать с несколькими скоростями.

В обычных системах управления работа вентилятора управляется термостатом.

Компрессор в устройстве кондиционирования воздуха

Для привода компрессора этого устройства требуется большая мощность, которая поступает от двигателя. Поэтому эта часть мощности в трансмиссии автомобиля не используется. В ситуациях, когда необходима полная мощность двигателя

(например, во время обгона при полной нагрузке), система управления двигателем может на время отключать этот компрессор.

Системы связи

Интерфейс бортового контроллера связи (CAN)

В зависимости от комплектации автомобиля, система M-Motronic может оснащаться бортовым контроллером связи (CAN). Через интерфейс CAN (28, рис. 1) может осуществляться обмен данными с другими электронными системами управления (например, с блоком управления трансмиссией, антиблокировочной системой тормозов и т. д.).

Лампа-индикатор неисправностей (MIL)

Эта лампа (25, рис. 1) встроена в панель приборов автомобиля или в группу приборов на приборном щитке автомобиля. Она информирует водителя о сбое в работе системы Motronic.

Сигнал о расходе топлива

Система Motronic на базе времени впрыскивания рассчитывает расход топлива и передает эту информацию в виде цифровых сигналов в бортовой компьютер. Информация о расходе топлива может передаваться через интерфейс бортового контроллера связи (CAN).

Диагностический интерфейс

Такой интерфейс применяется для подключения приборов (например, KTS500) для тестирования системы в сервисных центрах или автомастерских. Эти приборы могут считывать информацию о всех сбоях в работе, сохраняющуюся в памяти системы диагностики при работе двигателя.

Ранее было возможно считывание информации о сбоях в работе только диагностической лампой посредством мигающего кода. Теперь информация может считываться с помощью тестера двигателя с выводом информационного текста на дисплей. В автомобилях, оснащенных бортовой системой диагностики OBD II, сканирующий прибор «Scan-Tool» (тестер) может считывать данные, относящиеся к выходу из строя системы снижения токсичности ОГ, включая данные об «условиях окружающей среды», которые существовали в момент возникновения этих неисправностей.

Система ME-Motronic

Электронное управление двигателем с электронным управлением дроссельной заслонкой (EGAS) отличается тем, что здесь отсутствует механическое соединение между педалью газа и дроссельной заслонкой (рычажный механизм или тросик). Положение педали газа, соответствующее желанию водителя, определяется потенциометром на педали газа (датчик хода педали в модуле педали газа 23, рис. 1). Эта информация поступает в блок 12 управления двигателем в форме аналогового сигнала напряжения. В блоке управления генерируются сигналы, которые регулируют степень открытия электроуправляемой дроссельной заслонки 3 таким образом, чтобы двигатель создавал необходимую величину крутящего момента.

Система ME (дальнейший этап совершенствования системы Motronic), регулирующая мощность двигателя указанным способом, впервые была введена фирмой Bosch в 1986 г. Тогда, в дополнение к блоку управления двигателем, эта система имела отдельный блок управления мощностными показателями двигателя.

Повышение плотности монтажа электронных схем позволило объединить функции системы Motronic и управления мощностью двигателя в одном блоке управления (1994 г.). Но тем не менее все еще оставалось деление функций между двумя микроконтроллерами. Следующий шаг был сделан в 1998 г. с появлением нового поколения системы Motronic ME7, которое включает все функции управления двигателем в одном микроконтроллере. Этот шаг стал возможен благодаря все более высокой расчетной производительности микрочипов. Чип, используемый в системе ME7, представляет собой 16-битный процессор.

На рис. 1 изображен пример системы ME-Motronic. Объем системы определен требованиями к мощности двигателя, а также требованиями действующего в настоящее время закона об отработанных газах и диагностике.

Существенными отличительными признаками системы ME-Motronic по сравнению с системой M-Motronic являются электронное управление дроссельной заслонкой и функциональная структура применяемого программного обеспечения на базе величины крутящего момента.

Элементы системы воздухоподачи

Дроссельная заслонка

В системе ME-Motronic положение дроссельной заслонки регулируется электрически посредством серводвигателя, интегрированного в дроссельное устройство (3, рис. 1), т. е. управление мощностью двигателя осуществляется электронным путем. Благодаря этому массовый расход воздуха во впускном трубопроводе может устанавливаться независимо от положения педали газа. Положение этой педали, определяемое датчиком 23, служит в качестве входного параметра для блока управления двигателем, являясь мерой желания водителя в отношении создания потребного крутящего момента.

На режиме холостого хода дроссельная заслонка открывается на такой угол, что устанавливается требуемая частота вращения коленчатого вала на холостом ходу. Дополнительный байпасный воздушный канал с помощью регулятора холостого хода, который имеется в системе M-Motronic, здесь не требуется.

Датчики определения нагрузки двигателя

В качестве таких датчиков в системе ME-Motronic применяются:

- термоанемометрический пленочный расходомер массы воздуха (HFM) (2, рис. 1) и/или
- датчик давления во впускном трубопроводе (5, рис. 1).

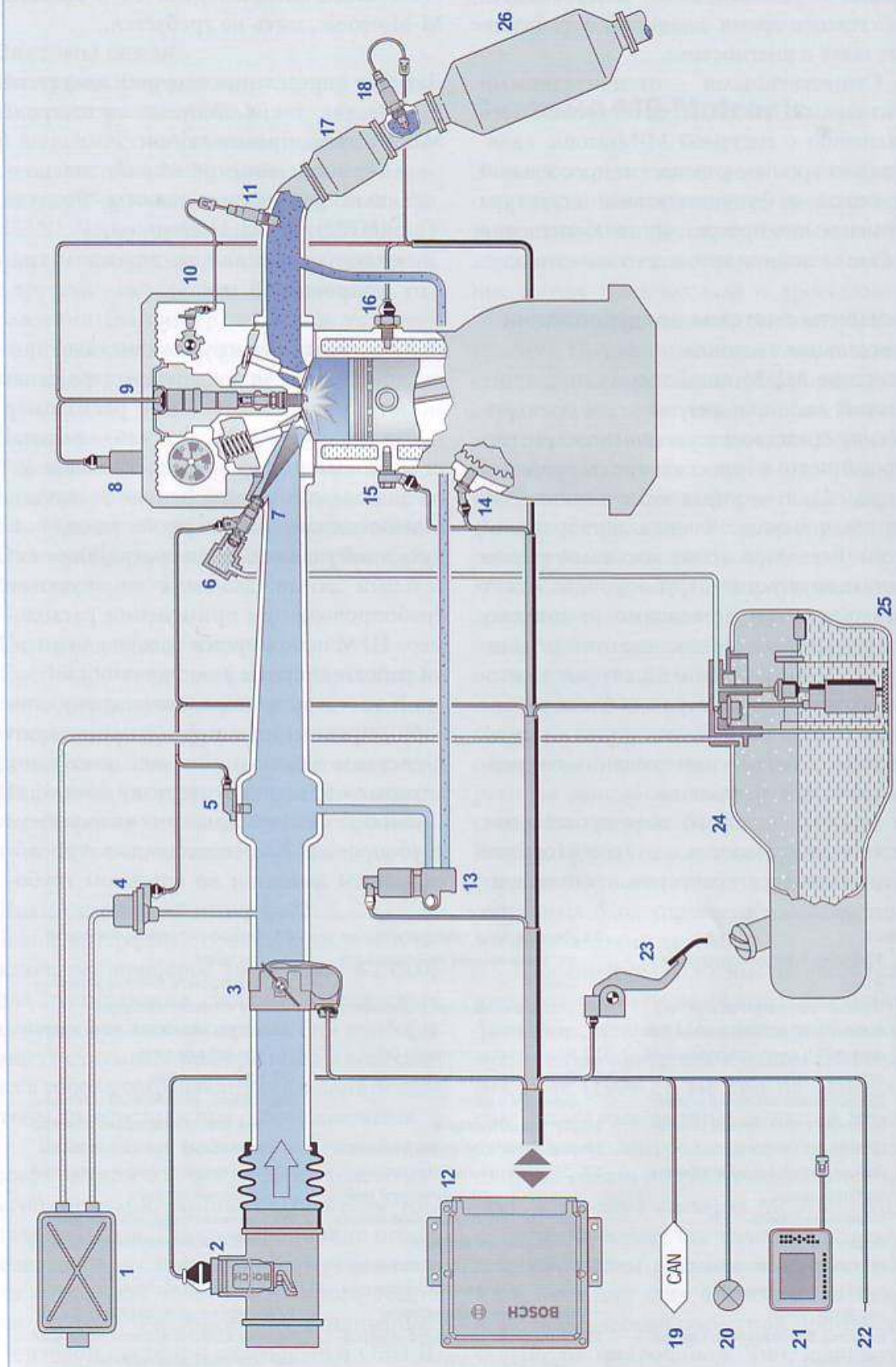
Для определения нагрузки двигателя преимущественно используется термоанемометрический пленочный расходомер массы воздуха (HFM), который определяет массовый расход воздуха, всасываемого двигателем. На его основе в системе Motronic производится расчет массы воздуха, поступающей в цилиндр. Дополнительный датчик давления во впускном трубопроводе при применении расходомера HFM используется только для оценки работы системы рециркуляции ОГ.

В качестве альтернативы этому способу определения нагрузки существуют p-системы (здесь p означает давление), которые определяют нагрузку двигателя с помощью датчика давления во впускном трубопроводе. На основе данных о преобладающем давлении во впускном трубо-

Рис. 1
1. Абсорбер с активированным углем
2. Термоанемометрический пленочный расходомер массы воздуха (HFM) с интегрированным датчиком температуры
3. Дроссельная заслонка с электронным управлением (EGAS)
4. Клапан регенерации
5. Датчик давления во впускном трубопроводе
6. Топливная рампа
7. Форсунка
8. Исполнительные элементы и датчики изменяемого газораспределения
9. Катушка зажигания со свечой зажигания
10. Фазный датчик поворота распределительного вала
11. Лямбда-зонд перед основным каталитическим нейтрализатором ОГ
12. Электронный блок управления двигателем
13. Клапан рециркуляции ОГ
14. Датчик частоты вращения коленчатого вала
15. Датчик детонации
16. Датчик температуры двигателя
17. Дополнительный (трехкомпонентный) каталитический нейтрализатор (трехходовой каталитический конвертор)
18. Лямбда-зонд, установленный за дополнительным каталитическим нейтрализатором
19. Интерфейс бортового контроллера связи (CAN)
20. Лампа-индикатор неисправностей
21. Интерфейс диагностической системы
22. Интерфейс с блоком управления иммобилайзером
23. Модульная педаль газа с датчиком хода педали
24. Топливный бак
25. Модуль, встроенный в топливный бак, содержащий электроприводной топливный насос, топливный фильтр и регулятор давления топлива
26. Главный (трехкомпонентный) каталитический нейтрализатор

Конфигурация системы бортовой диагностики соответствует требованиям EOBD (Европейской системы бортовой диагностики).

1 Элементы электронного управления работой двигателя в системе ME-Motronic



проводе, температуре всасываемого воздуха и частоте вращения коленчатого вала можно также рассчитать массу воздуха, находящегося в цилиндре двигателя для участия в процессе сгорания.
В двигателях с турбонаддувом необходим дополнительный датчик, который определяет давление наддува.

Элементы системы топливоподачи

Система топливоподачи ME-Motronic не отличается от системы топливоподачи M-Motronic. Управление впрыскиванием топлива через форсунки 7 обеспечивается за счет последовательных или индивидуальных для каждого цилиндра моментов впрыскивания топлива, за исключением некоторых условий работы двигателя.

Элементы системы зажигания

В системе ME-Motronic применяется исключительно неподвижное распределение напряжения с одноискровыми (9, рис. 1) или двухискровыми катушками зажигания.

Устройства очистки ОГ

Устройства очистки ОГ в системе ME-Motronic, так же как в системе M-Motronic, включают:

- один или два трехкомпонентных каталитических нейтрализатора (дополнительный 17 и главный 26);
- лямбда-зонды до (11) и после (13) каталитического нейтрализатора.

Могут также использоваться и другие элементы, такие как:

- система подачи дополнительных порций воздуха, содержащая насос и клапан подачи воздуха для ускоренного нагревания каталитического нейтрализатора;
- датчик температуры ОГ в двигателях с турбонаддувом (тепловая защита конструктивных элементов).

На рис. 1 показаны дополнительный каталитический нейтрализатор, установленный вблизи двигателя, и расположенный за этим нейтрализатором главный каталитический нейтрализатор. Для измерения концентрации кислорода в ОГ перед каталитическим нейтрализатором наряду с двухточечными зондами используются также широкополосные лямбда-зонды (для управления работой двигателя на базе данных от лямбда-регулировок). Благодаря этому обеспечивается лучшая динамическая реакция на работу замкнутого контура управления. Лямбда-зонды, расположенные за каталитическим нейтрализатором и использующиеся по двухзондовой схеме диагностики, всегда являются двухточечными.

Способ контроля

На режиме эксплуатации ни при каких обстоятельствах не должны возникать такие условия работы двигателя, которые могут приводить к нежелательному для водителя ускорению автомобиля. Поэтому к концепции электронного управления мощностью двигателя предъявляются высокие требования. Для этого блок управления содержит, кроме главного процессора, дополнительный процессор контроля. Процессоры контролируют работу друг друга.

Структура крутящего момента

Система управления на базе величины крутящего момента впервые была введена в системе ME-Motronic. Все требования к мощности (рис. 2) двигателя всегда преобразуются в необходимый установочный крутящий момент. В блоке-координаторе крутящего момента эти требования от внутренних и внешних потребителей, а также другие характеристики, влияющие на КПД двигателя, ранжируются по степени их воздействия на двигатель. Результирующий необходимый крутящий момент делится на составляющие, пропорциональные потребностям в системах воздухоподачи, топливоподачи и зажигания.

Составляющая, относящаяся к воздухоподаче, реализуется путем изменения степени открытия дроссельной заслонки, а в двигателях с наддувом дополнительно путем управления открытием байпасного клапана. Составляющая, относящаяся к системе топливоподачи, определяется,

в основном, количеством впрыснутого топлива с учетом вентиляции топливного бака (системы улавливания и рециркуляции топливных паров).

Регулировка крутящего момента осуществляется по двум каналам. В воздушном (главном) канале на базе потребного крутящего момента рассчитывается необходимый заряд смеси в цилиндре. На базе этого заряда вычисляется требуемый угол поворота дроссельной заслонки. Масса впрыскиваемого топлива при жестко заданном значении коэффициента избытка воздуха зависит от наполнения цилиндра рабочей смесью. С помощью воздушного канала осуществляются только постепенные изменения крутящего момента (например, интегральный компонент регулировки частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу).

Канал, функционирующий синхронно с коленчатым, использует информацию о регистрируемом в данный момент заряде цилиндра, что позволяет рассчитать крутящий момент, максимально возможный для этого рабочего режима. Если потребный крутящий момент меньше максимально возможного, то быстрое его снижение (например, дифференциальный компонент регулировки частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу, снижение крутящего момента при переключении передач в трансмиссии, демпфирование рывков) может быть достигнуто путем задержки момента зажигания или путем отключения одного или нескольких цилиндров (отсечка впрыскивания топлива, например, при включении противобуксовочной системы или при работе двигателя на режиме принудительного холостого хода).

В существовавших до сих пор системах M-Motronic снижение крутящего момента (например, при переключении передач в автоматической трансмиссии) осуществляется непосредственно каждой функцией, например, изменением угла опережения зажигания в сторону запаздывания. Не осуществлялась координация отдельных требований с командными сигналами.

2 Структура системы ME-Motronic, базирующейся на изменении величины крутящего момента

Система MED-Motronic

С внедрением непосредственного впрыскивания топлива на двигателях с искровым зажиганием потребовалась новая концепция управления этими двигателями. Форсунка должна обеспечивать как гомогенное распределение рабочей смеси (гомогенный режим работы) — как это реализовано в системах M- и ME-Motronic при впрыскивании топлива во впускной трубопровод — так и ее локально ограниченное послойное распределение в камере сгорания. Гомогенное распределение смеси достигается путем впрыскивания топлива во время такта впуска, а послойное распределение — путем впрыскивания топлива непосредственно перед концом такта сжатия, незадолго до момента зажигания. Лишь при этом послойном распределении смеси, которое устанавливается в диапазоне средних значений частоты вращения коленчатого вала и крутящего момента, может проявляться преимущество непосредственного впрыскивания топлива с точки зрения снижения расхода топлива. Но существуют также системы с непосредственным впрыскиванием топлива, при которых двигатель работает на гомогенной стехиометрической смеси ($\lambda = 1$) на всем рабочем диапазоне двигателя.

Система управления двигателем, выполняющая эти требования, носит название MED-Motronic. По сравнению с системой ME-Motronic, система MED-Motronic требует намного большей расчетной мощности.

На рис. 1 показан пример системы MED-Motronic. Серийное использование такой системы началось в 2000 г. на автомобиле Volkswagen Lupo.

Основное различие между системами MED- и ME-Motronic заключается в конструкции топливной системы, а также системы выпуска с накопительным каталитическим нейтрализатором NO_X. Далее основной акцент будет делаться на различиях этих двух типов систем.

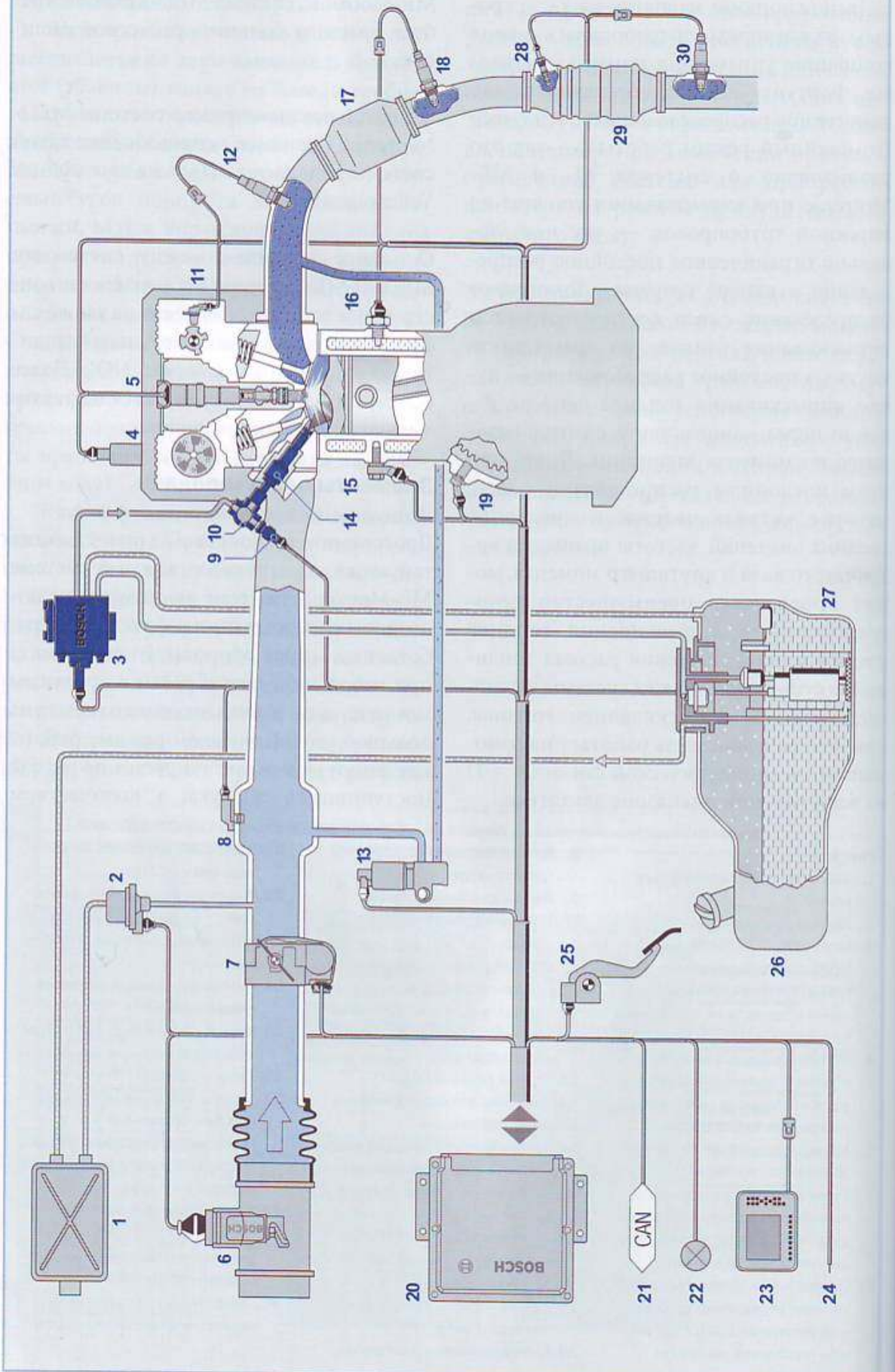
Элементы воздухоподачи

Дроссельная заслонка

Дроссельное устройство 7 (рис. 1) имеет такую же конструкцию, как и в системе ME-Motronic. Но если двигатель при послойном распределении рабочей смеси работает на малых оборотах (< 3000 мин$^{-1}$) при небольшой потребности в крутящем моменте, дроссельная заслонка открыта на большой угол. При таком режиме работы крутящий момент регулируется не массой поступившего воздуха, а количеством

Рис. 1
1. Абсорбер с активированным углем
2. Клапан регенерации
3. Насос высокого давления типа HDP2 с интегрированным электромагнитным клапаном управления количеством подаваемого топлива
4. Исполнительные элементы и датчики изменяемых фаз газораспределения за счет поворота распределительного вала
5. Катушка зажигания со свечой зажигания
6. Термоанемометрический плёночный расходомер массы воздуха (HFM) с интегрированным датчиком температуры
7. Дроссельное устройство (электронное управление дроссельной заслонкой EGAS с датчиком положения заслонки)
8. Датчик давления во впускном трубопроводе
9. Датчик давления топлива
10. Топливная рампа высокого давления
11. Фазный датчик положения распределительного вала
12. Лямбда-зонд перед дополнительным каталитическим нейтрализатором
13. Клапан рециркуляции ОГ
14. Форсунка высокого давления
15. Датчик детонации
16. Датчик температуры двигателя
17. Дополнительный каталитический нейтрализатор (трехкомпонентный)
18. Лямбда-зонд за дополнительным каталитическим нейтрализатором (по заказу)
19. Датчик частоты вращения коленчатого вала
20. Блок управления двигателем
21. Интерфейс бортового контроллера связи (CAN)
22. Лампа-индикатор неисправностей
23. Интерфейс системы бортовой диагностики
24. Интерфейс блока управления иммобилайзером
25. Модуль педали газа с датчиком хода педали
26. Топливный бак
27. Модуль, встроенный в топливный бак, содержащий топливный электроприводный насос, топливный фильтр и регулятор давления топлива
28. Датчик температуры ОГ
29. Главный каталитический нейтрализатор (трехкомпонентный с накопителем NO_x)
30. Лямбда-зонд за главным каталитическим нейтрализатором

1 Элементы электронного управления работой двигателя в системе MED-Motronic



впрыснутого топлива. Поэтому наполнение цилиндра воздухом не соответствует величине выходного крутящего момента.

Датчики для определения наполнения цилиндров воздухом

Определение наполнения в двигателе с непосредственным впрыскиванием топлива происходит более сложным способом, чем при впрыскивании топлива во впускной трубопровод, т. к. для снижения эмиссии NO_X при послойном распределении заряда смеси используется рециркуляция ОГ. Для того чтобы использовать преимущество малого расхода топлива и сохранять низкий уровень токсичности ОГ, необходимы точный контроль и измерение массового расхода воздуха и возвращенных обратно ОГ. Поэтому в двигателях с непосредственным впрыскиванием топлива используются два датчика наполнения цилиндров, с помощью которых может определяться массовый расход воздуха и ОГ. Для этого существуют две возможности с применением: термоанемометрического плёночного расходомера массы воздуха (HFM) и датчика давления во впускном трубопроводе либо датчика давления во впускном трубопроводе и датчика атмосферного давления.

Термоанемометрический плёночный расходомер массы воздуха (HFM) и датчик давления во впускном трубопроводе

С помощью расходомера HFM (6, рис. 1) определяется масса свежего воздуха, поступающего во впускной трубопровод. Эта информация может использоваться для определения парциального давления воздуха во впускном трубопроводе. Разность между замеренным давлением во впускном трубопроводе, измеренным с помощью датчика давления (8, рис. 1) , и парциальным давлением воздуха позволяет сделать вывод о массе обратного потока ОГ (рециркуляция ОГ).

В условиях работы на обедненной рабочей смеси рециркулирующие ОГ содержат часть несгоревшего кислорода, которая может быть определена на основании измерений концентрации кислорода в ОГ (лямбда-зонд).

Датчик давления во впускном трубопроводе и датчик атмосферного давления

С помощью соотношения давления над дроссельной заслонкой и температуры всасываемого воздуха можно на базе значения угла поворота дроссельной заслонки рассчитать массовый расход свежего воздуха, проходящего через дроссельную заслонку. С помощью того же алгоритма вычислений определяется массовый расход рециркулирующих ОГ через клапан системы рециркуляции ОГ путем использования данных о давлении обратного потока ОГ. Для этого необходима точная информация о положении клапана системы рециркуляции ОГ.

В обеих системах для определения температуры всасываемого воздуха используются датчики температуры. При наличии расходомера HFM датчик температуры может быть встроен в расходомер, а при использовании отдельного датчика температуры этот датчик должен устанавливаться перед дроссельной заслонкой.

Элементы топливной системы

Топливная система MED-Motronic состоит из контуров низкого и высокого давления. За счет этого система MED-Motronic заметно отличается от ME-Motronic, в которой форсунки подключены к контуру низкого давления. На рис. 2 показана стандартная система непосредственного впрыскивания топлива с одноцилиндровым насосом высокого давления HDP2, с управлением в зависимости от потребности.

В зависимости от требования изготовителя автомобиля, контур низкого давления может быть сконструирован по-разному. Здесь он включает:

- топливный электроприводный насос со встроенным в него клапаном ограничения давления 2 (рис. 2);
- регулятор низкого давления 4;
- запорный клапан 5.

Контур высокого давления включает:

- насос высокого давления 6, который создает давление впрыскивания топлива до 12 МПа;

- клапан 7 управления количеством поступающего от насоса топлива;
- топливную рампу 9, выполняющую роль накопителя для впрыскиваемого топлива;
- датчик давления 11 в топливной рампе, который обеспечивает подачу сигнала (обратная связь) о действительном давлении топлива в топливной рампе;
- клапан ограничения давления в топливной рампе до допустимого максимума.

К топливной рампе подключены форсунки высокого давления (12, рис. 2). К этим форсункам, по сравнению с форсунками, применяемыми в двигателях с впрыскиванием во впускной трубопровод, предъявляются более строгие требования. Существенным моментом является то, что количество топлива должно впрыскиваться в течение очень короткого времени. Для этого требуется сложный управляющий сигнал, который генерируется управляющим каскадом, интегрированным в блоке управления (20, рис. 1).

Элементы системы зажигания

Высокое напряжение, необходимое для получения искрового разряда, генерируется в системе MED-Motronic одноискровыми катушками зажигания, которые устанавливаются на свече зажигания (5, рис. 1). Для того чтобы можно было воспламенить рабочую смесь, катушка зажигания должна генерировать более высокую энергию, чем в системах с впрыскиванием топлива во впускной трубопровод. Поэтому здесь нужны специальные катушки зажигания.

Элементы системы очистки ОГ

Очистка ОГ в системе MED-Motronic осуществляется с помощью:

- дополнительного трехкомпонентного каталитического нейтрализатора (17, рис. 1), установленного рядом с двигателем;
- главного трехкомпонентного каталитического нейтрализатора (29), содержащего накопитель NO_X и установленного за дополнительным нейтрализатором в выпускном тракте;
- лямбда-зондов, установленных перед дополнительным нейтрализатором (12) и за главным нейтрализатором (30), а также из датчика температуры ОГ (28).

В системе MED-Motronic может осуществляться подача дополнительных порций воздуха, т. к. за счет специфики режима работы двигателя происходит быстрое нагревание выпускного тракта.

В отличие от впрыскивания топлива во впускной трубопровод, системы непосредственного впрыскивания топлива нуждаются в использовании каталитиче-

2 Схематическое изображение топливной системы двигателя с непосредственным впрыскиванием топлива при использовании одноцилиндрового насоса высокого давления HDP2

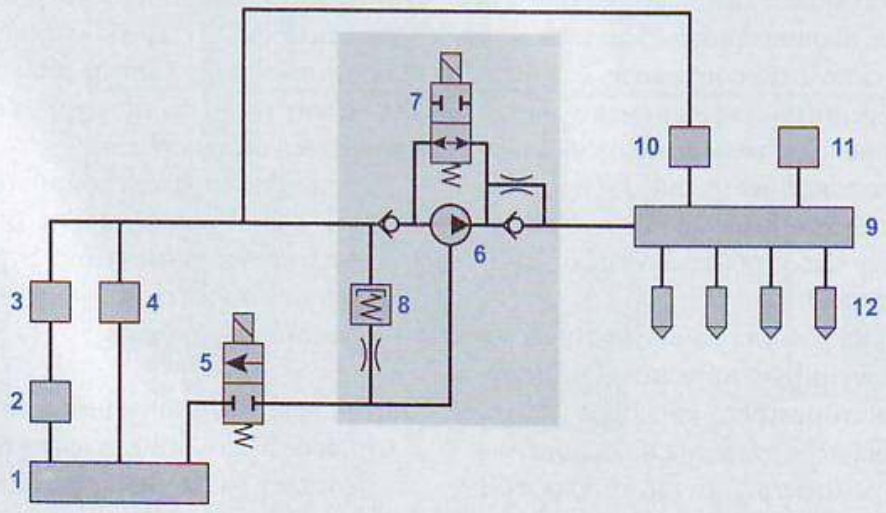
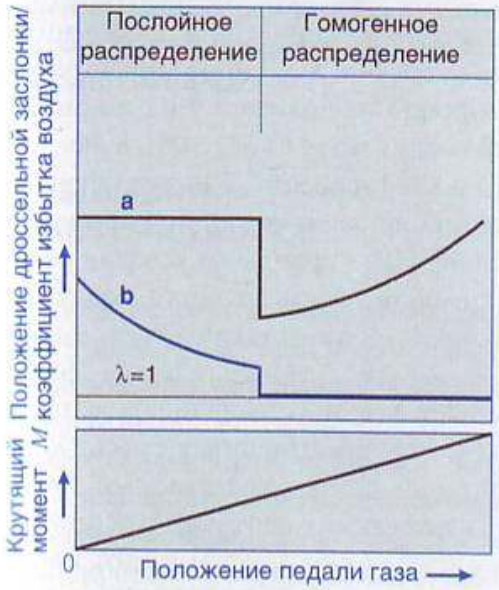


Рис. 2

1. Топливный бак
2. Топливный электроприводный насос
3. Топливный фильтр
4. Регулятор пониженного давления
5. Запорный клапан
6. Одноцилиндровый топливный насос высокого давления HDP2
7. Клапан управления количеством поступающего от насоса топлива
8. Устройство для снижения давления топлива
9. Топливная рампа
10. Клапан ограничения давления
11. Датчик давления в топливной рампе
12. Форсунки высокого давления

ского нейтрализатора с накопителем NO_X. Он накапливает оксиды азота, не подвергающиеся нейтрализации в трехкомпонентном каталитическом нейтрализаторе, когда двигатель работает на смеси с избытком воздуха. По мере возрастания нагрузки на этот нейтрализатор снижается его способность к химическому связыванию оксидов азота. Накопитель должен подвергаться регенерации. Для этого система MED-Motronic переключается на режим гомогенной смеси с избытком топлива, при котором оксиды азота выпускаются из накопителя и химически нейтрализуются в трехкомпонентном каталитическом нейтрализаторе.

3 Изменение условий распределения рабочей смеси — с послойного на гомогенное



Так как двигатель с непосредственным впрыскиванием топлива при послойном распределении рабочей смеси работает в целом на обедненной смеси, то для измерения состава ОГ крайне необходим широкополосный лямбда-зонд, устанавливаемый перед каталитическим нейтрализатором.

Рабочие характеристики

В дополнение к известным рабочим характеристикам по системам M- и ME-Motronic, система MED-Motronic допол-

4 Выбор режима работы

Координация режимов работы

Приоритет	Функция
1	Концепция контроля
2	Защита элементов
3	Функции аварийного режима работы
4	Регулируемые крутящий момент и предельные значения концентрации кислорода в ОГ
5	Нагревание каталитического нейтрализатора
6	Регенерация NO_x в каталитическом нейтрализаторе
7	Регенерация SO_x в каталитическом нейтрализаторе
8	Пуск/прогрев двигателя
9	Контроль за функционированием системы диагностики
10	Диаграмма режимов работы

Изменение режимов работы

Потребный режим работы → **Функция переключения режимов работы** → Текущий режим работы → например, гомогенная, гомогенно-обедненная смесь, послойное распределение смеси, двойное впрыскивание топлива

Функции управления

- Система рециркуляции ОГ
- Вентиляция топливного бака
- Заслонка на пути вихревого движения заряда рабочей смеси
- Электронное управление дроссельной заслонкой (EGAS)

няется функцией регистрации и учета давления в топливной рампе с помощью отдельного датчика.

Выбор режимов работы

Если в двигателях с впрыскиванием топлива во впускной трубопровод возможна их работа только на гомогенной смеси, то при непосредственном впрыскивании топлива возможны и другие типы распределения смеси. В системе MED-Motronic впрыскивание топлива может осуществляться таким образом, что к моменту зажигания в области свечи зажигания образуется слоистая рабочая смесь, а остальная часть камеры сгорания заполнена воздухом и инертными газами (смесь с послойным распределением заряда) или обедненной рабочей смесью (гомогенно-послойная смесь). Дополнительно для определенных рабочих режимов возможно использование гомогенных смесей с защитой от детонации и способа нагревания каталитического нейтрализатора при послойном распределении смеси.

В условиях работы двигателя на гомогенной рабочей смеси управление крутящим моментом осуществляется за счет заданных параметров наполнения цилиндров и коэффициента избытка воздуха (λ). Масса впрыскиваемого топлива регулируется в соответствии с имеющимся зарядом свежего воздуха. В условиях послойного распределения заряда при работе на гомогенно-обедненной рабочей смеси управление крутящим моментом осуществляется на базе данных о массе впрыскиваемого топлива, т. е. на базе продолжительности открытия форсунки. При этом задается масса впрыскиваемого топлива и двигатель работает с максимально возможным ограничением подаваемого воздуха.

Система MED-Motronic имеет координатор режимов работы, который обеспечивает переход на другой режим работы в соответствии с потребностями двигателя на данный момент. Базой выбора режима работы является характеристическая диаграмма. Составляется перечень приоритетных функций (рис. 4), позволяющих оценивать требования к определенным режимам работы. Но до того как зажигание и впрыскивание топлива будут изменены в соответствии с новым режимом работы, включаются в действие импульсы (если это необходимо) функции по управлению рециркуляцией ОГ, вентиляцией топливного бака, заслонкой в тракте подачи заряда и положением дроссельной заслонки.

В условиях послойного распределения заряда смеси при $\lambda > 1$ дроссельная заслонка открыта на большой угол и всасываемый воздух может поступать в двигатель без дросселирования. Крутящий момент пропорционален массе впрыскиваемого топлива. Для перехода на условия работы на гомогенной смеси масса воздуха, на основе которой устанавливается крутящий момент, должна очень быстро уменьшаться и устанавливаться приемлемая стехиометрическая смесь ($\lambda = 1$). Крутящий момент, создаваемый двигателем, изменяется в соответствии с положением педали газа (рис. 3) и этот процесс изменения остается для водителя незамеченным.

Регулирование разрежения в усилителе тормозов

Когда двигатель работает без дросселирования поступающего воздуха, разрежение во впускном трубопроводе оказывается недостаточным для эффективного действия усилителя. С помощью выключателя пониженного давления или датчика давления определяется, есть ли достаточное разрежение в усилителе тормозов. При необходимости может осуществляться переход двигателя на другой режим работы, при котором можно создать необходимое разрежение.

Бортовая диагностика

Существенное отличие рассматриваемой системы от ME-Motronic заключается в необходимости иметь дополнительную диагностику топливной системы высокого давления. При сбоях в работе должен включаться надежный аварийный режим работы и соответствующая информация должна поступать в запоминающее устройство системы.

Датчики

Датчики регистрируют режимы работы (например, частоту вращения коленчатого вала двигателя) и установочные потребные величины (например, положение педали газа). Они преобразовывают физические величины (например, давление) или химические величины (например, концентрация ОГ) в электрические сигналы.

Применение на автомобилях

Датчики и исполнительные элементы образуют интерфейс между электронным блоком управления и самим автомобилем с его сложными системами привода, тормозов, ходовой части и кузова (например, управление двигателем, контроль динамики автомобиля ESP, система кондиционирования воздуха). Как правило, согласующая схема в датчике преобразует сигналы так, чтобы они могли обрабатываться в блоке управления.

Все большее значение в датчиках приобретает область механотроники, в которой механические, электронные элементы и блоки обработки данных работают в тесной взаимосвязи. Они интегрируются в модули (например, композитное уплотнение коленчатого вала с датчиком частоты вращения коленчатого вала).
Размер датчиков становится все меньше. При этом должны повышаться их быстродействие и точность, т. к. их выходные сигналы напрямую влияют на мощность и крутящий момент двигателя, эмиссию ОГ, ходовые качества и безопасность автомобиля. Все это возможно благодаря использованию механотроники.

Выработка сигналов, их аналого-цифровое преобразование, функции самокалибровки, а в перспективе и небольшой микрокомпьютер для дальнейшей обработки сигналов будут интегрироваться в датчик (рис. 1). Это дает следующие преимущества:

- требуется меньший вычислительный ресурс блока управления;
- становится возможным использование единого, гибкого интерфейса для всех датчиков, совместимого с шиной данных;
- прямое многофункциональное использование датчика через шину данных;
- регистрация и учет даже небольших замеряемых количественных параметров;
- простая калибровка датчика.

1 Ступени интеграции датчиков

Рис. 1
SE — датчик(и)
SA — аналоговая выработка сигнала
A/D — аналого-цифровой преобразователь
SG — цифровой электронный блок управления
MC — микрокомпьютер (электронная оценка результатов)

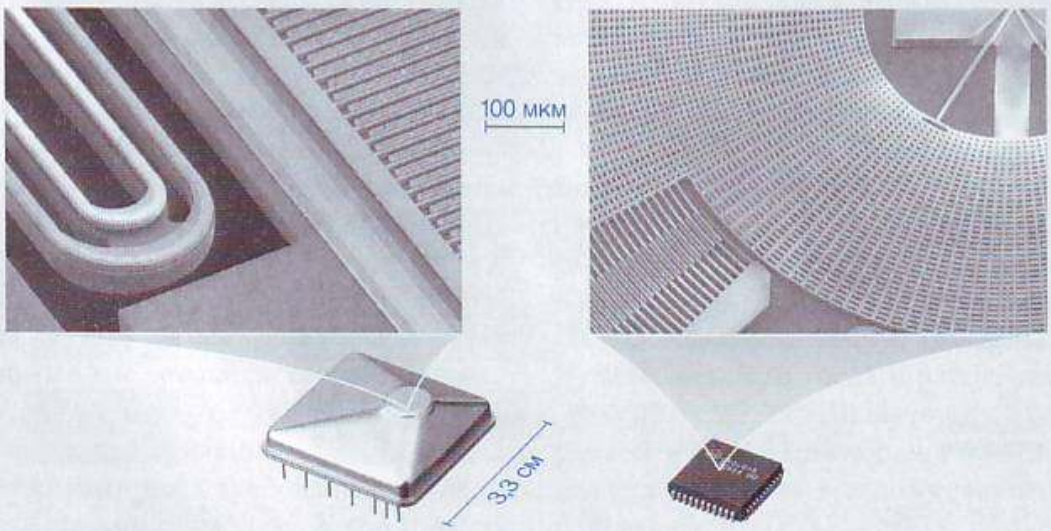
Миниатюризация датчиков

Микромеханика позволяет осуществлять сенсорные функции на минимально возможном пространстве. Обычно механические размеры смещаются в микрометрические диапазоны. Для изготовления миниатюрных, часто филигранных механических конструкций особенно подходящим материалом оказался кремний. За счет технологических процессов, взятых из полупроводниковой техники, механические и электронные функции датчиков могут быть объединены на одном чипе.

В 1994 г. фирма Bosch впервые начала выпуск устройства с микромеханическим измерительным элементом для применения на автомобилях. Этим устройством оказался датчик давления во впускном трубопроводе. Новыми примерами миниатюризации являются микромеханические датчики ускорения и поворота автомобиля вокруг вертикальной оси. Приведенные ниже фотографии наглядно иллюстрируют возможности миниатюризации таких элементов.

Микромеханический датчик ускорения

Микромеханический датчик поворота автомобиля вокруг вертикальной оси



Датчики температуры

Применение

Датчик температуры охлаждающей жидкости системы охлаждения двигателя

Этот датчик установлен в системе охлаждения двигателя (рис. 1), для того чтобы на основе его сигнала осуществлялся расчет температуры охлаждающей жидкости (диапазон измерения от –40 до +130 °C), необходимый для управления работой двигателя.

Датчик температуры воздуха

Этот датчик устанавливается в тракте всасывания воздуха и его сигнал вместе с сигналом от датчика давления наддува применяется для расчета массы всасываемого воздуха. Исходя из этого, необходимые величины для различных контуров управления (например, рециркуляции ОГ, контроля за давлением наддува) могут адаптироваться к температуре воздуха (диапазон измерения от –40 до +120 °C).

Датчик температуры моторного масла

Сигнал от датчика температуры моторного масла используется при расчете интервалов между техническим обслуживанием (диапазон измерения от –40 до +170 °C).

Датчик температуры топлива

Он встроен в контур низкого давления системы топливоподачи дизельного двигателя. С помощью данных о температуре топлива можно рассчитать точное количество впрыскиваемого топлива (диапазон измерения от –40 до +120 °C).

Датчик температуры ОГ

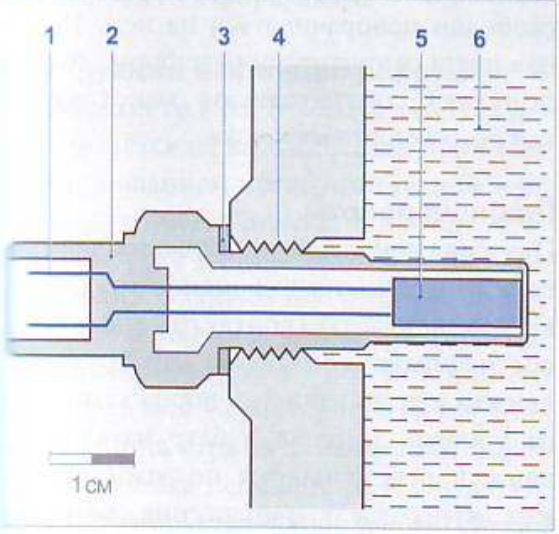
Этот датчик устанавливается в системе выпуска в тех местах, на которые воздействуют максимальные температуры. Он используется в замкнутом контуре управления систем очистки ОГ. Обычно применяются платиновые термисторы (диапазон измерения от –40 до +1000 °C).

Конструкция и принцип работы

Датчики температуры бывают разной конструктивной формы в зависимости от области применения. В корпусе монтируется температурно-зависимый измерительный полупроводниковый резистор, который чаще имеет отрицательный температурный коэффициент (NTC, рис. 2) и реже — положительный (PTC). Если датчик NTC характеризуется резким падением сопротивления при повышении температуры, то датчик PTC, наоборот, — резким увеличением сопротивления в этих условиях.

Измерительный резистор является частью цепи делителя напряжения, на которую подается ток напряжением 5 В. Следовательно, напряжение, измеренное этим резистором, зависит от температуры. Оно подается на аналого-цифровой преобразователь и является мерой температуры на датчике. В памяти блока управления

1 Датчик температуры охлаждающей жидкости системы охлаждения двигателя



2 Характеристическая кривая датчика температуры с отрицательным температурным коэффициентом (NTC)

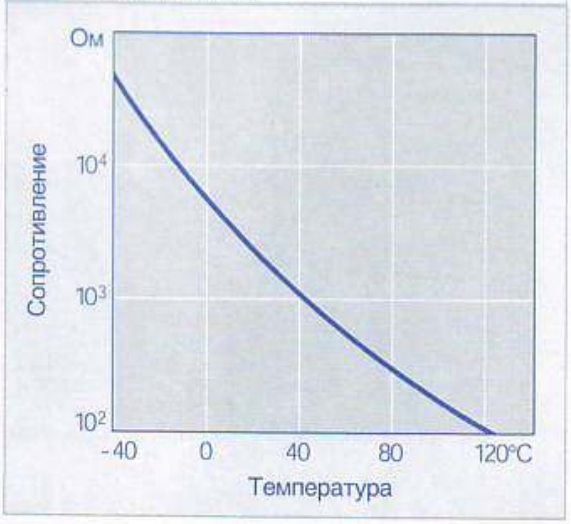


Рис.1
1. Электрические соединения
2. Корпус
3. Уплотнительное кольцо
4. Резьбовое соединение
5. Измерительный резистор (термистор)
6. Охлаждающая жидкость

1 Датчик уровня топлива в топливном баке

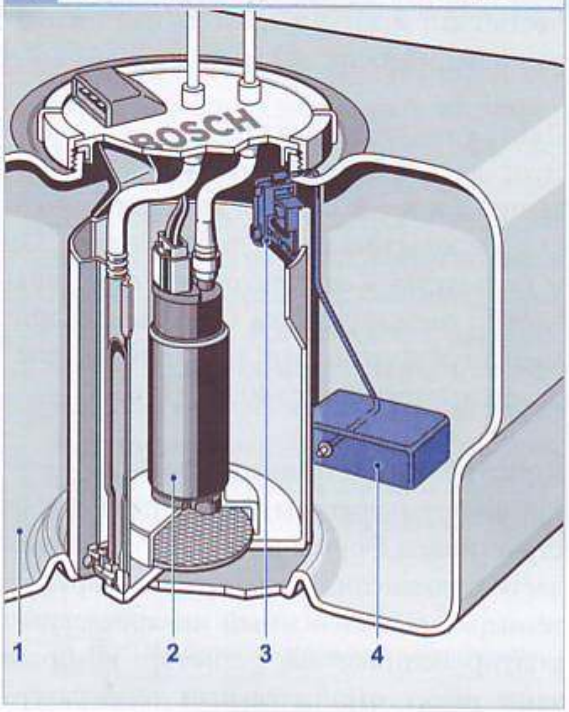


Рис. 1
1. Топливный бак
2. Топливный электроприводный насос
3. Датчик уровня топлива в топливном баке
4. Поплавок

2 Датчик уровня топлива в топливном баке (конструкция)

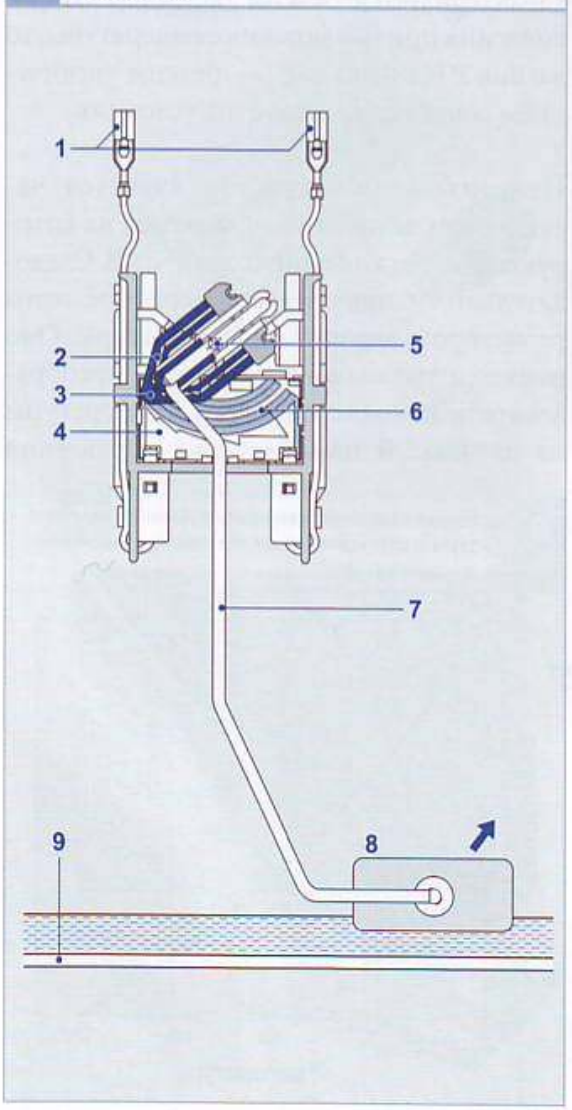


Рис. 2
1. Электрические соединения
2. Контактная пружина движка
3. Контактный выступ
4. Плата сопротивления
5. Опорный штифт
6. Двойной контакт
7. Рычаг поплавка
8. Поплавок
9. Днище топливного бака

двигателем хранится характеристическая кривая, которая позволяет определять температуру, соответствующую каждым значениям выходного напряжения или сопротивления.

Датчик уровня топлива в топливном баке

Применение

Перед этим датчиком стоит задача определять уровень топлива в топливном баке и направлять соответствующий сигнал в блок управления или в указатель на приборной панели автомобиля. Наряду с топливным электроприводным насосом, топливным фильтром и т. д., он является конструктивным элементом модуля, встроенного в топливный бак бензинового или дизельного двигателя, и обеспечивает бесперебойную подачу топлива в двигатель (рис. 1).

Конструкция

Датчик уровня топлива (рис. 2) содержит потенциометр с подпружиненным движком, проводник на печатной схеме (двойной контакт), печатную плату сопротивлений и электрические соединения. Собранный датчик заключен в корпус и загерметизирован от попадания в него топлива. Рычаг поплавка связан с одним концом рычага движка потенциометра, другой конец которого соединен с поворотной осью потенциометра (поэтому и с пружиной движка). В зависимости от варианта исполнения датчика поплавок может закрепляться на рычаге или свободно поворачиваться на нем. Печатная плата сопротивлений и форма рычага поплавка соответствуют конструкции каждого топливного бака.

Принцип работы

Пружина движка потенциометра крепится к рычагу поплавка штифтом. Специальные контакты (контактные выступы) обеспечивают контакт между пружиной движка и резистивными дорожками. Когда уровень топлива в баке изменяется, движки перемещаются по этим дорожкам, что создает напряжение, величина

которого пропорциональна углу поворота поплавка. Концевые упоры ограничивают диапазон углов поворота поплавка значением 100° для минимального и максимального уровней топлива и одновременно не допускают стуков при его перемещении.

Рабочее напряжение составляет 5–13 В.

Расходомер с потенциометром

Применение

Потенциометр используется в датчике массового расхода воздуха для определения положения (угла поворота) заслонки датчика. Усилие, с которым водитель нажимает на педаль газа, воздействует на перемещение заслонки датчика, которое происходит с некоторой задержкой по отношению к повороту дроссельной заслонки. Этот сигнал соответствует изменяющемуся во времени количеству всасываемого воздуха, а, иными словами, приблизительно мощности двигателя. Сигнал от потенциометра поступает в электронный блок управления, который использует его при включении электрогидравлического регулятора давления (рис. 2).

Регулятор давления, в свою очередь, в зависимости от режима работы двигателя и сигнала тока, генерированного в блоке управления, изменяет давление в вакуумных камерах клапанов дифференциального распределителя топлива и, в соответствии с этим, дозирует количество топлива, поступающего к форсункам.

Конструкция и принцип работы

Потенциометр в расходомере воздуха изготавливается на керамической подложке с использованием пленочной технологии. Этот потенциометрический датчик углового поворота использует в измерительных целях взаимозависимость между длиной пленочного резистора (проводника на печатной схеме) и величиной его сопротивления. Характеристическая кривая потенциометра из-за изменения ширины проводника нелинейная. В результате этого генерируется наибольший сигнал ускорения, когда заслонка датчика начинает свое движение от точки, соответствующей режиму холостого хода. По мере увеличения мощности двигателя этот сигнал ослабевает.

Щеточный движок скользит по резистивным дорожкам потенциометра (дублирующая и основная измерительные дорожки). Этот движок состоит из нескольких тонких проволочек, припаянных к рычагу, который механически связан с осью заслонки датчика. Отдельные проволочки оказывают лишь незначительное давление на резистивную дорожку потенциометра, поэтому износ минимален. Вследствие большого количества проволочек, электроконтакт обеспечивается даже при шероховатой поверхности

1 Расходомер с потенциометром (упрощенная схема)

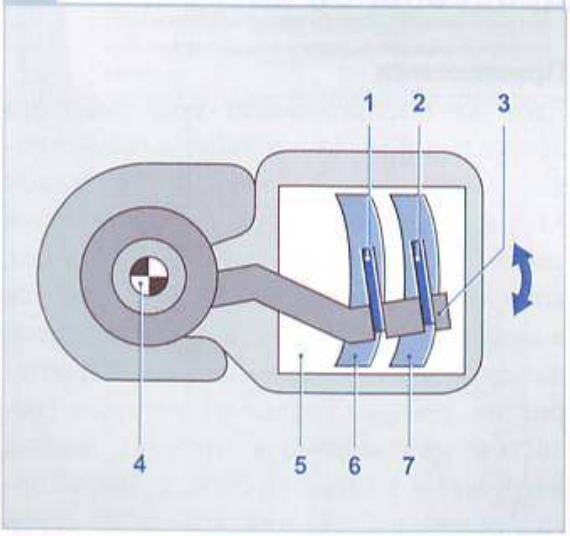


Рис. 1
1. Дублирующий щеточный движок
2. Основной щеточный движок
3. Рычаг движка
4. Ось расходомера воздуха
5. Плата потенциометра
6. Дублирующая измерительная дорожка
7. Основная измерительная дорожка

2 Расходомер воздуха с потенциометром для системы KE-Jetronic (схема)

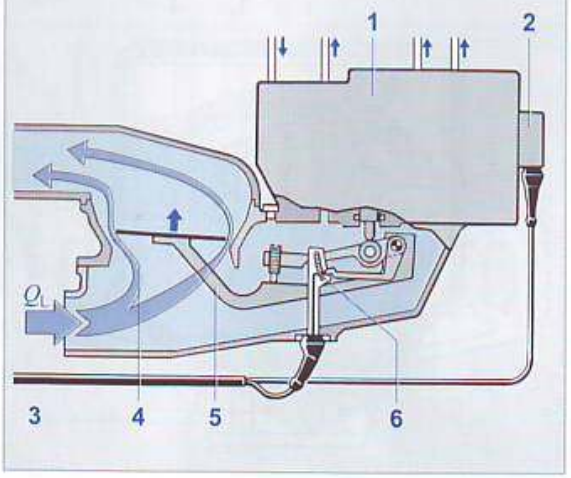


Рис. 2
1. Распределитель топлива
2. Электрогидравлический регулятор давления
3. К блоку управления
4. Расходомер воздуха
5. Заслонка расходомера
6. Потенциометр

Q_L — количество воздуха

дорожки и при очень быстрых движениях движка по этой дорожке. Рычаг движка закреплен на оси рычага датчика. Рычаг электрически изолирован от оси. Напряжение с движка снимается вторым щеточным движком, который электрически соединен с главным движком (рис. 1).

Движок может выходить за пределы измерительного диапазона с обеих сторон дорожек настолько, что при обратном движении потока воздуха во впускном трубопроводе повреждение датчика исключается. Защита датчика от повреждений при коротком замыкании обеспечивается подвижным пленочным резистором, последовательно подсоединенным к движку.

Рис. 1
1. Ось дроссельной заслонки
2. Резистивная измерительная дорожка 1
3. Резистивная измерительная дорожка 2
4. Рычаг с контактным движком
5. Электрическое соединение (4-полюсное)

Датчик положения дроссельной заслонки

Применение

Этот датчик определяет угол поворота дроссельной заслонки двигателя с искровым зажиганием. В двигателях с системой M-Motronic с его помощью определяется также дополнительный сигнал нагрузки, который, помимо прочего, используется в качестве вспомогательной информации для определения динамических характеристик, а также диапазона нагрузок (холостой ход, частичная нагрузка, полная нагрузка) и в качестве сигнала аварийного режима работы при выходе из строя основного датчика нагрузки (датчик массового расхода воздуха). При использовании датчика положения дроссельной заслонки в качестве основного датчика нагрузки необходимая точность достигается с помощью двух потенциометров для двух диапазонов угла поворота дроссельной заслонки.

Система ME-Motronic устанавливает необходимый крутящий момент посредством дроссельной заслонки. Для того чтобы определить, поворачивается ли дроссельная заслонка в требуемое положение, применяется датчик положения дроссельной заслонки (замкнутый контур управления положением). Для обеспечения надежной работы этот датчик имеет два параллельно работающих потенциометра с отдельными опорными напряжениями.

Рис. 2
A — внутренний упор
1 — характеристическая кривая для высокого разрешения в диапазоне угла поворота 0°–23°
2 — характеристическая кривая для диапазона угла поворота 15°–88°
U^A — замеряемое напряжение
U^V — рабочее напряжение
α^W — эффективный замеряемый угол

2 Датчик положения дроссельной заслонки с двумя характеристическими кривыми

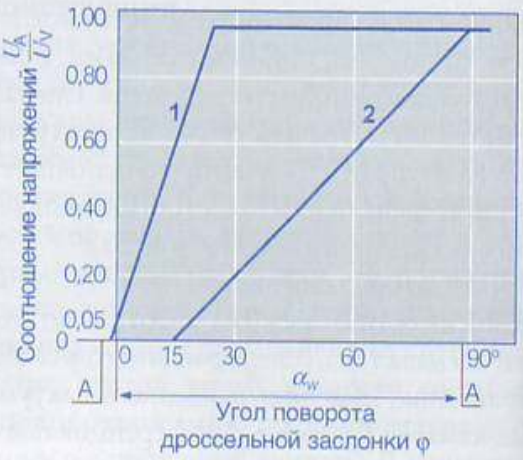
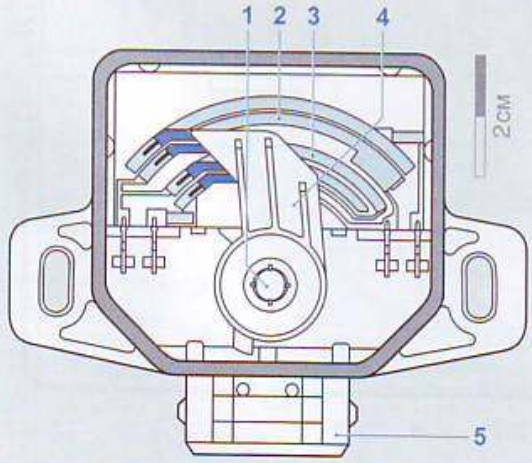
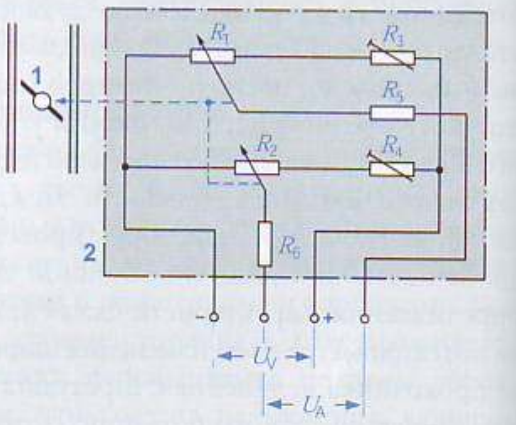


Рис. 3
1. Дроссельная заслонка
2. Датчик положения дроссельной заслонки
U_A — замеряемое напряжение
U_V — рабочее напряжение
R_1, R_2 — резистивные измерительные дорожки 1 и 2
R_3, R_4 — калибровочные резисторы
R_5, R_6 — защитные резисторы

1 Датчик положения дроссельной заслонки



3 Датчик положения дроссельной заслонки (схема)



Конструкция и принцип работы

Датчик положения дроссельной заслонки представляет собой потенциометрический датчик угла поворота с одной (или двумя) характеристическими кривыми.

Рычаг движка потенциометра, соединенный механически с осью дроссельной заслонки и щеточными ползунами, перемещается по соответствующим резистивным дорожкам. При этом он преобразует поворот оси дроссельной заслонки в пропорциональное этому соотношение напряжений U_A/U_V (рис. 2). Рабочее положение равно значению $U_V = 5$ В. Электроподсоединение движка чаще всего осуществляется через вторую дорожку потенциометра с одинаковой поверхностью, но с подложкой из материала, обладающего малым сопротивлением (рис. 1 и 3).

Для защиты от перегрузки на измерительные дорожки потенциометра подается напряжение через небольшие добавочные последовательно соединенные резисторы (также для калибровки нулевой точки и градиента потенциала). Форма характеристической кривой может быть адаптирована путем изменения ширины измерительной дорожки потенциометра.

Датчик положения педали газа

Применение

При использовании традиционного управления двигателем водитель выражает свое желание (например, увеличить скорость, двигаться с одинаковой скоростью или замедлить движение) механическим воздействием, а именно за счет нажатия на педаль газа, приводя в действие посредством гибкого тросика или рычажного механизма дроссельную заслонку двигателя с искровым зажиганием или ТНВД дизельного двигателя.

Сегодня в электронных системах управления двигателем функцию механического соединения выполняет датчик положения педали газа. Он определяет ход или угловое положение педали и электрическим путем передает информацию об этом в блок управления. В качестве альтернативы одному датчику (рис. 2a) существуют также модульные педали газа (рис. 2b, 2c) в виде готовых для монтажа блоков, состоящих из педали газа и датчика. Эти модули не требуют, как раньше, проведения регулировочных работ на автомобиле.

1 Характеристическая кривая датчика положения педали газа с дополнительным потенциометром

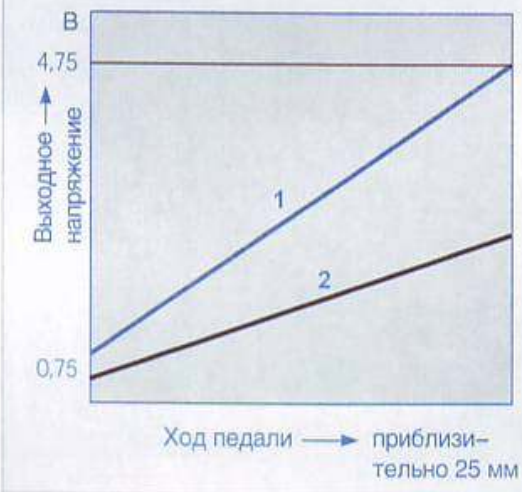


Рис. 1
1 — потенциометр 1 (основной)
2 — потенциометр 2 (50% напряжения)

2 Варианты конструкций датчиков положения педали газа

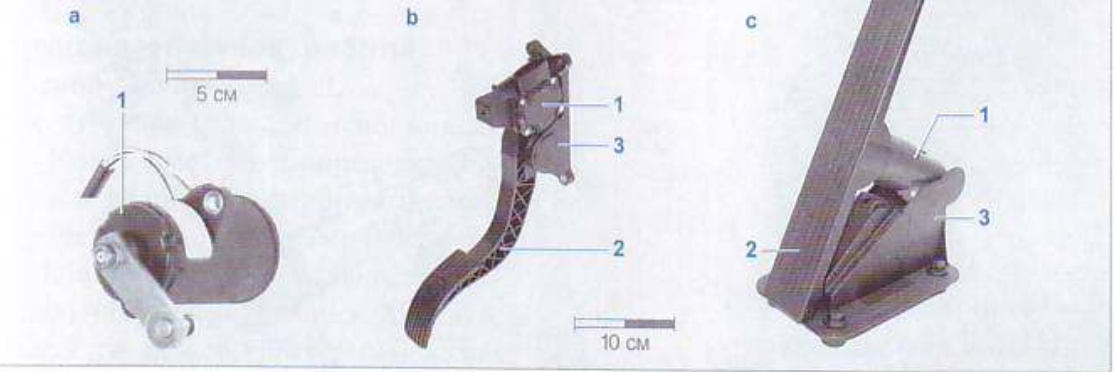


Рис. 2
a — отдельный датчик положения педали газа
b — подвесной модуль педали газа
c — модуль педали газа, закрепленный снизу (FMP1)
1. Датчик
2. Педаль газа
3. Кронштейн педали

Конструкция и принцип работы

Потенциометрический датчик положения педали газа

Основным элементом этого датчика является потенциометр, напряжение на котором зависит от положения педали газа.

3 Угловой датчик Холла типа ARS1 (внешний вид)

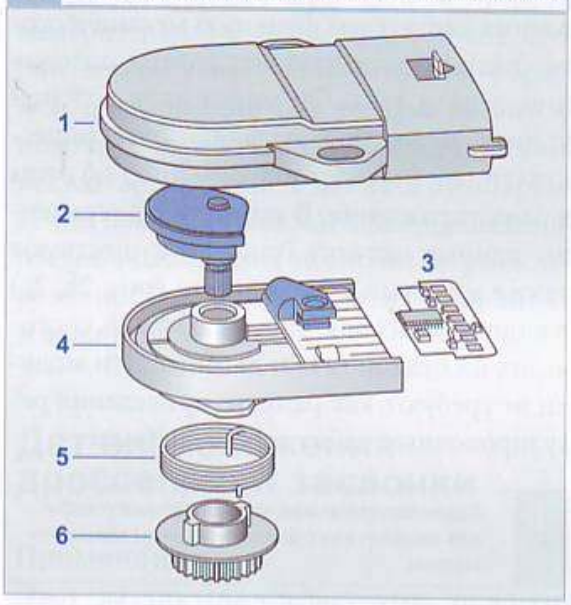


Рис. 3
1. Крышка корпуса
2. Диск ротора (постоянный магнит)
3. Блок оценки результатов с датчиком Холла
4. Основание корпуса
5. Возвратная пружина
6. Соединительный элемент (например, шестерня)

4 Угловой датчик Холла типа ARS1 (показаны угловые положения a...d)

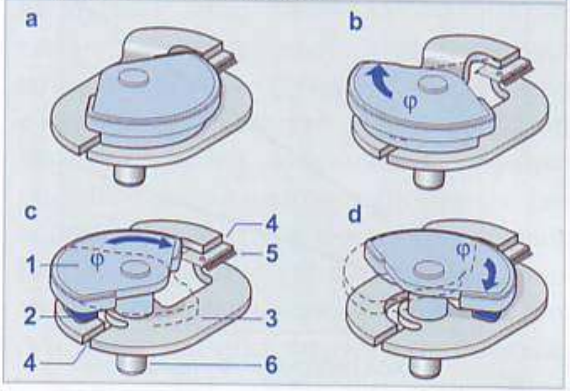


Рис. 4
1. Диск ротора (постоянный магнит)
2. Полюсный башмак
3. Магнитопроводящий элемент
4. Воздушный зазор
5. Датчик Холла
6. Ось (магнитомягкий материал)

φ — угол поворота

С помощью запрограммированной характеристической кривой напряжения, хранящейся в памяти блока управления, последний рассчитывает ход или угловое положение педали.

Для диагностики и случаев появления сбоев в работе этого датчика применяется второй (дополнительный) датчик, являющийся частью системы контроля. Один вариант датчика работает со вторым потенциометром, напряжение на котором всегда составляет половину напряжения на первом потенциометре, что позволяет иметь два независимых сигнала для облегчения распознавания дефектов (рис. 1). При другом варианте вместо второго потенциометра имеется выключатель режима малооборотного холостого хода, который подает в блок управления сигнал о положении педали газа (холостой ход). В автомобилях с автоматической трансмиссией устанавливается дополнительный выключатель, который создает электрический сигнал о максимальном нажатии педали газа (сигнал Kick-Down).

Датчик Холла, определяющий угол поворота педали газа

Угловой датчик Холла типа ARS1 работает по принципу «движущегося магнита». Его измерительный диапазон приблизительно равен 90° (рис. 3 и 4).

Магнитный поток ротора 1 (рис. 4), представляющего собой постоянный магнит, выполненный в виде полукруглого

5 Угловой датчик Холла типа ARS2a

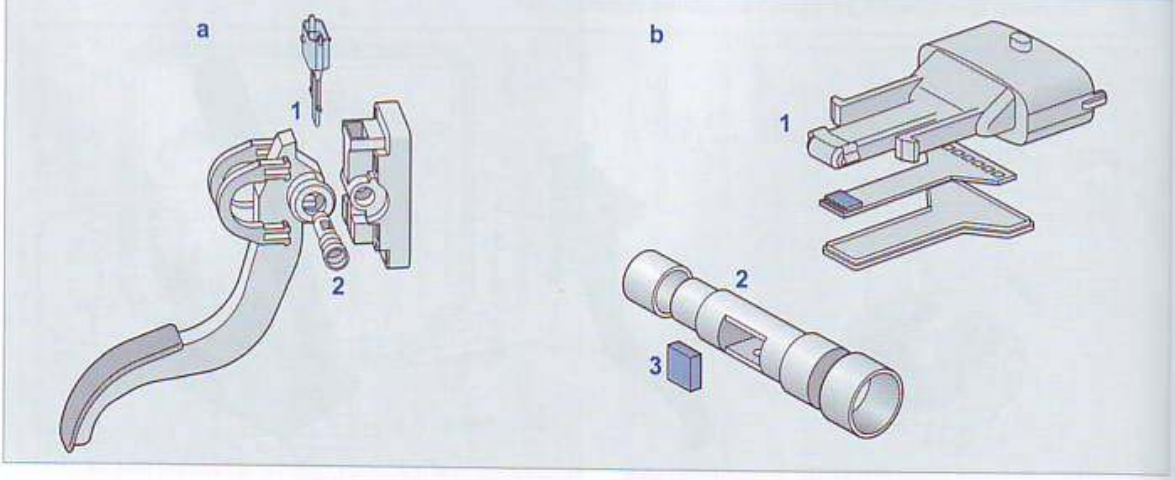


Рис. 5

a — установка в модуле педали газа

b — конструктивные элементы

1. Датчик Холла
2. Ось педали
3. Постоянный магнит

диска, возвращается обратно к ротору через полюсный башмак 2, два магнитопроводящих элемента 3, а также ось 6. При этом магнитный поток, который возвращается через магнитопроводящие элементы, является функцией угла поворота (φ) ротора. В каждом из этих магнитопроводящих элементов находится также датчик Холла 5. Благодаря этому возможно получение практически линейной характеристической кривой на всем диапазоне измерений.

Датчик типа ARS2 представляет собой более простую конструкцию без магнитомягких проводящих элементов. Здесь магнит поворачивается по дуге окружности вокруг датчика Холла. Так как возникающая при этом синусоидальная характеристическая кривая обладает линейностью только на коротком отрезке, датчик Холла располагается с некоторым смещением относительно центра дуги окружности. За счет этого характеристическая кривая отклоняется от синусоидальной формы, так что ее линейная часть возрастает.

Этот датчик механически встраивается в модульную педаль газа (рис. 5)

Фазный датчик Холла

Применение

Частоты вращения распределительного и коленчатого валов соотносятся как 1:2. Положение распределительного вала показывает, находится ли поршень двигателя, движущийся к ВМТ, на такте сжатия или выпуска. Фазный датчик на распределительном валу передает эту информацию в блок управления.

Конструкция и принцип работы

Стержневой датчик Холла

В таких датчиках (рис. 2a) использован эффект Холла. Вместе с распределительным валом вращается ферромагнитное триггерное колесо 7 с зубьями и сегментами, либо диафрагма с отверстиями. Интегральная схема датчика Холла 6 располагается между триггерным колесом и постоянным магнитом 5, который генерирует магнитное поле, перпендикулярное элементу Холла.

Когда зуб Z триггерного колеса проходит у токонесущего элемента (полупроводниковая плата) стержневого датчика, то он изменяет напряженность магнитного поля, перпендикулярного элементу Холла. В результате этого путь электронов, которые движутся за счет продольного напряжения, действующего на элемент, отклоняется по перпендикуляру к направлению тока (угол α, рис. 1).

За счет этого возникает сигнал напряжения (напряжение Холла), который

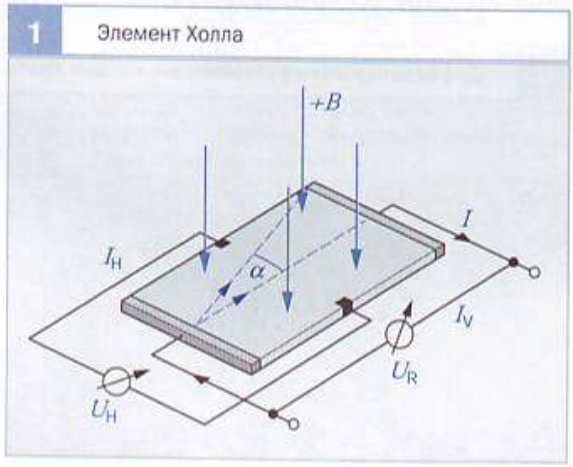


Рис. 1
I — ток полупроводниковой платы
I_H — ток Холла
I_V — ток питания
U_H — напряжение Холла
U_R — продольное напряжение
B — магнитная индукция
α — отклонение пути электронов за счет воздействия на них магнитного поля

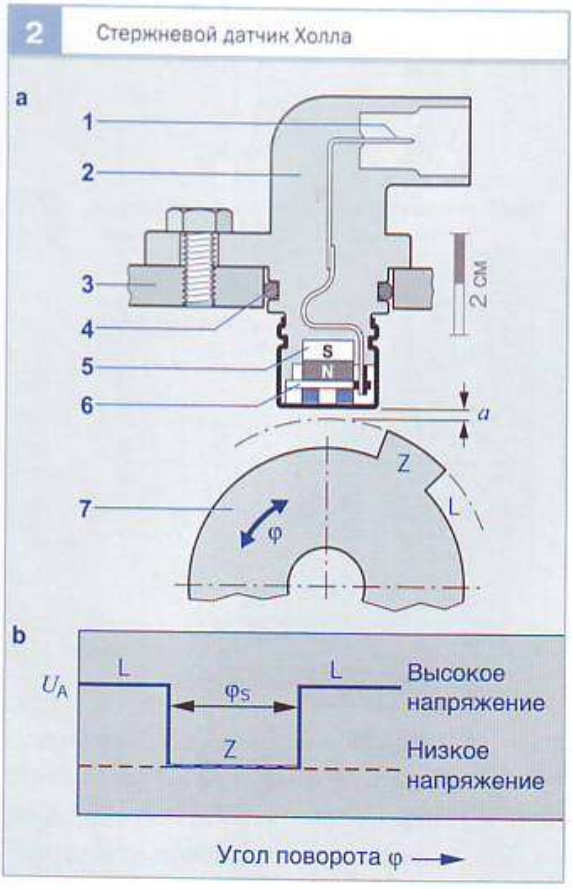


Рис. 2
a — расположение датчика и однодорожечного триггерного колеса относительно друг друга
b — характеристика выходного сигнала U_A
1. Электрическое соединение (разъем)
2. Корпус датчика
3. Блок цилиндров двигателя
4. Уплотнительное кольцо
5. Постоянный магнит
6. Интегральная схема Холла
7. Триггерное колесо с зубом/сегментом Z и зазором L
a — воздушный зазор
α — угол поворота
φ_s — ширина сигнала
U_A — выходное напряжение

находится в милливольтовом диапазоне и не зависит от относительной скорости между датчиком и триггерным колесом. Оценивающая электронная схема, встроенная в интегральную схему, вырабатывает сигнал в форме прямоугольных импульсов (высокий/низкий, рис. 2b).

Дифференциальный стержневой датчик Холла

Стержневые датчики, работающие по дифференциальному принципу, располагают двумя элементами Холла, смещенными относительно друг друга в радиальном или осевом направлении (S1 и S2, рис. 3). Они генерируют выходной сигнал, пропорциональный разности магнитных потоков на измерительных точках элемента. Для этого необходимо использование двухдорожечной пластины с отверстиями (рис. 3a) или двухдорожечного триггерного колеса (рис. 3b), для того чтобы в обоих элементах Холла могли генерироваться противоположные сигналы (рис. 4).

Эти датчики используются при высоких требованиях к точности измерений. Другими преимуществами являются относительно большой диапазон воздушного зазора и хорошие характеристики температурной компенсации.

3 Дифференциальные стержневые датчики Холла

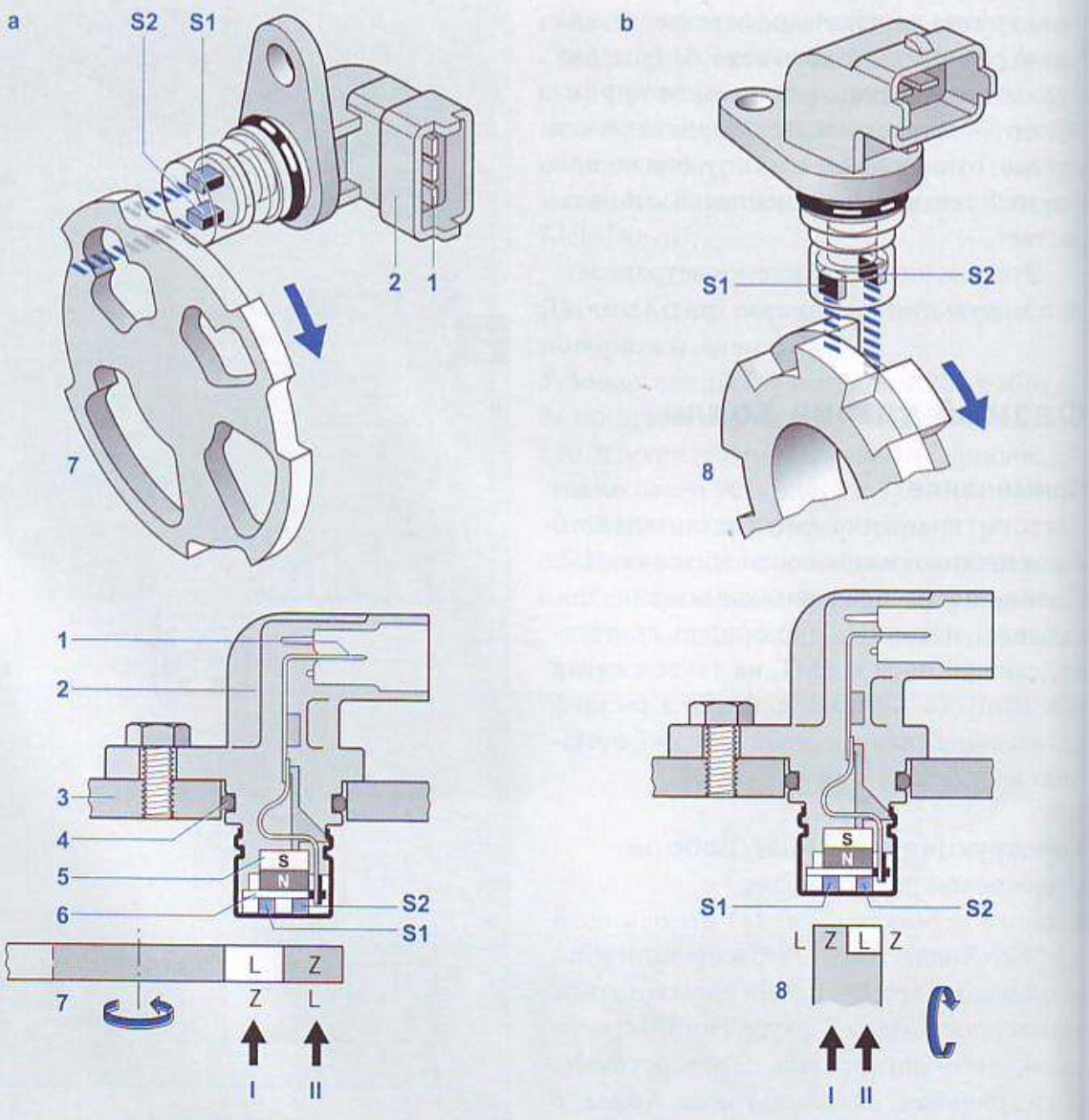


Рис. 3
a — осевое расположение пластины с отверстиями
b — радиальное расположение двухдорожечного триггерного колеса

1. Электрическое соединение (разъем)
2. Корпус датчика
3. Блок цилиндров двигателя
4. Уплотнительное кольцо
5. Постоянный магнит
6. Дифференциальная интегральная схема Холла с элементами Холла S1 и S2
7. Пластина с отверстиями
8. Двухдорожечное триггерное колесо
I — дорожка 1
II — дорожка 2

4 Характеристическая кривая выходного сигнала U_A от дифференциального стержневого датчика Холла

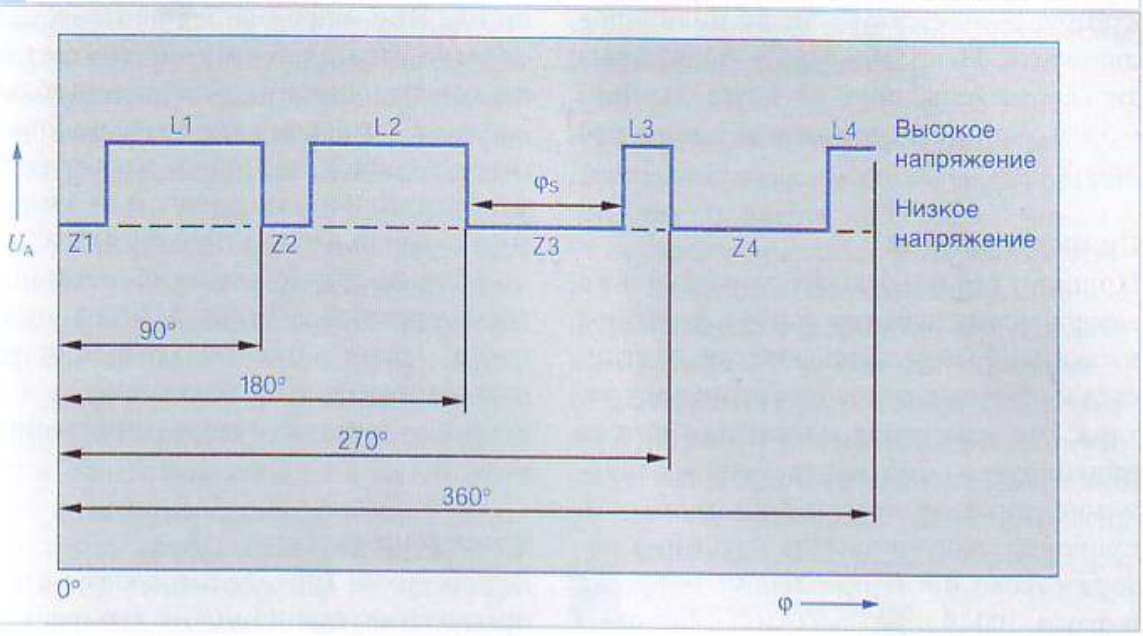


Рис. 4
Выходной сигнал низкого уровня: зуб Z под элементом S1; зазор L под элементом S2

Выходной сигнал высокого уровня: зазор L под элементом S1; зуб Z под элементом S2

φ_s — ширина сигнала

Индуктивный датчик для системы транзисторного зажигания

Применение

Индуктивный датчик в системе транзисторного зажигания TZ-I представляет импульсный генератор переменного тока. Момент зажигания определяется путем сравнения сигнала переменного тока с сигналом напряжения, соответствующим времени регулировки тока.

Устройство

Индуктивный датчик расположен в корпусе распределителя зажигания на месте бывшей традиционной контактной группы в прерывателе зажигания (рис. 1).

Магнитомягкий сердечник индукционной обмотки имеет форму диска, который вместе с постоянным магнитом и индукционной обмоткой образует неподвижный замкнутый статор.

Напротив этого жестко расположенного модуля на валу распределителя зажигания вращается ротор (триггерное колесо). Подобно кулачку распределителя в бывшей контактной группе ротор жестко крепится к полому валу, который охватывает валик привода распределителя.

Сердечник и ротор изготовлены из магнитомягкой стали и имеют зубчатые выступы (зубья статора и ротора): зубья статора располагаются на концах лимбов статора и отогнуты вверх под прямым углом. Соответственно зубья ротора отогнуты под прямым углом вниз.

1 Индуктивный датчик в распределителе зажигания (принцип действия)

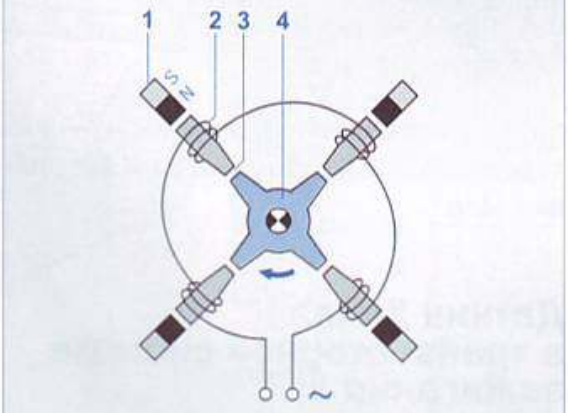


Рис. 1
1. Постоянный магнит
2. Индуктивная обмотка с сердечником
3. Изменяющийся воздушный зазор
4. Ротор

2 Индуктивный датчик в распределителе зажигания (характеристическая кривая)

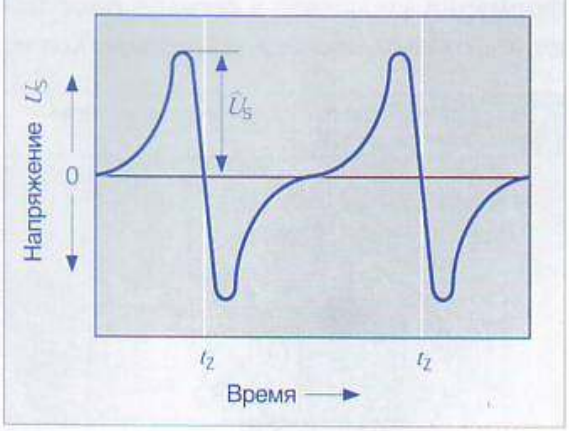


Рис. 2
U_S — напряжение сигнала
$\hat{U}_S$ — пиковое напряжение
t_z — момент зажигания

Как правило, количество зубьев ротора и статора соответствует числу цилиндров двигателя. Неподвижные и подвижные зубья отделены друг от друга зазором 0,5 мм, когда расположены оппозитно друг к другу.

Принцип работы

Принцип работы зависит от воздушного зазора между зубьями ротора и статора и таким образом периодически изменяется магнитный поток при вращении ротора. Это изменение магнитного потока индуцирует в обмотке переменное напряжение, пиковое значение которого $\pm U_S$ пропорционально частоте вращения ротора (около 0,5 В при малых оборотах и около 100 В при высоких). Частота f этого переменного тока соответствует количеству искровых разрядов в минуту (рис. 2). Она определяется по формуле:

$$f = z \cdot n/2,$$

где z — количество цилиндров; n — частота вращения коленчатого вала двигателя в мин$^{-1}$.

Датчик Холла в транзисторной системе зажигания

Применение

Датчик Холла используется также в транзисторной системе зажигания TZ-H. Информация заключена в сигнале, поступающем от импульсного генератора Холла, расположенного в распределителе зажигания. Эта информация соответствует сигналу, создаваемому в контактной группе традиционного катушечного зажигания. В то время как в традиционной системе зажигания кулачок в распределителе зажигания определяет угол замкнутого состояния контактов, то датчик Холла в транзисторной системе зажигания, установленный в распределителе зажигания, задает моменты генерации импульсов высокого напряжения за счет ширины лопаток ротора (триггерного колеса).

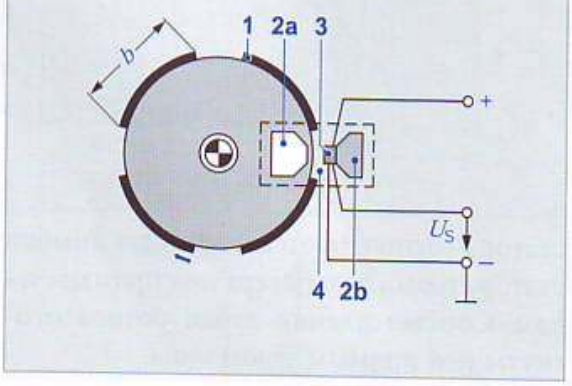
Конструкция

Датчик Холла (рис. 1) расположен в распределителе зажигания и его лопатки смонтированы на подвижной опорной пластине. Интегральная схема Холла размещается на керамической подложке и впаяна в пластик на одной из токопроводящих деталей для защиты от влаги, загрязнений и механических повреждений. Токопроводящие детали и ротор изготовлены из магнитомягкого материала. Количество лопаток соответствует числу цилиндров двигателя. Ширина b отдельных лопаток может определять максимальный угол, при котором не происходит генерация импульса высокого напряжения (или угол закрытия) этой системы зажигания в зависимости от устройства выключения зажигания. В соответствии с этим на протяжении всего срока службы датчика Холла угол закрытия остается практически постоянным и нет необходимости в регулировании этого угла.

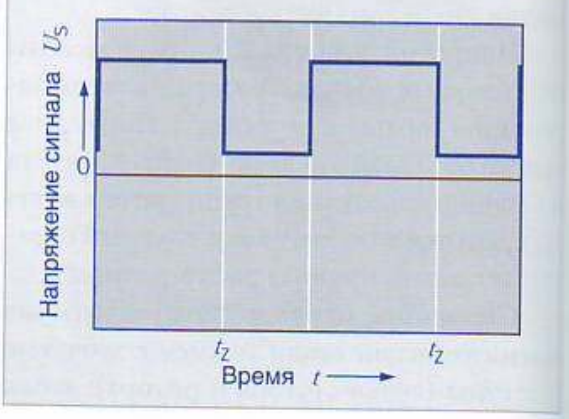
Рис. 1
1. Лопатка
2a. Постоянный магнит
2b. Магнитомягкий проводящий элемент
3. Интегральная схема Холла
4. Воздушный зазор
U_S — напряжение сигнала (преобразованное напряжение Холла)
b — ширина лопатки

Рис. 2
U_S — напряжение сигнала (преобразованное напряжение Холла)
t_Z — момент зажигания

1 Датчик Холла в распределителе зажигания (принцип работы)



2 Датчик Холла в распределителе зажигания (характеристическая кривая)



Принцип работы

Когда валик привода распределителя зажигания поворачивается, лопатки ротора бесконтактно проходят через воздушный зазор интегральной схемы Холла. Если в этом зазоре находится окно между лопатками, то магнитное поле беспрепятственно воздействует на интегральную схему Холла с сенсорным элементом датчика Холла (рис. 1). Если магнитная индукция оказывается высокой, то напряжение Холла соответствует максимальному значению и интегральная схема Холла включается. Как только одна из лопаток входит в воздушный зазор, большая часть магнитного потока перекрывается этой лопаткой и таким образом не достигает интегральной схемы Холла. Магнитная индукция на сенсорном элементе датчика Холла снижается до своего минимума (результат поля рассеяния) и напряжение Холла также падает до минимума. Форма лопаточного ротора определяет угол закрытия таким образом, что скорость снижения напряжения зависит от напряжения сигнала U_S (преобразованное напряжение Холла, рис. 2). При этом сдвигается момент закрытия. Принцип работы и конструкция датчика Холла позволяют осуществлять регулировку зажигания при неработающем двигателе, поскольку при этом не предусматривается отключение электропитания катушки зажигания.

Индуктивный датчик частоты вращения коленчатого вала

Применение

Датчики частоты вращения коленчатого вала двигателя (стержневые датчики) используются для:

- измерения частоты вращения коленчатого вала двигателя;
- определения положения коленчатого вала (или положения поршней двигателя).

Частота вращения коленчатого вала рассчитывается по частоте сигналов, поступающих от этого датчика. Выходной сигнал датчика является одной из важнейших величин электронной системы управления двигателем.

Конструкция и принцип работы

Датчик установлен оппозитно ферромагнитному триггерному колесу 7 (рис. 1), от которого он отделен воздушным зазором. В датчике находится сердечник 4 из электротехнического железа (полюсный штифт), окруженный обмоткой 5. Полюсный штифт соединен с постоянным магнитом 1. Магнитное поле воздействует на этот полюсный штифт и поступает на триггерное колесо. Уровень

1 Индуктивный датчик частоты вращения коленчатого вала (конструкция)

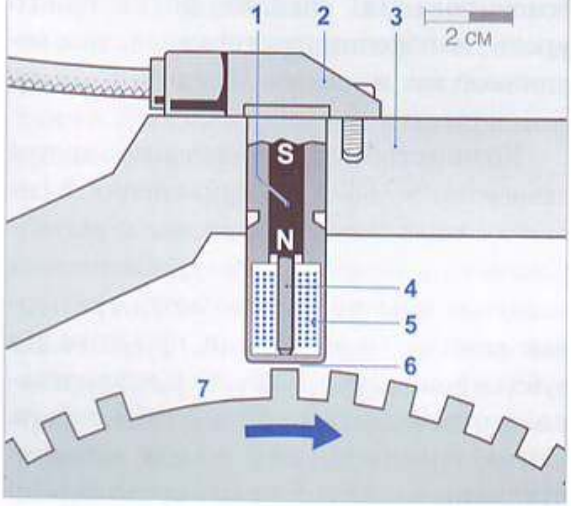


Рис. 1
1. Постоянный магнит
2. Корпус датчика
3. Блок цилиндров двигателя
4. Полюсный штифт
5. Обмотка
6. Воздушный зазор
7. Триггерное колесо с зазором-меткой

2 Характеристика от сигнала индуктивного датчика частоты вращения коленчатого вала двигателя

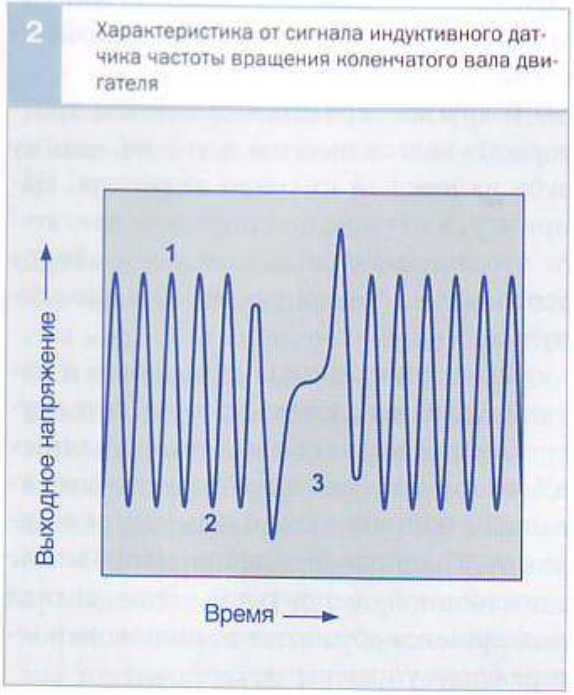


Рис. 2
1 — напряжение при прохождении зуба
2 — напряжение при прохождении зазора
3 — напряжение при прохождении зазора-метки

магнитного потока, проходящего через обмотку, зависит от положения датчика относительно триггерного колеса (зазор или зуб). Магнитный поток рассеяния концентрируется на зубе, что ведет к усилению полезного потока, проходящего через обмотку. Напротив, зазор ослабляет этот поток. При вращении триггерного колеса происходит изменение магнитного потока, что, в свою очередь, индуцирует в обмотке электромагнита синусоидальное выходное напряжение (рис. 2), пропорциональное скорости изменения этого потока и, следовательно, частоте вращения коленчатого вала. Амплитуда напряжения переменного тока сильно возрастает по мере повышения частоты вращения триггерного колеса (от нескольких мВ до значений > 100 В). Для генерирования сигнала достаточного уровня необходима частота вращения величиной как минимум 30 мин$^{-1}$.

Количество зубьев триггерного колеса зависит от условий его применения. В системах управления двигателем с регулированием с помощью электромагнитных клапанов обычно используются триггерные колеса с 60-ю зубьями, при этом два зубца пропущены (7, рис. 1). Следовательно, это колесо имеет 60 – 2 = 58 зубьев. Очень большой зазор между зубьями предназначен для отметки определенного положения коленчатого вала и служит как установочная метка для синхронизации блока управления.

В другом варианте исполнения триггерного колеса имеется всего по одному зубу на каждый цилиндр двигателя. Например, в четырехцилиндровом двигателе это четыре зуба, т. е. за один оборот этого колеса генерируются четыре импульса.

Геометрические размеры зубьев и полюсов должны соответствовать друг другу. Электронная схема оценки данных в блоке управления преобразует синусоидальное напряжение с очень разной амплитудой в прямоугольное напряжение с постоянной амплитудой. Этот сигнал подвергается обработке в микроконтроллере блока управления.

Пьезоэлектрический датчик детонации двигателя

Применение

Датчики детонации по принципу своего функционирования являются датчиками вибрации и пригодны для регистрации акустических колебаний, возникающих в конструктивных элементах двигателя. Эти колебания возникают в автомобиле при неконтролируемом детонационном сгорании в рабочей смеси в двигателе. Они преобразуются датчиком в электрические сигналы и направляются в блок управления. Как правило, 4-цилиндровые рядные двигатели оснащены одним датчиком, 5- и 6-цилиндровые двигатели — двумя, 8- и 12-цилиндровые двигатели двумя и большим числом датчиков. Они подключаются в соответствии с порядком зажигания.

Конструкция и принцип работы

Любая масса, благодаря своим инерционным свойствам подвергающаяся воздействию колебаний, создает усилия сжатия на кольцеобразном пьезокерамическом элементе такой же частоты, как и возбуждающие колебания. Внутри керамического элемента эти силы сжатия вызывают сдвиг заряда на внутренних сторонах керамического элемента. При этом возникает электрическое напряжение, которое снимается контактными дисками и далее поступает в блок управления для обработки этого сигнала.

Чувствительность датчика определяется значением выходного напряжения, приходящегося на единицу ускорения (мВ/г) на выходе датчика. Напряжение оценивается высокоомным усилителем переменного тока (большого сопротивления) в блоке управления системы зажигания или в системе управления двигателем Motronic (рис. 1 и 2).

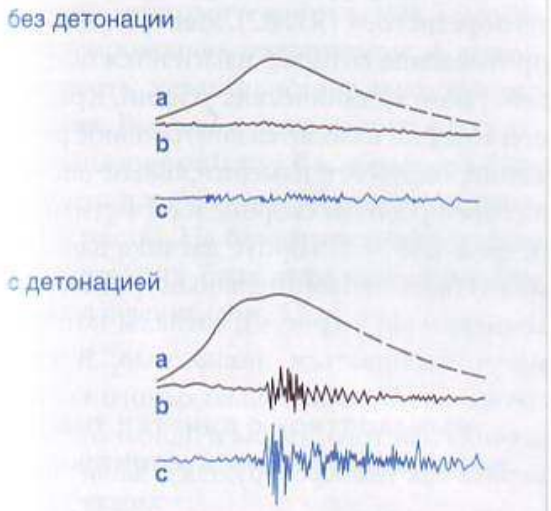
Установка датчика

Место установки датчика детонации в каждом двигателе выбирается таким образом, чтобы можно было надежно определить детонацию в каждом цилиндре двигателя. Чаще всего датчик крепится на винте

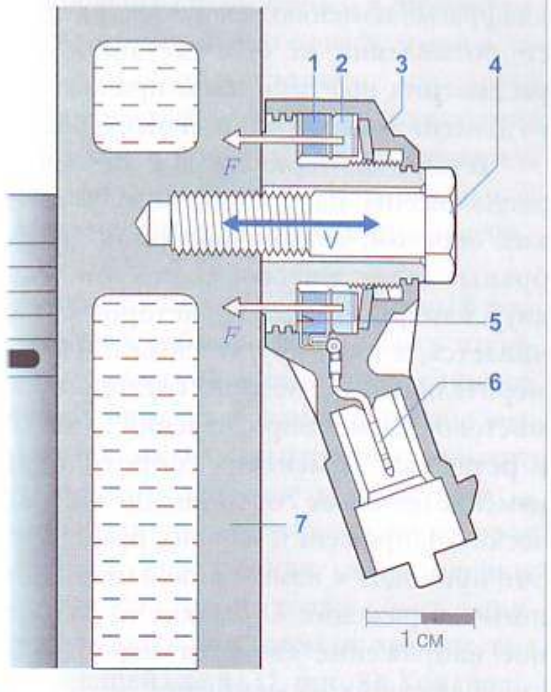
на боковой стороне блока цилиндров двигателя. Для того чтобы результирующие сигналы вибрации в конструктивных элементах могли передаваться на датчик от места измерения на блоке цилиндров двигателя без резонанса и в соответствии с выбранной характеристической кривой, следует учесть следующие факторы:

- крепежный болт должен затягиваться определенным моментом затяжки;
- контактная поверхность датчика и отверстие в блоке цилиндров двигателя должны соответствовать определенным требованиям по качеству;
- не должны применяться шайбы любого типа.

1 Сигналы датчика детонации



2 Датчик детонации (конструкция и место установки)



Микромеханические датчики давления

Применение

Датчик давления во впускном трубопроводе и датчик давления наддува

Такой датчик измеряет абсолютное давление во впускном трубопроводе между нагнетателем и двигателем (обычно 250 кПа или 2,5 бара) и сравнивает его с номинальным значением разрежения, а не с атмосферным давлением. За счет этого возможно точное определение массового расхода воздуха, а также, в соответствии с потребностью двигателя, регулирование давления наддува.

Датчик атмосферного давления

Этот датчик (называется также барометром) расположен в блоке управления или в моторном отсеке. Сигнал датчика служит для коррекции установочных параметров в контурах автоматического регулирования в зависимости от атмосферного давления (например, системы рециркуляции ОГ и регулировки давления наддува). Благодаря этому может учитываться разная плотность атмосферного воздуха. Датчик атмосферного давления измеряет абсолютное давление (60–115 кПа или 0,6–1,15 бар).

Датчик давления масла и топлива

Датчики давления масла устанавливаются в масляном фильтре и измеряют абсолютное давление масла для того, чтобы можно было определить нагрузку двигателя, необходимую для индикатора проведения технического обслуживания. Диапазон давления равен 50–1000 кПа или 0,5–10,0 бар. Измерительный элемент применяется также для определения давления в контуре низкого давления системы топливоподачи. Датчик устанавлива-

Рис. 1
a — кривая изменения давления в цилиндре
b — отфильтрованный сигнал давления
c — сигнал датчика детонации

Рис. 2
1. Пьезокерамический элемент
2. Сейсмическая масса с усилиями сжатия F
3. Корпус
4. Затяжной болт
5. Контактная поверхность
6. Электрическое соединение
7. Блок цилиндров двигателя

V — вибрации

Рис. 1
1. Диафрагма
2. Кремниевый чип
3. Контрольное разрежение
4. Термостойкое стекло (пирекс)
5. Мостовая схема

p — измеряемое давление
U_0 — напряжение питания
$U_м$ — измерительное напряжение
R_1 — тензометрический резистор (измеряющий)
R_2 — тензометрический резистор (компенсирующий)

1 Измерительный элемент датчика давления с контрольным разрежением на рабочей стороне (схема)

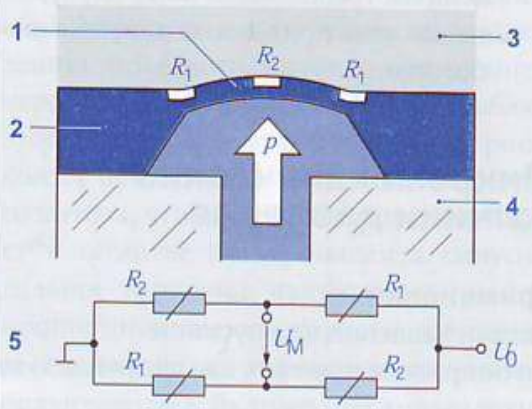
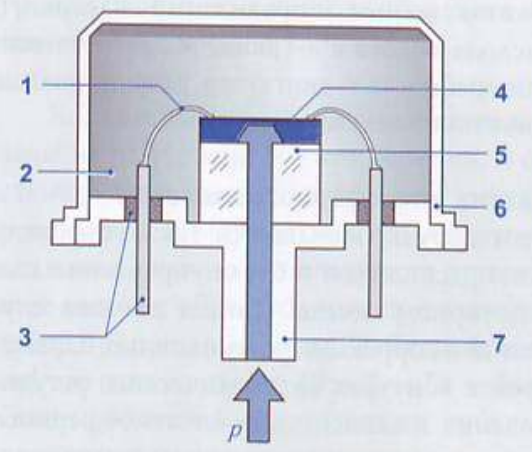


Рис. 2
1, 3. Электрические соединения со стеклоизоляцией
2. Контрольное разрежение
4. Измерительный элемент (чип) с электронной обработкой данных
5. Стеклянный цоколь
6. Крышка
7. Подвод измеряемого давления p

2 Измерительный элемент датчика давления с крышкой и контрольным разрежением на рабочей стороне (конструкция)



3 Измерительный элемент датчика давления с крышкой и контрольным разрежением на рабочей стороне (внешний вид)

ется в топливном фильтре или на нем. С помощью сигнала этого датчика контролируется степень загрязнения фильтра (измерительный диапазон 20–400 кПа или 0,2–4 бара).

Вариант датчика с контрольным разрежением на рабочей стороне

Конструкция

Измерительный элемент является основой микромеханического датчика давления. Он состоит из кремниевого чипа 2 (рис. 1), в который введена микромеханическим путем тонкая диафрагма 1. На диафрагме методом диффузии закреплены четыре тензорезистора (R1, R2), электрическое сопротивление которых изменяется под воздействием механических усилий. Крышка, под которой находится контрольное разрежение, окружает измерительный элемент на своей рабочей стороне и герметизирует ее (рис. 2 и 3). В корпус датчика давления может быть дополнительно встроен датчик температуры 1 (рис. 4), сигналы которого могут оцениваться независимо. В связи с этим достаточно только одного корпуса датчика для того, чтобы в одном месте измерять как температуру, так и давление.

Принцип работы

Диафрагма прогибается (10–1000 мкм) в зависимости от величины атмосферного давления. Четыре тензорезистора на диафрагме изменяют свое электрическое сопротивление за счет механического растяжения под действием приложенного давления (пьезорезистивный эффект).

Четыре измерительных резистора расположены на кремниевом чипе таким образом, что при деформации мембраны электрическое сопротивление двух измерительных резисторов увеличивается, а двух других снижается. Измерительные резисторы соединены по мостовой схеме сопротивлений 5 (рис. 1). В результате изменения сопротивлений изменяется также соотношение электрических напряжений на этих резисторах. Это приводит к изменению измерительного напряжения U_M. Такое не усиленное напряжение является мерой величины давления на мембрану.

При мостовой схеме возникает более высокое измерительное напряжение, чем в случае применения отдельного резистора. Благодаря этому мостовая схема позволяет получить высокую чувствительность датчика.

Та сторона датчика, на которую не воздействует измеряемое давление, подвергается действию контрольного разрежения (2, рис. 2), за счет чего датчик замеряет абсолютное давление.

Электронная схема формирования сигнала встроена в чип и предназначена для усиления мостового напряжения компенсировать влияние температуры и линеаризировать характеристическую кривую давления. Выходное напряжение находится в диапазоне от 0 до 5 В и подается в блок управления через электрические соединения (5, рис. 4). На базе значения выходного напряжения блок управления рассчитывает давление (рис. 5).

Вариант датчика с контрольным разрежением в отдельной камере

Конструкция

Датчик давления с контрольным разрежением в отдельной камере (рис. 6 и 7) легче установить во впускном трубопроводе, чем рассмотренный выше вариант датчика с контрольным разрежением в рабочей камере. Кремниевый чип с диафрагмой и четырьмя тензорезисторами находится в мостовой схеме, как и в датчике давления с крышкой и контрольным разрежением на элементной стороне. Измерительный элемент крепится к стеклянному цоколю.

В отличие от датчика с контрольным разрежением в рабочей камере, здесь отсутствуют отверстия в стеклянном цоколе, через которые замеряемое давление воздействует на измерительный элемент. Вместо этого давление воздействует на кремниевый чип со стороны, на которой находится электронная схема оценки. Поэтому эта сторона должна быть защищена специальным гелем от воздействия окружающей среды (1, рис. 8). Контрольное разрежение располагается в полости между кремниевым чипом 6 и стеклянным цоколем 3. Весь измерительный элемент располагается на керамическом основании 4, который содержит поверхности для припайки электроконтактов внутри датчика.

4 Микромеханический датчик давления с контрольным разрежением на рабочей стороне (конструкция)

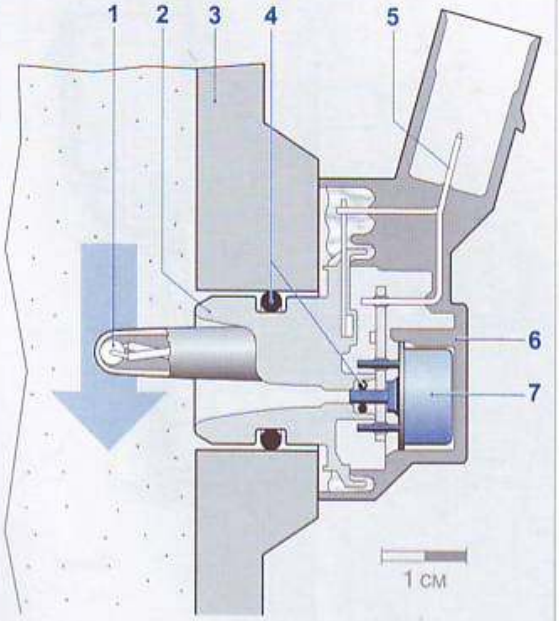
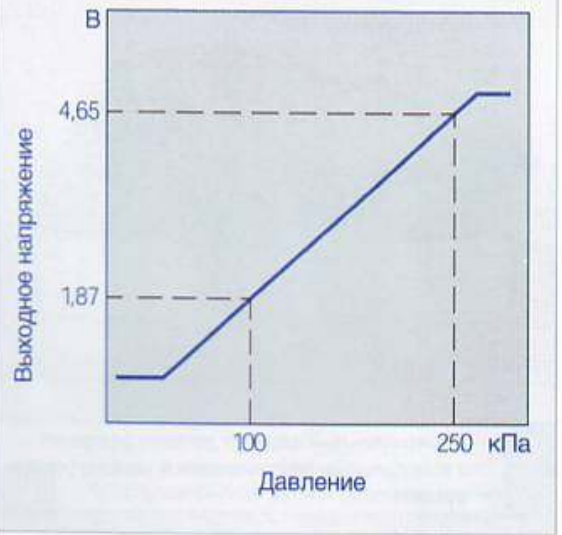


Рис. 4
1. Датчик температуры (NTC)
2. Нижняя часть корпуса
3. Стенка впускного трубопровода
4. Кольцевые уплотнения
5. Электрическое соединение (разъем)
6. Крышка корпуса
7. Измерительный элемент

5 Микромеханический датчик давления наддува (пример характеристической кривой)



В корпус датчика давления может дополнительно встраиваться датчик температуры, который располагается в потоке воздуха и максимально быстро реагирует на изменения ее температуры (4, рис. 6).

6 Микромеханический датчик давления с контрольным разрежением в камере (конструкция)

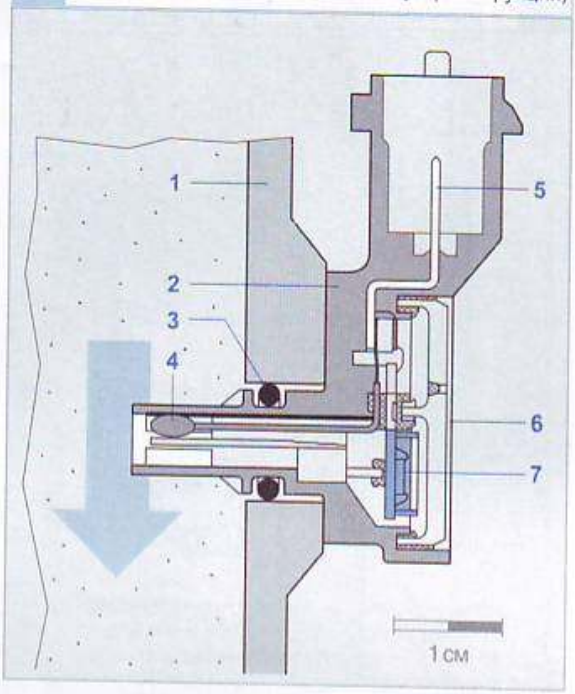
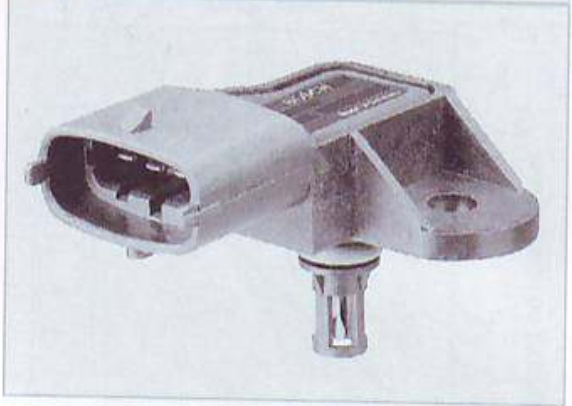


Рис. 6
1. Стенка впускного трубопровода
2. Корпус
3. Кольцевое уплотнение
4. Датчик температуры (NTC)
5. Электрическое соединение (разъем)
6. Крышка корпуса
7. Измерительный элемент

7 Микромеханический датчик давления с контрольным разрежением в камере и с интегрированным датчиком температуры (внешний вид)



8 Измерительный элемент датчика давления с контрольным разрежением в камере (конструкция)

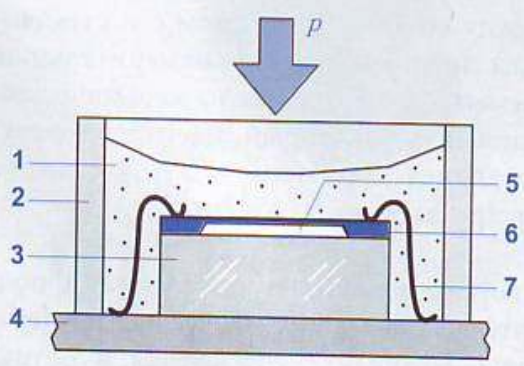


Рис. 8
1. Защитный гель
2. Гелиевое обрамление
3. Стеклянный цоколь
4. Керамический гибрид
5. Камера с контрольным разрежением
6. Измерительный элемент (чип) с электронной схемой оценки данных
7. Соединение на пайке

p — измеряемое давление

Принцип работы

Принцип работы и, следовательно, формирование и усиление сигнала, а также характеристическая кривая соответствуют датчику давления с крышкой и контрольным разрежением на элементной стороне. Единственное различие заключается в том, что диафрагма измерительного элемента деформируется в противоположном направлении и за счет этого тензорезисторы изгибаются в другом направлении.

Толстопленочные датчики давления

Применение

Толстопленочные датчики давления используются в отдельных случаях в качестве альтернативы микромеханическим датчикам давления (например, в системах управления двигателем M- и ME-Motronic). Эти датчики выпускаются в виде модуля для установки в блоке управления или для использования в виде самостоятельного модуля. Они применяются в качестве датчика:

- давления во впускном трубопроводе или давления наддува (диапазон измеряемого давления 20–400 кПа или 0,2–4,0 бара);
- атмосферного давления (диапазон измеряемого давления 60–115 кПа или 0,6–1,15 бар).

Конструкция и принцип работы

Датчик состоит из измерительного элемента и камеры для схемы обработки сигнала. Обе эти части расположены на общей керамической подложке (рис. 1).

Измерительный элемент (рис. 2) состоит из пузыреобразной толстопленочной диафрагмы, которая ограничивает камеру контрольного давления 0,1 бар. Диафрагма деформируется в зависимости от величины измеряемого давления. На диафрагме располагаются четыре соединенных между собой тензорезистора, образующих мостовую схему. Два из них — это активные тензорезисторы, которые находятся в середине диафрагмы и изменяют свое

проводимость под воздействием механических нагрузок (измеряемого давления). Два пассивных тензорезистора расположены на краю диафрагмы. Они выполняют в основном функции дополнительных мостовых сопротивлений для компенсации температуры и оказывают небольшое влияние на формирование выходного сигнала.

Деформация диафрагмы под воздействием давления вызывает изменение равновесия мостовой схемы. Поэтому измерительное напряжение UM моста является мерой величины замеряемого давления p (рис. 3). В схеме оценки сигнала происходит усиление мостового напряжения, компенсируется влияние температуры и линеаризируется характеристическая кривая давления. Выходное напряжение UA схемы оценки сигнала поступает на блок управления.

Датчики высокого давления

Применение

Датчики высокого давления используются в автомобилях для измерения давления топлива и тормозной жидкости.

Датчик давления в топливном аккумуляторе дизельного двигателя

Этот датчик измеряет давление в топливном аккумуляторе системы Common Rail дизельного двигателя. Максимальное рабочее (номинальное) давление p_{max} равно около 160 МПа (1600 бар). Давление топлива регулируется в замкнутом контуре управления и остается приблизительно одинаковым, независимо от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала. Возможные отклонения от номинальной величины выравниваются клапаном регулировки давления.

Датчик давления в топливной рампе двигателя с искровым зажиганием

Этот датчик измеряет давление в топливной рампе системы MED-Motronic с непосредственным впрыскиванием топлива. Это давление является функцией нагрузки и частоты вращения коленчатого вала

1 Толстопленочный датчик давления (для установки в блоке управления)

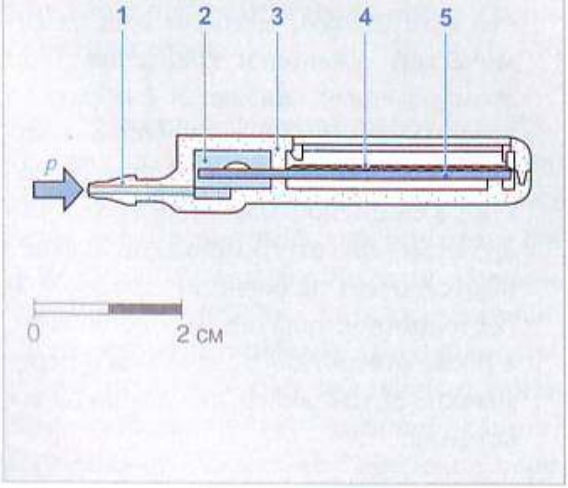


Рис. 1
Диапазон измерения:
1. Подвод измеряемого давления p
2. Измерительный элемент давления
3. Герметизирующая перегородка

Формирование сигнала:
4. Схема оценки сигнала
5. Толстопленочный гибрид на керамической подложке

2 Толстопленочный датчик давления (измерительный элемент давления)

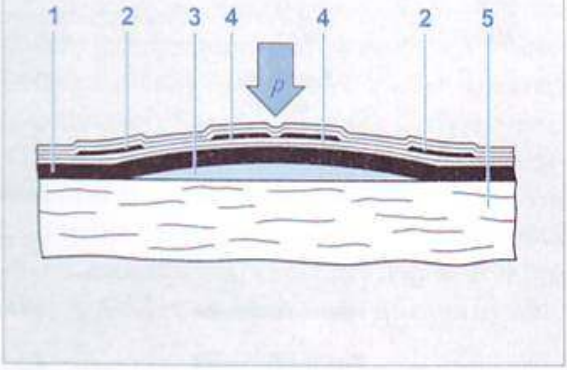


Рис. 2
1. Толстопленочная диафрагма
2. Пассивный контрольный тензорезистор
3. Камера контрольного давления («пузырь»)
4. Активный контрольный тензорезистор
5. Керамическая подложка

p — измеряемое давление

3 Толстопленочный датчик давления (схема)

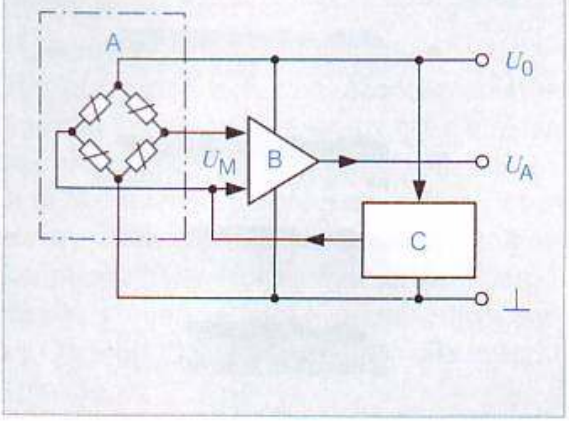


Рис. 3
A — измерительный элемент давления DMS
B — усилитель
C — схема компенсации температуры
U_0 — напряжение электропитания
U_M — измерительное напряжение
U_A — выходное напряжение

Микромеханика

Объемная микромеханика

Материал полупроводниковых кремниевых пластин обрабатывается на требуемую глубину методом анизотропного (щелочного) травления, а где это необходимо, методом электрохимической остановки травления. При этом материал снимается с обратной стороны внутри кремниевой пластины 2 (рис. 1) там, где находятся отверстия в защитной маске для травления 1. С помощью этого метода изготавливаются очень небольшие диафрагмы (a) толщиной обычно от 5 до 50 мкм, а также отверстия (b), стержни и перемычки (c), например, для датчиков ускорения.

Поверхностная микромеханика

Здесь основным материалом является кремниевая пластина, на поверхности которой формируются очень небольшие механические структуры (рис. 2). Вначале наносится «жертвенный» слой, который структурируется (A) с помощью полупроводниковых процессов (например, травления). Сверху счищается поликремниевый слой толщиной около 10 мкм (B) и вертикально структурируется с использованием лаковой маски (C) и травления. На последнем этапе технологического процесса с помощью фтористого водорода под слоем поликремния удаляется «жертвенный» оксидный слой (D). Таким способом обнажаются подвижные электроды ускорения (рис. 3).

Соединение пластин

Происходит при анодном соединении и соединении стеклоуплотнением. Это необходимо для герметизации полости с контрольным разрежением или при использовании защитных крышек над чувствительными элементами.

1 Структуры, изготавливаемые по технологии объемной микромеханики

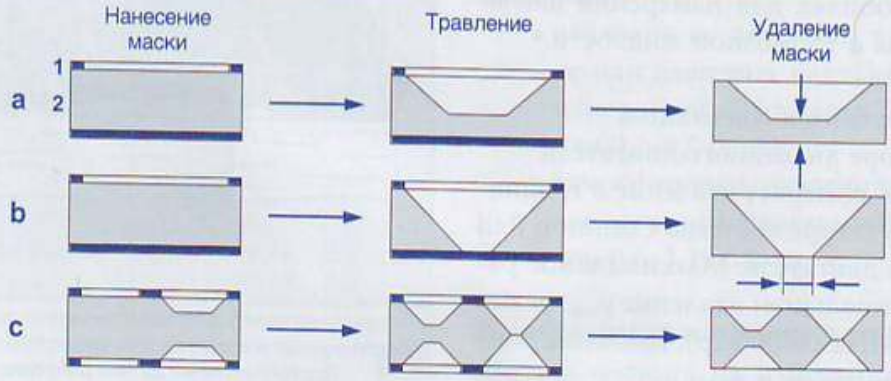


Рис. 1
- a — изготовление диафрагмы
- b — изготовление отверстия
- c — изготовление стержней и перемычек

1. Маска, используемая при операции травления
2. Кремний

2 Поверхностная микромеханика (операции технологического процесса)

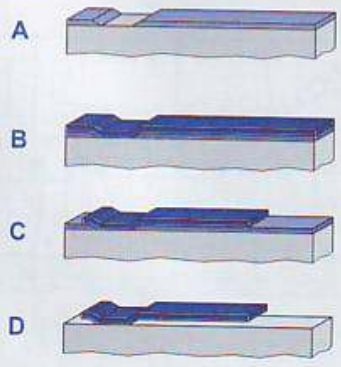


Рис. 2
- A — снятие и структурирование «жертвенного» оксидного слоя
- B — снятие поликремния
- C — структурирование поликремния
- D — удаление «жертвенного» оксидного слоя

3 Поверхностная микромеханика (структурные детали)

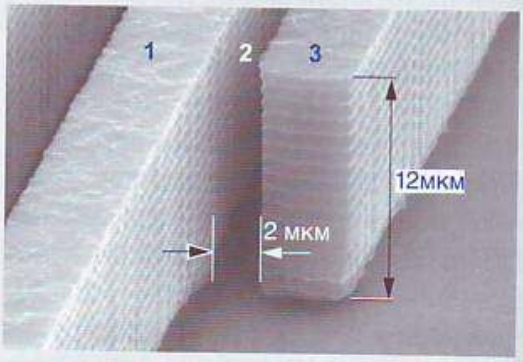


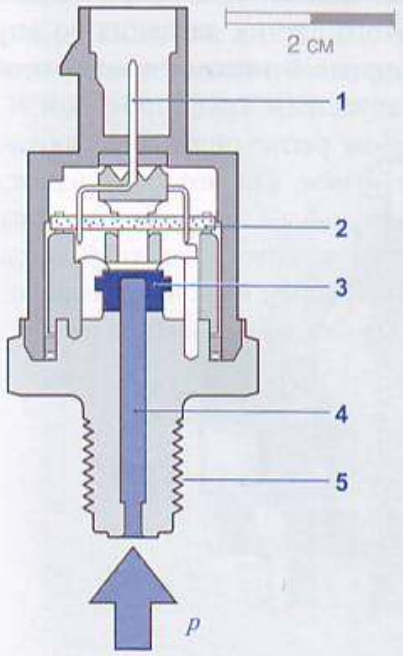
Рис. 3
1. Неподвижный электрод
2. Зазор
3. Подпружиненный электрод

и составляет 5–12 МПа (50–120 бар). Величина (замеренная) давления используется в замкнутом контуре управления давлением в топливной рампе. Номинальная величина давления, зависящая от частоты вращения коленчатого вала и нагрузки, хранится в программной характеристической диаграмме и изменяется клапаном регулировки давления в топливной рампе.

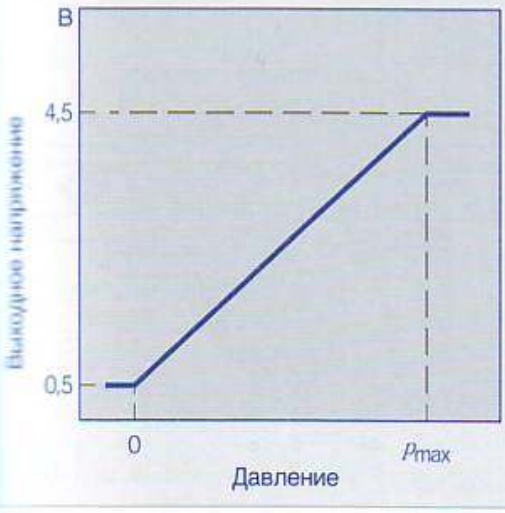
Датчик давления тормозной жидкости

Датчик высокого давления применяется для измерения давления тормозной жидкости в гидромодуляторе таких систем безопасности движения, как контроль динамики автомобиля (ESP), которое, как правило, равно 25 МПа (250 бар). Максимальные величины давления p_{max} могут возрастать до 35 МПа (350 бар). Измерение и контроль давления осуществляются блоком управления, который также оценивает сигнал обратной связи.

1 Датчик высокого давления



2 Датчик высокого давления (характеристическая кривая, пример)



Конструкция и принцип работы

Основу датчика составляет стальная мембрана (3, рис. 1), на которую напылены тензорезисторы, соединенные между собой по мостовой схеме. Измерительный диапазон датчика зависит от толщины мембраны (большая толщина используется при повышенных давлениях, меньшая — при небольших). Как только измеряемое давление через соединительный канал 4 начинает воздействовать на одну сторону мембраны, тензорезисторы измеряют величину своего сопротивления за счет прогиба мембраны (примерно 20 мкм при 1500 бар).

Выходное напряжение в диапазоне 0–80 мВ, создаваемое в мостовой схеме, подается через соединительные провода к элементу оценки сигнала 2 в датчике. Она усиливает напряжение сигнала в диапазоне 0–5 В и посылает его в блок управления, который на базе имеющейся в его памяти характеристической кривой (рис. 2) рассчитывает величину давления.

Рис. 1
1. Электрическое соединение (разъем)
2. Элемент оценки сигнала
3. Стальная мембрана с тензорезисторами
4. Канал подвода топлива под давлением
5. Крепежная резьба

Датчик скоростного напора (массового расхода) воздуха LMM

Применение

Датчик LMM все еще применяется на многих бензиновых двигателях с определенными вариантами систем L-Jetronic или M-Motronic. Он располагается между воздушным фильтром и дроссельной заслонкой и работает на принципе поворота воздушной заслонки, регистрируя массу QL воздуха, поступающего в двигатель (рис. 1–3).

Конструкция и принцип работы

Поворотная заслонка (1, рис. 1) датчика массового расхода воздуха изменяет площадь поперечного сечения проходного отверстия. Поток всасываемого воздуха Q_L отклоняет заслонку на определенный угол в зависимости от массового расхода воздуха, чему противодействует постоянное усилие пружины. При этом с увеличением массового расхода воздуха площадь свободного поперечного сечения отверстия становится больше.

Изменение свободного поперечного сечения датчика, в зависимости от положения заслонки, выбрано таким, чтобы иметь логарифмическую взаимосвязь между углом поворота заслонки и всасываемой массой воздуха. Это обеспечивает высокую чувствительность датчика при небольших массовых расходах воздуха, которые требуют высокой точности измерения. Требуемая точность измерения равна 1–3% от замеряемого массового расхода воздуха в диапазоне $Q_{max} : Q_{min} = 100 : 1$.

Потенциометр (4, рис. 1) считывает угловое положение заслонки и преобразует его в величину выходного электрического напряжения U_A (рис. 4) для дальнейшей передачи в блок управления. Для того чтобы старение потенциометра и температура не влияли на точность измерений, блок управления только оценивает соотношение сопротивлений.

Другим, подлежащим определению фактором являются такты впуска в отдельных цилиндрах двигателя, при которых возникают колебания давления во впускном трубопроводе. Датчик может определять такие колебания частотой только до 10 Гц. Для того чтобы минимизировать эти колебания, компенсационная створка (6, рис. 1), жестко соединена с измерительной заслонкой датчика, которая совместно с демпфирующей камерой 5 позволяет гасить колебания давления воздуха на впуске.

При измерении расхода воздуха по принципу скоростного напора вместо требуемой массы воздуха (пропорциональной произведению $p \cdot v$) регистрируется только количество проходящего воздуха, пропорционального произведению $\sqrt{p} \cdot v$. Поэтому для точной дозировки топлива необходима поправка на плотность воздуха (температура и давление воздуха).

Так как плотность воздуха зависит от его температуры, это учитывается блоком управления, где происходит расчет поправки на основе показаний датчика температуры (2, рис. 1). Этот датчик имеет терморезистор и встроен в датчик массового расхода воздуха. В вариантах системы M-Motronic дополнительно осуществляется поправка показаний в соответствии с изменениями атмосферного давления. Для этого датчик давления во впускном трубопроводе пневматически сообщается с впускным трубопроводом и таким способом регистрирует абсолютное давление в нем. Он либо непосредственно встроен в блок управления (связанный шлангом с впускным трубопроводом), либо закреплен вблизи впускного трубопровода или установлен на нем.

1 Датчик скоростного напора (массового расхода) воздуха

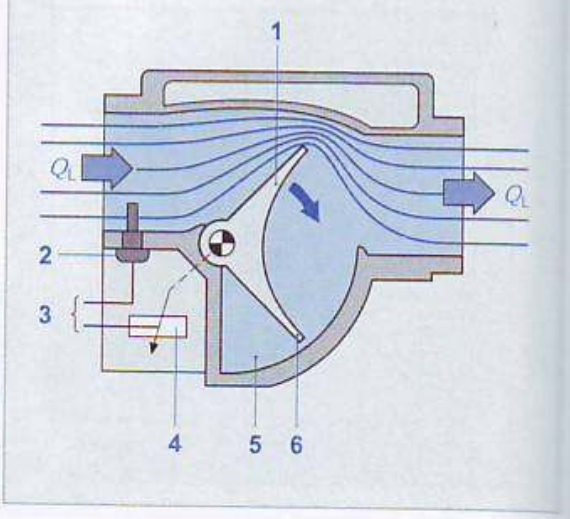


Рис. 1
1. Заслонка датчика
2. Датчик температуры воздуха
3. Блок управления
4. Потенциометр
5. Демпфирующая камера
6. Компенсационная створка

Q_L — поток всасываемого воздуха

2 Датчик скоростного напора (массового расхода) воздуха (со стороны воздушной камеры)

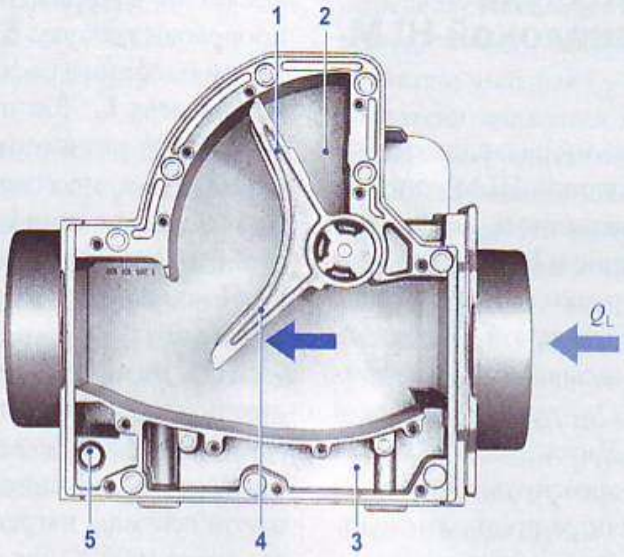


Рис. 2
1. Компенсационная створка
2. Демпфирующая камера
3. Обходной канал (байпас)
4. Заслонка
5. Винт регулирования состава смеси на холостом ходу

Q_L — поток всасываемого воздуха

3 Датчик скоростного напора (массового расхода) воздуха (со стороны соединительных и рабочих устройств)

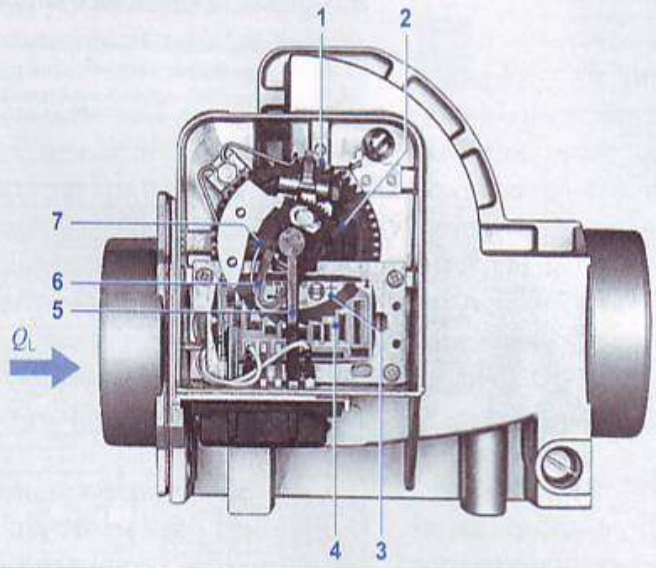


Рис. 3
1. Зубчатый венец для предварительного натяжения пружины
2. Возвратная пружина
3. Контактная дорожка потенциометра
4. Керамическая плата с резисторами и печатной схемой электропроводников
5. Контакт на движке потенциометра
6. Движок
7. Контакт с насосом

Q_L — поток всасываемого воздуха

4 Датчик скоростного напора (массового расхода) воздуха (схема подключения потенциометра и характеристическая кривая напряжения)

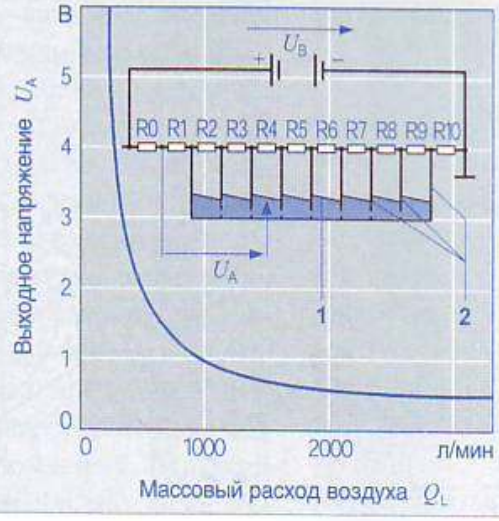


Рис. 4
1. Контактная дорожка
2. Коллекторная пластина (опорные точки)

Для характеристической кривой действует правило:
$U_A \sim 1/Q_L$

Термоанемометрический расходомер воздуха с горячей проволокой HLM

Применение

Термоанемометрический расходомер воздуха с горячей проволокой HLM устанавливается на ряде бензиновых двигателей с системами LH-Jetronic и M-Motronic как датчик тепловой нагрузки между воздушным фильтром и дроссельной заслонкой. Он регистрирует всасываемую двигателем массу воздуха Q_M для определения нагрузки двигателя. Расходомер HLM является самым быстрореагирующим из используемых в настоящее время расходомеров воздуха, т. к. он может работать в условиях колебаний давления с частотой до 1 КГц.

Конструкция

Расходомер HLM состоит из трубчатого корпуса, защищенного с двух сторон проволочными решетками, через которые проходит поток всасываемого воздуха. Поперек измерительной трубы в форме трапеции натянута нагревательная платиновая проволока диаметром 70 мкм, которая перекрывает почти все поперечное сечение потока воздуха. Перед ней располагается омываемый потоком воздуха температурно-компенсирующий резистор (тонкопленочный). Оба этих элемента (горячая проволока и резистор) являются интегральными частями замкнутого контура управления и функционируют как температуро-зависимые резисторы. Цепь автоматического регулирования состоит преимущественно из мостовой схемы и усилителя (рис. 1 и 2).

Принцип работы

Температурно-компенсирующий резистор вначале измеряет температуру всасываемого воздуха, который затем охлаждает нагревательную проволоку. Замкнутый контур управления регулирует ток нагревателя так, что температура горячей проволоки будет поддерживаться на постоянном уровне относительно температуры всасываемого воздуха. Этот измерительный принцип должен адекватно учитывать плотность воздуха, т. к. она тоже влияет на величину теплоотдачи горячей проволоки воздуху. В соответствии с этим мерой массового расхода воздуха является ток нагрева I_H. Ток прецизионного измерительного резистора R_M создает пропорциональный массовому расходу воздуха сигнал напряжения U_M, который поступает в блок управления. Однако расходомер HLM не может распознавать направление потока воздуха.

Для того чтобы избежать искажений результатов измерений из-за отложений грязи на платиновой проволоке, она, после каждого выключения двигателя, в течение одной секунды нагревается до температуры около 1000 °C для обеспечения выгорания этих отложений. При этом отложившаяся грязь испаряется или откалывается, и горячая проволока очищается.

Рис. 1
- R_K — температурно-компенсирующий резистор
- R_H — резистор нагревателя горячей проволоки
- R_M — измерительное сопротивление
- $R_{1,2}$ — уравнительные резисторы в мостовой схеме
- U_M — измерительное напряжение
- I_H — нагревательный ток
- t_L — температура воздуха
- Q_M — массовый расход воздуха

1 Термоанемометрический расходомер воздуха с горячей проволокой (схема)

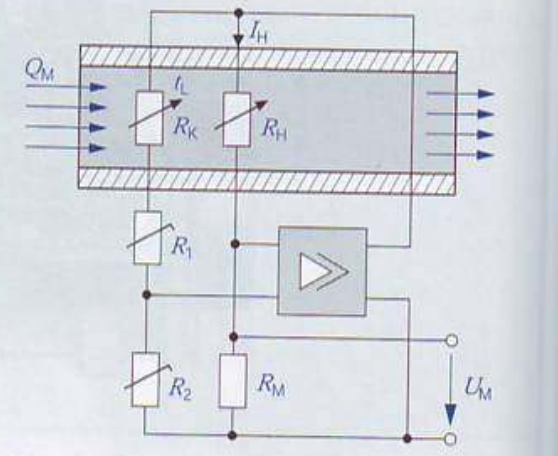
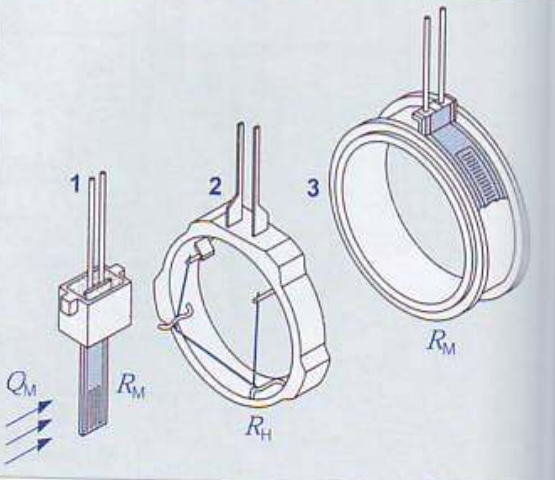


Рис. 2
1. Температурно-компенсирующий резистор R_K
2. Сенсорное кольцо с горячей проволокой R_H
3. Прецизионный измерительный резистор R_M

Q_M — массовый расход воздуха

2 Термоанемометрический расходомер воздуха с горячей проволокой (элементы)



Термопленочный датчик массового расхода воздуха HFM2

Применение

Датчик HFM2 представляет собой тол-стопленочный датчик, который устанав-ливается на ряде бензиновых двигателей с системами LH-Jetronic или M-Motronic в качестве детектора тепловой нагрузки между воздушным фильтром и дроссель-ной заслонкой. Он регистрирует с высокой точностью массовый расход Q_M воздуха, всасываемого двигателем, для определе-ния нагрузки двигателя.

Конструкция

Электронагреваемый платиновый рези-стор R_H нагревателя датчика HFM2 нахо-дится вместе с другими мостовыми рези-сторами на керамическом чипе (подложке, рис. 1).

Мостовая схема также содержит тер-морезистор R_S (датчик потока), который определяет температуру нагревателя. Раз-деление нагревателя и датчика потока оказывается эффективным при исполь-зовании замкнутого контура управления. Нагревательный элемент и температур-но-компенсирующий датчик (резистор R_K) термически разъединены двумя пазами (рис. 2).

Так как грязь откладывается преиму-щественно на переднем крае сенсорного элемента, другие элементы, оказывающие основное влияние на процесс теплопере-дачи, расположены за керамической под-ложкой. Кроме того, датчик так сконстру-ирован, что отложение грязи не влияет на обтекание датчика воздушным потоком.

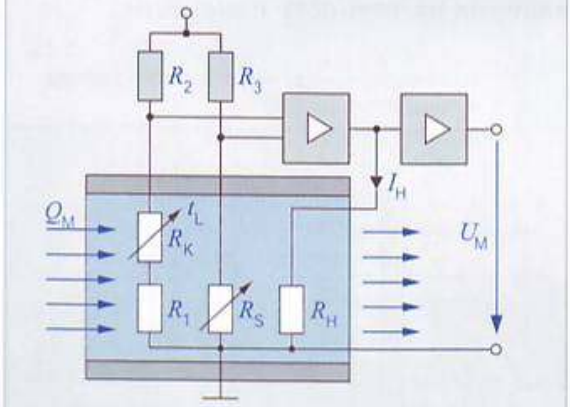
Принцип работы

Электронагреваемый платиновый рези-стор нагревателя расположен в потоке всасываемого воздуха, где он охлаждает-ся этим потоком. Замкнутый контур уп-равления регулирует ток нагревателя так, что нагреваемая проволока имеет посто-янный уровень превышения своей тем-пературы над температурой всасываемого воздуха. Этот измерительный принцип оптимально учитывает плотность возду-ха, т. к. она также, как скорость потока, определяет величину теплоотдачи нагре-той проволоки воздуху. В этом случае на-гревательный ток I_H или напряжение на-гревателя являются мерой (нелинейной) массового расхода воздуха Q_M.

Электронная схема датчика HFM2 преобразует это напряжение в напряже-ние U_M, которое в качестве входного па-раметра может использоваться в блоке управления. На основе этого параметра компьютер блока управления рассчиты-вает массу воздуха, всасываемого в дви-гатель за один рабочий цикл. Датчик HFM2 не может определять направление воздушного потока.

Долговременная точность измерения обеспечивается на уровне ±4% даже без выжигания отложений грязи.

1 Термопленочный датчик массового расхода воздуха (схема)



2 Термопленочный датчик массового расхода воздуха (керамическая подложка)

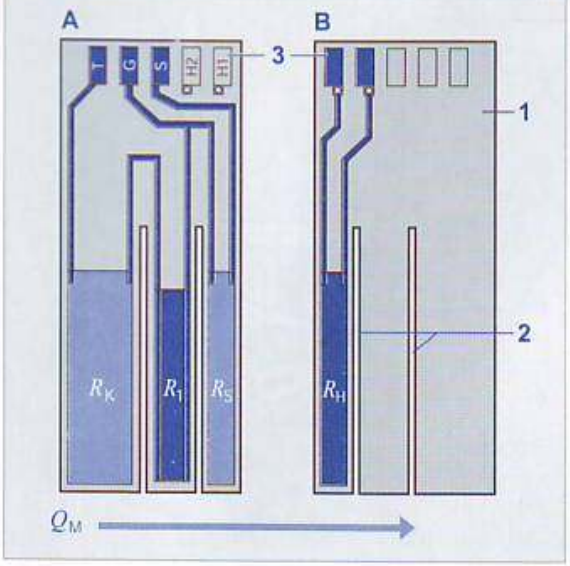


Рис. 1
R_K — температурно-компенсирующий датчик (резистор)
R_H — резистор нагревателя
R_S — сенсорный резистор
R_1, — мостовые резисторы
R_2,
R_3
U_M — измерительное напряжение
I_H — нагревательный ток
t_L — температура воздуха
Q_M — массовый расход воздуха

Рис. 2
A — передняя сторона
B — задняя сторона
1. Керамическая подложка
2. Два паза
3. Контакты
R_K — температурно-компенсирующий датчик (резистор)
R_H — нагревательный резистор
R_S — сенсорный резистор
R_1 — мостовой резистор

Термопленочный датчик массового расхода воздуха HFM5

Применение

Для получения оптимального сгорания в рамках установленных нормами параметров токсичности ОГ необходимо обеспечить точный контроль за массовым расходом воздуха независимо от рабочего режима двигателя.

Этот контроль может обеспечить термопленочный датчик массового расхода воздуха, который с большой точностью измеряет парциальную массу воздуха, действительно проходящего через воздушный фильтр или измерительную трубку. Он также учитывает пульсации и обратные потоки, вызываемые открытием и закрытием впускных и выпускных клапанов. Изменения температуры всасываемого воздуха не оказывают влияния на точность измерений.

1 Термоплёночный датчик массового расхода воздуха HFM5 (схема)

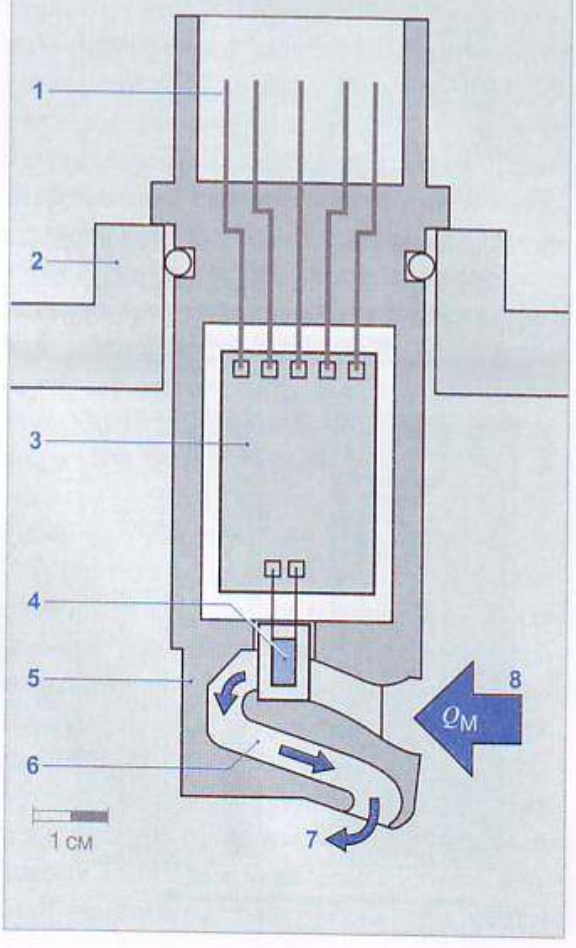


Рис. 1
1. Электрическое соединение (разъем)
2. Измерительная трубка или стенка корпуса воздушного фильтра
3. Электронная схема предварительной обработки результатов (гибридная схема)
4. Измерительный элемент
5. Корпус датчика
6. Измерительный канал парциального воздушного потока
7. Выход измерительного парциального потока Q_M
8. Вход измерительного парциального потока Q_M

Конструкция

Датчик HFM5 вместе со своим корпусом 5 (рис. 1) входит в измерительную трубку 2, которая может иметь разные диаметры в зависимости от потребного для двигателя массового расхода воздуха (370–970 кг/ч). Измерительная труба установлена в тракте впуска за воздушным фильтром. Существуют также сменные датчики, которые располагаются в воздушном фильтре.

Существенными конструктивными элементами датчика являются измерительный элемент 4, обтекаемый воздушным потоком 8, и интегрированная схема 3 предварительной обработки результатов.

Детали измерительного элемента напылены на полупроводниковую подложку, а компоненты электронной схемы предварительной обработки результатов (гибридная схема) — на керамическую подложку. За счет этого возможно получение очень миниатюрных конструкций. В свою очередь электронная схема предварительной обработки результатов посредством электрических соединений 1 связана с блоком управления. Измерительный канал парциального потока 6 имеет такую форму, что воздух без завихрения может проходить через измерительный элемент на выход 7, а затем обратно в измерительную трубу. За счет этого улучшаются характеристики датчика при сильно пульсирующих потоках и, наряду с прямыми потоками, распознаются также обратные потоки (рис. 2).

Принцип работы

Датчик HFM5 является тепловым.

На измерительном элементе 3 (рис. 3) датчика центрально расположенный нагревательный резистор обеспечивает нагрев микромеханической мембраны 5 и поддерживает постоянной ее температуру. Вне регулируемой нагревательной зоны 4 температура резко падает.

Два терморезистора, симметрично расположенных в потоке воздуха на мембране до и после нагревательного резистора

точки измерения M_1 и M_2, рис. 3), регистрируют распределение температуры на этой мембране. При отсутствии потока воздуха температурная характеристика 1 (рис. 3) — одинаковая с обеих сторон зоны нагрева ($T_1 = T_2$).

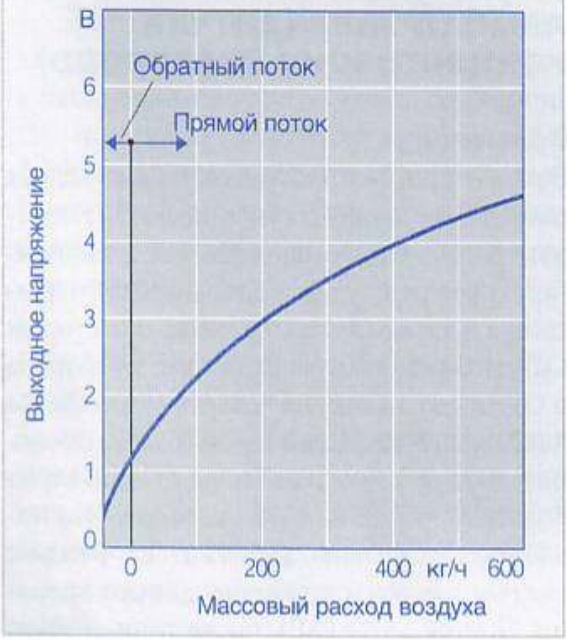
Если воздух обтекает измерительный элемент, то постоянство распределения температуры на мембране сдвигается (2, рис. 3). На стороне входа характеристическая кривая температуры имеет более крутой вид, т. к. протекающий мимо воздух охлаждает эту зону. На противоположной стороне, обращенной к двигателю, измерительный элемент сначала охлаждается, а затем постоянно нагревается от воздуха, проходящего через зону подогрева мембраны. Изменения в распределении температуры приводят к возникновению разности температур (ΔT) между точками измерений M_1 и M_2.

Теплоотдача в воздух и связанное с этим изменение температуры измерительного элемента зависит от массового расхода воздуха. Разность температур (независимо от абсолютной температуры протекающего воздуха) является мерой массового расхода воздуха; к тому же она зависит от воздушного потока, поэтому датчик HFM5 может определять как массу воздуха, так и направление воздушного потока. Благодаря очень тонкой микромеханической мембране датчик реагирует очень быстро на изменения температуры (< 15 мс). Это особенно важно при наличии сильно пульсирующих воздушных потоков.

Разность сопротивлений в измерительных точках M_1 и M_2 в электронной схеме предварительной обработки результатов, интегрированной в датчик, преобразуется в аналоговый сигнал напряжения от 0 до 5 В, пригодный для ввода в блок управления. С помощью характеристики датчика, введенной в качестве программного параметра в блок управления (рис. 2), измеренное напряжение преобразуется в величину массового расхода воздуха (кг/ч).

Характеристическая кривая датчика имеет такой вид, что диагностическая схема, интегрированная в блок управления, может распознавать сбои в работе, например, обрывы электропроводников. В термоплёночный датчик может быть встроен датчик температуры для дополнительных ее замеров. Он располагается на измерительном элементе перед зоной нагрева.

2 Термопленочный датчик массового расхода воздуха (зависимость напряжения на выходе от измерительного парциального потока воздуха)



3 Термопленочный датчик массового расхода воздуха (принцип измерения)

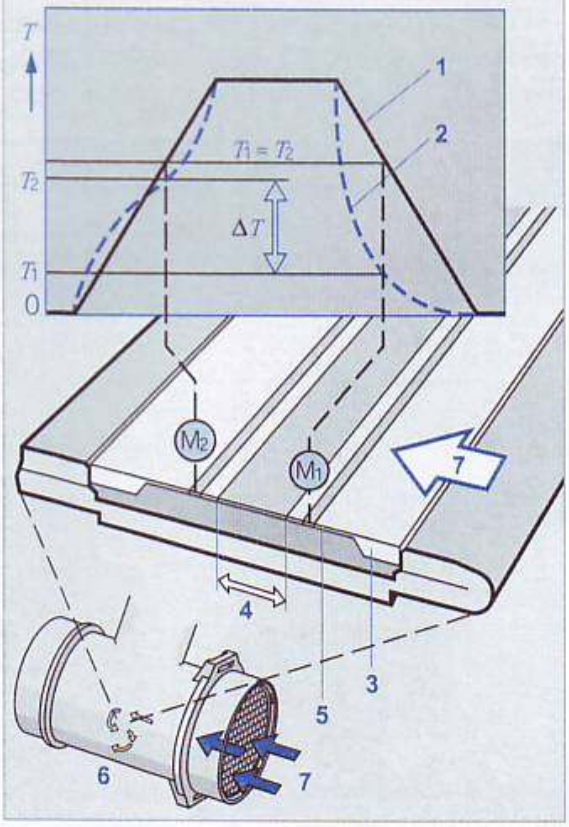


Рис. 3

1. Изменение температуры при отсутствии обтекания воздушным потоком измерительного элемента
2. Изменение температуры при обтекании измерительного элемента воздушным потоком
3. Измерительный элемент
4. Зона нагрева
5. Мембрана
6. Измерительная труба с датчиком массового расхода воздуха
7. Вход потока всасываемого воздуха

M_1, M_2 — точки измерения

T_1, T_2 — температуры в точках измерения M_1 и M_2

ΔT — разность температур

Для определения массы воздуха датчик температуры не требуется. Для применения на автомобилях специальных типов существуют дополнительные меры для лучшего отделения от потока воздуха воды и грязи (внутренняя измерительная труба, защитная решетка).

Двухступенчатый лямбда-зонд (датчик концентрации кислорода)

Применение

Эти датчики используются в бензиновых двигателях с двухступенчатым лямбда-контролем. Они располагаются в выпускной трубе между выпускным трактом двигателя и каталитическим нейтрализатором ОГ и определяют содержание кислорода в ОГ, выходящих из каждого цилиндра двигателя. Благодаря нагреву лямбда-зонда, он может быть установлен на сравнительно большом расстоянии от двигателя, что позволяет двигателю работать на режиме полной нагрузки в течение долгого времени. Датчик типа LSF4 также применяется в системах снижения токсичности ОГ совместно с рядом других датчиков (например, в системе бортовой диагностики OBD II).

Двухступенчатые лямбда-зонды сравнивают концентрацию остаточного кислорода в ОГ с содержанием контрольной атмосферы внутри этого датчика. Затем они определяют состав рабочей смеси в ОГ — богатая ($\lambda < 1$) или бедная ($\lambda > 1$). Резкое изменение характеристической кривой этих датчиков позволяет регулировать состав рабочей смеси до $\lambda = 1$ (рис. 1).

Конструкция

Датчик LSH25 трубчатого (пальцевого) типа

Твердый электролит представляет собой газонепроницаемый керамический материал и состоит из диоксида циркония и оксида иттрия. Внутренние и наружные поверхности имеют покрытия из пористой платины, которые служат электродами. Датчик выполнен в форме трубки, закрытой с одного конца (палец).

Платиновый электрод на наружной поверхности керамического тела входит в выпускную трубу и действует как нейтрализатор в миниатюре. Воздействующие на этот электрод ОГ проходят химическую обработку и доводятся до стехиометрического равновесия ($\lambda = 1$). Дополнительно на стороне, подвергающейся воздействию ОГ, нанесен пористый керамический слой (слой шпинели) для защиты от загрязнения. Металлическая трубка с прорезями защищает керамическое тело от механических ударных нагрузок (толчков) и от тепловых ударов. Несколько пазов специальной формы в защитной

1 Двухступенчатый лямбда-зонд (характеристическая кривая напряжения для рабочей температуры 600 °C)

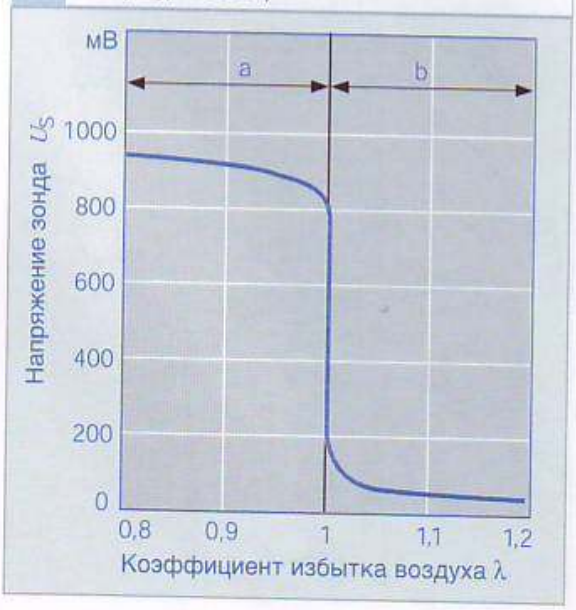


Рис. 1
- a — богатая смесь (недостаток воздуха)
- b — бедная смесь (избыток воздуха)

2 Расположение лямбда-зонда трубчатого (пальцевого) типа в выпускной трубе

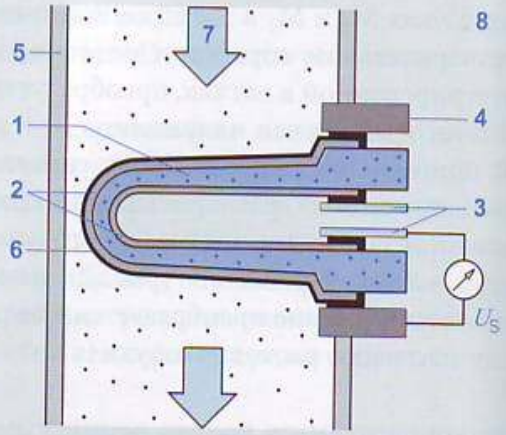


Рис. 2
1. Керамический элемент зонда
2. Электроды
3. Контакты
4. Контакт корпуса
5. Выпускная труба
6. Керамический защитный слой (пористый)
7. Отработавшие газы
8. Атмосферный воздух

U_s — напряжение зонда

трубке, с одной стороны, позволяют эффективно защищать керамическое тело от тепловых и химических нагрузок, а с другой стороны, препятствуют резкому падению температуры керамического элемента датчика при холодном ОГ. «Открытая» внутренняя камера датчика изолирована от потока ОГ и сообщается с окружающим воздухом, который выполняет роль контрольного газа (рис. 2).

Необогреваемый трубчатый (пальцевый) лямбда-зонд LS21

Керамическая опорная труба и тарельчатая пружина поддерживают активный, пальцевый керамический элемент в корпусе зонда и герметизируют его. Контактная деталь между опорной трубой и активным керамическим элементом зонда обеспечивает контакт соединительным кабелем.

Металлическое уплотнительное кольцо соединяет внешний электрод с корпусом зонда. Полнокомплектная внутренняя конструкция зонда удерживается на своем месте защитной металлической гильзой, которая также играет роль опоры для тарельчатой пружины.

Эта защитная гильза также защищает внутреннюю часть зонда от загрязнения. Соединительный кабель подключен путем обжатия с выступающей наружу частью контакта и защищен от влажности и механического повреждения термостойким колпачком.

Для того чтобы изолировать продукты сгорания в ОГ от керамического элемента зонда, на корпусе зонда со стороны ОГ помещена защитная труба особой формы. Шлицы в защитной трубе выполнены таким образом, что защищают особенно эффективно от термических и химических нагрузок.

Обогреваемый трубчатый (пальцевый) лямбда-зонд LSH24

Такой зонд (рис. 4) также снабжен электронагревательным элементом. При низких нагрузках двигателя (например, при пониженных температурах ОГ) темпера-

3 Необогреваемый трубчатый (пальцевый) лямбда-зонд LS21

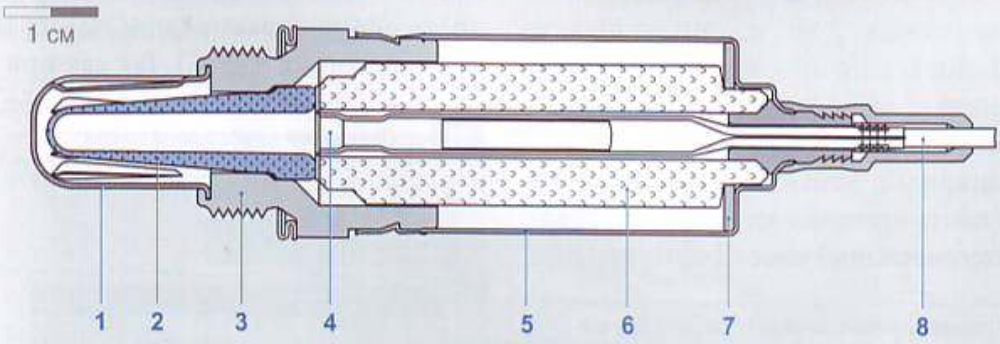


Рис. 3
1. Защитная труба
2. Активный керамический элемент зонда
3. Корпус зонда
4. Контактный элемент
5. Защитная оболочка
6. Керамическая защитная труба
7. Тарельчатая пружина
8. Соединительный кабель

4 Обогреваемый трубчатый (пальцевый) лямбда-зонд LSH24

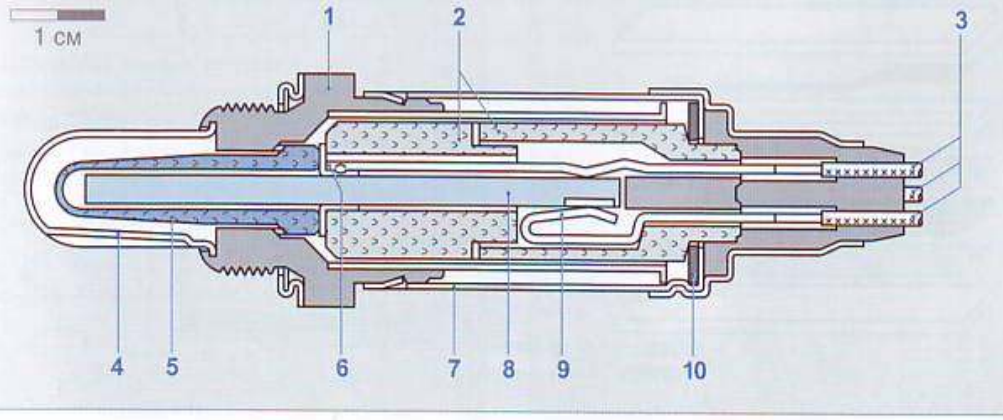


Рис. 4
1. Корпус зонда
2. Керамическая защитная труба
3. Соединительный кабель
4. Защитная труба со шлицами
5. Активный керамический элемент зонда
6. Контактный элемент
7. Защитная гильза
8. Нагревательный элемент
9. Зажимные соединения нагревательного элемента
10. Тарельчатая пружина

тура керамического элемента определяется электронагревателем, а при высоких нагрузках — температурой ОГ. В зависимости от мощности электронагревательного элемента, температура ОГ (порядка 150–200 °C) снижается для доведения температуры керамического элемента зонда до оптимальной величины. Благодаря электронагреву зонд нагревается так быстро, что его рабочая температура достигается уже в течение 20–30 с после пуска двигателя и, следовательно, начинает работать замкнутый контур управления. Нагревание зонда обеспечивает постоянную оптимальную рабочую температуру (при превышении функциональной температурной границы в 350 °C), что также позволяет достичь более низких и устойчивых показателей токсичности ОГ.

Планарный лямбда-зонд LSF4

Планарные зонды по своим функциональным характеристикам соответствуют нагреваемым пальцевым зондам со скачкообразной характеристической кривой при $\lambda = 1$. Но твердый электролит этого зонда состоит из ряда отдельных, наслаивающихся друг на друга пленок (рис. 5). Двухстеночная защитная трубка предохраняет зонд от термических и механических воздействий.

Планарный керамический элемент зонда (измерительная ячейка и нагреватель интегрированы) имеет форму вытянутой пластинки с прямоугольным поперечным сечением. Поверхность измерительного элемента покрыта микропористым слоем из благородных металлов. Со стороны воздействия ОГ она дополнительно покрыта пористым керамическим слоем для предохранения от эрозионного разрушения, вызываемого компонентами ОГ. Нагреватель — это элемент, содержащий в форме меандра благородный металл. Он встроен в керамическую пластинку, изолирован от нее и обеспечивает быстрый нагрев зонда даже при минимальной мощности.

В то время как у опорной камеры внутри зонда LSF4 (рис. 6a и 7) есть доступ к атмосферному воздуху, зонд LSF8 (рис. 6b и 8) располагает кислородной опорной камерой, закрытой с наружной стороны.

Принцип действия

Двухступенчатые зонды работают по принципу гальванического элемента с твердым электролитом (принцип Нерста). Начиная с температуры примерно 350 °C, керамический элемент зонда становится проводящим для ионов кислорода (наибольшая эффективность и надежность обеспечиваются при температурах, превышающих 350 °C). Так как при рабо-

Рис. 5
1. Пористый защитный слой
2. Внешний электрод
3. Сенсорная пленка
4. Внутренний электрод
5. Пленка канала контрольного воздуха
6. Изоляционный слой
7. Нагреватель
8. Пленка нагревателя
9. Соединительные контакты

5 Планарный лямбда-зонд (функциональные слои)

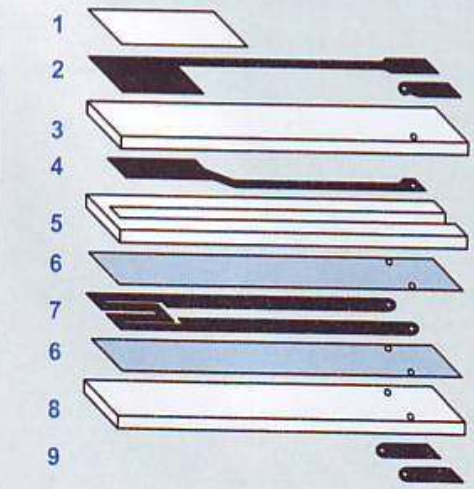
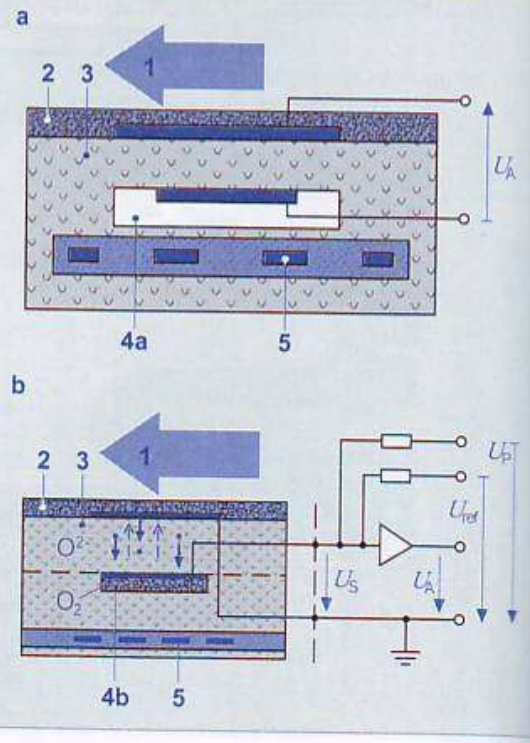


Рис. 6
a — модель LSF4
b — модель LSF8
1. Отработавшие газы
2. Пористый керамический защитный слой
3. Измерительный элемент с микропористым слоем из благородных металлов
4a. Канал контрольного воздуха
4b. Камера контрольного O_2
5. Нагреватель

U_A — напряжение на выходе
U_S — напряжение зонда
U_P — насосное напряжение
U_{ref} — контрольное напряжение

6 Планарный лямбда-зонд (схема)



те в зоне стехиометрической смеси ($\lambda = 1$) имеет место резкое изменение концентрации кислорода в ОГ (например, $9 \cdot 10^{-15}$ объемных % для $\lambda = 0{,}99$ и 0,2 объемных % для $\lambda = 1{,}01$). Это приводит к тому, что между обеими пограничными поверхностями зонда возникает электрическое напряжение из-за разной концентрации кислорода внутри и снаружи зонда. Это означает, что показатель концентрации кислорода в ОГ может служить мерой соотношения топлива и воздуха в рабочей смеси.

Особенностью зонда LSF8 является то, что он сравнивает содержание остаточного кислорода в ОГ с содержанием кислорода в закрытой с наружной стороны контрольной камере внутри зонда. При насосном напряжении U_P на двух электродах течет ток 20 мкА, благодаря чему постоянно перекачивается кислород из ОГ через проводящий кислород керамический элемент из двуокиси циркония в камеру с пористым наполнителем. Но кислород из этой камеры постоянно диффундирует в сторону ОГ в соответствии с имеющейся там концентрацией кислорода. На основе этого получают напряжение зонда для каждой ситуации.

Выходное напряжение зонда является функцией концентрации кислорода в ОГ. При обогащенной рабочей смеси ($\lambda < 1$) это напряжение достигает 800 — 1000 мВ, а при обедненной смеси ($\lambda > 1$) — примерно 100 мВ. При переходе от обогащенной к обедненной смеси напряжение составляет 450–500 мВ.

Температура керамического тела тоже влияет на проводимость ионов кислорода и, следовательно, на форму кривой выходного напряжения в зависимости от коэффициента избытка воздуха λ (величины на рис. 1 относятся к температуре около 600 °C). Кроме того, время задержки (реакция зонда) изменения напряжения при изменении состава рабочей смеси сильно зависит от температуры.
Если это время реакции при температуре керамического тела до 350°C составляет только несколько секунд, то при оптимальной рабочей температуре около 600 °C это время снижается до менее чем 50 мс. Поэтому при пуске двигателя до достижения минимальной рабочей температуры примерно в 350 °C замкнутый контур лямбда-управления отключается. В этот период двигатель управляется разомкнутым контуром.

7 Планарный лямбда-зонд LSF4 (общий вид и разрез)

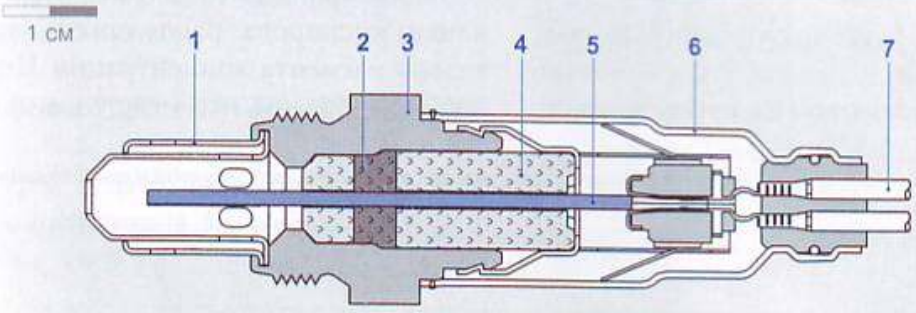


Рис. 7
1. Защитная труба
2. Керамический уплотнительный пакет
3. Корпус зонда
4. Керамическая опорная труба
5. Планарный измерительный элемент
6. Защитная гильза
7. Соединительный кабель

8 Планарный лямбда-зонд LSF8

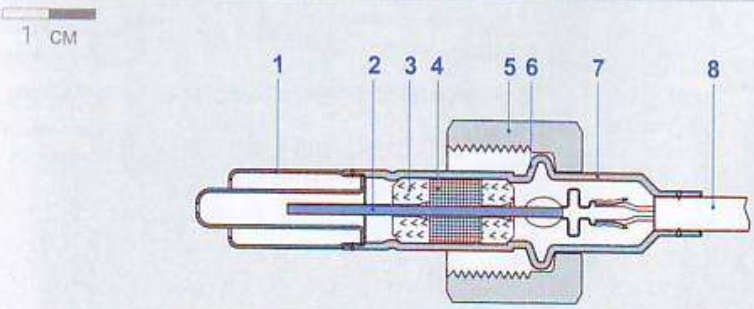


Рис. 8
1. Защитная труба
2. Планарный измерительный элемент
3. Изолирующий вкладыш
4. Керамический уплотнительный пакет
5. Накидная гайка
6. Уплотнительный фланец
7. Корпус зонда
8. Провод с металлической оболочкой

Слишком высокие температуры сокращают срок службы зонда. Поэтому лямбда-зонд должен быть установлен так, чтобы не превышалась рабочая температура 850 °C (зонд LSH25) и 930 °C (зонд LSF4).

Планарный широкополосный лямбда-зонд LSU4

Применение

С помощью широкополосного лямбда-зонда концентрация кислорода в ОГ может определяться в очень широком диапазоне и, следовательно, делаться вывод о соотношении воздуха и бензина в рабочей смеси в камере сгорания. Это соотношение описывается коэффициентом избытка воздуха λ (зонд располагается в выпускной трубе и определяет массовый расход ОГ от всех цилиндров двигателя). Широкополосные лямбда-зонды могут производить точные измерения не только при стехиометрической точке при $\lambda = 1$, но также в диапазонах обедненной ($\lambda > 1$) и обогащенной ($\lambda < 1$) рабочей смеси. В комбинации с замкнутым контуром электронного управления они дают однозначный непрерывный электрический сигнал в диапазоне $0{,}7 < \lambda < \infty$ (= воздуху с 21% O_2) (рис. 2).

Это означает, что широкополосный лямбда-зонд может использоваться не только в системах управления двигателем с двухступенчатой регулировкой ($\lambda = 1$), но также и при автоматическом регулировании в условиях обедненной и обогащенной рабочих смесей. Поэтому этот тип датчика также пригоден для лямбда-регулировки бензиновых двигателей, работающих на обедненной смеси, дизельных и газовых двигателей, а также газовых отопительных бойлеров (отсюда название LSU — Lambda-Sonde-Universal –универсальный лямбда-зонд).

Зонд выдвинут в выпускной коллектор и регистрирует ОГ всех цилиндров. Для большей точности в некоторых системах используется несколько лямбда-зондов, например, до и после каталитического нейтрализатора, а также в отдельных выпускных трактах (блоки цилиндров).

Конструкция

Широкополосный лямбда-зонд LSU4 (рис. 3) представляет собой планарный двухэлементный датчик предельного тока. Его измерительный элемент (рис. 1) состоит из керамического тела на основе диоксида циркония (ZrO_2) и представляет собой сочетание элемента концентрации Нернста (сенсорный элемент с функциями, как у двухступенчатого лямбда-зонда) и насосного элемента, который переносит ионы кислорода.

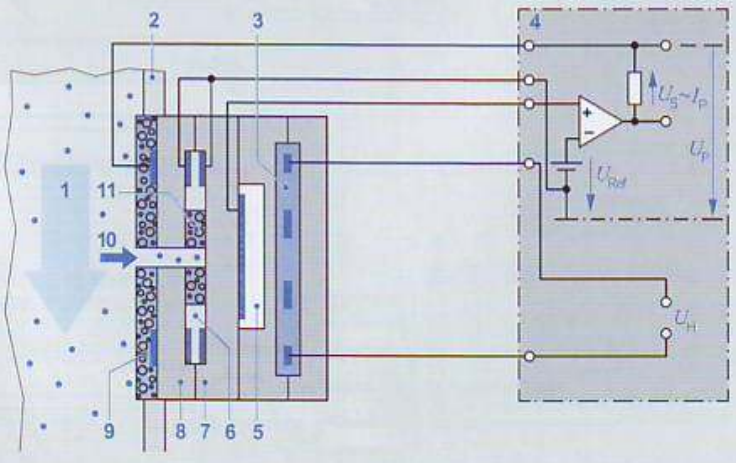
Насосный элемент 8 (рис. 1) для перекачки кислорода расположен относительно элемента концентрации Нернста 7 таким образом, что между ними обра-

Рис. 1

1. Отработавшие газы
2. Выпускная труба
3. Нагреватель
4. Электронная схема регулирования
5. Опорный элемент с контрольным воздушным каналом
6. Диффузионная щель
7. Элемент концентрации Нернста
8. Насосный элемент для подкачки кислорода с насосными электродами
9. Пористый защитный слой
10. Канал для доступа ОГ
11. Пористый диффузионный барьер

I_P — ток насоса
U_P — напряжение насоса
U_H — напряжение нагревателя
U_{Ref} — контрольное напряжение (450 мВ, соответствует $\lambda = 1$)
U_S — напряжение зонда

1 Планарный широкополосный лямбда-зонд (схема строения измерительного элемента и расположения его в выпускной трубе)



зуется диффузионная щель 6 размером около 10–50 мкм. В этой щели, соединенной с входным отверстием 10 для ОГ, расположены два электрода из пористой платины. Пористый диффузионный барьер 11 ограничивает при этом входящий поток молекул кислорода из ОГ.

Элемент концентрации Нернста соединяется на одной стороне через канал с контрольным воздухом 5 с атмосферой, а на другой стороне он подвергается воздействию ОГ в диффузионной щели.

Замкнутый контур электронного управления необходим для создания сигнала и регулирования температуры датчика. Встроенный нагреватель (3, рис. 1) быстро нагревает датчик до температуры 850–900 °C, что необходимо для выработки полезного сигнала. Эти функции в большой мере уменьшают влияние температуры ОГ на сигнал датчика.

Принцип действия

ОГ поступают в собственно измерительное пространство (диффузионную щель) элемента концентрации Нернста через небольшое входное отверстие в насосном элементе. Для того чтобы можно было регулировать коэффициент избытка воздуха λ в диффузионной щели, элемент концентрации Нернста сравнивает газ в диффузионной щели с контрольным воздухом в воздушном канале.

Весь процесс протекает следующим образом.

Путем подачи насосного напряжения U_P на платиновые электроды насосного элемента кислород, содержащийся в ОГ, прокачивается через диффузионный барьер в диффузионную щель или откачивается из нее. Электронная схема в блоке управления регулирует это напряжение U_P на насосном элементе с помощью элемента концентрации Нернста таким образом, что состав газа в диффузионной щели сохраняется постоянным при $\lambda = 1$. При обедненных ОГ насосный элемент откачивает кислород наружу (положительный насосный ток). Напротив, при обогащенных ОГ (за счет каталитического разложения CO_2 и H_2O на электроде ОГ) кислород из ОГ откачивается через диффузионную щель в окружающую среду (отрицательный насосный ток). При $\lambda = 1$ перекачка кислорода не должна производиться и насосный ток равен нулю. Этот ток пропорционален концентрации кислорода в ОГ и, таким образом, является нелинейной мерой коэффициента избытка воздуха λ (рис. 2).

3 Насосный ток IP широкополосного лямбда-зонда в зависимости от коэффициента избытка воздуха λ в ОГ

2 Планарный широкополосный лямбда-зонд LSU4 (в разрезе)

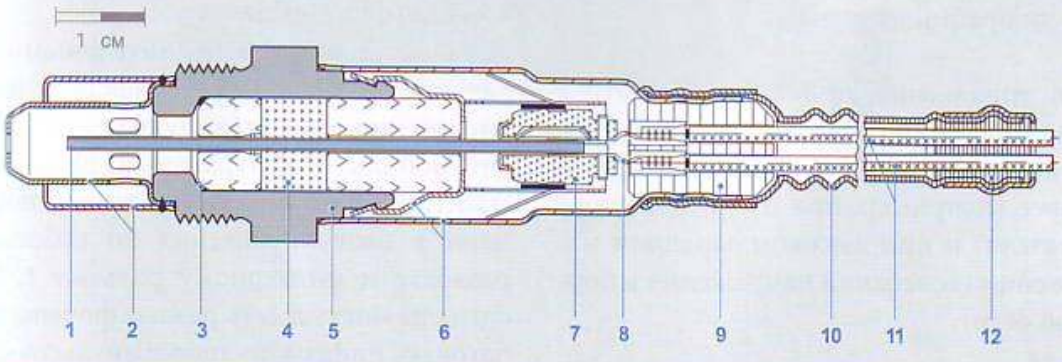


Рис. 3

1. Измерительный элемент (комбинация из элемента концентрации Нернста и кислородного насосного элемента)
2. Двойная защитная трубка
3. Уплотнительное кольцо
4. Уплотнительный пакет
5. Корпус зонда
6. Защитная гильза
7. Держатель контактных выводов
8. Пружинный зажим
9. Тефлоновый наконечник
10. Гофрированная оболочка из тефлона
11. Пять соединительных электропроводов
12. Уплотнительное кольцо

Электронный блок управления

С развитием цифровой технологии возникают разнообразные возможности управления и регулирования электронных систем в автомобиле. Может одновременно использоваться множество параметров для обеспечения оптимальной работы различных систем. Электронный блок управления (ECU) принимает электрические сигналы от датчиков, обрабатывает их и генерирует управляющие сигналы, которые поступают на исполнительные механизмы. Программы для замкнутого контура управления заложены в память блока управления. Реализация программ осуществляется микроконтроллером. Компоненты блока управления называются аппаратными средствами. Блок управления Motronic содержит все алгоритмы замкнутого и разомкнутого контуров управления, необходимые для реализации процессов управления двигателем (зажигание, смесеобразование, впуск и т.д.)

Условия работы

К блоку управления предъявляются весьма строгие требования. Он подвергается большим нагрузкам из-за:

- экстремальных температур окружающей среды (при нормальном режиме работы от –40 до +60…+125 °C);
- сильных перепадов температуры;
- воздействия агрессивных эксплуатационных материалов (масло, топливо и т. д.);
- воздействия влажности;
- механических нагрузок, например, вибрации двигателя.

Блок управления при пуске двигателя должен надежно работать даже при недостаточно заряженной аккумуляторной батарее (например, при пуске холодного двигателя) и при высоком зарядном напряжении (колебания напряжения в бортовой сети).

Другие требования базируются на необходимости соблюдения электромагнитной совместимости. Очень высоки требования в отношении чувствительности к электромагнитным помехам и ограничению излучения высокочастотных сигналов помех.

Конструкция

Печатная плата с электрическими компонентами (рис. 1) располагается в корпусе из металла или синтетического материала. Датчики, исполнительные механизмы и электропитание подключены к блоку управления посредством многополюсного штекерного разъема 1. Задающие каскады 3 большой мощности, которые обеспечивают непосредственное воздействие на исполнительные механизмы, встроены в корпус блока управления таким образом, что обеспечивается очень хороший теплоотвод на корпус и в окружающую среду.

Большинство электронных компонентов выполнено по технологии поверхностного монтажа (SMD). Это позволяет получить особенно компактные и легкие конструкции. Только некоторые мощные компоненты выполнены на плате по разъемной схеме.

Для установки блока управления непосредственно на двигателе существуют также гибридные варианты, сочетающие в себе компактность и высокую термостойкость.

Обработка данных

Входные сигналы

Датчики, наряду с исполнительными механизмами, образуют периферию блока управления, соединяющую между собой автомобиль и центральный процессор. Электрические сигналы датчиков поступают в блок управления по кабельной разводке и штекерному разъему 1. Эти сигналы могут иметь разные формы: аналоговую, цифровую либо импульсную.

Аналоговые входные сигналы

Аналоговые входные сигналы могут иметь любую величину напряжения в пределах определенного диапазона. Примерами физических величин, которые передаются в виде аналоговых сигналов, являются массовый расход воздуха, напряжение аккумуляторной батареи, давление во впускном трубопроводе и давление наддува, а также температура охлаждающей жидкости и всасываемого воздуха.

Эти сигналы преобразуются в микроконтроллере блока управления аналого-цифровым преобразователем (ADW) в цифровую форму, которой может оперировать центральный процессор микроконтроллера. Максимальное разрешение этих аналоговых сигналов равно 5 мВ. В общем измерительном диапазоне от 0 до 5 мВ имеется приблизительно 1000 ступеней приращений.

Цифровые входные сигналы

Эти сигналы обладают только двумя состояниями: «High» (логическая единица) и «Low» (логический ноль). Примерами цифровых входных сигналов являются сигналы включения (вкл./выкл.) или цифровые сигналы от датчиков, например, импульсы частоты вращения коленчатого вала датчика Холла или магниторезисторного датчика. Цифровые сигналы могут обрабатываться непосредственно в микроконтроллере.

1 Устройство блока управления, используемого в системе ME-Motronic (пример)

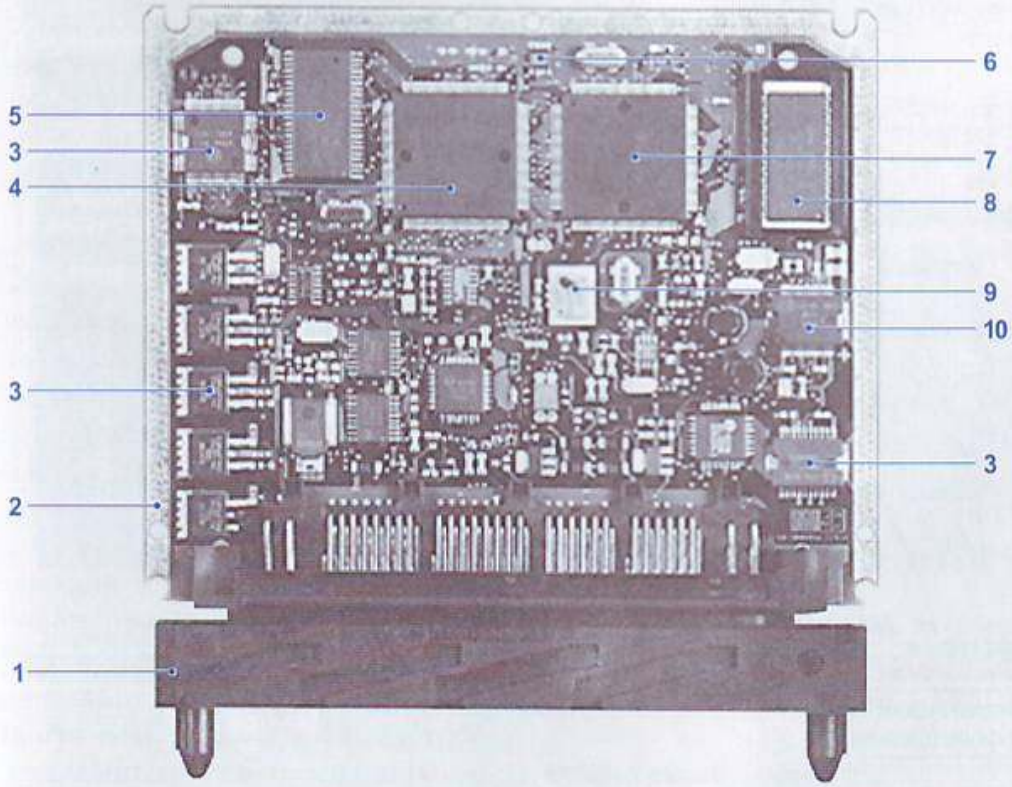


Рис. 1

1. Многополюсный штекерный разъем
2. Печатная плата
3. Задающие каскады
4. Микроконтроллер (функциональный процессор) с памятью ROM
5. Память Flash-EPROM с программами, специфическими для автомобиля
6. Память EEPROM
7. Микроконтроллер (процессор с расширенными возможностями, специализированная интегральная схема, ASIC) с памятью ROM
8. Память Flash-EPROM для процессора с расширенными возможностями
9. Датчик атмосферного давления
10. Периферийный модуль (интегрированные подача напряжения 5 В и схема предварительной обработки результатов измерений индуктивного датчика)

Запоминающее устройство с произвольной выборкой или оперативная память (RAM) располагается на обратной стороне печатной платы и поэтому на фото его не видно.

Импульсные входные сигналы

Импульсные входные сигналы от индуктивных датчиков с информацией о частоте вращения коленчатого вала и положении контрольных меток обрабатываются с помощью специальной схемы в блоке управления. При этом импульсные помехи подавляются, а импульсные сигналы преобразовываются в цифровые прямоугольные сигналы.

Определение сигналов

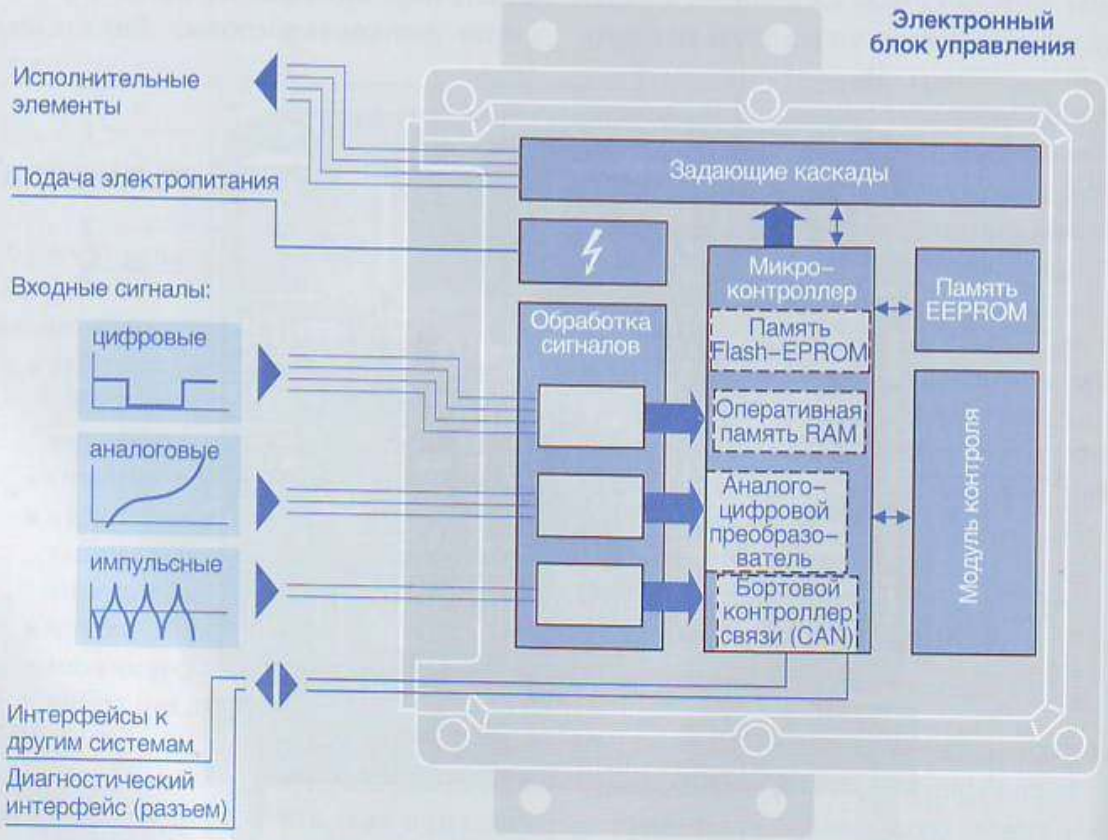
Напряжение входных сигналов ограничивается в схемах защиты до уровней, обеспечивающих их обработку. Полезный сигнал путем фильтрации в значительной степени освобождается от помех и, если необходимо, путем усиления адаптируется к допустимому напряжению на входе микроконтроллера (0–5 В).

В зависимости от ступени интеграции обработка сигналов может частично или даже полностью осуществляться в самом датчике.

Обработка сигналов

Блок управления представляет собой центр включения управления, контролирующий все функции и последовательность работы систем управления двигате-

2 Обработка сигналов в электронном блоке управления



лем. Алгоритмы управления реализуются в микроконтроллере. Входными параметрами служат входные сигналы от датчиков и интерфейсов связи с другими системами, например, шиной бортового контроллера связи (CAN). При поступлении на процессор они еще раз проверяются на достоверность. С помощью программного обеспечения блока управления рассчитываются выходные сигналы для управления исполнительными механизмами.

Микроконтроллер

Микроконтроллер, являясь центральным компонентом блока управления (рис. 2), управляет последовательностью процессов. Кроме центрального процессора, микроконтроллер содержит каналы входа и выхода, таймеры, модули памяти ROM и RAM, серийные интерфейсы и другие периферийные устройства, расположенные на микрочипе. Тактовые импульсы для микроконтроллера создает кварц.

Память для программ и данных

Микроконтроллер для расчетных операций нуждается в программном обеспечении. Программа загружается в программное запоминающее устройство в виде двоичных числовых значений, которые разделены на наборы данных. Центральный процессор считывает эти данные, интерпретирует их как команды и последовательно исполняет.

Программа заложена в постоянную память (ROM, EPROM или Flash-EPROM), которая также содержит особые данные (отдельные значения, характеристические кривые и диаграммы). При этом речь идет о постоянных данных, которые не могут изменяться в процессе эксплуатации автомобиля. Они влияют на процесс программируемого управления (замкнутые и разомкнутые контуры управления).

Программное запоминающее устройство может интегрироваться в микроконтроллер и, в зависимости от применения, еще дополнительно расширяться в отдельный компонент, например, за счет внешнего модуля памяти EPROM или модуля памяти Flash-EPROM.

Постоянная память (ROM)

Программируемые запоминающие устройства могут быть выполнены постоянными (ROM). Содержание этого ПЗУ определяется при изготовлении и затем уже не может изменяться. Емкость памяти ROM, интегрированной в микроконтроллер, ограничена. Для комплексного использования требуется дополнительное запоминающее устройство.

Постоянная память с возможностью стирания (EPROM)

Память EPROM может стираться путем облучения ультрафиолетовыми лучами и заново записываться программирующим устройством. Чаще всего память EPROM выполняется как отдельный компонент. Центральный процессор запрашивает память EPROM через адресную шину и шину данных.

Программируемая память с групповым электрическим стиранием (Flash-EPROM или FEPROM)

Память Flash-EPROM стирается электрическим путем. Благодаря этому блок управления с этой памятью может быть перепрограммирован в центре обслуживания без его вскрытия. При этом блок управления соединяется с центром перепрограммирования через интерфейс.

Если микроконтроллер дополнительно снабжен постоянной памятью (ROM), то в него закладывается комплект программ для флэш-программирования. Память Flash-EPROM может быть интегрирована вместе с микроконтроллером на микрочипе (начиная с модели EDC16).

Память Flash-EPROM за счет своих преимуществ в значительной мере вытеснила традиционную память EPROM.

Оперативная память или память переменных

Такая память с оперативной записью и считыванием необходима для хранения таких переменных, как, например, данные расчетов и значения сигналов.

Оперативная память с произвольной выборкой (RAM)
Все текущие значения сохраняются в памяти RAM (запоминающем устройстве оперативной записи и считывания). Объема памяти, интегрированной в микроконтроллер, недостаточно для комплексного применения, поэтому необходимо использование дополнительного модуля RAM. Он подключается к микроконтроллеру посредством адресной шины и шины данных.

При отключении блока управления от электропитания, память RAM теряет весь массив данных (так называемое энергозависимое запоминающее устройство). Однако после пуска двигателя блок управления снова должен иметь доступ к корректирующим данным (соответствующим техническому состоянию двигателя и условиям его работы). Они не должны стираться из памяти при выключении зажигания. Чтобы этого не допустить, память RAM постоянно подключается к источнику тока (постоянная подача электропитания). Но при отключении аккумуляторной батареи утрачиваются и эти данные.

Электрически стираемая и перепрограммируемая постоянная память (EEPROM или E2PROM)
Данные, которые не должны утрачиваться даже при отключенной аккумуляторной батарее (например, важные корректирующие параметры, коды блокировки движения автомобиля), должны постоянно сохраняться в энергонезависимом долговременном запоминающем устройстве. Память EEPROM является постоянной памятью с электрическим стиранием, в которой, в отличие от памяти Flash-EPROM, информация в каждой ячейке памяти может стираться по отдельности. Благодаря этому память EEPROM может применяться как энергонезависимое запоминающее устройство с оперативной записью и считыванием.

В некоторых вариантах блоков управления используются также раздельно стираемые области памяти Flash-EPROM в качестве энергонезависимой памяти.

Адаптивная интегральная схема (модуль ASIC)
Из-за постоянно возрастающей функциональной сложности блока управления уже недостаточно имеющихся на рынке стандартных микроконтроллеров. В этом случае помогают модули ASIC. Эти интегральные схемы, разрабатываемые и изготавливаемые согласно требованиям разработчиков блоков управления, содержат дополнительную память RAM, а также входные и выходные каналы, благодаря чему способны генерировать и передавать сигналы широтно-импульсной модуляции (ШИМ).

Модуль контроля
Микроконтроллер и модуль контроля в блоке управления контролируют друг друга в режиме «запрос-ответ». Если распознается сбой в работе, то один из этих элементов (независимо от другого) запускает соответствующую компенсирующую функцию.

Выходные сигналы
С помощью выходных сигналов микроконтроллер включает задающие каскады, мощность которых обычно достаточна для непосредственного управления исполнительными механизмами. Для отдельных потребителей высокой мощно-

3 Сигналы широтно-импульсной модуляции (ШИМ)

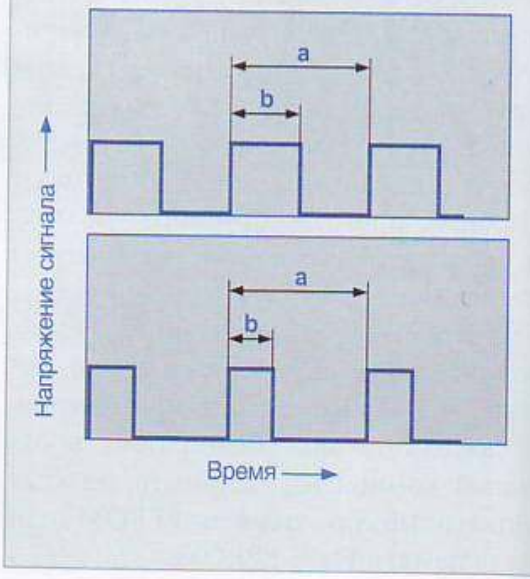


Рис. 3
a — постоянная частота
b — изменяющаяся продолжительность сигнала

сти (например, вентилятор двигателя) некоторые задающие каскады управляют реле.

Задающие каскады защищены от коротких замыканий на массу или скачков напряжения, а также от разрушения вследствие электрической или тепловой перегрузок. Интегральные схемы задающих каскадов распознают эти нештатные ситуации, а также выход из строя датчиков как ошибки и передают об этом сигнал в микроконтроллер.

Коммутационные сигналы

С помощью коммутационных сигналов включаются и выключаются исполнительные механизмы (например, вентилятор двигателя).

Сигналы ШИМ

Цифровые выходные сигналы могут вырабатываться как сигналы широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Эти сигналы являются последовательными прямоугольными импульсами постоянной частоты и переменной продолжительности (рис. 3). С помощью этих сигналов различные исполнительные механизмы могут переводиться в любое рабочее положение (например, клапан в системе рециркуляции ОГ, регулятор давления наддува).

Передача данных внутри блока управления

Периферийные устройства, поддерживающие работу микроконтроллера, должны иметь возможность связи с ним. Это осуществляется посредством адресной шины и шины данных. Микроконтроллер выдает через адресную шину, например, адрес памяти RAM, содержание которой должно считываться. Шина данных затем используется для передачи относящихся к этому адресу данных. Ранее на автомобилях обходились 8-битной шиной из восьми проводников, по которым одновременно можно передавать 256 значений. С помощью обычной для этих систем адресной шины на 16 бит можно запрашивать 65536 адресов. Сегодня более сложные системы требуют использования шин данных на 16 бит или даже 32 бит. Для того чтобы уменьшить количество электрических импульсов, адресная шина и шина данных могут объединяться в одной мультиплексной системе, т. е. адреса и данные передаются со сдвигом по времени и с использованием одних и тех же проводников.

Для данных, которые не должны передаваться так быстро (например, данные памяти по неисправностям), применяются последовательные интерфейсы только с одной линией передачи данных.

Программирование EoL

Многообразие моделей автомобилей, нуждающихся в различных программах управления и базах данных, требует обязательного уменьшения типажа блоков управления, необходимых для конкретного изготовителя автомобилей. Для этого весь диапазон памяти Flash-EPROM с программами и специфическим для конкретного варианта набором данных может программироваться на конечной стадии производства автомобиля с помощью так называемого программирования EoL (End Of Line — конец поточной линии сборки).

Другой возможностью уменьшения многообразия этих вариантов является запись в памяти нескольких вариантов данных (например, модификаций коробок передач), которые затем могут выбираться путем ввода соответствующего кода в конце сборочного конвейера. Эта кодировка вводится в память EEPROM.

Характеристики блоков управления

Характеристики блоков управления улучшаются по мере прогресса в области микроэлектроники. В первых системах впрыска топлива использовалась аналоговая технология — с ограниченной гибкостью при реализации функций управления. Функции этих блоков управления определялись аппаратными средствами.

Прогресс принесла цифровая технология с появлением микроконтроллера. Все управление двигателем перешло в этот универсальный полупроводниковый микрочип. Логические схемы управления реализуются в системах программируемым полупроводниковым запоминающим чипом.

На базе систем, которые вначале просто управляли впрыскиванием топлива, были разработаны комплексные системы управления двигателем. Они позволяют управлять не только впрыскиванием топлива, но также и системой зажигания с контролем детонации, рециркуляцией ОГ и множеством других систем. Это развитие будет продолжаться и дальше в ближайшее десятилетие. Интеграция функций и, прежде всего, их комплексность будет возрастать. Это развитие возможно при том условии, что применяемые микроконтроллеры тоже будут постоянно совершенствоваться.

Долгое время использовались микроконтроллеры семейства 8051 Intel, пока в конце 80-х гг. им на смену не пришла модификация 80515, обладающая дополнительными возможностями по приему и выдаче управляющих сигналов, а также интегрированным аналого-цифровым преобразователем. С их помощью могли быть реализованы относительно эффективные системы. На рис. 1 показано сравнение характеристик системы впрыска (LH3.2) и системы зажигания (EZ129K), оборудованных контроллерами 80C515 с новыми системами Motronic. Производительность системы ME7 при тактовой частоте 40 МГц в 40 раз превышает производительность комбинированной системы LH/EZ. Производительность системы ME9 с новым поколением микроконтроллеров и дальнейшим повышением тактовой частоты была увеличена более чем в 50 раз.

В обозримом будущем микроконтроллеры будут интегрироваться с процессорами обработки сигналов.

Емкость применяемых запоминающих чипов в начале 80-х гг. составляла 8 кбайт. В настоящее время в системах ME7 используются чипы на 1 Мбайт, а в ближайшем будущем потребуются чипы уже на 2 Мбайта.

1 Развитие электронных блоков управления

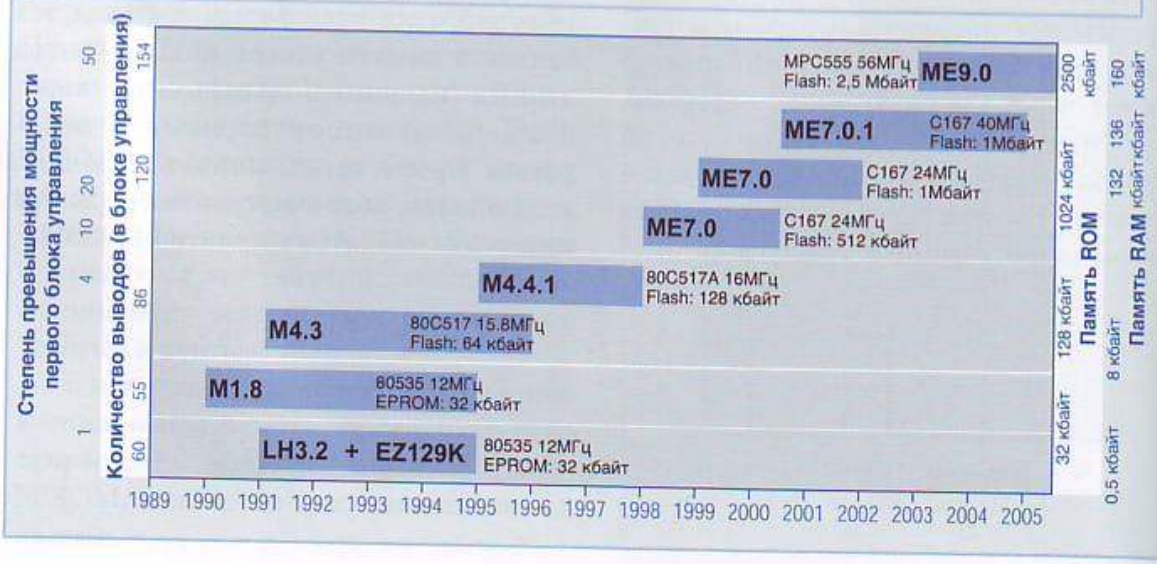


Рис. 1
График, иллюстрирующий:

- производительность систем управления двигателем;
- количество выводов в разъеме блоков управления;
- объем постоянной памяти (ROM);
- объем оперативной памяти (RAM)

Для сравнения: Производительность современной системы управления двигателем, соответствующей самому последнему уровню техники, значительно превышает возможности системы Apollo 13.

Электронное управление и регулирование

Задачей электронного блока управления двигателем является управление всеми исполнительными элементами в системе управления двигателем Motronic с целью получения оптимального режима работы двигателя с точки зрения снижения расхода топлива, повышения мощности, снижения токсичности ОГ и обеспечения комфорта движения. Для этого должно регистрироваться большое число параметров, поступающих, например, от датчиков и полученные данные должны обрабатываться в соответствии с определенными алгоритмами. В результате выдаются последовательные сигналы, с помощью которых осуществляется управление исполнительными механизмами.

Обзор

Центральным узлом блока управления двигателем является небольшой микрокомпьютер (функциональный процессор) с программной памятью (EPROM), в которой записаны все алгоритмы управления процессами (рис. 1). Входные переменные, которые берутся от генераторов требуемых величин и данных датчиков, влияют на алгоритмы расчетов и, следовательно, на сигналы управления исполнительными механизмами. Исполнительные механизмы преобразуют электрические сигналы в физические величины (например, степень открытия клапанов).

Блок управления двигателем через бортовой контроллер связи (CAN) позволяет также обмениваться данными с другими системами, например, с электронным контролем динамики автомобиля (ESP). Таким образом, система управления работой двигателя может интегрироваться в общую систему управления автомобилем.

Системы с электронным управлением дроссельной заслонкой (EGAS) предъявляют высокие требования в отношении функциональной безопасности и надежности, т. к. здесь отсутствует механическая связь воздействия на исполнительный механизм (дроссельная заслонка), регулирующий крутящий момент. Модуль контроля осуществляет контроль за функциональным процессором и, в случае сбоя в работе, принимает меры по эквивалентному замещению его функций.

1 Компоненты электронного управления и регулирования в системе ME-Motronic

Структура системы

Структура системы описывает функциональные и статические аспекты архитектуры программного обеспечения Motronic, которое подразделяется на 13 подсистем (например, воздушная система, топливная система), которые, в свою очередь, разбиваются на 50 основных функций (например, регулировка давления наддува, лямбда-регулировка) (рис. 2).

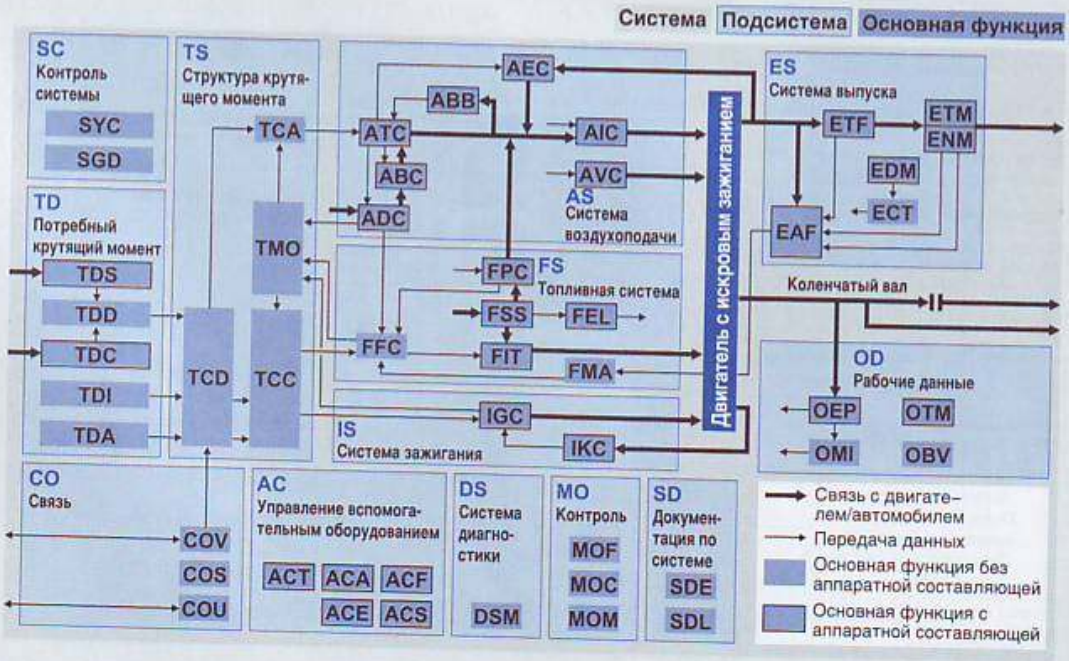
Функциональным ядром программного обеспечения Motronic является структура управления, базирующаяся на величине крутящего момента (подсистемы «Потребный крутящий момент»и «Структура крутящего момента»). Они начали использоваться только с введением в систему ME7 электронно-управляемой дроссельной заслонки (EGAS). Изменение наполнения цилиндров рабочей смесью с помощью дроссельной заслонки с электронным управлением позволяет регулировать крутящий момент в зависимости от потребности в нем, задаваемой путем нажатия на педаль газа. Одновременно все другие дополнительные потребности в крутящем моменте, которые зависят от условий движения автомобиля (например, при включении компрессора климатической установки), координируются внутри структуры крутящего момента.

В прежних системах M-Motronic все потребности в крутящем моменте реализовывались индивидуально за счет разделения функций путем изменения угла опережения зажигания («опережение»или «задержка»), регулирования режима холостого хода (подача дополнительного воздуха через байпас) или путем изменения смесеобразования (корректировка продолжительности впрыскивания топлива). В новых поколениях систем M-Motronic используется структура управления, зависящая от величины крутящего момента, позволяющая координировать регулировку этого крутящего момента.

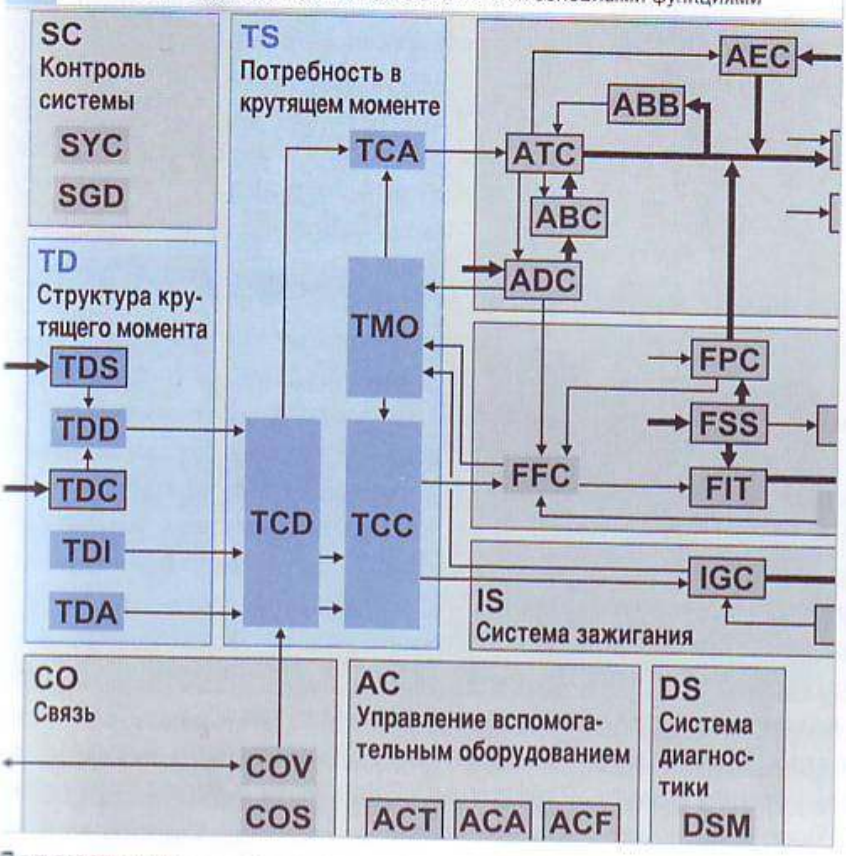
Подсистемы и основные функции

Нижеприведенное описание в общих чертах дает представление о существенных признаках основных функций, реализуемых в системе Motronic. Более детальное описание в рамках данной книги невозможно.

2 Структура системы Motronic



1 Фрагмент диаграммы структуры подсистем «Потребность в крутящем моменте» и «Структура крутящего момента» с их основными функциями



Подсистема «Документация по системе» (SD)

Документация по системе состоит из технических документов, которые описывают пользовательский проект (например, описание блока управления, данные о двигателе и автомобиле).

Подсистема «Контроль работы системы» (SC)

Эта подсистема объединяет функции управления системой, влияющие на всю систему Motronic.

Основная задача функции «Контроль системы» (SYC) определяет статусы микроконтроллера:

- инициализация (запуск системы);
- активное состояние (нормальная работа) — это статус, при котором реализуются основные функции;
- контроль за блоком управления (например, слежение за вентилятором, тест аппаратной части).

Основная задача функции «Управление системой непосредственного впрыска топлива» (SGD) состоит в координации и переключении на разные режимы работы системы непосредственного впрыскивания топлива (MED-Motronic). Для определения необходимого режима работы координируются запросы различных функций на базе заложенных приоритетов в координаторе режимов работы.

Подсистема «Потребный крутящий момент» (TD)

В структуре систем ME- и MED-Motronic и все более в системе M-Motronic последовательно координируются все потребности в крутящем моменте двигателя на уровне крутящего момента. Подсистема «Потребный крутящий момент» (TD) регистрирует все требования к величине крутящего момента и передает их в подсистему «Структура крутящего момента» (TS) в качестве входных переменных.

Основная задача функции «Формирование сигнала о потребном крутящем моменте» (TDS) в основном заключается в регистрации положения педали газа. Это положение определяется двумя независимыми датчиками углового положения и информация от них преобразуется в нормализованный угол педали газа. При этом проводится несколько проверок на достоверность данных с целью гарантии того, что при сбоях в работе нормализованный угол педали газа не может быть больше, чем фактическое положение этой педали.

Основная задача функции «Крутящий момент, требуемый водителем» (TDD) заключается в расчете, на основании данных о положении педали газа, заданной величины крутящего момента двигателя. Кроме того, устанавливается характеристика педали газа.

Основная задача функции «Потребность в крутящем моменте со стороны вспомогательных устройств» (TDA) — формировать внутренние ограничения крутящего момента двигателя и определять потребность в нем (например, ограничение частоты вращения коленчатого вала, демпфирование колебаний этой частоты).

Задача функции «Потребность в крутящем моменте при управлении частотой вращения коленчатого вала на холостом ходу» (TDI) — обеспечивать регулирование частоты вращения коленчатого вала двигателя, когда педаль газа не нажата. Величина частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу задается такой, чтобы всегда обеспечивалась устойчивая и равномерная работа двигателя. В соответствии с этим заданная величина частоты вращения коленчатого вала при определенных условиях (например, при холодном двигателе) устанавливается выше номинальной. Также более высокая частота вращения коленчатого вала может устанавливаться для обеспечения нагревания каталитического нейтрализатора, для увеличения мощности компрессора климатической установки или при недостаточной степени заряженности аккумуляторной батареи.

Задачи функции «Круиз-контроль» (TDC) заключаются в поддержании постоянной скорости движения автомобиля при ненажатой педали газа, насколько это возможно в рамках величины регистрируемого крутящего момента. К важнейшим условиям отключения этой функции относятся такие, как нажатие на клавишу «Выключено»на рычаге управления водителем, приведение в действие тормозов или выключение сцепления, а также невозможность достижения требуемой минимальной скорости.

Подсистема «Структура крутящего момента» (TS)

В этой подсистеме координируются все требования к крутящему моменту. В этом случае крутящий момент затем устанавливается воздушной и топливной системами и системой зажигания.

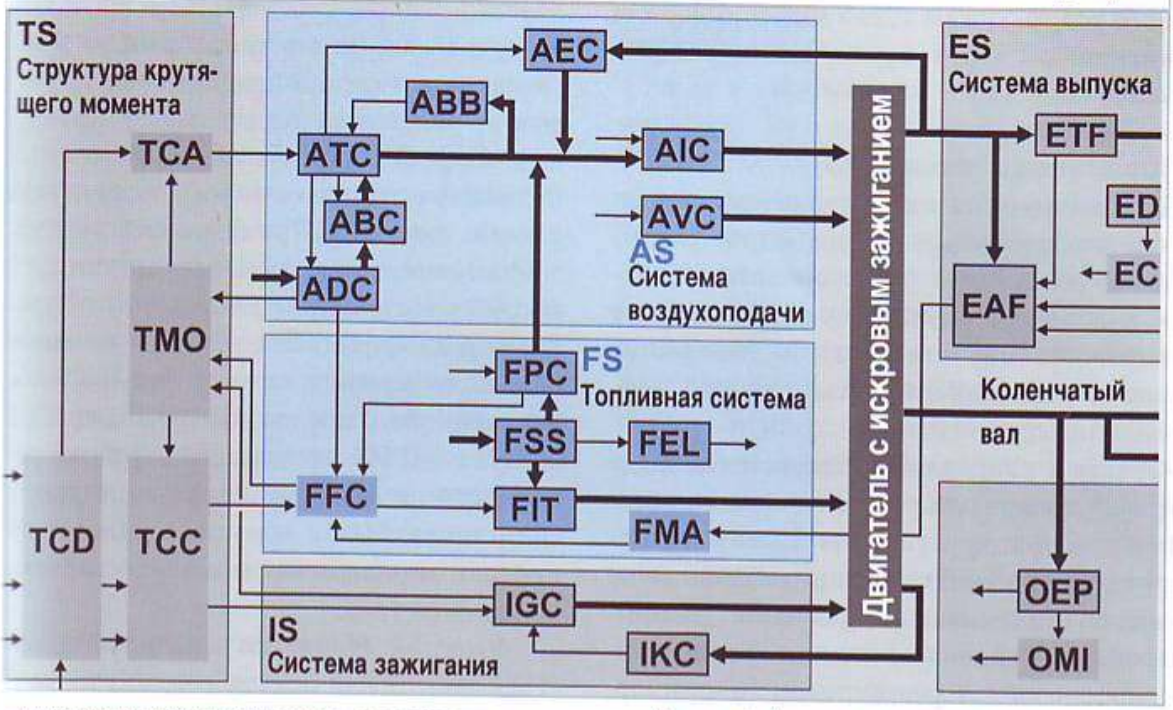
Задача функции «Координация крутящего момента» (TCD) — координировать все требования к крутящему моменту. Различные требования (например, со стороны водителя, функция ограничения частоты вращения коленчатого вала) расставляются по приоритету и, в зависимости от активного режима работы, пересчитываются в установочные величины крутящего момента.

Задача функции «Изменение массового расхода воздуха в соответствии с потребным крутящим моментом» (TCA) заключается в расчете установочного массового расхода воздуха на базе входных переменных величины крутящего момента. Эта установочная величина наполнения цилиндров рассчитывается так, что необходимое соотношение «массовый расход воздуха/крутящий момент» достигается точно в тот момент, когда регистрируются необходимые концентрация кислорода и угол опережения зажигания.

Задача функции «Установка параметров процессов сгорания на основе изменения крутящего момента» (TCC) состоит в расчете установочных значений, касающихся концентрации кислорода в воздухе, угла опережения зажигания и ограничения величины впрыскиваемого топлива, на основе входных переменных, отображающих изменение величины крутящего момента.

Задача основной функции «Крутящий момент» (TMO) заключается в расчете (на базе существующих коэффициентов наполнения цилиндров) теоретически оптимального рекомендуемого крутящего момента двигателя на основе содержания кислорода воздуха, угла опережения зажигания, передаточного отношения в трансмиссии и частоты вращения коленчатого вала. Существующий крутящий момент определяется методом цепи КПД, которая содержит три различных уровня КПД: ограничение величины впрыскиваемого топлива (пропорционально числу цилиндров, в которых происходит зажигание смеси); установка угла опережения зажигания (на основе сдвига фактического угла опережения зажига-

2 Фрагмент структуры подсистем «Система воздухоподачи» и «Топливная система» с их основными функциями



ния от оптимального угла опережения зажигания); содержание кислорода в воздухе (определяется из графика зависимости КПД от состава рабочей смеси).

Система воздухоподачи (AS)

В подсистеме «Система воздухоподачи»устанавливается наполнение цилиндров зарядом рабочей смеси, необходимое для получения требуемого крутящего момента. Кроме того, функциями системы воздухоподачи являются рециркуляция ОГ, управление давлением наддува, регулирование впускного трубопровода с изменяемой геометрией, управление завихрением потока воздуха и клапанным газораспределением.

Основной задачей функции «Управление дросселированием подачи воздуха»(ATC) является расчет потребного положения дроссельной заслонки на базе установочного значения массового расхода воздуха.

Задачей функции «Определение заряда воздуха в цилиндре»(ADC) является определение с помощью датчиков нагрузки заряда воздуха в цилиндре, состоящего из свежего воздуха и инертного газа. Значение массового расхода воздуха используется для моделирования давления во впускном трубопроводе (модель давления во впускном трубопроводе).

Задачей функции «Управление подачей воздуха через впускной трубопровод»(AIC) является расчет установочных характеристик впускного трубопровода и положения заслонок, создающих вихревое движение потока воздуха.

Разрежение во впускном трубопроводе делает возможным осуществление рециркуляции ОГ, которая рассчитывается и управляется функцией «Управление рециркуляцией ОГ»(AEC).

Задача функции «Управление клапанами»(AVC) — расчет установочных значений момента открытия и закрытия впускных и выпускных клапанов и контроль за этим. Выполнение этой функции влияет на количество рециркулируемых в двигателе остаточных ОГ.

Задачей функции «Управление давлением наддувочного воздуха»(ABC) является расчет давления наддува для двигателей с турбонаддувом с использованием ОГ и управление исполнительными механизмами этой системы.

Двигатели с непосредственным впрыскиванием топлива работают на послойно распределенном заряде смеси при полностью открытой дроссельной заслонке на малых нагрузках. В связи с этим во впускном трубопроводе фактически регистрируется атмосферное давление. Функция «Управление усилителем тормозов»

(ABB) обеспечивает получение достаточного разрежения в усилителе тормозов за счет потребного ограничения расхода воздуха.

Топливная система (FS)

В этой подсистеме происходит расчет выходных переменных параметров впрыскивания топлива по отношению к положению коленчатого вала (т.е. моменту впрыскивания топлива) и количеству впрыскиваемого топлива.

Функция «Управление подачей топлива» (FFC) служит для расчета массы топлива по коэффициенту наполнения цилиндров, содержанию кислорода в воздухе и дополнительных регулировок (например, переходная компенсация) или мультипликативных регулировок (например, для условий пуска, прогрева и повторного пуска двигателя). Осуществление других регулировок связано с лямбда-управлением, устройством вентиляции топливного бака и функцией адаптации рабочей смеси. В системах MED рассчитываются специальные данные для различных режимов работы (например, впрыскивание топлива при такте впуска или сжатия, многоточечное впрыскивание топлива).

Функция «Момент впрыскивания топлива» (FIT) обеспечивает расчет времени и момента по углу поворота коленчатого вала. Также эта функция служит для гарантирования открытия форсунок точно в необходимый момент по углу поворота коленчатого вала. Время впрыскивания топлива определяется на базе предварительно рассчитанной массы топлива и переменных состояний (например, давление во впускном трубопроводе, напряжение аккумуляторной батареи, давление в топливной рампе, давление в камере сгорания).

Функция «Адаптация состава рабочей смеси в топливной системе»(FMA) повышает точность определения такого управляющего параметра, как содержание кислорода в воздухе путем адаптации долговременных отклонений лямбда-регулятора от нейтрального значения. В системах с термоанемометрическим плёночным расходомером массы воздуха (HFM) это обычно связано с небольшими утечками воздуха из впускного трубопровода. В системах с датчиками давления во впускном трубопроводе блок лямбда-управления корректирует давление остаточных ОГ или фиксирует ошибки в показаниях датчика давления. При более высоких коэффициентах наполнения цилиндров рассчитывается многосторонний поправочный коэффициент, который в основном характеризует ошибку термоанемометрического пленочного расходомера воздуха (HFM), неточности в работе регулятора давления в топливной рампе (в системах MED) и отклонения от запрограммированного момента срабатывания форсунок.

Функция «Система подачи топлива» (FSS) служит для подачи топлива из топливного бака в необходимом количестве и с заданным давлением в топливную рампу. Давление в системах с управлением в зависимости от потребности может регулироваться в диапазоне от 200 до 600 кПа; сигнал давления вырабатывает сигнал о фактической величине этого давления.

В системах с непосредственным впрыскиванием топлива система подачи топлива имеет дополнительный контур высокого давления с насосом высокого давления HDP1 и клапаном управления давлением (DSV) или насосом высокого давления HDP2 с управлением в зависимости от потребности и клапаном управления количеством подаваемого топлива (MSV). За счет этого давление в контуре высокого давления может регулироваться в диапазоне от 3 до 11 МПа. Установочное количество подаваемого топлива рассчитывается в зависимости от режима работы двигателя, фактическое давление определяется датчиком высокого давления.

Функция «Вентиляция топливного бака»(FPC) при работающем двигателе управляет регенерацией топлива, испаряющегося в топливном баке и собирающегося в абсорбере с активированным углем системы улавливания паров топлива. На базе установленного заданного соотношения времени открытия и закрытия клапана

вентиляции топливного бака и величины давления в баке рассчитывается фактическая величина массового расхода топливных паров, проходящих через клапан, которая учитывается функцией «Управление дроссельной заслонкой» (ATC). Также рассчитывается фактическое содержание топлива в топливных парах, которое вычитается из потребной массы топлива.

Функция «Определение потерь топлива на испарение в топливной системе» (FEL) проверяет топливную систему на герметичность согласно калифорнийскому законодательству OBD-II. Конструкция и принцип работы этой диагностической системы описаны в главе «Электронная диагностика».

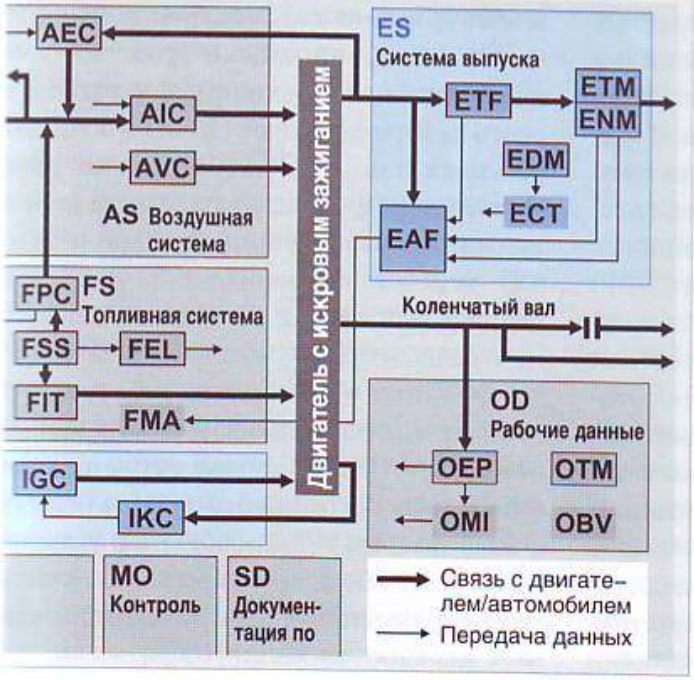
Система зажигания (IS)

В подсистеме «Система зажигания» (IS) рассчитываются выходные переменные для зажигания и управления катушкой зажигания.

Функция «Управление зажиганием» (IGC) на базе условий работы двигателя и с учетом вмешательства со стороны структуры крутящего момента определяет установочный угол опережения зажигания. Эта функция также обеспечивает создание в нужный момент искрового разряда на свече зажигания. Угол опережения зажигания рассчитывается на основе базового угла опережения зажигания и регулировок угла опережения зажигания, а также в зависимости от режима работы двигателя. При определении частоты вращения коленчатого вала и базового угла зажигания, зависящего от нагрузки двигателя, учитываются также переменные, связанные с изменением фаз газораспределения, положения заслонки вихревого движения заряда, группировки цилиндров, а также со специальными режимами работы двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива. Для расчета угла зажигания с максимально возможным опережением корректируется базовый угол опережения зажигания с регулируемыми углами для условий прогрева двигателя, управления детонацией и работы системы рециркуляции ОГ. На базе существующего угла опережения зажигания и необходимого времени заряда катушки зажигания рассчитывается и соответственно настраивается момент включения задающего каскада зажигания.

Функция «Регулировка детонации» (IKC) обеспечивает работу двигателя у границы его детонации для оптимизации КПД, но не допускает повреждений из-за этой детонации. Процесс сгорания во всех цилиндрах контролируется датчиками детонации. Зарегистрированный датчиками шум в конструктивных узлах двигателя сравнивается с контрольным значением шума сгорания, возникающего при нормальной работе отдельных цилиндров после низкочастотного фильтра. Контрольный уровень шума представляет собой фоновый шум двигателя в режиме работы без детонации. На основе этого сравнения делается вывод, насколько было громче данное сгорание по сравнению с фоновым шумом. С определенного порога распознается детонация. Как при расчете базового уровня, так и при распознавании детонации могут учитываться изменившиеся ус-

3 Фрагмент структуры системы Motronic: подсистемы «Система зажигания» и «Система выпуска» с их основными функциями



ловия работы (частота вращения коленчатого вала двигателя, динамика числа оборотов, динамика изменения этой частоты и нагрузки).

Функция ІКС также обеспечивает регулирование момента зажигания в каждом цилиндре. Это учитывается при расчете фактического угла опережения зажигания (регулировка в сторону задержки момента зажигания). При выявленном детонационном сгорании момент зажигания смещается в сторону задержки на необходимую величину. Затем регулирование момента зажигания в сторону его задержки мелкими шагами снова снимается, если через определенное время детонационного сгорания происходить не будет.

При детектировании неисправности в аппаратной части задействуется функция безопасности (безопасная задержка зажигания).

Система выпуска (ES)

Эта подсистема участвует в приготовлении рабочей смеси, регулируя коэффициент избытка воздуха и управляя производительностью каталитических нейтрализаторов.

Основными задачами функции «Характеристики и моделирование системы выпуска» (EDM) являются моделирование физических переменных в тракте выпуска, обработка сигналов и диагностика неисправностей датчиков температуры ОГ (при их наличии) и предоставление основных характеристик системы выпуска для тестирования. Моделируемыми физическими переменными являются температура (например, в целях защиты элементов системы), давление (в основном для детектирования остаточного ОГ) и массовый расход (для замкнутого контура лямбда-управления и диагностики нейтрализатора). Наряду с этим определяется коэффициент избытка воздуха в ОГ (для управления и диагностики каталитического нейтрализатора с накопителем NO_x).

Цель функции «Регулирование состава рабочей смеси за счет снижения токсичности ОГ» (EAF) при расположении лямбда-зонда перед передним каталитическим нейтрализатором заключается в регулировании коэффициента избытка воздуха до получения заданного значения для минимизации эмиссии вредных веществ, предотвращения колебаний крутящего момента и оптимизации состава рабочей смеси на границе ее обеднения. Входные сигналы от замкнутого контура лямбда-управления, расположенного за основным каталитическим нейтрализатором, позволяют еще больше снизить эту вредную эмиссию.

Функция «Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор» (ETF) использует лямбда-зонд за передним каталитическим нейтрализатором (если он есть). Его сигнал является мерой содержания кислорода в ОГ и служит базой управления и диагностики каталитического нейтрализатора. Такая функция может существенно улучшить регулирование состава рабочей смеси и, следовательно, оптимизировать работу каталитического нейтрализатора.

Управляющее регулирование конструируется по-разному в зависимости от системы. Каталитический нейтрализатор с накопителем NO_x, который работает при $\lambda = 1$, при определенном содержании кислорода показывает наилучшую степень очистки ОГ. Функция управления за счет контрольных параметров устанавливает эту производительность. Отклонения корректируются за счет компенсирующих компонентов.

Функция «Управление работой трехкомпонентного основного каталитического нейтрализатора» (ETM) в основном работает так же, как описанная выше функция ETF. В системах с каталитическим нейтрализатором с накопителем NO_x переход на специальный режим работы обеспечивает обессеривание этого нейтрализатора.

Функция «Управление работой каталитического нейтрализатора с накопителем NO_x» (ENM) путем регулирования работы каталитического нейтрализатора с накопителем NO_x (особенно в условиях работы на обедненной смеси) обеспечивает соблюдение нормируемых предельных значений эмиссии NO_x.

В зависимости от состояния каталитического нейтрализатора, фаза накопления NO_x завершается и осуществляется переход на такой режим работы двигателя ($\lambda < 1$), при котором происходит выпуск NO_x из накопителя и преобразование этого компонента в N_2. Регенерация каталитического нейтрализатора с накопителем NO_x завершается при изменении сигнала от лямбда-зонда, установленного за этим нейтрализатором.

Функция «Управление температурой в системе выпуска» (ECT) управляет температурой ОГ в системе выпуска с целью ускорения прогрева каталитических нейтрализаторов до рабочей температуры после пуска двигателя (нагрев каталитических нейтрализаторов), предотвращения охлаждения этих нейтрализаторов при их работе (сохранение необходимой температуры каталитических нейтрализаторов), нагревания каталитического нейтрализатора с накопителем NO_x для его обессеривания и недопущения термического повреждения элементов системы выпуска (защита элементов). На базе данных о тепловом потоке, необходимом для повышения температуры, определяется резерв крутящего момента для подсистемы «Структура крутящего момента» (TS). Затем осуществляется повышение температуры, например, путем задержки момента зажигания. При работе двигателя на холостом ходу также может быть увеличен тепловой поток за счет увеличения частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу.

Рабочие данные (OD)

В этой подсистеме регистрируются все важные эксплуатационные параметры работы двигателя, осуществляется проверка их на достоверность и, если необходимо, предоставляются замещающие данные.

Функция «Рабочие данные по управлению положением коленчатого и распределительного валов двигателя» (OEP) рассчитывает на основе обработанных входных сигналов, поступающих от датчиков на коленчатом и распределительном валах, положение этих валов. На этой базе далее рассчитывается частота вращения коленчатого вала двигателя. Синхронизирующее колесо на коленчатом валу (с двумя отсутствующими зубьями) и характеристики сигнала от распределительного вала используются для синхронизации двигателя и блока управления, а также для контроля этой синхронизации при работе двигателя.

Для оптимизации времени пуска двигателя осуществляется анализ формы сигнала от распределительного вала и положение коленчатого вала при выключенном двигателе, за счет чего достигается быстрая синхронизация.

Функция «Рабочие данные по измерению температуры» (OTM) осуществляет обработку информации о температуре, поступающую от датчиков температуры, проводит проверку этих данных на достоверность и, в случае погрешности, предоставляет заменяющие значения. Наряду с температурой двигателя и всасываемого воздуха, по желанию могут определяться значения температуры окружающей среды и моторного масла. Для считывания информации о температуре предназначены входные сигналы напряжения. Это производится после расчета характеристической кривой.

Функция «Рабочие данные по напряжению аккумуляторной батареи» (OBV) осуществляет выработку сигналов напряжения тока питания и на их основе производит диагностические операции. Съем необработанного сигнала осуществляется через клемму 15 и, если необходимо, через главное реле.

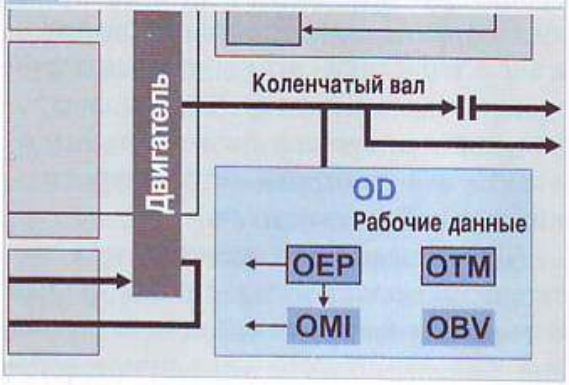
Функция «Детектирование перебоев в зажигании и неравномерной работы двигателя» (OMI) контролирует двигатель на возникновение перебоев в зажигании и нарушение процесса сгорания (см. главу «Электронная диагностика неисправностей»).

Связь (CO)

В этой подсистеме объединяются все основные функции Motronic, связанные с другими системами.

Функция «Интерфейс связи с пользователем» (COU) обеспечивает связь с диагностическим (например, тестером

4 Фрагмент структуры подсистемы «Рабочие данные»



5 Фрагмент структуры подсистемы «Связь» и «Управление вспомогательными устройствами»

двигателя) и калибровочным оборудованием. Связь осуществляется через К-линию, хотя для этих целей может также использоваться интерфейс бортового контроллера связи (CAN). Для различных целей применения имеются разные протоколы связи (например, KWP2000, McMess).

Функция «Интерфейс связи с автомобилем» (COV) контролирует связь с другими блоками управления, датчиками и исполнительными механизмами.

Функция «Доступ к устройствам безопасности» (COS) обеспечивает связь с иммобилайзером автомобиля и позволяет (по желанию) управлять доступом к перепрограммированию памяти Flash-EPROM.

Управление вспомогательным оборудованием (AC)

Эта подсистема управляет вспомогательными системами.

Функция «Управление системой кондиционирования воздуха» (ACA) управляет работой компрессора климат-контроля и оценивает сигнал датчика давления в системе кондиционирования воздуха. Компрессор включается в том случае, когда, например, через выключатель поступает команда от водителя или от блока управления системой кондиционирования воздуха. Блок управления сообщает в систему Motronic о том, что должен быть включен компрессор. После этого он включается на короткое время. При работе двигателя на холостом ходу система управления двигателем имеет достаточно времени для создания необходимого резерва крутящего момента.

Различные обстоятельства приводят к отключению системы кондиционирования воздуха (например, критическое давление в этой системе, неисправность датчика давления, низкая температура окружающей среды).

Функция «Управление вентилятором системы охлаждения двигателя» (ACF) управляет работой вентилятора в зависимости от потребности и распознает неисправности вентилятора и сбои в его управлении. При определенных обстоятельствах может возникнуть необходимость в работе вентилятора даже при выключенном двигателе.

Функция «Регулирование температуры вспомогательного оборудования» (ACT) регулирует температуру двигателя в зависимости от режима его работы. Потребная температура двигателя определяется в зависимости от мощности двигателя, скорости движения автомобиля, режима работы двигателя и температуры окружающей среды. Это помогает двигателю быстрее достичь рабочей температуры с последующим оптимальным охлаждением. Объемный расход охлаждающей жидкости, проходящей через радиатор двигателя и термостат, рассчитывается на основе установочного значения температуры.

Функция «Управление электроустройствами» (ACE) отвечает за управление работой электрических устройств (стартера, генератора).

Задачей функции «Управление усилителем в приводе рулевого управления» (ACS) является управление насосом в сервоприводе рулевого управления.

Контроль (MO)

Функция «Контроль за функционированием» (MOF) контролирует все элементы системы Motronic, влияющие на величину крутящего момента и частоту вращения коленчатого вала двигателя. Основной задачей этой функции является сравнение величины допустимого крутящего момента, рассчитанного на основе потребности в нем со стороны водителя, с фактическим крутящим моментом, рассчитанным на основе данных, поступивших от двигателя. При слишком большой величине этого фактического момента за счет реализации соответствующих мер обеспечивается его изменение до требуемого уровня.

В функции «Управляющий модуль» (MOM) объединены все функции контроля, которые способствуют взаимному контролю между процессором и контролирующим модулем. Процессор функций и управляющий модуль являются компонентами блока управления. Их взаимный контроль осуществляется путем постоянной связи в режиме запрос-ответ.

В функции «Мониторинг микроконтроллера» (MOC) объединены все контролирующие функции, которые могут распознавать погрешность или сбой в работе самого процессора и его периферийного оборудования. Примеры:

- тестирование аналого-цифрового преобразователя;
- тестирование памяти RAM и ROM;
- мониторинг реализации программы;
- проверка команд.

Диагностическая система (DS)

Диагностика компонентов и систем осуществляется за счет реализации основных функций этой подсистемы, производящей также координацию различных результатов диагностики.

Задачей функции «Управление диагностической системы» (DSM) является:

- сохранение в памяти деталей сбоев в работе и связанных с ними условий эксплуатации;
- включение лампы-индикатора возникновения неисправности;
- создание связи с диагностическими тестерами;
- координация реализации различных функций диагностики (с учетом приоритетов и условий блокировки) и подтверждение фактов сбоев в работе.

Электронная диагностика

Интегрированная в блоке управления система диагностики является стандартным компонентом электронных систем управления двигателем. Алгоритмы контроля проверяют входные и выходные сигналы при нормальном режиме работы автомобиля. Кроме того, вся система проверяется на наличие сбоев в работе и погрешностей. При этом обнаруженные дефекты сохраняются в памяти блока управления в виде кодов неисправностей. При диагностике автомобиля во время технического обслуживания эта информация, сохранившаяся в памяти, считывается посредством последовательного интерфейса и таким образом обеспечивает быстрый и надежный поиск и устранение неисправностей.

Самодиагностика

Первоначально концепция заключалась в особой для каждого изготовителя автомобилей самодиагностики, особенностью которой было проведение быстрой и удобной диагностики при техническом обслуживании автомобиля. Законодательные нормы в сочетании с растущим объемом функций электронных систем впоследствии привели к созданию систем управления двигателем, включающих возможности диагностики.

Контроль входных сигналов

Состояние датчиков и соединительных проводов, ведущих к блоку управления, контролируется системой путем обработки входных сигналов (см. табл. 1). С помощью такого контроля могут регистрироваться, наряду с определением сбоев в работе датчиков, короткие замыкания на аккумуляторную батарею и на «массу», а также обрывы проводов. Система обеспечивает свою функциональность путем:

- контроля подачи напряжения к датчику;
- анализа зарегистрированных данных на соответствие установленному диапазону значений (например, температура двигателя от –40 до +150°C);
- проведения проверки на достоверность регистрируемых данных при наличии дополнительной информации (например, сравнение частоты вращения коленчатого и распределительного валов);
- дублирования особенно важных датчиков (например, датчиков перемещения педали газа), в связи с чем их сигналы могут коррелировать друг с другом и сравниваться между собой.

Контроль выходных сигналов

С помощью этой функции обеспечивается контроль за работой исполнительных механизмов, а также их проводных соединений с блоком управления. При проведении этого контроля, кроме ошибок в работе исполнительных механизмов, могут распознаваться также дефекты соединений и короткие замыкания. Эти функции осуществляются путем:

- контроля выходного сигнала посредством задающего каскада (электрическая цепь контролируется на наличие коротких замыканий на аккумуляторную батарею и на «массу», или на разрывы цепи);
- корреляции системных данных с командными сигналами исполнительных механизмов с целью определения достоверности их действий. Например, система рециркуляции ОГ проверяется на соответствие определенного давления во впускном трубопроводе включению исполнительного механизма.

Контроль за передачей данных между блоками управления

Связь между блоками управления осуществляется, как правило, посредством шины бортового контроллера связи (CAN). В протоколы CAN включены контролирующие механизмы распознавания неисправностей, что позволяет

детектировать эту информацию, перед тем как сигналы будут сняты с чипа CAN. Кроме того, в блоке управления осуществляются и другие варианты контроля. Так как большинство сообщений CAN от каждого блока управления осуществляется через регулярные промежутки времени, то выход из строя любого из блоков управления может быть обнаружен путем проверки этих временных промежутков.

При наличии в блоке управления избыточной информации, она используется для проверки принимаемых сигналов тем же способом, каким проверяются все входные сигналы.

Контроль внутренних рабочих функций блоков управления

Для обеспечения надежной и адекватной работы блока управления в него заложены функции аппаратного и программного контроля (например, «интеллектуальные» чипы задающего каскада).

Функции контроля проверяются отдельными компонентами внутри блока управления (например, микроконтроллер, память flash-EPROM, RAM и т. п.). Ряд проверок проводится сразу после включения блока управления. Другие проверки повторяются через регулярные интервалы времени при нормальном режиме работы автомобиля, для того чтобы выявить выход из строя любого его элемента во время эксплуатации. Про-

1 Контроль важнейших входных сигналов

Сигнальная цепь	Контроль
Датчик перемещения педали газа	Контроль напряжения питания и диапазона сигналов
	Проверка на достоверность избыточного сигнала
	Достоверность стоп-сигнала
Датчик частоты вращения	Проверка диапазона сигналов
	Проверка на достоверность сигналов с датчика частоты вращения распределительного вала
	Проверка временных изменений (динамическая достоверность)
Датчик температуры двигателя	Проверка диапазона сигналов
	Логическая достоверность сигнала о частоте вращения коленчатого вала
Концевой выключатель педали тормоза	Проверка на достоверность сигнала избыточного контакта выключения
Сигнал о скорости движения автомобиля	Проверка диапазона сигналов
	Логическая достоверность сигнала о частоте вращения коленчатого вала и количестве впрыскиваемого топлива/нагрузке двигателя
Исполнительный механизм клапана в системе рециркуляции ОГ	Проверка на короткое замыкание и разрыв проводов
	Замкнутый контур управления системой рециркуляции ОГ
	Проверка реакции системы на управление клапаном системы рециркуляции ОГ
Напряжение аккумуляторной батареи	Проверка диапазона сигналов
	Проверка достоверности данных о частоте вращения коленчатого вала (в настоящее время — на двигателях с искровым зажиганием)
Датчик температуры топлива	Проверка диапазона сигналов (в настоящее время — на дизельных двигателях)
Датчик давления наддува	Проверка напряжения питания и диапазона сигналов
	Проверка достоверности сигнала от датчика атмосферного давления и/или других сигналов
Устройство управления давлением наддува (байпасный клапан)	Проверка на короткое замыкание и разрыв проводов
	Отклонения в регулировании давления наддува
Расходомер массы воздуха	Проверка напряжения питания и диапазона сигналов
	Проверка логической достоверности
Датчик температуры воздуха	Проверка диапазона сигналов
	Проверка логической достоверности сигнала от датчика температуры двигателя
Датчик сигнала сцепления	Проверка достоверности данных о скорости движения
Датчик атмосферного давления	Проверка диапазона сигналов
	Проверка логической достоверности сигнала от датчика давления во впускном трубопроводе

Таблица 1.

верки, требующие обработки большого объема данных (например, проверка памяти EPROM), проводятся в «постработочей» фазе после выключения двигателя (в настоящее время — только на двигателях с искровым зажиганием). За счет этого исключается отрицательное влияние на другие функции. На дизельных двигателях эта фаза используется для проверки цепей отключения.

Обработка сигналов о сбоях в работе

Распознавание сбоев в работе

Цепь сигнала классифицируется как дефектная, если погрешность в показаниях сохраняется в течение определенного времени. До окончательной классификации вида дефекта в системе используются последние зафиксированные данные. Одновременно с классификацией дефекта, как правило, запускается функция замещения (например, замещающая величина температуры двигателя T = 90 °C).

Для большинства ошибок возможна их повторная проверка с помощью специального сигнала, для чего цепь этого сигнала должна в течение определенного времени считаться исправной.

Хранение информации о неисправностях

Каждый сбой в работе системы в виде кода неисправности регистрируется в энергонезависимой памяти. При каждой записи этого сбоя в работе в память вносится, наряду с кодом погрешности, дополнительная информация, например, в виде «стоп-кадра» рабочего режима и условий окружающей среды на момент сбоя в работе (частота вращения коленчатого вала, температура двигателя). В качестве другой информации в память вносятся вид неисправности (например, короткое замыкание, разрыв провода) и статус неисправности (например, постоянный дефект или единичный сбой в работе).

Для многих неисправностей, влияющих на эмиссию вредных веществ в ОГ, предписаны коды неисправностей, регламентируемые нормами. Дополнительно может сохраняться другая, специфическая для данного автомобиля информация о сбоях в работе, необходимая автомеханикам при обслуживании отдельных моделей автомобилей.

После регистрации кода неисправности, процесс диагностики фокусируется на отдельных системах или компонентах. Если при дальнейшей работе неисправность больше не возникает (например, единичная погрешность), то после выполнения установленных условий эта информация в памяти неисправностей стирается.

Доступ к кодам неисправностей

Считывание хранящихся в памяти кодов неисправностей может проводиться с помощью специального тестера (например, KTS500 фирмы Bosch) или прибора для сканирования (скан-тестер). Тестер может также стирать эти коды после их считывания и устранения соответствующей неисправности.

Диагностический интерфейс

Данные от системы бортовой диагностики через интерфейсы связи поступают на внешний тестер, обязательные характеристики которого регламентируются стандартом ISO 9141 (диагностический COM-интерфейс). Этот последовательный интерфейс работает со скоростью передачи от 10 бод до 10 Кбод. Он выполнен в виде однопроводного интерфейса с общим каналом передачи и приема данных или двухпроводного интерфейса с раздельными каналами передачи данных (COM) и включения (L). К одному диагностическому разъему может быть подключено несколько блоков управления.

Тестер посылает адресный сигнал включения всем блокам управления, один из которых распознает этот адрес и передает код распознавания обратно. Используя интервалы времени между фронтами импульсов в качестве индекса скорости передачи информации в бодах, тестер создает свою скорость передачи сигналов.

В перспективе связь межу блоками управления и тестерами будет осуществляться посредством шины бортового контроллера связи (CAN).

Нормативное регулирование

Первоначально самодиагностика ограничивалась только проверкой работоспособности электрических компонентов. Возрастающая сложность диагностических функций, реализуемых с помощью новых методов тестирования (например, проверка на достоверность), в сочетании с требованиями необходимости диагностики систем и компонентов, влияющих на токсичность ОГ, заставила перейти к использованию одной стандартизированной диагностической системы. В результате этого на базе методов самодиагностики была разработана система бортовой диагностики (OBD).

Система бортовой диагностики (OBD)

Новые модели автомобилей отличаются обеспечением продолжающейся тенденции снижения токсичности ОГ. Для того чтобы изготовителем автомобиля соблюдались заданные предельные величины эмиссии токсичных компонентов при обычной эксплуатации, необходим постоянный контроль работы двигателя и его узлов. Поэтому законом предписаны обязательные к исполнению нормы, определяющие методы диагностики тех узлов и систем, которые влияют на состав ОГ.

С 1988 г. в штате Калифорния (США) начала применяться система бортовой диагностики OBD I, удовлетворяющая стандарту Калифорнийского управления по охране воздушного бассейна (CARB). Все новые автомобили, зарегистрированные в штате Калифорния, должны соответствовать требованиям этого стандарта. С 1994 г. начала использоваться система OBD II.

В остальных штатах США с 1994 г. действуют нормы, разработанные Агентством по охране окружающей среды (EPA). Объем методов диагностики EPA, в основном, соответствует стандарту CARB (OBD II), но по отдельным пунктам требования несколько смягчены.

Система OBD, гармонизированная в соответствии с европейскими требованиями, получила название EOBD и начала использоваться в 2000 г. Эта система, в основном, схожа с системой EPA-OBD. Требования к системе EOBD, однако, смягчены по сравнению с системой EPA-OBD.

Система OBD I

Первая ступень системы CARB-OBD осуществляет проверки электрических компонентов, относящихся к эмиссии ОГ на отсутствие короткого замыкания или разрывов проводов. Электрические сигналы должны находиться в заданных пределах достоверности.

При детектировании системой дефекта или сбоя в работе включается индикаторная лампа, расположенная на панели приборов автомобиля. С помощью бортовых средств (например, мигающего кода посредством подключенной диагностический лампы) можно определить, какой компонент вышел из строя.

Система OBD II

Методы диагностики второй ступени CARB-OBD выходят далеко за пределы объема системы OBD I. В дополнение к проверке цепей прохождения электрических сигналов в системе OBD II также осуществляется контроль за функционированием всей системы. Уже недостаточно проверять, например, электрический сигнал датчика температуры двигателя только на превышение установленных предельных значений, в системе OBD II также определяются ошибки, являющиеся следствием чрезвычайно низкой температуры (например, 10 °C) при работе двигателя (проверка на достоверность).

Система OBD II требует, чтобы контролировались все системы и их элементы, которые, в случае их неисправности, могут привести к заметному повышению эмиссии вредных веществ с ОГ. Дополнительно должны контролироваться также все элементы, потенциально влияющие на результаты диагностики. Информация о каждом распознанном дефекте должна сохраняться в запоминающем устройстве. Индикаторная лампа, расположенная

на панели приборов, должна информировать о любой или всех неисправностях. Хранящиеся в запоминающем устройстве коды неисправностей считываются диагностическими тестерами.

Нормативные требования к системе OBD II предписывают стандартизацию протоколов неисправностей согласно регламентации Общества автомобильных инженеров США (SAE), соответствующей стандарту ISO 15031. Это обеспечивает доступ к кодам неисправностей посредством использования стандартных широко распространенных приборов для сканирования («скан-тестеров»).

Управление процессом диагностики

Диагностические функции всех подлежащих проверке компонентов и систем, как правило, должны как минимум один раз пройти цикл испытаний на токсичность эмиссии ОГ (например, циклы FTP75, NEFZ).

Управление системой диагностики может в динамическом режиме изменять последовательность обработки данных в зависимости от режима работы. При этом преследуется цель поддержания необходимой частоты включения диагностических функций при повседневной эксплуатации.

Система OBD: общие требования

Все системы и компоненты в автомобиле, выход из строя которых приводит к заметному увеличению токсичности ОГ, должны контролироваться блоком управления двигателем с помощью функций бортовой диагностики (OBD). Считается неисправностью, если превышаются заранее заданные границы диагностических параметров.

Применение

Требования, предъявляемые к системе OBD стандартами CARB и EPA, распространяются на все легковые автомобили (для перевозки до 12 пассажиров), а также грузовые автомобили малой грузоподъемности до 6,35 т. Европейская система диагностики (EOBD) распространяется с 1 января 2000 г. на все легковые автомобили и грузовые автомобили малой грузоподъемности с бензиновыми двигателями до 3,5 т и до 9 мест. С 2003 г. система EOBD распространяется также на легковые автомобили и грузовые автомобили малой грузоподъемности с дизельными двигателями.

Предельные значения диагностических параметров

Концепция CARB-OBD (OBD II) базируется на относительных предельных значениях. Это означает, что предельные значения приемлемых концентраций токсичных веществ в ОГ изменяются в соответствии с категорией эмиссии, по которой сертифицируется каждый отдельный автомобиль (LEV, ULEV), получаются разные допустимые количества вредных веществ в отработанных газах. Европейские нормы EOBD базируются на абсолютных предельных значениях (см. табл. 1).

Требования к функциональности

Одним из требований к системе OBD является проверка всех электрических проводов, подключенных к блоку управления. Это означает, что «сложные элементы» (например, датчик массового расхода воздуха) проверяются на достоверность создаваемых ими сигналов (OBD II) и наличие дефектов в электросхеме (EOBD). Комплексная функция OBD служит для проверки системы диагностики на ее функциональные возможности.

В зависимости от последствий неисправности реализуются разные меры ее устранения. В системах CARB-OBD и EOBD для этого используются разные критерии (см. табл. 2 и 3). Концентрация токсичных веществ в ОГ, которая ожидается в результате неисправности данного элемента системы (эмпирические данные), определяет вид диагностических операций. Простой тест на функциональность (черно-белая проверка) проверяет только работоспособность системы или ее элементов (например, открытое или закрытое положение клапана подачи дополнительных порций воздуха). Проверка качественных параметров функционирования (про-

1 Предельные значения концентрации токсичных веществ в ОГ

Система CARB	Относительные предельные значения 1,5-кратное увеличение предельного значения для каждой категории эмиссии
Система EOBD	Абсолютные предельные значения CO: 3,2 г/км CH: 0,4 г/км NO_x: 0,6 г/км С 1 января 2005 г. ожидается введение новых предельных значений токсичности ОГ для системы EOBD

2 Процессы диагностики и методы устранения неисправностей в системах CARB и EPA

Неисправность приводит к концентрации вредных веществ < 1,15-кратного предельного значения
• Индикация вида дефекта только с помощью тестера
Неисправность приводит к концентрации вредных веществ < 1,5-кратного предельного значения
• Проверка на функциональность (черно-белая проверка)
• Индикация вида дефекта с помощью индикаторной лампы неисправности
• Индикация вида дефекта с помощью прибора для сканирования
Неисправность приводит к концентрации вредных веществ ≥ 1,5-кратного предельного значения
• Качественная функциональная проверка
• Индикация вида дефекта с помощью индикаторной лампы неисправности
• Индикация вида дефекта с помощью прибора для сканирования

3 Диагностика и методы устранения неисправностей в системе EOBD

Неисправность приводит к концентрации вредных веществ < предельного значения
• Контроль электрических проводов или достоверности минимальных/максимальных значений
• Индикация вида дефекта с помощью индикаторной лампы неисправности
• Индикация вида дефекта с помощью прибора для сканирования
Концентрация вредных веществ ≥ предельного значения
• Качественная функциональная проверка
• Индикация вида дефекта с помощью индикаторной лампы неисправности
• Индикация вида дефекта с помощью прибора для сканирования

верка потока) дает более точную информацию по функциональным характеристикам системы. Так, например, при проверке каталитического нейтрализатора на базе измеренных значений рассчитывается степень старения каталитического элемента нейтрализатора. Соответствующие данные доступны для считывания через интерфейс системы диагностики.

Возрастающие требования к снижению токсичности ОГ постепенно привели к использованию более сложных диагностических операций. В результате, почти 50% эффективности работы системы Motronic базируется на реализации процесса бортовой диагностики.

Индикаторная лампа неисправностей

Индикаторная лампа неисправностей (MIL) указывает водителю на дефектное состояние любого элемента системы. При выявленном дефекте в диапазоне действия стандартов CARB и EPA не позже, чем через два ездовых цикла должна включаться индикаторная лампа. При применении системы EOBD индикаторная лампа должна включаться не позднее третьего ездового цикла (по желанию, максимум через 10 ездовых циклов движения).

Таблица 1

Если дефект исчезает (например, прерывистый контакт), соответствующий код дефекта сохраняется в запоминающем устройстве неисправностей в течение последующих 40 ездовых циклов. После устранения этого дефекта индикаторная лампа снова выключается через 3 ездовых цикла. При дефектах, которые могут привести к повреждению каталитического нейтрализатора (перебои в процессе сгорания), индикаторная лампа включается и работает в проблесковом режиме.

Таблица 2

Функции аварийного режима работы

При опознании дефекта запускаются замещающие параметры (например, замещающий параметр температуры двигателя) или способ аварийного режима работы (например, ограничение выходной мощности двигателя). Эти меры служат для:

- поддержания безопасных условий эксплуатации автомобиля;
- недопущения повреждений, являющихся следствием данного дефекта (например, перегрев каталитического нейтрализатора);
- минимизации токсичности ОГ.

Таблица 3

Условия включения

Диагностические операции реализуются только тогда, когда выполнены условия включения. К ним, например, относятся:

- пороговые значения крутящего момента;
- пороговые значения температуры двигателя;
- предельные значения частоты вращения коленчатого вала.

Условия блокировки

Система не может одновременно осуществлять диагностические функции и функции управления работой двигателя. Существуют условия блокировки, которые препятствуют включению определенных функций. Например, не может функционировать система вентиляции топливного бака (система улавливания и регенерации паров топлива), если производятся операции по диагностике каталитического нейтрализатора.

Временное отключение диагностических функций

Во избежание сбоев в регистрации дефектов, диагностические функции могут отключаться при определенных условиях, к которым, например, относятся:

- эксплуатация автомобиля на большой высоте над уровнем моря — свыше 2400 м для CARB-OBD или свыше 2500 м для EOBD;
- уровень топлива в топливном баке ≤ 15% для CARB-OBD или ≤ 20% для EOBD от номинального объема (в отличие от CARB-OBD в EOBD не требуется поверка на достоверность сигнала об уровне топлива);
- низкая температура окружающей среды при холодном пуске двигателя ($T < 7°C$);
- малое напряжение аккумуляторной батареи.

Код готовности

Перед доступом к запоминающему устройству неисправностей важно удостовериться в том, что диагностические функции действительно реализуются в режиме движения минимум один раз. Для подтверждения этому имеются коды готовности, поступающие через диагностический интерфейс. Эти коды регистрируются в системе для подтверждения факта завершения основных операций диагностики.

Обратный вызов

Если автомобили не соответствуют требованиям, предъявляемым к OBD, то их эксплуатация может быть запрещена и они могут быть отправлены обратно на завод-изготовитель за его счет.

Система OBD: управление системой диагностики (DSM)

Управление системой диагностики (DSM), определяющее последовательность операций по бортовой диагностике, состоит из трех функциональных компонентов (рис. 1): DFPM (управление диагностикой цепи неисправностей); DSCHED (планировщик диагностических функций); DVAL (подтверждение достоверности диагностики).

Управление диагностикой цепи неисправностей (DFPM)

Функция DFPM (управление диагностикой цепи неисправностей), в основном, предназначена для запоминания данных в ответ на детектирование дефектов в системе. Цепи неисправностей также содержат данные об условиях окружающей среды и другую информацию, важную для специалистов по ремонту, обеспечивающих локализацию этих неисправностей.

Другими функциями DFPM являются включение индикаторной лампы неисправностей и контроль за функционированием каналов связи, посредством чего сканирующие средства имеют доступ к памяти неисправностей.

Планировщик диагностических функций (DSCHED)

Планировщик диагностических функций (DSCHED) несет ответственность за координацию выделенных функций двигателя и диагностики. Для этого он получает информацию от функций DVAL и DFPM. Далее о своей готовности к работе сообщают функции, которые нуждаются в деблокировке посредством DSCHED, после чего проверяется состояние системы в данный момент.

4 Контроль систем OBD II и EOBD и их компонентов

Диагностическая функция	Специальные компоненты OGD	Примечание
Скорость реагирования на неисправность	Индикаторная лампа неисправности (MIL)	
Хранение «стоп-кадра»	Датчик скорости движения автомобиля и т. п.	Хранение информации о пробеге автомобиля при включении индикаторной лампы по требованию EOBD
Интерфейс прибора сканирования	DLC (стандартизированный разъем)	
Контроль входных сигналов на достоверность[1])		Рекомендуется для системы EOBD при поиске неисправности в нестационарных условиях
Контроль каталитического нейтрализатора	Лямбда-зонд за каталитическим нейтрализатором	
Контроль лямбда-зондов, установленных до и после каталитического нейтрализатора[1])		Электрическая диагностика лямбда-зонда, установленного за нейтрализатором, требуется из-за отключения диагностики нейтрализатора
Диагностика нагревателя лямбда-зондов, установленных до и после каталитического нейтрализатора[1])		Электрическая диагностика лямбда-зонда, установленного за нейтрализатором, необходима в зависимости от диагностики самого нейтрализатора
Передача сигнала от лямбда-зонда		Считывание сигнала посредством интерфейса тестера
Контроль топливной системы		Управление адаптацией рабочей смеси и системой улавливания паров топлива
Определение перебоев в зажигании	Датчик частоты вращения коленчатого вала	
Распознавание дороги с некачественным покрытием	Датчик частоты вращения или датчик ускорения	Приводит к отключению режима детектирования перебоев в зажигании. Минимальные требования к диагностике электрических элементов для EOBD не регламентируются
Диагностика выходной цепи усилителя	Компоненты внешних цепей	Проверка на наличие обрывов проводов и короткого замыкания во всех цепях, ведущих к элементам, влияющим на токсичность ОГ
Диагностика системы рециркуляции ОГ[1])	Датчик давления во впускном трубопроводе	
Клапан в системе улавливания и регенерации топливных паров		В системе EOBD требуется только проверка на отсутствие обрывов в электроцепях
Диагностика герметичности топливного бака	Датчик давления в топливном баке	В системе EOBD не требуется
Другие системы, влияющие на эмиссию ОГ: функциональная проверка[1])		
Определение уровня топлива в топливном баке	Датчик уровня топлива в топливном баке	Для системы EOBD требуется минимальная электрическая диагностика при отключении диагностических функций, когда уровень топлива в топливном баке < 20%

Таблица 4

[1]) Требуется, согласно системе EOBD, если неисправность приводит к превышению предельно допустимых величин эмиссии токсичных веществ в ОГ, установленных для этой системы, проведение операций по контролю за электрическими элементами при блокировке других диагностических устройств.

Планировщик содержит несколько вспомогательных элементов:

- программу запрета, блокирующую реализацию определенной функции, если один из элементов, который важен для правильной реализации этой функции, окажется дефектным;
- программу приоритетов, рассчитывающую — на основе диапазона параметров — текущий приоритет для каждой функции;
- планировщик приоритетов, имеющий доступ к таблице исключений, в которой показано, какие функции не могут реализовываться одновременно.

Подтверждение достоверности диагностики (DVAL)

Функция подтверждения достоверности диагностики (DVAL) анализирует сохраняемые в памяти текущие коды неисправностей, а также различные дополнительные данные, касающиеся каждого детектируемого дефекта. Это служит базой для определения, является ли этот дефект истинной причиной сбоя в работе или он — только следствие. В диагностический тестер, используемый для оценки зарегистрированной неисправности, поступает информация, которая хранилась в памяти достоверности данных. Это позволяет осуществлять диагностические функции в любой последовательности, независимо от побочных влияний дефектов на эти функции. Затем все деблокированные функции диагностики и их результаты проходят оценку. В системах без DVAL каждый алгоритм диагностики должен ждать сообщения «без погрешностей» от других диагностик и, следовательно, очень специфических условий эксплуатации.

Программа подтверждения достоверности является ключевой для быстрой локализации дефекта и, благодаря этому, успешного ремонта, в том числе и сложных систем.

1 Управление системой диагностики (DSM)

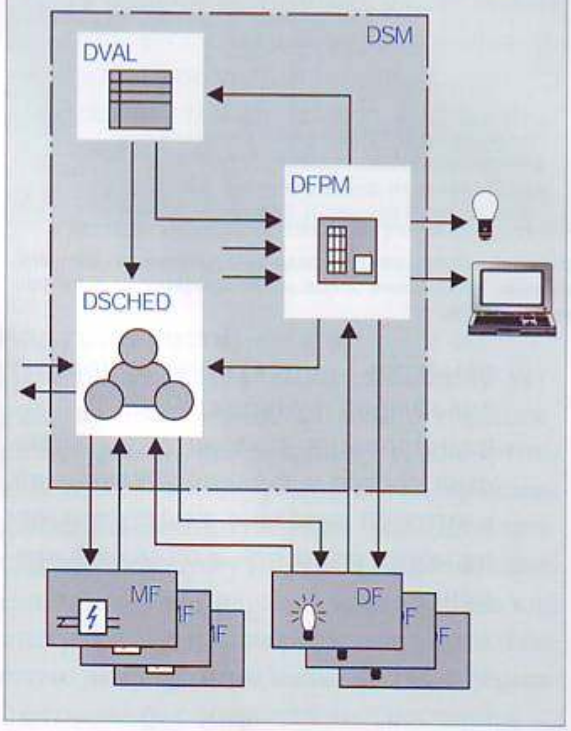


Рис. 1
DSM — управление системой диагностики
DFPM — управление диагностикой цепи неисправностей, с запоминающим устройством неисправностей, управлением индикаторной лампы неисправностей и интерфейсом для сканирующего инструментария
DVAL — функция подтверждения достоверности диагностики
DSCHED — планировщик диагностических функций
MF — функция управления двигателем
DF — диагностическая функция

Система OBD: диагностика отдельных узлов

В то время как системы EOBD и EPA-OBD предписывают проводить проверку только нескольких систем снижения токсичности ОГ, специфические требования CARB-OBD II постоянно расширяются. Следующее изменение стандарта состоится в 2005 г. (новая версия системы OBD II). В начале 2003 г. для бензиновых двигателей вступили в силу следующие требования CARB (буквой E отмечены требования EOBD):

- каталитический нейтрализатор (E), обогреваемый каталитический нейтрализатор;
- нарушения процесса сгорания (E);
- система уменьшения испарений топлива и улавливания паров топлива (диагностика утечек из топливного бака);
- подача дополнительных порций воздуха;
- топливная система;
- датчики концентрации кислорода (лямбда-зонды) (E);
- рециркуляция ОГ;
- вентиляция картера;
- охлаждение двигателя;
- система снижения токсичности ОГ при пуске холодного двигателя;
- система кондиционирования воздуха (элементы);
- изменение фаз клапанного газораспределения;
- система прямого действия снижения эмиссии озона;
- комплексные компоненты (E);
- прочие компоненты, имеющие отношение к эмиссии ОГ (E).

К комплексным и прочим компонентам, имеющим отношение к эмиссии ОГ, относятся следующие компоненты и подсистемы стандартов EOBD и EPA:

- другие конструктивные элементы или подсистемы в системе снижению токсичности ОГ;
- связанные с микропроцессором компоненты, влияющие на токсичность ОГ;

- подсистемы трансмиссии, выход которых из строя или неправильная работа могут привести к повышению токсичности ОГ до уровней, превышающих предельные значения для OBD.

Далее более подробно освещаются некоторые виды диагностики, а в отношении других видов рассматриваются только основные их цели.

Диагностика каталитического нейтрализатора

Перед трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором стоит задача преобразования в безопасные вещества вредных составляющих ОГ — оксида углерода (CO), оксидов азота (NO_x) и углеводородов (CH), образующихся при сгорании рабочей смеси. В результате старения или повреждения (термического) нейтрализатора эффективность его работы снижается. Поэтому необходим контроль за этой эффективностью работы каталитического нейтрализатора.

Мерой эффективности действия каталитического нейтрализатора является его способность к накапливанию кислорода. До сих пор для всех типов слоев трехкомпонентных каталитических нейтрализаторов (несущий слой «Wash-Coat» с оксидами циркония в качестве компонента, накапливающего кислород, и благородными металлами в качестве непосредственного каталитического материала) имелась возможность демонстрации существующей корреляции между способностью к накоплению кислорода и эффективностью действия нейтрализатора.

В зависимости от жесткости требований к снижению вредных веществ в ОГ, используются один или несколько главных каталитических нейтрализаторов (чаще всего расположенных под днищем кузова), применяемых в одиночку или в сочетании с одним или несколькими каталитическими нейтрализаторами первичной очистки, установленными вблизи двигателя. Первоначальное регулирование состава рабочей смеси осуществляется с помощью лямбда-зонда перед первым каталитическим нейтрализатором после двигателя. В современных конструкциях принято использовать и другие дополнительные лямбда-зонды, расположенные за первичным и/или главным каталитическими нейтрализаторами, которые служат, во-первых, в качестве дополнительной настройки основного лямбда-зонда (основных лямбда-зондов), а во-вторых, используются для реализации функций системы OBD. Основной принцип диагностики каталитического нейтрализатора заключается при этом в сравнении сигналов от лямбда-зондов, установленных до и после каталитического нейтрализатора.

Диагностика первичного каталитического нейтрализатора

В системах, в которых дополнительный лямбда-зонд располагается непосредственно за первичным каталитическим нейтрализатором, этот нейтрализатор можно диагностировать отдельно. Диагностика осуществляется следующим образом: установленная величина для замкнутой системы лямбда-управления модулируется с определенной частотой и амплитудой (рис. 1). Изменения содержания кислорода в ОГ, возникающие в результате этих колебаний в процессе управления, демпфируются в каталитическом нейтрализаторе за счет поглощения кислорода в накапливающемся слое или его освобождения, т. е. задний зонд посылает сигнал с очень незначительной амплитудой (рис. 2, верхняя кривая сигнала).

В противоположность этому первичный каталитический нейтрализатор, утративший способность к накоплению кислорода в результате повреждения или старения, генерирует сигнал с большой амплитудой изменения напряжения, т. к. в этом случае почти отсутствует демпфирование (рис. 2, нижняя кривая сигнала). На базе данных об амплитуде сигнала, путем фильтрации сигнала (в специальном процессе) можно рассчитать потерю способности нейтрализатора к накоплению кислорода и, следовательно, сделать вывод об эффективности его действия.

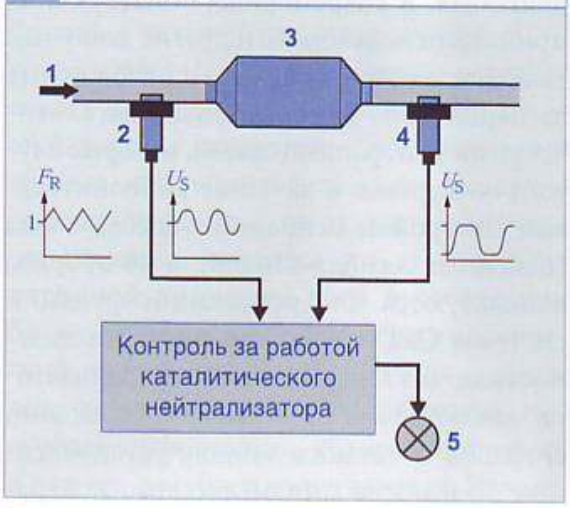
Рис. 1
1. Массовый расход ОГ, выходящих из двигателя
2. Широкополосный лямбда-зонд
3. Первичный каталитический нейтрализатор
4. Двухточечный лямбда-зонд
5. Диагностическая лампа

U_S — напряжение лямбда-зонда
F_R — коэффициент лямбда-управления (установочная величина регулирования)

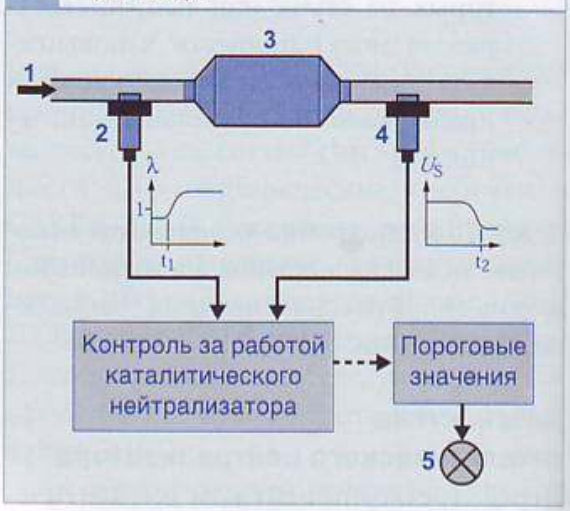
Рис. 3
1. Массовый расход ОГ, выходящих из двигателя
2. Широкополосный лямбда-зонд
3. Каталитический нейтрализатор (первичный и основной нейтрализаторы)
4. Двухточечный лямбда-зонд
5. Диагностическая лампа

U_S — напряжение зонда

1 Диагностика первичного каталитического нейтрализатора



3 Диагностика основного каталитического нейтрализатора

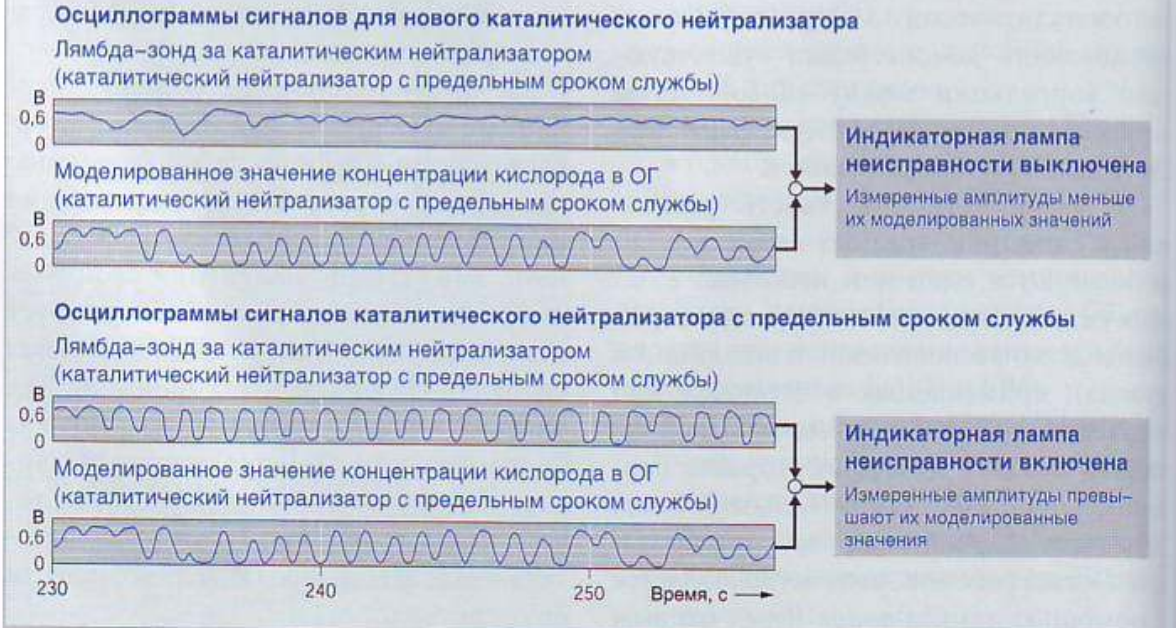


Диагностика основного каталитического нейтрализатора

В системах, в которых дополнительный лямбда-зонд располагается за основным каталитическим нейтрализатором, контролируется вся система, состоящая из первичного и основного каталитических нейтрализаторов (рис. 3). Но в основном каталитическом нейтрализаторе способность к накапливанию кислорода намного выше, чем в меньшем первичном каталитическом нейтрализаторе. За счет этого регулирование установочной величины очень сильно демпфируется даже в случае повреждения каталитического нейтрализатора. Поэтому изменение концентрации кислорода в ОГ за основным каталитическим нейтрализатором слишком мало для пассивной оценки по описанному выше методу, поэтому требуется применение метода диагностики неисправностей с активным вмешательством в систему замкнутого контура лямбда-управления.

Диагностика основного каталитического нейтрализатора базируется на непосредственном измерении накопления кислорода при переходе от обогащенной к обедненной топливовоздушной смеси. Перед каталитическим нейтрализатором установлен постоянный широкополосный лямбда-зонд, который измеряет содержание кислорода в ОГ. За каталитическим нейтрализатором находится двухточечный лямбда-зонд, кото-

2 Диагностика каталитического нейтрализатора: осциллограммы сигналов



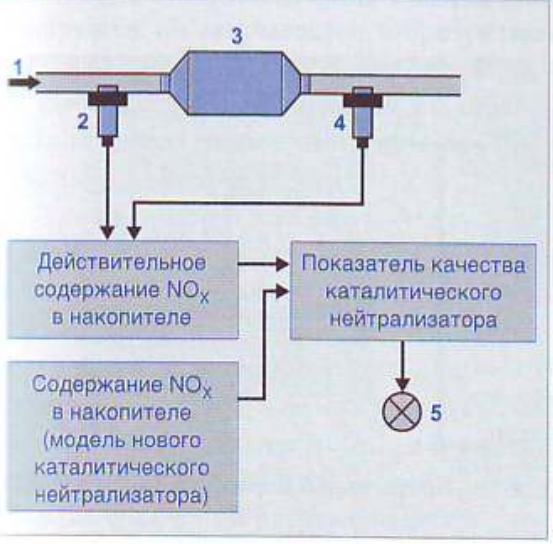
рый проверяет состояние накопителя кислорода. Измерение осуществляется, когда двигатель работает в установившемся режиме в диапазоне неполной нагрузки.

На первом этапе накопитель кислорода полностью опорожняется при работе двигателя на обогащенной смеси ($\lambda < 1$). Сигнал от заднего лямбда-зонда информирует об этом величиной напряжения 650 мВ. На следующем этапе, когда двигатель работает на бедной смеси ($\lambda > 1$), производится расчет массы кислорода (с помощью данных о массовом расходе воздуха и сигнала лямбда-зонда), поглощаемого накопителем до момента его полного заполнения. Переполнение накопителя характеризуется снижением напряжения лямбда-зонда за каталитическим нейтрализатором до значений 200 мВ. Рассчитанный интегральный параметр массы кислорода указывает на способность каталитического нейтрализатора к накоплению кислорода. Этот параметр должен превышать контрольную величину, в ином случае фиксируется неисправность.

В принципе возможна также оценка путем измерения освобождения кислорода при переходе от обедненной к обогащенной смеси. Измерение количества накопленного кислорода при переходе от обогащенной к обедненной смеси обеспечивает меньшую зависимость от:

- температуры;
- сульфатации.

4 Принцип определения показателя качества каталитического нейтрализатора



Поэтому с помощью этого метода возможно более точное определение способности нейтрализатора к накоплению кислорода.

Диагностика накопительного каталитического нейтрализатора NO_x

Как и трехкомпонентный каталитический нейтрализатор, накопительный каталитический нейтрализатор NO_x, устанавливаемый на бензиновых двигателях с непосредственным впрыском топлива, должен обеспечивать временное накопление оксидов азота, которые не могут быть нейтрализованы при работе двигателя на гомогенной бедной рабочей смеси ($\lambda > 1$). Эти оксиды азота нейтрализуются, когда двигатель переходит на работу на гомогенной обогащенной смеси ($\lambda < 1$). Способность этого каталитического нейтрализатора к накоплению NO_x, обозначаемая показателем качества каталитического нейтрализатора, снижается по мере старения и отравления (например, за счет отложений серы). Поэтому необходим контроль его функциональной способности. Для этой цели могут использоваться два лямбда-зонда перед и за каталитическим нейтрализатором или на месте второго лямбда-зонда устанавливается датчик NO_x.

Для определения показателя качества каталитического нейтрализатора сравнивается действительное содержание NO_x в накопителе с расчетной величиной содержания NO_x в накопителе нового каталитического нейтрализатора NO_x (модель нового каталитического нейтрализатора, рис. 4). Действительное содержание NO_x в накопителе соответствует измеренному расходу восстановительного агента (CH и CO) во время регенерации каталитического нейтрализатора. Количество восстановительного агента определяется путем интеграции его массового расхода на стадии регенерации при $\lambda < 1$. Конец стадии регенерации определяется по скачку напряжения, регистрируемому дополнительным лямбда-зондом.

Рис. 4

1. Массовый расход ОГ
2. Широкополосный лямбда-зонд
3. Каталитический нейтрализатор с накопителем NO_x
4. Двухточечный лямбда-зонд или датчик NO_x
5. Диагностическая лампа

Определение нарушений процесса сгорания

В настоящее время законодательно требуется определение нарушений процесса сгорания, которые могут возникать, например, за счет износа свечей зажигания. Эти нарушения возникают, когда свеча зажигания не создает искрового разряда, что препятствует воспламенению рабочей смеси в двигателе, и несгоревшее топливо поступает в систему выпуска двигателя. Затем происходит последующее дожигание несгоревшего топлива в каталитическом нейтрализаторе, что в результате вызывает подъем его температуры. Следствием этого может стать быстрое старение или даже полное разрушение каталитического нейтрализатора. Кроме того, перебои в зажигании приводят к повышению токсичности ОГ, особенно CH и CO. Поэтому необходимо выявление нарушений процесса сгорания.

При определении этих нарушений оценивается время, прошедшее от одного сгорания до следующего в каждом цилиндре, т. е. время цикла. Это время, рассчитываемое на основании сигнала датчика частоты вращения коленчатого вала, соответствует числу зубьев, на которое поворачивается измерительное колесо датчика на коленчатом валу. При перебоях в сгорании двигатель не создает того крутящего момента, который обычно производится за счет сгорания, что приводит к замедлению частоты вращения коленчатого вала. Вытекающее в результате этого существенное удлинение продолжительности рабочего цикла свидетельствует о нарушении процесса сгорания (рис. 5).

При высокой частоте вращения коленчатого вала и малой нагрузке двигателя это увеличение продолжительности цикла составляет всего около 0,2 %. Поэтому необходим более точный контроль и дорогостоящий метод расчетов, для того чтобы можно было отличить нарушения сгорания от других возмущающих воздействий (например, сотрясений из-за плохой дороги).

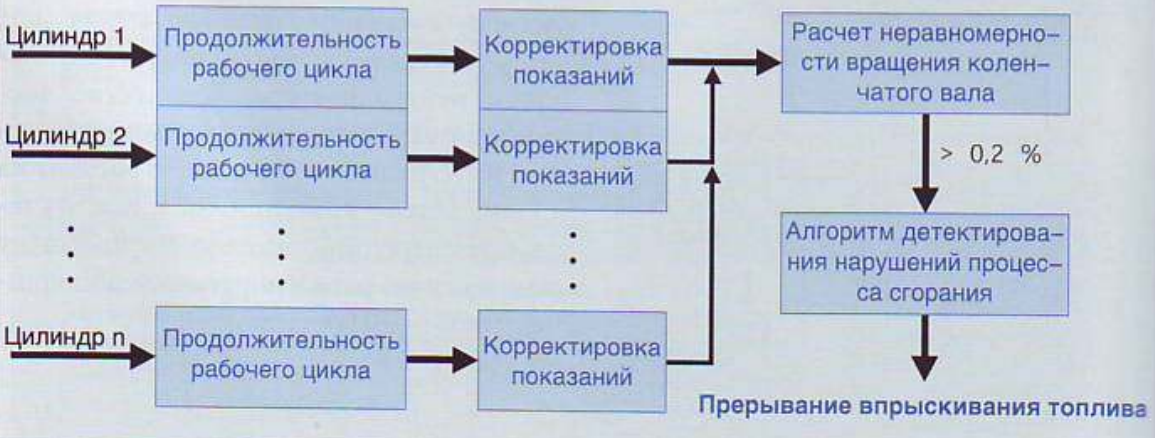
Корректирующая адаптация колеса датчика компенсирует отклонения, которые связаны с допусками в изготовлении этого колеса. Эта функция активизируется только в режиме принудительного холостого хода, т. к. в этом режиме работы не создается ускоряющий крутящий момент. Адаптация колеса датчика дает возможность вносить коррекции при изменении продолжительности цикла.

При недопустимо высокой доли таких нарушений сгорания в соответствующем цилиндре отключается впрыскивание топлива, для того чтобы защитить каталитический нейтрализатор от повреждений.

Диагностика утечек из топливного бака

Негативное влияние на окружающую среду оказывает не только эмиссия ОГ, но и пары топлива, выходящие из системы подачи топлива, особенно из топливного бака (эмиссия испарения), поэтому для

5 Принцип детектирования нарушений процесса сгорания



этого вида эмиссии также действуют нормируемые ограничения. Для ограничения эмиссии паров топлива, они накапливаются в абсорбере с активированным углем, входящим в систему улавливания топливных паров, а затем через продувочный клапан направляются во впускной трубопровод и камеры сгорания двигателя (рис. 6). Контроль системы топливного бака является частью функций бортовой диагностики.

Для европейского рынка закон пока ограничивается простой проверкой электрической цепи датчика давления в топливном баке и продувочного клапана абсорбера. В США требуется детектирование негерметичности топливной системы. Для этого существуют два разных диагностических подхода, с помощью которых можно выявить большое отверстие диаметром до 1,0 мм и небольшое — диаметром до 0,5 мм.

Диагностический метод, основанный на анализе разрежения в топливном баке

При неподвижном автомобиле и работе двигателя на холостом ходу закрывается продувочный клапан 2 (рис. 6) абсорбера. Так как при этом открывается запорный клапан 4, то за счет разрежения в топливном баке в него входит воздух и, соответственно, возрастает давление. Если это давление, измеряемое датчиком давления 6, не достигает за определенное время атмосферного, то это означает, что клапан открыт недостаточно или вообще не открыт (т. е. не исправен).

Если в запорном клапане дефект не обнаружен, он закрывается. Образующиеся пары топлива могут приводить к росту давления, которое не должно превышать или быть ниже установленных предельных значений.

Если величина измеренного давления ниже предписанного минимального значения, то причиной этого является неисправность продувочного клапана. Другими словами, пониженное давление — это следствие негерметичности продувочного клапана, когда пары топлива подсасываются во впускной трубопровод за счет имеющегося в нем разрежения.

Если величина измеренного давления превышает предписанное максимальное значение, то испаряется слишком много топлива (например, из-за слишком высокой наружной температуры), для того чтобы можно было осуществить диагностику.

Если величина давления, создаваемого испарениями топлива, находится в установленном диапазоне, то этот рост давления сохраняется в памяти в качестве градиента компенсации для диагностики небольших утечек.

Диагностику утечек из топливного бака можно продолжить лишь после того, как проведена проверка запорного и продувочного клапанов.

Детектирование больших утечек

При работе двигателя на холостом ходу открывается продувочный клапан 2 (рис. 6) абсорбера и снижение давления во впускном трубопроводе 1 распространяется на топливный бак. Если датчик давления 6 в топливном баке регистрирует минимальное изменение давления, т. к. через негерметичность входит воздух, компенсируя создаваемое падение давления, то детектируется большая негерметичность и процесс последовательной диагностики заканчивается.

Детектирование малых утечек топлива

Диагностику малых утечек топлива можно начинать после необнаружения больших утечек. Для этого снова закрывается продувочный клапан (2, рис. 6). При этом рост давления в топливном баке должен соответствовать количеству накопленных

6 Диагностика негерметичности топливного бака методом детектирования степени разрежения в нем

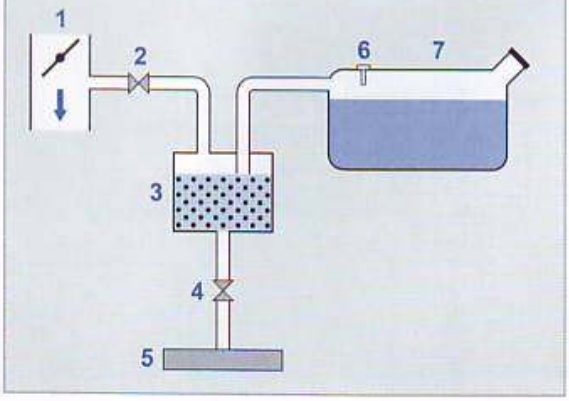


Рис. 6

1. Впускной трубопровод с дроссельной заслонкой
2. Продувочный клапан абсорбера с активированным углем (клапан регенерации)
3. Абсорбер с активированным углем
4. Запорный клапан
5. Воздушный фильтр
6. Датчик давления в топливном баке
7. Топливный бак

в абсорбере паров топлива (градиент компенсации), т. к. запорный клапан 4 все еще закрыт. Но если это давление поднимется выше, то это будет следствием наличия небольшой негерметичности, которая позволит воздуху входить в топливный бак.

Метод опрессовки топливного бака

При выполненных условиях включения функции диагностики и после выключения зажигания начинаются испытания методом опрессовки топливного бака как часть последовательной диагностики с помощью блока управления.

Детектирование большой и малой негерметичности

При определении малой негерметичности лопастной насос 6 (рис. 7a) с электроприводом, интегрированный в диагностический модуль 4, нагнетает воздух через контрольное отверстие 5 диаметром 0,5 мм. За счет противодавления, возникающего в этом сужении, возрастает нагрузка на насос, что приводит к снижению частоты вращения коленчатого вала и увеличению электрического тока насоса. Величина этого замеренного тока (рис. 8) сохраняется в памяти диагностического модуля.

Затем (рис. 7b) после переключения электромагнитного клапана 7 насос нагнетает воздух в топливный бак. Если топливный бак герметичен, то давление в нем растет и,

8 Характеристика сигнала при использовании метода опрессовки топливного бака

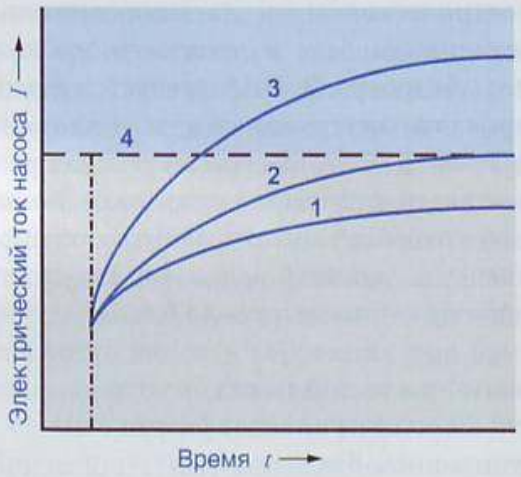


Рис. 8
1 — кривая изменения тока при образовании отверстия в топливном баке диаметром d > 0,5 мм
2 — кривая изменения тока при образовании отверстия в топливном баке диаметром d ≤ 0,5 мм
3 — кривая изменения тока при герметичном топливном баке
4 — контрольная величина тока

7 Диагностика негерметичности топливного бака методом его опрессовки

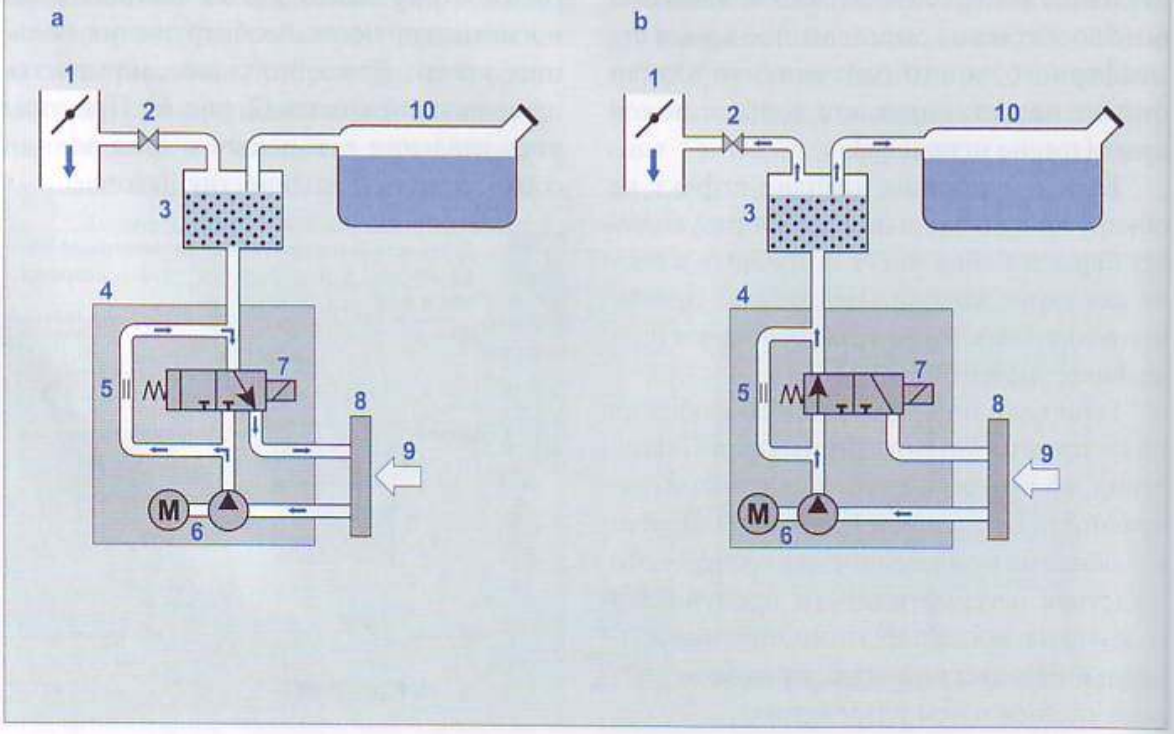


Рис. 7
a — измерение контрольного тока при негерметичности
b — проверка на наличие малой и большой негерметичности
1. Впускной трубопровод с дроссельной заслонкой
2. Продувочный клапан абсорбера с активированным углем (клапан регенерации)
3. Абсорбер с активированным углем
4. Диагностический модуль
5. Контрольное отверстие диаметром 0,5 мм
6. Лопастной насос
7. Переключающий клапан
8. Воздушный фильтр
9. Свежий воздух
10. Топливный бак

соответственно, ток насоса увеличивается до уровня, превышающего контрольное значение (4, рис. 8). В случае малой негерметичности ток насоса достигает контрольного значения, но не превышает его. Но если по прошествии определенного времени значение контрольного тока не достигнуто после продолжительного накачивания, это говорит о наличии большой негерметичности топливного бака.

Диагностика устройства подачи дополнительных порций воздуха

При работе двигателя на обогащенной смеси ($\lambda < 1$) — как это, например, может быть необходимо при низких температурах — приводит к слишком высокому содержанию углеводородов и оксида углерода в ОГ. Эти токсичные вещества должны подвергаться в тракте выпуска дополнительному оксидированию, т. е. дожигаться. Поэтому прямо за выпускным коллектором размещается устройство подачи дополнительных порций воздуха, которое вдувает в ОГ кислород, необходимый для процесса каталитического дожигания (рис. 9).

При выходе из строя этого устройства токсичность ОГ повышается при пуске холодного двигателя или при неразогретом каталитическом нейтрализаторе. Поэтому необходима диагностика этого устройства.

Диагностика устройства подачи дополнительных порций воздуха представляет собой функциональную проверку, при которой проверяется работоспособность насоса и отсутствие нарушений в подаче воздуха в тракт выпуска. Проверка может осуществляться двумя способами: пассивным и активным.

При пассивном способе проверки непосредственно после пуска двигателя и во время нагревания каталитического нейтрализатора производится измерение массы дополнительных порций воздуха с помощью активного замкнутого контура лямбда-управления. Эта масса воздуха сравнивается с контрольной величиной. Если рассчитанная масса воздуха отличается от контрольной величины, то это означает наличие неисправности в данном устройстве.

Активный способ проверки осуществляется на холостом ходу и при подаче дополнительных порций воздуха с диагностической целью. При этом сигналы от лямбда-зондов используются непосредственно для расчета массы этого воздуха. Здесь так же, как и при пассивном способе проверки, сравнивается рассчитанная масса дополнительных порций воздуха с контрольной величиной.

Способ пассивной проверки, хотя он и менее точен, необходим по той причине, что он обеспечивает достаточную точность во время короткого периода после пуска двигателя, когда осуществляется подача дополнительных порций воздуха и обеспечивается оптимальная работа устройства подачи этого воздуха.

Диагностика топливной системы

Дефекты в работе топливной системы (например, дефектный топливный клапан, негерметичность впускного трубопровода) могут привести к тому, что не может быть достигнуто оптимальное образование топливовоздушной смеси. Поэтому требуется контроль этой системы с помощью системы OBD. Для этого, помимо прочего, в блоке управления ведется обработка таких данных, как массовый расход воздуха на впуске (сигнал от датчика массового расхода воздуха), положение дроссельной заслонки, соотношение топлива и воздуха в рабочей смеси (сигнал первичного лямбда-зонда), а также

9 Принцип действия устройства подачи дополнительных порций воздуха

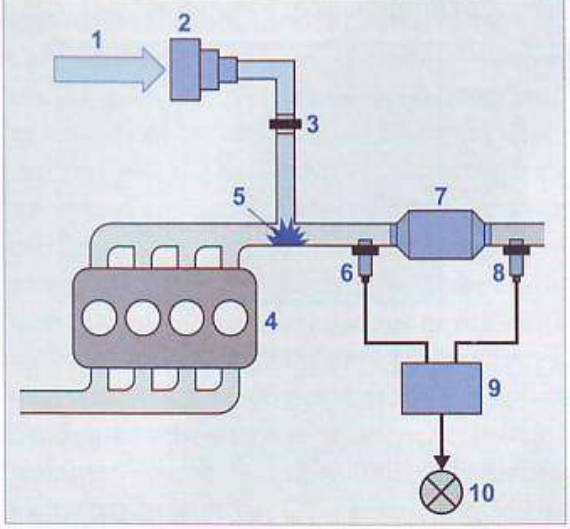


Рис. 9
1. Свежий воздух
2. Насос подачи дополнительных порций воздуха
3. Клапан подачи дополнительных порций воздуха
4. Двигатель
5. Место подачи дополнительных порций воздуха в выпускной коллектор
6. Лямбда-зонд перед каталитическим нейтрализатором
7. Каталитический нейтрализатор
8. Лямбда-зонд за каталитическим нейтрализатором
9. Блок управления двигателем
10. Диагностическая лампа

информация о режиме работы двигателя, и затем измеренные величины сравниваются с моделируемыми расчетными значениями.

Диагностика лямбда-зондов

Система лямбда-зондов, как правило, состоит из двух зондов (перед каталитическим нейтрализатором и после него) и замкнутого контура лямбда-управления. Перед каталитическим нейтрализатором чаще всего располагается широкополосный лямбда-зонд, который измеряет величину коэффициента избытка воздуха λ (т. е. состав рабочей смеси по всему диапазону от обогащенной до обедненной) с помощью кривой изменения напряжения (рис. 10a). Лямбда-зонд также регулирует это напряжение. В более старых конструкциях перед каталитическим нейтрализатором использовался двухточечный лямбда-зонд. За счет скачка напряжения сигнала такой лямбда-зонд показывал только различие между обедненной (λ >1) и обогащенной (λ < 1) рабочими смесями (рис. 10b).

10 Кривая изменения напряжения лямбда-зонда

Рис. 10
a — широкополосный лямбда-зонд
b — двухточечный лямбда-зонд

В современных конструкциях дополнительный лямбда-зонд — чаще всего двухточечный — располагается после первичного или основного каталитического нейтрализатора и служит, во-первых, для дополнительной регулировки основного лямбда-зонда, во-вторых, используется для функционирования системы OBD. Лямбда-зонды измеряют не только состав топливовоздушной смеси в ОГ в системах управления двигателем, но также контролируют функциональную способность каталитического нейтрализатора.

В работе лямбда-зондов возможны следующие неисправности:

- или короткое замыкание в электрической цепи;
- старение зонда (термическое, отравление), что приводит к снижению динамики сигнала зонда;
- искаженные значения замеров из-за холодного зонда (не достигается рабочая температура).

Основной зонд

Основным называется зонд, установленный перед каталитическим нейтрализатором. У него проверяются:

- достоверность данных замеров (внутреннее сопротивление, напряжение на выходе — действительный сигнал — и другие параметры);
- динамика (скорость изменения сигнала при переходах от обогащенной смеси на обедненную и обратно, а также длительность периода подачи сигналов). Если зонд снабжен нагревателем, последний также должен проверяться на функциональную способность. Испытания проводятся во время движения автомобиля при относительно постоянных режимах работы двигателя.

Для широкополосного лямбда-зонда требуются другие методы диагностики (по сравнению с двухточечным лямбда-зондом), т. к. этот зонд может регистрировать также уровни, отличные от λ = 1.

Дополнительный зонд

Дополнительные зонды, устанавливаемые за каталитическим нейтрализатором, используются, помимо прочего, для контроля его состояния. Они проверяют способность каталитического нейтрализатора окислять токсичные компоненты ОГ и поставлять данные, важные для диагностики этого нейтрализатора. С помощью этих сигналов можно также проверять работоспособность основного зонда. Кроме того, с помощью дополнительного зонда обеспечивается долгосрочная длительность стабилизации уровня эмиссии ОГ за счет корректировки сигналов основного зонда.

Кроме продолжительности периода подачи сигнала, все характеристики и параметры, относящиеся к основному зонду, также проверяются в дополнительном зонде.

Диагностика системы рециркуляции ОГ

Система рециркуляции ОГ (AGR) является эффективным средством снижения эмиссии оксидов азота с ОГ. За счет подмешивания ОГ к рабочей смеси снижается пиковая температура сгорания и, следовательно, уменьшается образование оксидов азота.

Поэтому функциональная способность системы рециркуляции ОГ должна контролироваться. Для этого используются два альтернативных метода.

При диагностике на основе определения давления во впускном трубопроводе на режиме работы двигателя на средней мощности клапан рециркуляции ОГ на короткое время закрывается и замеряется изменение давления в этом трубопроводе. Сравнение измеренного давления с рассчитанным по методу моделирования позволяет провести диагностику функции закрытия клапана рециркуляции ОГ.

Диагностика на основе неравномерного вращения коленчатого вала используется в системах без датчика массового расхода воздуха или без дополнительного датчика давления во впускном трубопроводе. При работе двигателя на холостом ходу клапан рециркуляции ОГ слегка приоткрывается. При работоспособной системе рециркуляции ОГ несколько увеличившаяся масса остаточных газов приводит к более неравномерному вращению коленчатого вала двигателя, которое используется для диагностики системы рециркуляции ОГ.

Диагностика неисправностей в системе принудительной вентиляции картера двигателя

Горючие газы, проникающие в картер двигателя за счет наличия зазоров между поршнями, поршневыми кольцами и цилиндрами, должны из картера отводиться. Эту функцию выполняет система принудительной вентиляции картера (PCV). Воздух, обогащенный ОГ, очищается от сажевых частиц в циклонном сепараторе и через клапан системы принудительной вентиляции картера направляется во впускной трубопровод, благодаря чему углеводороды снова возвращаются в камеру сгорания.

Возможный метод диагностики базируется на измерении частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу, которая должна изменяться определенным образом при открытии клапана системы принудительной вентиляции картера, что также рассчитывается с помощью модели. При слишком большом изменении наблюдаемой частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу от моделируемого значения делается вывод о наличии утечки.

Диагностика системы охлаждения двигателя

Система охлаждения двигателя состоит из одного большого и одного малого контуров, сообщающихся между собой через термостат. Малый контур используется на стадии пуска двигателя для быстрого его прогрева и включается путем закрытия клапана термостата. При дефектном или заклиненном в открытом положении клапане термостата рост температуры охлаждающей жидкости замедляется — особенно при низкой температуре окружающей среды — и приводит к повышению токсичности ОГ. Таким образом,

при контроле работы термостата должно определяться замедление нагревания охлаждающей жидкости в двигателе. Для этого проверке подвергается вначале датчик температуры в системе охлаждения, а затем, на базе этого, и клапан термостата.

Контроль за функциями нагревания каталитического нейтрализатора

Для того чтобы достичь высокой эффективности нейтрализации ОГ, каталитический нейтрализатор должен иметь рабочую температуру порядка 400–800 °С. Однако более высокие рабочие температуры могут привести к повреждению каталитического слоя.

Каталитический нейтрализатор при оптимальной рабочей температуре снижает эмиссию токсичных компонентов ОГ двигателя более чем на 99%. При низких температурах степень его эффективности снижается, а холодный каталитический нейтрализатор почти не работает. Поэтому для соблюдения установленных норм по предельной токсичности ОГ необходимо как можно быстрее нагревать каталитический нейтрализатор с помощью использования специальной стратегии прогрева. При температуре каталитического нейтрализатора 200–250 °С (температура отключения нагрева, соответствующая примерно 50% коэффициента превращения ОГ) эта фаза нагревания заканчивается. Теперь каталитический нейтрализатор сам нагревается за счет экзотермических реакций превращения.

Для быстрого нагревания каталитического нейтрализатора при пуске двигателя могут применяться два метода:

- установка более позднего момента зажигания для увеличения температуры ОГ;
- к самонагреву каталитического нейтрализатора приводят каталитические реакции в этом нейтрализаторе за счет неполного сгорания топлива.

Реализация этих методов обеспечивает более быстрый прогрев каталитического нейтрализатора до рабочей температуры и, таким образом, токсичность ОГ снижается интенсивнее.

Для обеспечения оптимального процесса нейтрализации регламентируется необходимость контроля температуры непосредственно перед каталитическим нейтрализатором и контроля фазы нагревания. Нагревание может контролироваться путем проверки и оценки таких факторов, как, например, угол опережения зажигания, частота вращения коленчатого вала или масса заряда свежего воздуха. Кроме того, в это время контролируются другие факторы, влияющие на нагревание нейтрализатора, например, положение распределительного вала или фиксация фаз газораспределения.

Система кондиционирования воздуха (элементы)

Для того чтобы покрыть потребность в мощности, необходимой для системы кондиционирования воздуха, двигатель должен работать на различных режимах при разной потребности в этой мощности. Если оптимизированный режим работы двигателя, получаемый при отключенной системе кондиционирования воздуха, при ее включении получен быть не может, это может привести к повышению токсичности ОГ и поэтому эта функция должна контролироваться.

Диагностика механизма изменения времени открытия и закрытия клапанов

Для снижения расхода топлива и токсичности ОГ при определенных условиях используется механизм изменения времени открытия и закрытия клапанов (VVT). В то время как раньше механизм VVT косвенно соответствовал принятым регламентациям как «комплексный узел», новая версия системы OBD II вводит новые требования, когда для диагностики измеряется положение распределительного вала и проводится сравнение этой величины с расчетным значением.

Система непосредственного снижения концентрации озона

Особенностью калифорнийских законов снижения токсичности ОГ является возможность, наряду со снижением токсич-

ных компонентов ОГ и паров топлива, уменьшить также содержание в атмосфере озона. Для функционирования системы непосредственного снижения концентрации озона (DOR) служит каталитический слой, который наносится на радиатор автомобиля. Снижение количества озона рассчитывается по площади поверхности этого слоя и проходящего через радиатор потока воздуха. При этом определяется то количество озона, которое учитывается при расчете общего снижения эмиссии токсичных компонентов ОГ и топливных паров (только углеводородов). Поэтому радиатор с каталитическим слоем является конструктивным узлом, снижающим эту эмиссию, и должен контролироваться системой OBD с 2006 г. (как предписано законом об OBD II).

Недорогой метод испытаний системы DOR широкого распространения пока еще не получил. Предметом обсуждения является диагностика следующих узлов.

- Датчик давления: при загрязнении радиатора через него проходит меньше озона. Датчик давления может регистрировать это падение давления.
- Измерение сопротивления: нанесенный каталитический слой обладает определенным электрическим сопротивлением. В результате коррозии этого слоя изменяется также и сопротивление.
- Фотодетекторы: каталитическое покрытие выполнено светонепроницаемым. С помощью детекторов могут быть установлены разрывы в нанесенном слое.
- Датчики озона: они измеряют уровни концентрации озона до и после радиатора.

В качестве альтернативы имеется возможность того, что нормы CARB будут регламентировать этот способ испытаний системы DOR, но только для задержания половины обычного озона.

Комплексные компоненты

Наряду с приведенными ранее видами специальной диагностики, проведение которых необходимо согласно калифорнийским законам и которые отдельно рассмотрены в соответствующих разделах, должны контролироваться также все датчики и исполнительные механизмы (такие, как, например, дроссельная заслонка или насос высокого давления), если неисправность этих элементов влияет на токсичность ОГ или блокирует другие диагностические функции. В этом разделе описаны требования к диагностике этих элементов — отдельно для датчиков и исполнительных механизмов.

Диагностика датчиков

Датчики должны проверяться:

- на наличие электрических дефектов;
- на отклонение от диапазона измеряемых данных (где это возможно);
- на нарушение достоверности.

Электрические дефекты

Под электрическим дефектом в нормативах подразумевается короткое замыкание на «массу», короткое замыкание в цепях питания или обрывы в электроцепях.

Проверка нарушений диапазона измерений

Обычно датчики имеют установленные выходные характеристики, часто с нижним и верхним предельными значениями: т. е. физический измерительный диапазон соответствует выходному напряжению, например, составляет 0,5–4,5 В. Если создаваемое датчиком выходное напряжение находится вне пределов этого диапазона, то это указывает на нарушение этого диапазона. Это означает, что данные, получаемые при таком испытании, должны находиться в установленном диапазоне значений для этого датчика и не зависеть от текущих условий работы двигателя.

Нормативные требования учитывают отсутствие различий между электрическими дефектами и нарушениями диапазона измерений в определенных типах датчиков.

Нарушения достоверности

В качестве способа повышения чувствительности диагностики неисправностей нормативы требуют, кроме проверки нарушений диапазона измерений, также проверку на достоверность. Особенностью таких проверок на достоверность является то, что регистрируемое в данный момент выходное напряжение сравнивается не с установленными границами, как при проверке нарушений диапазона измерений, а с более суженными границами, которые определяются условиями работы двигателя на данный момент. Это означает, что для этой проверки должна использоваться актуальная информация из системы управления двигателем. Такие проверки могут быть реализованы путем сравнения, например, выходного напряжения датчика с моделью на основе данных о работе другого датчика. При этом модель определяет ожидаемый диапазон моделирующих переменных для всех условий работы двигателя.

Для того чтобы при обнаружении дефекта иметь возможность провести ремонтные операции как можно эффективнее, необходимо как можно точнее идентифицировать неисправный узел. Кроме того, названные типы дефектов должны отличаться друг от друга и — в случае обнаружения нарушений диапазона измерений и достоверности — также по превышению нижней или верхней своих границ. При обнаружении электрических дефектов их причиной в основном могут быть неисправности в электропроводниках, а нарушение достоверности указывает скорее всего на неисправность самого датчика.

В то время как проверки на наличие электрических дефектов и нарушения диапазона измерений должны осуществляться непрерывно, то проверки на нарушения достоверности в условиях нормальной работы должны выполняться с определенной минимальной частотой.

К датчикам, которые должны проходить такого рода проверки, относятся:

- датчик массового расхода воздуха;
- различные датчики давления (во впускном трубопроводе, атмосферного давления, в топливном баке);
- датчик частоты вращения коленчатого вала;
- фазовый датчик;
- датчик температуры всасываемого воздуха;
- датчик температуры ОГ.

Пример

Ниже описана диагностика на примере датчика массового расхода воздуха HFM. Этот датчик, который служит для определения количества всасываемого в двигатель воздуха и, следовательно, для расчета подлежащего впрыскиванию топлива, измеряет массовый расход воздуха и передает эту информацию в систему Motronic в форме сигнала выходного напряжения. Массовый расход воздуха изменяется в зависимости от положения дроссельной заслонки или частоты вращения коленчатого вала.

Диагностическая функция проверяет только, превышает ли выходное напряжение датчика определенные (строго установленные) нижние и верхние границы значений и в случае этих превышений сообщает о нарушении диапазона измерений.

Путем сравнения массового расхода воздуха, полученного с помощью датчика HFM, с положением дроссельной заслонки можно — в зависимости от режима работы двигателя в данный момент — сделать вывод о нарушении достоверности сигнала датчика, если различие между обоими сигналами превышает определенное допустимое значение. Например: дроссельная заслонка полностью открыта, но датчик массового расхода воздуха, определяемый датчиком, соответствует режиму холостого хода.

Диагностика исполнительных механизмов

Исполнительные механизмы должны проверяться на наличие электрических дефектов и — если это технически возможно — на правильную функциональ-

ность. В данном случае контроль функциональности означает контроль за командными сигналами и реагированием на них соответствующим образом исполнительного механизма. Это означает, что, по сравнению с диагностикой достоверности сигналов датчиков, для оценки функции механизма должна быть получена дополнительная информация, взятая из системы.

К исполнительным механизмам относятся:

- все задающие каскады управления;
- дроссельная заслонка;
- электронная система управления дроссельной заслонкой (EGAS);
- продувочный клапан абсорбера с активированным углем;
- запорный клапан в системе управления паров топлива.

Однако большинство этих механизмов рассматривались при описании системы диагностики.

Пример

Дроссельная заслонка предназначена для регулирования количества воздуха для смешивания его с топливом при впрыскивании топлива. В системе EGAS она управляется электронным путем. Угол поворота дроссельной заслонки (угол открытия) для подачи свежего воздуха регулируется цифровым контроллером положения. При диагностике дроссельной заслонки контроллер проверяется на наличие отклонения между установленным и действительным углом поворота дроссельной заслонки. Если это отклонение слишком большое, регистрируется дефект в приводе дроссельной заслонки. Этот дефект также регистрируется при недостаточной мощности привода дроссельной заслонки.

В системе EGAS уже не применяется механическая связь между педалью газа и дроссельной заслонкой. Вместо этого посредством двух одинаковых потенциометров (для контроля) запрашивается желание водителя (нажатие на педаль газа) и передается в блок управления двигателем.

Обмен данными между электронными системами автомобиля

В настоящее время автомобили оснащены большим количеством электронных систем, число которых постоянно растет. Для их эффективной работы необходим интенсивный обмен данными и информацией, при этом требования к количеству и скорости передаваемых данных становятся все выше.

Например, для обеспечения необходимой устойчивости движения автомобиля электронная программа курсовой устойчивости (ESP) должна обмениваться данными с системами управления двигателем и трансмиссией.

Обзор системы

К электронным системам связи и электронным замкнутым и разомкнутым контурам управления, применяемым на автомобилях, относятся, например, такие как:

- электронное управление двигателем (EDC, Motronic);
- электронное управление выбором передаточного отношения в трансмиссии (EGS);
- антиблокировочная система (ABS);
- противобуксовочная система (ASR);
- электронная программа курсовой устойчивости (ESP);
- адаптивная регулировка скорости движения (ACC);
- мобильные мультимедийные системы и их индикаторные приборы на приборной панели.

Возрастающее их внедрение и связанный с этим обмен данными между системами требуют объединения этих отдельных блоков управления в единую сеть.

Традиционный метод обеспечения этого обмена данными через отдельные каналы передачи данных от одной системы к другой достиг пределов своих возможностей (рис. 1), а сложность кабельной разводки и размеры электроразъемов не позволяют осуществлять эффективный контроль. Кроме того, ограничение числа контактов в штекерных разъемах затрудняет разработку блоков управления.

Для иллюстрации:
жгуты проводов общей протяженностью 1600 м для автомобиля среднего класса имеют сегодня в среднем примерно 300 разъемов с общим числом контактов 2000. Единственным решением этой проблемы является применение специальных и совместимых с автомобилем последовательных систем шин передачи данных, среди которых в качестве стандарта была выбрана шина CAN.

Последовательная передача данных с помощью шины CAN

Шина CAN (бортовой контроллер связи) является линейной системной шиной, разработанной специально для использования на автомобиле (рис. 2), хотя она нашла и другие области применения (например, в бытовой технике).

1 Схема традиционной передачи данных

Данные последовательно передаются по общей шине. Все интерфейсы CAN имеют доступ к этой шине. Через интерфейсы CAN блоки управления могут обмениваться данными. За счет объединения в единую сеть требуется меньше проводов, т. к. по одному каналу шины можно обмениваться множеством данных и многократно считывать эти данные.

Области применения в автомобиле

В автомобиле есть четыре области применения шины CAN, к каждой из которых предъявляются различные требования.

Мультиплексная система

Эта система обеспечивает контроль за работой замкнутого и разомкнутого контуров управления устройств в области электронного оснащения кузова и обеспечения комфорта, которые включают устройства климат-контроля, центральный замок и регулировки положений сидений. Скорость передачи данных для низкоскоростной шины CAN обычно составляет от 10 до 125 Кбод (1 Кбод = 1 Кбит/с).

Применение мобильной связи

Применение шины CAN в области мобильной связи включает элементы мультимедиа, как, например, система навигации, телефон, аудиосистема, телевизор и т. п. с центральным дисплеем в автомобиле и операционными блоками. Объединение в общую сеть служит, прежде всего, для упрощения процессов управления и концентрации информации о состоянии устройств, для того чтобы внимание водителя отвлекалось в минимальной степени. При этом могут передаваться очень большие массивы данных, когда скорость их передачи составляет до 125 Кбод. При этом прямая передача аудио- и видеосигналов невозможна.

2 Линейная структура шины CAN

Применение шины CAN в диагностике

Диагностика с использованием шины CAN нацелена на применение уже имеющейся сети для диагностики подключенных к ней блоков управления. В этом случае обычная сегодня диагностика посредством специальной линии K (стандарт ISO 9141) оказывается ненужной. При применении шины CAN в диагностике планируется также передача больших массивов данных со скоростью 250 и 500 Кбод.

Применение в условиях реального времени

При применении в условиях реального времени обеспечивается управление движением автомобиля, включая такие электронные системы как управление двигателем, управление выбором передачи в трансмиссии и электронная программа курсовой устойчивости (ESP). В общем, необходимо обеспечивать скорость передачи данных от 125 Кбод до 1 Мбод, для того чтобы гарантировать требуемую скорость реакции систем (высокоскоростная шина CAN).

Конфигурация шины CAN

Под конфигурацией шины CAN понимаются расположение элементов системы и взаимодействие между ними. Шина CAN имеет линейную структуру (рис. 2). По сравнению с другими логическими структурами (кольцевая или звездообразная шина), такая система отличается минимальной возможностью выхода из строя. Если одна из станций системы отключается, шина по-прежнему продолжает полностью обслуживать другие

станции. Станциями, подключенными к шине, могут быть как блоки управления, так и индикаторные приборы, датчики или исполнительные механизмы. Они работают по принципу «Multi-Master» (мультимастер). При этом все подключенные к шине CAN станции имеют равный приоритет доступа к ней. Вышестоящее управление не является необходимым.

Адресация по содержанию

Система шины CAN адресует сообщения не по отдельности к каждой станции (в соответствии с ее характеристиками), а по содержанию этих сообщений. К каждому сообщению присоединяется фиксированный «идентификатор» (имя сообщения), который идентифицирует содержание этого сообщения (например, частоту вращения коленчатого вала двигателя). Этот идентификатор содержит 11 битов (стандартный формат) или 29 битов (расширенный формат).

За счет адресации по содержанию каждая станция должна сама решать, нужна ли ей посланная по шине информация или нет («фильтрация сообщения», рис. 3). Эта функция может выполняться специальным модулем CAN (полная шина CAN). За счет этого разгружается центральный микропроцессор блока управления. Базовые модули CAN считывают все сообщения. Отказ от адресации станций и выбранная вместо этого адресация по содержанию позволяют получить высокую гибкость всей системы, с помощью чего упрощается установка различных вариантов оборудования и их работа. Если один из блоков управления нуждается в новой информации, которая уже есть в шине CAN, то все, что необходимо сделать, это просто запросить ее из шины. Подобно этому, если новые станции играют роль приемников, то они могут быть подсоединены к шине CAN без необходимости модификации уже существующих станций.

Предоставление права доступа к общей шине

Идентификатор, наряду с содержанием данных, также определяет приоритет сообщения. Идентификатор, который соответствует короткому двоичному коду, обладает более высоким приоритетом и наоборот. Приоритеты сообщений являются, например, функцией скорости изменения их содержания или их значения по фактору безопасности. По шине никогда не передаются два и более сообщений с равными приоритетами.

Сразу же после освобождения шины каждая станция может начинать передачу сообщения. Возникающий, возможно, при этом конфликт в доступе к шине устраняется побитовым «арбитражем» каждого идентификатора (рис. 4). При этом без потерь времени и информации сначала передается сообщение с высшим приоритетом (неразрушающий протокол). Протокол CAN базируется на двух логических состояниях: доминантном (логический ноль) и рецессивном (логическая

3 Адресация и фильтрация сообщений

Рис. 3
Станция 2 отправляет, а станции 1 и 4 принимают сообщения

4 Побитовый арбитраж (управление доступом к общей шине при нескольких сообщениях)

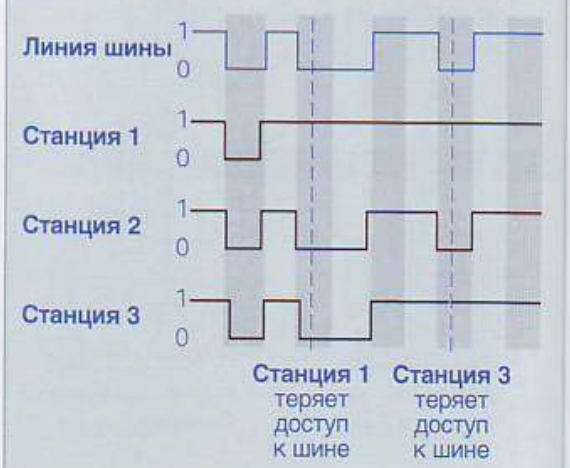


Рис. 4
Станция 2 получает приоритет в доступе к шине (сигнал на шине = сигналу от станции 2)

0 — доминантный уровень
1 — рецессивный уровень

единица). Принцип управления доступом к общей шине (арбитраж) позволяет осуществлять перезапись рецессивных битов других станций с помощью переданных данной станцией доминантных битов. Станция с самым коротким идентификатором (т. е. с наивысшим приоритетом) имеет доступ к шине первой.

Передатчики с малым приоритетом передачи сообщений автоматически становятся приемниками и начинают попытки повторных передач сообщений при освобождении доступа к шине.

Для того чтобы все сообщения могли поступить на шину, скорость передачи информации по этой шине должна соответствовать числу станций, подключенных к ней. Для постоянно изменяющихся сигналов (например, частоты вращения коленчатого вала двигателя) устанавливается время цикла.

Формат сообщения

Шина CAN поддерживает два разных формата, которые отличаются только длиной идентификатора. Идентификатор в стандартном формате содержит 11 битов, а в расширенном — 29 битов. Оба формата совместимы друг с другом и вместе могут применяться в общей сети. Кадр информации состоит из семи последовательно идущих полей (рис. 5) и содержит максимум 130 битов (стандартный формат) или 150 битов (расширенный формат).

В состоянии покоя шина рецессивна (IDLE), т. е. не активна. Запуск кадра с доминантным битом указывает на начало передачи сообщения и синхронизирует работу всех станций.

Поле арбитража (Arbitration Field) состоит из уже описанного идентификатора сообщений и дополнительного контрольного бита. При передаче этого поля передатчик проверяет каждый бит на наличие еще оставшегося у него права на передачу или на наличие другой станции с более высоким приоритетом передачи сообщений. Контрольный бит, следующий за идентификатором, обозначается как RTR-бит (Remote Transmission Request — дистанционная передача запроса), определяя вид сообщения: кадр данных (сообщение с данными) для приемной станции или дистанционный кадр для приемной станции.

Поле управления (Control Field) включает IDE-бит (Identifier Extension Bit), с помощью которого делается различие между стандартным форматом (IDE = 0) и расширенным форматом (IDE = 1) и сопровождается зарезервированным битом для будущих расширений. Остальные 4 бита этого поля описывают количество байтов данных в последующем поле данных. За счет этого получатель может определить, получил ли он всю информацию.

Поле данных (Data Field) содержит от 0 до 8 байт информации. Поле данных длиной 0 байт используется для синхронизации распределенных процессов. За одно сообщение может быть передано несколько сигналов (например, температура двигателя и частота вращения коленчатого вала).

Поле CRC (Cyclic Redundancy Check — контроль при помощи циклического избыточного кода) содержит контрольное слово кадра для распознавания, например, возникающих помех в передаче.

Поле ACK (Acknowledgement — подтверждение) содержит сигналы, подтверждающие правильность принятых сообщений. Поле включает область памяти ACK и рецессивный ограничитель ACK. Запрос области памяти также посылается рецессивно и при правильном приеме сообщения записывается приемником как доми-

5 Формат сообщений CAN

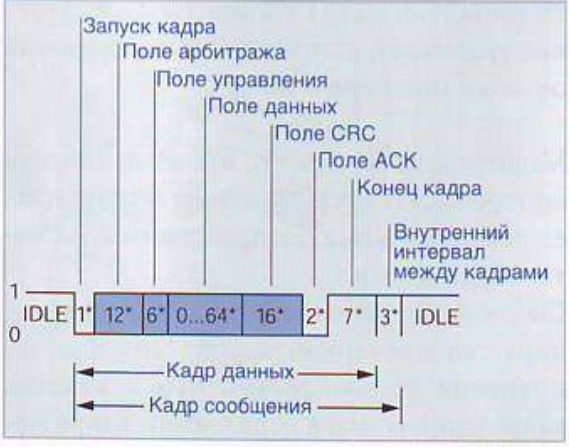


Рис. 5
0 — доминантный уровень
1 — рецессивный уровень
* количество битов

нантный. При этом не играет роли, имеет ли значение посылка этого сообщения для приемника или нет — подтверждается только правильный прием сообщения. Конец кадра (End of Frame) состоит из семи рецессивных битов и означает конец сообщения.

Внутренний интервал между кадрами (Inter-Frame Space) состоит из трех битов, которые разделяют между собой последовательные сообщения. После этого шина остается свободной в рецессивном состоянии (IDLE) до тех пор, пока какая-нибудь другая станция не запросит к ней доступ.

Как правило, станция-передатчик инициирует передачу сообщений путем отправки кадра данных. Но возможен также вариант, когда приемник запрашивает у передатчика данные, посылая дистанционный кадр.

Распознавание ошибок

В протокол CAN включен ряд механизмов контроля для распознавания ошибок.

В поле CRC приемная станция сравнивает полученную последовательность CRC с последовательностью, рассчитанной на основе сообщения.

При контроле кадра распознаются ошибки кадра путем проверки его структуры. В протоколе CAN содержится несколько полей битов с жестким форматом, которые проверяются всеми станциями.

Проверка ACK представляет собой подтверждение приемными станциями факта принятия кадра сообщения. Отсутствие указывает, например, на выявленные ошибки при передаче.

Мониторинг означает, что отправитель контролирует уровень шины и сравнивает различия между отправленным и считанным битами.
Соблюдение заполнения битами контролируется проверкой кодов. Правило заполнения устанавливает, что в каждом кадре данных или в отдаленном кадре между запуском кадра и концом поля CRC допускается максимально пять следующих друг за другом битов с равными приоритетами. После передачи каждых пяти одинаковых битов отправитель вводит один бит с противоположным приоритетом. Приемная станция удаляет все эти введенные биты после получения сообщения. Нарушения в линии связи могут определяться с помощью использования принципа заполнения битами.

Если одна из станций определяет ошибку, то она прерывает текущую передачу путем отправления кадра ошибки (Error Frame), который состоит из шести последовательных доминантных битов. Их действие базируется на целенаправленном нарушении правила заполнения битами. За счет этого не допускается прием другими станциями ошибочных сообщений.

Дефектные станции могут существенно нарушить функционирование шины CAN за счет отправки кадра ошибки и прерывания сообщений, не содержащих ошибок. Для устранения этого шина CAN имеет функцию, с помощью которой можно различать случайно возникающие сбои от постоянных ошибок и беспечивать идентификацию дефектных станций. Это осуществляется с помощью метода статистической оценки ошибочных ситуаций.

Стандартизация

Система CAN была стандартизирована как в ISO (Международная организация по стандартизации), так и в SAE (Общество автомобильных инженеров) для обмена данными в автомобиле:

- для низкоскоростного обмена данными ≤ 125 Кбит/с в ISO 11519-2;
- для высокоскоростного обмена данными > 125 Кбит/с в ISO 11898 и SAE J 22584 (пассажирские автомобили) или SAE J 1939 (грузовые автомобили и автобусы);
- для диагностики через шину CAN в разрабатываемом в настоящее время стандарте ISO (прим. ред.: в 2004 г. выпущена первая часть стандарта ISO 15765-1).

Перспективы

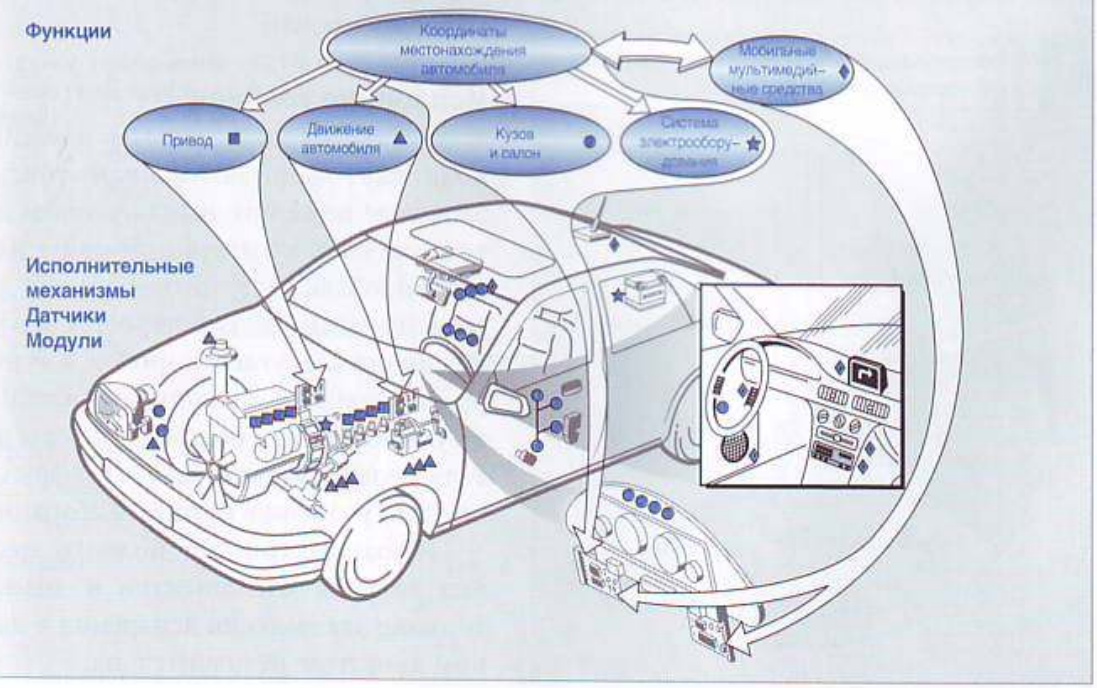
Параллельно с увеличением производительности системных компонентов и возрастающей интеграцией функций повышаются также требования к автомобильной системе связи. Кроме того, начинают использоваться новые системы, например, из области развлекательной электроники. В целом ожидается, что на автомобилях будет применяться несколько систем шин обмена данными, каждая из которых будет характеризоваться своей соответствующей областью применения.

Наряду с электронной передачей данных используются также оптические системы передачи, которые находят применение в мультимедийных системах. Это шины с очень высокой скоростью передачи данных, способные передавать большие массивы данных, что необходимо для работы аудио- и видеосистем.

За счет объединения в сеть отдельные функции могут образовывать комплексную систему, охватывающую весь автомобиль, в котором осуществляется обмен данными с помощью шины данных. Реализация таких расширенных функций требует обязательного согласования единых интерфейсов и содержания функций. На основе этих требований фирма Bosch разработала программный продукт CARTRONIC® — концепцию систематизации и описания всех систем управления и регулирования автомобиля. На рис. 1 показано возможное распределение функций, каждая из которых управляется одним центральным координатором. Отдельные функции могут реализовываться в различных блоках управления.

За счет комбинаций компонентов и систем могут возникать совершенно новые функции. Например, благодаря обмену данными между блоком управления трансмиссией и системой навигации, может обеспечиваться своевременный переход на низшую передачу перед началом движения автомобиля на подъем. Фары могут адаптировать свой световой конус с помощью данных системы навигации в соответствии с различными ситуациями движения и направлением дороги (например, в зоне перекрестка). Радиоприемник в автомобиле, проигрыватель компакт-дисков, телевизор, телефон, электронная почта, интернет, а также система навигации и оконечные устройства транспортной телематики могут подсоединяться к мультимедийной сети.

1 Схема структуры CARTRONIC®



Эмиссия отработавших газов

С возрастанием расхода энергии, который покрывается, прежде всего, за счет жидкого топлива, загрязнение воздуха стало серьезной проблемой. Качество воздуха окружающей среды зависит от многих влияющих на это факторов. Наряду с выбросом вредных веществ промышленными предприятиями, бытовой техникой и электростанциями, большую роль в загрязнении окружающей среды играет автомобильный транспорт (рис. 1).

Обзор

Для того чтобы уменьшить степень загрязнения окружающей среды вредными веществами, содержащимися в ОГ автомобилей с двигателями внутреннего сгорания, за последние годы постоянно понижались допустимые предельные величины содержания этих веществ в прошедшие годы. Это привело к необходимости оснащения автомобилей дополнительными системами, ограничивающими уровень токсичности эмиссии ОГ.

Сгорание рабочей смеси

На все двигатели внутреннего сгорания распространяется общее правило: полного сгорания рабочей смеси в цилиндрах двигателя достичь нельзя. Это правило действует даже при избытке воздуха в рабочей смеси. Чем менее полным становится сгорание, тем больше выброс вредных веществ с ОГ. Поэтому в ОГ двигателя внутреннего сгорания, наряду с высокой долей нетоксичных компонентов, содержатся также побочные продукты, которые, при их высокой концентрации в ОГ, представляют потенциальную опасность для окружающей среды.

1 Общая эмиссия токсичных веществ в Германии (по состоянию на 1996 г.)

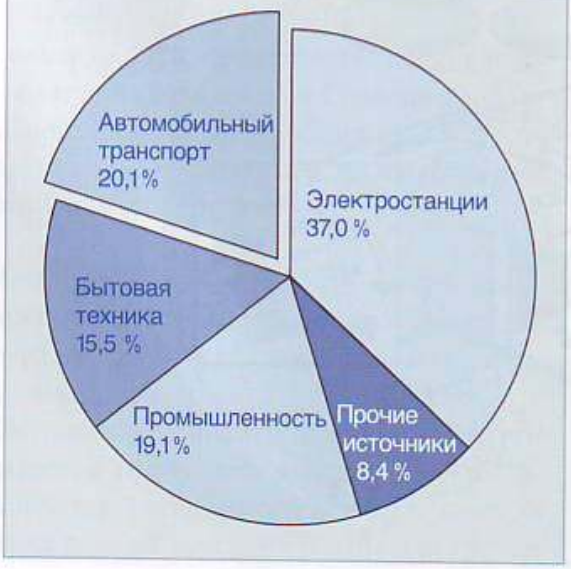


Рис. 1
Данные приведены в весовых процентах без учета естественных загрязнений

Общая эмиссия: 935 Мт (мегатонн)

Источник: Отчет Федерального правительства Германии о защите от выбросов загрязняющих веществ за 1997 г.

Вентиляция картера

Дополнительная эмиссия вредных веществ возникает за счет работы системы вентиляции картера. ОГ выходят через зазоры между стенками цилиндров и поршнями в картер, откуда они снова направляются во впускной трубопровод и подаются в цилиндры для повторного сгорания.

В дизельном двигателе эта эмиссия незначительна, т. к. при такте впуска сжатию подвергается только чистый воздух. Газы утечки, попадающие в картер при рабочем ходе, содержат только около 10% вредных веществ, создаваемых в двигателе с искровым зажиганием. Несмотря на это, обязательное применение замкнутой системы вентиляции картера регламентируется и для дизельных двигателей.

Испарение топлива

В двигателях с искровым зажиганием возникает дополнительная токсичная эмиссия (даже при выключенном двигателе) за счет испарения бензина из топливного бака. Для того чтобы не допустить попадания этих паров, состоящих в основном из углеводородов, в атмосферу, они должны накапливаться в системе их улавливания и во время работы двигателя снова направляться в камеру сгорания для участия в процессе сгорания.

Из-за фактически полного отсутствия летучих компонентов в дизельном топливе эта эмиссия испарения в дизельном двигателе незначительна.

Основные компоненты эмиссии

При полном (идеальном) сгорании чистого топлива, т. е. при наличии необходимого количества кислорода, происходит следующая химическая реакция:

$$n_1C_xH_y + m_1O_2 \rightarrow n_2H_2O + m_2CO_2$$

Но из-за отсутствия идеальных условий сгорания, а также за счет состава топлива, наряду с такими основными продуктами его сгорания, как вода (H_2O) и диоксид углерода (CO_2), образуется также определенное число других токсичных компонентов (рис. 2).

Вода (H_2O)

Содержащийся в топливе химически связанный водород при сгорании превращается в водяной пар, который, охлаждаясь, большей частью конденсируется. В холодные дни он заметен как облако пара, выходящее из глушителя. Доля водяного пара в ОГ примерно равна 13,1%.

Диоксид углерода (CO_2)

Содержащийся в топливе химически связанный углерод при полном сгорании образует диоксид углерода (CO_2), которого в ОГ содержится примерно 13,7%. Диоксид углерода чаще всего называют углекислым газом. Количество высвобожденного диоксида углерода прямо пропорционально расходу топлива. Эмиссия диоксида углерода может быть снижена только путем уменьшения расхода топлива.

Диоксид углерода как естественный компонент воздуха имеется в атмосфере и с точки зрения эмиссии ОГ автомобилями не считается вредным веществом. Но он является одной из причин возникновения парникового эффекта и связанного с ним глобального изменения климата Земли. Содержание CO_2 в атмосфере постоянно возрастает: если в 1920 г. оно составляло 300 частиц на миллион, то в 1995 г. превысило 360 частиц на миллион. Поэтому меры по снижению эмиссии диоксида углерода и, следовательно, расхода топлива становятся все более важными.

Азот (N_2)

Азот как основной компонент (78%) всасываемого двигателем воздуха в сгорании топлива участия не принимает. Но он составляет наибольшую долю (примерно 71,5%) в ОГ.

2 Состав ОГ двигателей с искровым зажиганием при $\lambda = 1$

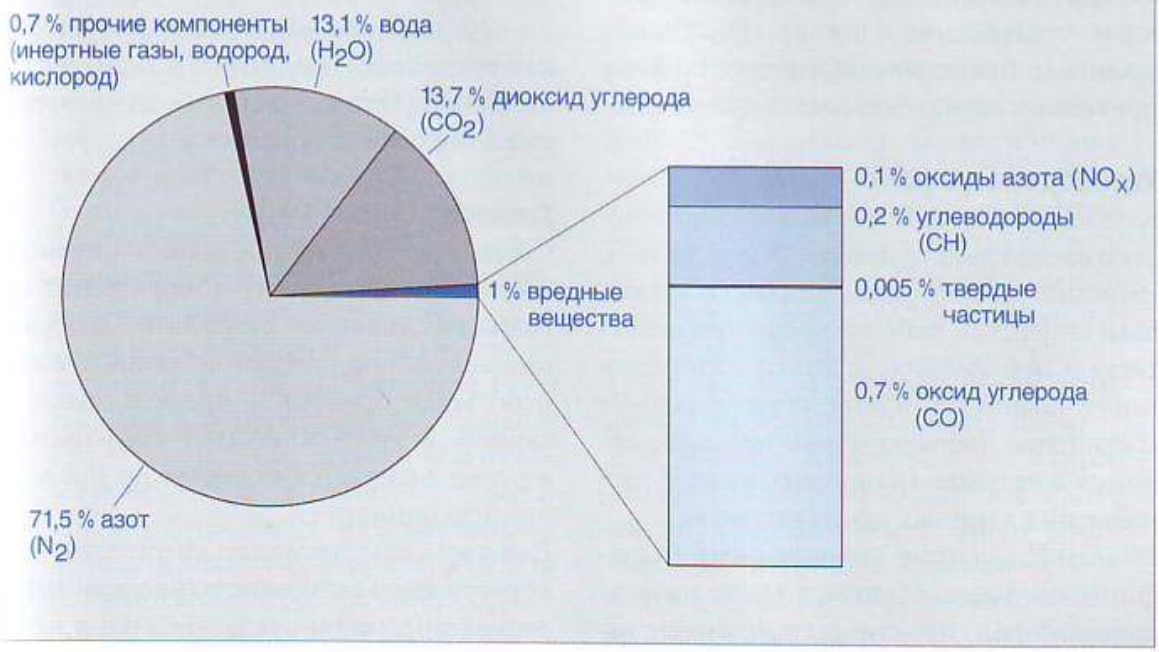


Рис. 2
Данные приведены в объемных процентах

Действительная концентрация отдельных компонентов ОГ, особенно вредных веществ, может колебаться, в зависимости от режимов работы двигателя и факторов окружающей среды (например, от влажности воздуха и других условий)

Побочные продукты сгорания

При сгорании рабочей смеси образуется целый ряд побочных продуктов. Доля этих веществ в неочищенных ОГ (т. е. ОГ после сгорания, перед их очисткой в нейтрализаторе) при прогретом двигателе и стехиометрическом составе рабочей смеси ($\lambda = 1$) составляет около 1% от общей массы ОГ. Наиболее важными из этих побочных продуктов являются:

- оксид углерода (CO);
- углеводороды (CH);
- оксиды азота (NO_x).

Современные каталитические нейтрализаторы способны при прогретом двигателе преобразовывать эти вредные вещества в нетоксичные компоненты более чем на 99%.

Оксид углерода (CO)

Оксид углерода образуется при неполном сгорании обогащенной рабочей смеси из-за недостатка в ней воздуха.

Но также оксид углерода образуется в весьма незначительных количествах и при избытке воздуха в смеси за счет обогащенного «выброса» или негомогенной рабочей смеси. Не испарившиеся капельки топлива образуют обогащенные зоны смеси, которые сгорают не полностью.

Оксид углерода представляет собой газ без цвета и запаха. При попадании в организм человека он снижает способность крови к поглощению кислорода и поэтому приводит к отравлению всего организма.

Углеводороды (CH)

К углеводородам относятся все химические соединения углерода C и водорода H. Эмиссия углеводородов связана с неполным сгоранием рабочей смеси при недостатке в ней кислорода. Но при сгорании могут возникать новые углеводородные соединения, первоначально не содержавшиеся в топливе (например, за счет расщепления длинных цепей молекул).

Алифатические углеводороды (парафины, олефины, алкины, а также их циклический ряд) практически не имеют запаха. Циклические ароматичные углеводороды (например, бензол, толуол, полициклические углеводороды) обладают характерным запахом.

Считается, что углеводороды, при длительном воздействии на организм человека, являются канцерогенами. Частично окисленные углеводороды (например, альдегиды, кетоны) имеют неприятный запах и под воздействием солнечного излучения образуют производные продукты, которые при определенной концентрации и длительном воздействии также считаются канцерогенами.

Оксиды азота (NO_x)

Оксиды азота являются собирательным понятием соединений из азота и кислорода. Они образуются в результате побочных реакций при всех процессах сгорания с участием воздуха, в котором содержится азот. В двигателе внутреннего сгорания образуются преимущественно оксид азота (NO) и диоксид азота (NO_2), а также в небольшом количестве закись азота (N_2O).

Оксид азота (NO) не имеет цвета и запаха и на воздухе постепенно превращается в диоксид азота (NO_2). В чистом виде NO_2 представляет собой ядовитый газ красно-коричневого цвета с резким запахом. При концентрации, которая встречается в сильно загрязненном воздухе, NO_2 может приводить к воспалениям слизистой оболочки.

Оксиды азота ответственны за нанесение вреда лесам (кислотные дожди), а в сочетании с углеводородами — за образование фотохимического смога.

Диоксид серы (SO_2)

Сернистые соединения в ОГ — преимущественно диоксид серы или серный ангидрид — являются результатом содержания в топливе сульфатов. Относительно небольшая доля этой вредной эмиссии связана с автомобильным транспортом и регламентируется нормами по предельной токсичности ОГ.

Диоксид серы не может химически преобразовываться в каталитическом нейтрализаторе, но он откладывается в нейт-

рализаторе с последующей реакцией с активным химическим слоем каталитического нейтрализатора, что приводит к снижению его эффективности по очистке ОГ от других токсичных компонентов. В двигателях с непосредственным впрыскиванием топлива, в которых для очистки ОГ используются каталитические нейтрализаторы с накопителем NO_x, можно химически связать диоксид серы, но это связано с высокими энергетическими затратами и снижает преимущества непосредственного впрыскивания топлива, заключающиеся в пониженном расходе топлива.

Действовавшая до 1999 г. норма предельно допустимого содержания в топливе серы в 500 частей на миллион (промиль, 1000 частей на миллион = 0,1%) была ужесточена законами ЕС. С 2000 г. действуют нормы, ограничивающие содержание серы в топливе величиной 150 частей на миллион для бензина и 350 частей на миллион для дизельного топлива, а с 2005 г. эта норма составит всего 50 частей на миллион для обоих видов топлива. Отдельные государства предполагают снизить эту предельную величину даже до 2005 г.

Твердые частицы

Проблема очистки ОГ от твердых частиц в основном касается дизельных двигателей. В бензиновых двигателях эмиссией этих частиц можно пренебречь из-за их незначительного количества.

Твердые частицы являются продуктом неполного сгорания. Они состоят, в зависимости от протекания процесса сгорания и режима работы двигателя, в основном из связанных в цепи частичек углерода (сажа) с очень большой удельной поверхностью. На сажу откладываются несгоревшие или частично сгоревшие углеводороды, где они соединяются с альдегидами с их неприятным запахом. В соединение с сажей входят аэрозоли (тонко распыленные в газе твердые или жидкие частицы), а также сульфаты, которые образуются за счет содержания в топливе серы.

Запах

Проблема устранения запаха от ОГ дизельного двигателя не решена, т. к. процессы, происходящие в дизельном двигателе и вызывающие резкие неприятные запахи ОГ, поняты еще не полностью. Не существует также общепринятого стандартного метода измерений запахов.

Озон и смог

Солнечное излучение расщепляет молекулы диоксида азота (NO_2) с образованием оксида азота (NO) и атомарного кислорода (O), который, при соединении с молекулярным кислородом (O_2) воздуха, образует озон (O_3). Также образованию озона способствуют такие летучие органические соединения, как углеводороды. Поэтому летом в жаркие и безветренные дни при высоком уровне загрязнения воздуха следует считаться с повышенным содержанием в нем озона. Озон в нормальной концентрации жизненно важен для человека. Но в высокой концентрации он вызывает кашель, раздражение гортани и горла, а также жжение в глазах. Озон негативно воздействует на дыхательные функции человека, в результате чего снижается его работоспособность.

Между озоном, который образуется таким образом у поверхности земли, и озоном стратосферы, ослабляющим ультрафиолетовое излучение от Солнца, отсутствует какая-либо связь.

Смог образуется не только летом. В зимние месяцы при инверсионных метеорологических условиях и незначительной скорости ветра он также может образовываться. За счет температурной инверсии в воздушных слоях, холодный более тяжелый воздух, насыщенный вредными веществами, не может подняться вверх и рассеяться.

Смог приводит к раздражению слизистой оболочки глаз и органов дыхания человека. Кроме того, снижается видимость на дорогах. Отсюда и возникло его название: слово смог (smog) составлено из английских слов «smoke» (дым) и «fog» (туман).

Факторы, влияющие на эмиссию вредных веществ

Количество вредных веществ NO_x, CO и CH, содержащихся в неочищенных ОГ после процесса сгорания до их очистки, в значительной степени зависит от режима работы двигателя. Каталитические нейтрализаторы химически преобразуют эти вредные вещества, в результате чего их концентрация в ОГ становится существенно меньше. Для того чтобы добиться оптимальной очистки ОГ от этих веществ в каталитическом нейтрализаторе, важно обеспечить как можно меньшую эмиссию еще неочищенных ОГ.

Параметры влияния

Частота вращения коленчатого вала

Чем выше частота вращения коленчатого вала, тем больше потери на трение в самом двигателе и потребная мощность на привод вспомогательных устройств. При этих условиях выходная мощность, приходящаяся на единицу расходуемой энергии, уменьшается.

Генерирование данной величины мощности при высокой частоте вращения коленчатого вала приводит к большему расходу топлива по сравнению с этим расходом при той же мощности, но при меньшей частоте вращения коленчатого вала. С этим также связан повышенный выброс вредных веществ с ОГ.

Приготовление рабочей смеси

Для того чтобы процесс сгорания был оптимальным, рабочая смесь должна иметь как можно более гомогенное распределение по составу. В двигателях с впрыскиванием топлива во впускной трубопровод топливо распределяется по всей камере сгорания. Напротив, в двигателях с непосредственным впрыскиванием топлива при послойном распределении заряда используется другая концепция: топливо концентрируется в центре камеры сгорания. Гомогенное распределение может быть представлено внутри сконцентрированного облака этой смеси.

Для получения пониженной эмиссии вредных веществ требуется равномерное распределение рабочей смеси по всем цилиндрам. Системы впрыска топлива, в которых впускные трубопроводы используются только для перемещения воздуха, обеспечивают постоянство распределения смеси за счет подачи топлива непосредственно перед впускным клапаном (впрыскивание во впускной трубопровод) или в камеру сгорания (непосредственное впрыскивание). В карбюраторных системах и системах с центральным впрыскиванием топлива это менее достижимо, т. к. топливо имеет склонность к конденсации на стенках отдельных впускных трактов.

Нагрузка двигателя

Нагрузка двигателя или создаваемый крутящий момент двигателя оказывает разное влияние на концентрацию таких компонентов ОГ, как CO, CH и NO_x. Ниже будет рассмотрено влияние этого фактора более детально.

Коэффициент избытка воздуха

Эмиссия вредных веществ с ОГ двигателя в значительной мере зависит от состава рабочей смеси (коэффициент избытка воздуха λ). Двигатели с впрыскиванием топлива во впускной трубопровод в большинстве диапазонов рабочих режимов должны использовать стехиометрическую рабочую смесь ($\lambda = 1$), для того чтобы трехкомпонентный каталитический нейтрализатор мог в максимальной степени обеспечить снижение токсичности ОГ.

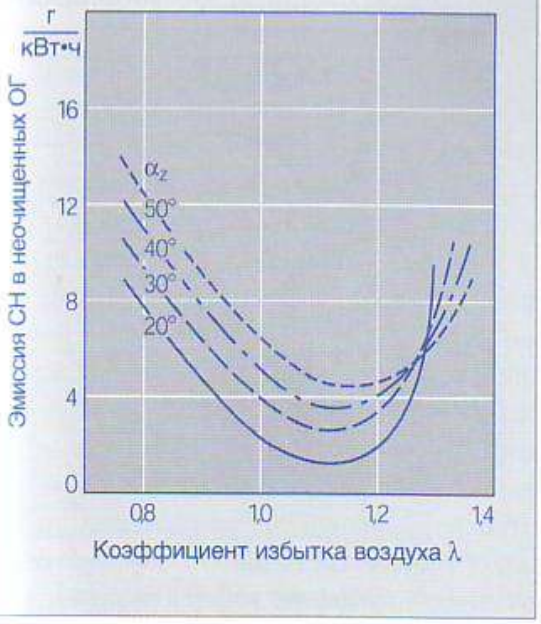
Двигатели с непосредственным впрыскиванием топлива работают как на гомогенной, так и послойно распределенной смеси. При работе на гомогенной смеси система впрыскивает топливо на такте впуска, за счет чего достигаются условия, очень сходные с впрыскиванием во впускной трубопровод. Система переходит на этот режим работы в ответ на потребность в большем крутящем моменте и высокой частоте вращения коленчатого вала. При этих условиях система устанавливает коэффициент избытка воздуха, как правило, равный $\lambda = 1$, или величину, очень близкую к этому значению.

В условиях послойного распределения заряда топливо неравномерно распределяется по всей камере сгорания. Желаемый эффект достигается за счет впрыскивания топлива лишь во время такта сжатия. Внутри облачка смеси, образующегося в центре камеры сгорания, смесь должна быть максимально гомогенной с коэффициентом избытка воздуха $\lambda = 1$. В краевых зонах камеры сгорания находится почти чистый воздух или очень обедненная смесь. При этом общий коэффициент избытка воздуха для всего заряда смеси в камере сгорания равен $\lambda > 1$ (обедненная смесь).

Момент зажигания

На протекание процесса сгорания существенное влияние оказывает воспламенение рабочей смеси. Характер процесса зажигания определяется моментом зажигания, энергией зажигания, а также составом топливовоздушной смеси непосредственно у свечи зажигания. Большой избыток энергии зажигания положительно воздействует на устойчивость процесса сгорания при каждом рабочем цикле и на состав ОГ. Момент зажигания, наряду с коэффициентом избытка воздуха λ, оказывает самое сильное влияние на эмиссию вредных веществ.

1 Эмиссия CH в неочищенных ОГ в зависимости от коэффициента избытка воздуха λ и угла опережения зажигания α_z



Эмиссия CH в неочищенных ОГ

Влияние крутящего момента

С возрастанием крутящего момента повышается уровень температуры в камере сгорания. Как результат, глубина зоны, в которой пламя гасится вблизи стенки камеры сгорания, уменьшается с возрастанием крутящего момента. За счет этого уменьшается зона, характеризующаяся низкими температурами, в которой могут образовываться несгоревшие углеводороды.

Повышенная температура ОГ, регистрируемая при большом крутящем моменте за счет высоких температур в камере сгорания, способствует началу дополнительных реакций несгоревших углеводородов во время рабочего хода и такта выпуска. Так как высокий крутящий момент создается при повышенных температурах в камере сгорания и ОГ, это ведет к уменьшению количества несгоревших углеводородов по отношению к единице генерируемой двигателем мощности.

Влияние частоты вращения коленчатого вала

По мере роста частоты вращения коленчатого вала увеличивается эмиссия CH бензинового двигателя, т. к. время для приготовления и последующего сгорания рабочей смеси укорачивается.

Влияние коэффициента избытка воздуха

При избытке топлива (недостатке воздуха) за счет неполного сгорания образуются несгоревшие углеводороды. Их концентрация тем выше, чем больше степень обогащения смеси (рис. 1). Поэтому богатые смеси (с постоянно снижающимся λ) характеризуются ростом эмиссии CH на всем диапазоне обогащения смеси ($\lambda < 1$).

В диапазоне обедненной смеси ($\lambda > 1$) эмиссия CH также возрастет. Минимум этой эмиссии находится в диапазоне $\lambda = 1{,}1 \ldots 1{,}2$. Рост эмиссии в режиме работы на обедненной смеси вызывается неполным сгоранием в краевых зонах камеры сгорания. При очень обедненных смесях к такому эффекту еще добавляется замедленное сгорание вплоть до появления перебоев в зажигании, что приводит

к резкому росту эмиссии CH. Причина — в неравномерном распределении смеси в камере сгорания и, следовательно, плохих условиях воспламенения. Предел обеднения смеси зависит в основном от коэффициента избытка воздуха в смеси у свечи во время зажигания и от общего коэффициента избытка воздуха во всей смеси. За счет целенаправленного движения заряда топлива в камере сгорания можно повысить гомогенизацию смеси и, следовательно, надежность воспламенения, а также ускорить расширение фронта пламени.

При послойном распределении состава смеси в двигателях с непосредственным впрыскиванием топлива наблюдается другая картина. Вместо стремления к гомогенизации рабочей смеси во всей камере сгорания, здесь обеспечивается получение хорошо воспламеняемой смеси только в области, непосредственно примыкающей к свече зажигания. Это обуславливает при данном режиме работы обеспечение существенно более высоких общих коэффициентов избытка воздуха, чем при гомогенной смеси. Эмиссия CH при послойном распределении смеси по составу, в основном, зависит от процесса приготовления смеси. При этом важно избежать отложений жидкого топлива на стенках камеры сгорания и днище поршня, т. к., как правило, сгорание такой пленки топлива на этих поверхностях осуществляется не полностью и приводит к высокой эмиссии CH.

Влияние момента зажигания

С возрастанием угла опережения зажигания (больше чем угол α_z) эмиссия несгоревших углеводородов увеличивается, т. к. реакции дожигания при рабочем ходе и такте выпуска протекают неблагоприятно из-за более низкой температуры ОГ (рис. 1). Только в диапазоне очень обедненных смесей условия меняются. При обедненной топливовоздушной смеси скорость сгорания настолько мала, что при позднем моменте зажигания сгорание еще не завершено, когда открывается выпускной клапан. Предел обеднения топливовоздушной смеси для работы двигателя при позднем зажигании достигается уже при меньшем коэффициенте избытка воздуха λ.

Эмиссия CO в неочищенных ОГ

Влияние крутящего момента

Так же как при эмиссии CH, повышенные температуры процесса сгорания при высоком крутящем моменте способствуют получению дополнительных реакций CO при рабочем ходе. При этом CO окисляется в CO_2.

Влияние частоты вращения коленчатого вала

Зависимость эмиссии CO от частоты вращения коленчатого вала — такая же, как при эмиссии CH.

Влияние коэффициента избытка воздуха

В обогащенных смесях эмиссия CO находится почти в линейной зависимости от коэффициента избытка воздуха (рис. 2). Причиной этого являются недостаток кислорода и связанное с этим неполное окисление углерода. В обедненных смесях (при избытке воздуха) эмиссия CO — очень низкая и почти не зависит от коэффициента избытка воздуха. Здесь CO образуется только за счет неполного сгорания плохо гомогенизированной рабочей смеси.

Влияние момента зажигания

Эмиссия CO почти не зависит от момента зажигания (рис. 2) и является почти исключительно функцией коэффициента избытка воздуха λ.

2 Эмиссия CO в неочищенных ОГ в зависимости от коэффициента избытка воздуха λ и угла опережения зажигания α_z

Эмиссия NO_x в неочищенных ОГ

Влияние крутящего момента

Возрастающая одновременно с крутящим моментом температура в камере сгорания способствует образованию NO_x. Поэтому эмиссия NO_x в неочищенных ОГ чрезмерно увеличивается.

Влияние частоты вращения коленчатого вала

Так как при повышенной частоте вращения коленчатого вала имеется меньше времени на реакцию образования NO_x, эмиссия NO_x с повышением этой частоты снижается. Дополнительно необходимо учитывать наличие остаточных газов в камере сгорания, которые приводят к снижению пиковых температур. Так как содержание этих остаточных газов, как правило, с повышением частоты вращения коленчатого вала снижается, то этот эффект противоположен зависимости, описанной выше.

Влияние коэффициента избытка воздуха

Зависимость эмиссии NO_x от коэффициента избытка воздуха не схожа с зависимостью эмиссии CH и CO. В диапазоне обогащенной смеси ($\lambda < 1$) эмиссия NO_x растет с увеличением коэффициента избытка воздуха (рис. 3). Причиной этого является возрастающая концентрация кислорода в ОГ, которая препятствует снижению количества оксидов азота.

В диапазоне обедненных смесей ($\lambda < 1$) эмиссия NO_x снова снижается при росте коэффициента избытка воздуха, т. к. уменьшение плотности рабочей смеси постепенно понижает температуру в камере сгорания. Максимум эмиссии NO_x регистрируется при небольшом обеднении рабочей смеси при $\lambda = 1{,}05\ldots1{,}1$.

Режим послойного распределения смеси в двигателях с непосредственным впрыскиванием топлива отличается высокими коэффициентами избытка воздуха. Эмиссия NO_x становится ниже той, которая имеет место при $\lambda = 1$. Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор при обедненных рабочих смесях не в состоянии снижать количество оксидов азота. Поэтому в этих системах используется каталитический нейтрализатор с накопителем NO_x.

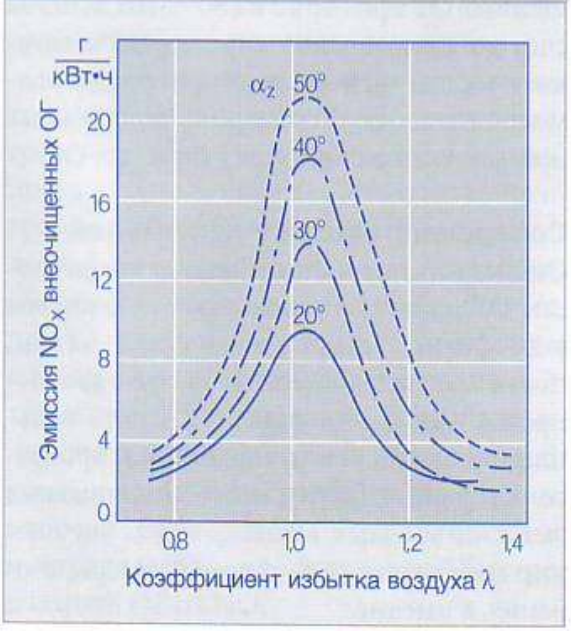
Влияние момента зажигания

На всем диапазоне значений коэффициента избытка воздуха λ эмиссия NO_x возрастает с увеличением опережения зажигания (рис. 3). Причина заключается в более высокой пиковой температуре в камере сгорания при раннем моменте зажигания, которая не только сдвигает химическое равновесие в сторону образования NO_x, но и, прежде всего, повышает скорость реакции образования NO_x.

Эмиссия сажевых частиц

Эмиссия сажевых частиц от бензиновых двигателей не является слишком большой при работе на рабочих смесях, близких к стехиометрическим. При послойном распределении смеси в двигателях с непосредственным впрыскиванием топлива могут образовываться сажевые частицы при наличии локальных зон с очень обогащенной смесью или даже капель топлива. Поэтому работа двигателя в условиях послойного распределения смеси возможна только до среднего диапазона значений частоты вращения коленчатого вала, для того чтобы гарантировать достаточно большое время для приготовления рабочей смеси.

3 Эмиссия NO_x в неочищенных ОГ в зависимости от коэффициента избытка воздуха λ и угла опережения зажигания α_z



Снижение эмиссии вредных веществ

Целью разработчиков двигателей является создание таких двигателей, которые обеспечивали бы оптимальное использование энергии, низкий расход топлива и высокие показатели мощности и крутящего момента. Все эти характеристики должны сочетаться с еще одним существенным фактором: максимально низкой токсичностью ОГ при сгорании рабочей смеси.

Обзор

Развитие электронных систем управления двигателем позволило обеспечить точное впрыскивание необходимого количества топлива и точную установку момента зажигания, а также оптимизацию управления всеми узлами, зависящими от режима работы двигателя, что наряду с повышением мощности двигателей, привело к заметному улучшению качества ОГ.

Однако не следует пренебрегать и качеством топлива, требования к которому возросли также из-за увеличения мощности двигателей. Переход на неэтилированный бензин стал вехой на пути к обеспечению выхлопа с низким содержанием вредных веществ.

Внедрение этих мер, начиная с 70-х гг., позволило уменьшить эмиссию неочищенных ОГ примерно на 80%. Но лишь за счет дополнительной очистки ОГ в каталитическом нейтрализаторе стало возможным соблюдать нормы по предельным значениям вредных веществ в ОГ.

Совершенствование двигателей

Одним из способов снижения токсичности ОГ является использование системы управления распределительным валом, позволяющей изменять фазы газораспределения, а следовательно, иметь большие возможности в управлении процессом сгорания. Другим способом снижения эмиссии вредных веществ стало улучшение конструктивной формы камеры сгорания, а именно:

- оптимизация геометрии камеры;
- многоклапанная технология;
- центральное положение свечи зажигания;
- двойное зажигание с двумя свечами зажигания для каждого цилиндра в многоклапанных двигателях;
- высокая степень сжатия;
- оптимизированное положение форсунки высокого давления при непосредственном впрыскивании.

Снаружи двигателя устанавливаются другие системы и узлы, которые потенциально могут влиять на снижение эмиссии вредных веществ. Например:

- системы, обеспечивающие дожигание ОГ;
- рециркуляция ОГ;
- система улавливания и дожигания паров топлива.

Добавочная термическая обработка

Несгоревшее топливо при такте выпуска поступает в выпускную систему и, следовательно, не участвует в генерировании крутящего момента. По этой причине всегда образуется эмиссия CH и CO.

1 Система подачи дополнительных порций воздуха

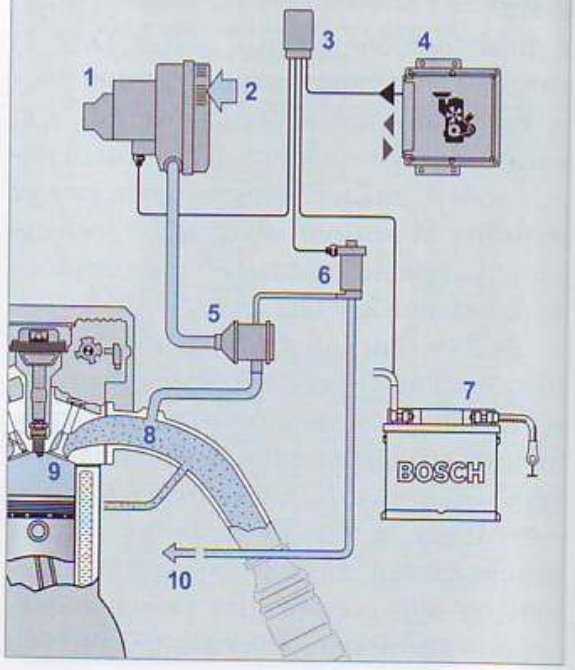


Рис. 1
1. Насос для подачи дополнительного воздуха
2. Поступление дополнительного воздуха
3. Реле
4. Электронный блок управления двигателем
5. Клапан регулирования подачи дополнительных порций воздуха
6. Управляющий клапан
7. Аккумуляторная батарея
8. Патрубок, связанный с выпускным трактом
9. Выпускной клапан
10. К впускному трубопроводу

На холодном двигателе дополнительно на стенках цилиндров конденсируется топливо, которое несгоревшим покидает камеру сгорания. Для того чтобы сохранить ровную и устойчивую работу двигателя, необходимо обогащать рабочую смесь на фазе прогрева двигателя, что приводит к резкому повышению концентрации CH и CO в неочищенных ОГ. Дело усложняется тем, что каталитический нейтрализатор для эффективного преобразования вредных веществ должен достичь своей минимальной рабочей температуры, составляющей около 300 °C.

Поэтому, во-первых, важно минимизировать эмиссию неочищенных ОГ на стадии прогрева двигателя и, во-вторых, принять меры по ускорению нагревания каталитического нейтрализатора до его рабочей температуры. Мерами для снижения эмиссии неочищенных ОГ до момента начала эффективной очистки ОГ с помощью каталитического нейтрализатора являются:

- оптимизированные процессы пуска двигателя (моменты впрыска и зажигания);
- прогрев на обедненной смеси (предполагается возможность двигателя работать на обедненных смесях);
- подача дополнительных порций воздуха.

Мерами, которые ускоряют включение каталитического нейтрализатора в работу, являются:

- высокая температура ОГ за счет установки более позднего опережения зажигания и обеспечения большего массового расхода газа;
- размещение каталитических нейтрализаторов рядом с двигателем;
- двойное впрыскивание на двигателях с непосредственным впрыскиванием топлива.

Подача дополнительных порций воздуха

Электроприводный насос 1 (рис. 1) дополнительного воздуха всасывает воздух 2 и нагнетает его в выпускной тракт 8 в процессе управления клапаном 5 регулирования подачи дополнительных порций воздуха. Клапан не допускает обратного прохода ОГ в насос и в систему управления воздухоподачей и поэтому при выключенном насосе должен оставаться закрытым.

Для включения насоса дополнительного воздуха требуется электрический ток большой силы, поэтому насос включается через реле 3. Электроуправляемый клапан 6 связан с клапаном 5 регулирования подачи дополнительных порций воздуха. Этот клапан 5 посредством электроуправляемого клапана управляет расходом воздуха между клапаном регулирования и впускным трубопроводом (клапан открывается) или наружным воздухом (клапан закрывается). Работа насоса и электроуправляемого клапана регулируется блоком управления двигателем 4 таким образом, что дополнительные порции воздуха могут подаваться точно в определенный момент, зависящий от условий работы двигателя.

Дополнительный воздух должен подаваться в выпускной тракт как можно ближе к выпускному клапану 9, для того чтобы использовать высокую температуру для образования экзотермической реакции. При этом клапан дополнительного воздуха должен быть размещен не слишком близко от выпускного коллектора, так чтобы не допустить слишком высокой термической нагрузки. С другой стороны, очень важно предотвратить резонанс в трубопроводе между клапаном дополнительного воздуха и местом подачи этого воздуха в выпускной коллектор (так называемый эффект «курительной трубки»).

Дополнительный воздух необходим только после пуска двигателя при его прогреве (при $\lambda < 1$). Экзотермическая реакция, во-первых, снижает высокую концентрацию CH и CO в ОГ, имеющую место на этой фазе работы двигателя. Во-вторых, этот процесс окисления высвобождает теплоту, поэтому ОГ больше нагреваются и быстрее нагревают каталитический нейтрализатор. Следовательно, подача дополнительных порций воздуха является удобным способом быстрого нагревания до рабочей температуры каталитического нейтрализатора, что позволяет быстрее очищать ОГ от NO_x.

Каталитическая очистка отработавших газов

Нормами жестко регламентируются предельно допустимые величины эмиссии вредных веществ, образующихся при сгорании рабочей смеси в двигателях с искровым зажиганием. Для того чтобы можно было соблюдать эти нормы, требуются меры по дополнительной каталитической обработке ОГ.

Обзор

Отработавшие газы пропускаются через каталитический нейтрализатор (3, рис. 1), расположенный в выпускном тракте, перед тем как они будут выпущены в окружающую среду. В каталитическом нейтрализаторе соответствующий слой каталитического покрытия обеспечивает вступление в химическую реакцию вредных веществ, содержащихся в ОГ, с преобразованием их в нетоксичные вещества. Лямбда-зонды (2 и 4, рис. 1) измеряют содержание остаточного кислорода в ОГ. Благодаря этому состав рабочей смеси может регулироваться так, чтобы каталитический нейтрализатор функционировал с максимальной эффективностью.

Со временем стали применяться каталитические нейтрализаторы с разными принципами работы. Современные двигатели, работающие на гомогенных смесях при $\lambda = 1$, требуют использования трехкомпонентного каталитического нейтрализатора. Двигатели, работающие на обедненной рабочей смеси, дополнительно нуждаются в каталитическом нейтрализаторе с накопителем NO_x.

Окислительный каталитический нейтрализатор

Такой нейтрализатор преобразует углеводороды и оксид углерода, содержащиеся в ОГ, в водяной пар и углекислый газ путем окисления (сгорания). Кислород, необходимый для окисления, отбирается за счет установки режима обедненной топливовоздушной смеси ($\lambda > 1$) или путем подачи воздуха в поток ОГ перед каталитическим нейтрализатором. Оксиды азота преобразовываться в малотоксичные вещества этим нейтрализатором не могут.

Окислительные каталитические нейтрализаторы впервые начали использоваться на автомобилях в 1975 г. в связи с введением в США норм предельной токсичности ОГ. В настоящее время каталитические нейтрализаторы, работающие исключительно на принципе реакции окисления, применяются весьма редко.

1 Выпускной тракт с лямбда-зондами и трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором, установленным рядом с двигателем

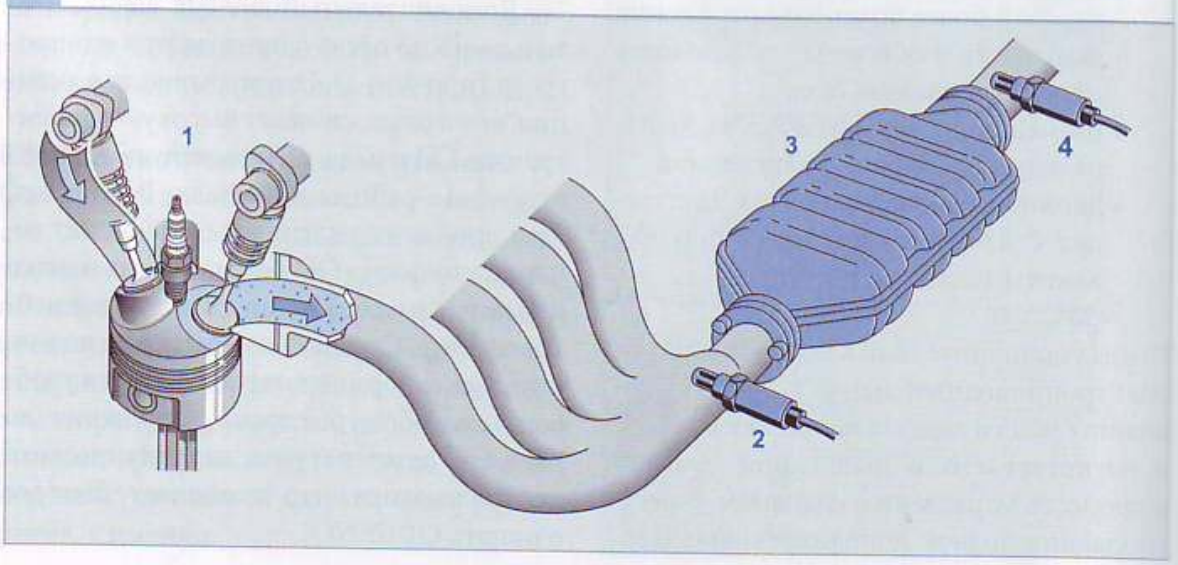


Рис. 1
1. Двигатель
2. Лямбда-зонд перед каталитическим нейтрализатором (использование двухточечного лямбда-зонда или широкополосного лямбда-зонда зависит от выбранной системы)
3. Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор
4. Двухточечный лямбда-зонд за каталитическим нейтрализатором (только в системах с двойным лямбда-управлением)

Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор

Такой нейтрализатор является элементом системы очистки ОГ как в двигателях с впрыскиванием топлива во впускной трубопровод, так и с непосредственным впрыскиванием топлива.

Назначение

Перед трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором стоит задача преобразовывать в безвредные компоненты образующиеся при сгорании рабочей смеси вредные вещества — углеводороды (CH), оксид углерода (CO) и оксиды азота (NO_x). В качестве конечного продукта образуются водяной пар (H_2O), углекислый газ (CO_2) и азот (N_2).

Принцип работы

Преобразование вредных веществ (очистка ОГ) осуществляется в две стадии: сначала оксид углерода и углеводороды преобразуются за счет окисления (см. уравнения G1 и G2). Кислород, необходимый для окисления, имеется либо в виде остаточного кислорода в ОГ за счет неполного сгорания, либо он забирается у оксидов азота, количество которых таким образом снижается (см. уравнения G3 и G4).

Концентрация вредных веществ в неочищенных ОГ зависит от коэффициента избытка воздуха λ (рис. 2a). Уровень преобразования углеводородов и оксида углерода увеличивается с возрастанием коэффициента избытка воздуха (рис. 2b). При λ = 1 доля этих вредных компонентов еще очень мала. При более высоком коэффициенте избытка воздуха (λ > 1) концентрация этих вредных веществ остается на этом низком уровне.

Степень преобразования оксидов азота в диапазоне обогащенной смеси (λ < 1) является приемлемой. Самая низкая концентрация NO_x соответствует стехиометрической смеси (λ = 1). Но уже небольшое увеличение содержания кислорода в ОГ за счет повышения коэффициента избытка воздуха (λ > 1) препятствует снижению количества оксидов азота и резко повышает их концентрацию в ОГ.

Для того чтобы процент преобразования трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором всех трех токсичных компонентов ОГ (CO, CH, NO_x) был как можно выше, эти компоненты должны находиться в ОГ в химическом равновесии. Для этого требуется стехиометрическое соотношение топлива и воздуха в рабочей смеси (λ = 1,0). Поэтому «окно», обеспечивающее значение λ, очень близкое к единице, крайне мало. Смесеобразование должно регулироваться замкнутым контуром лямбда-управления.

G Уравнения химических реакций в трехкомпонентном каталитическом нейтрализаторе

(1) $2CO + O_2 \rightarrow 2CO_2$

(2) $2C_2H_6 + 7O_2 \rightarrow 4CO_2 + 6H_2O$

(3) $2NO + 2CO \rightarrow N_2 + 2CO_2$

(4) $2NO_2 + 2CO \rightarrow N_2 + 2CO_2 + O_2$

2 Вредные вещества в ОГ

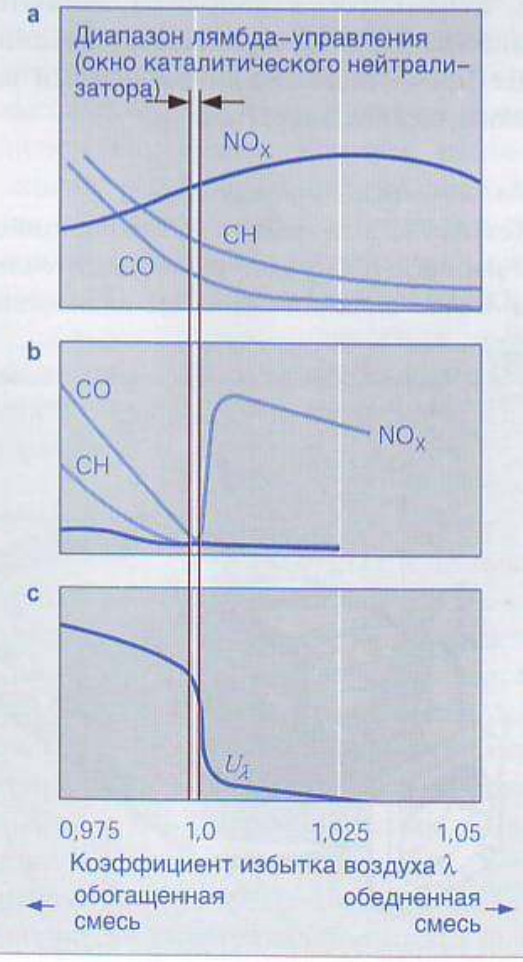


Рис. 2
a — перед каталитической очисткой (неочищенные ОГ)
b — после каталитической очистки
c — характеристическая кривая изменения напряжения для двухточечного лямбда-зонда

Конструкция

Каталитический нейтрализатор (рис. 3) состоит из стального корпуса 6, подложки-носителя 5 и активного каталитического покрытия из благородных металлов 4.

Подложка-носитель

Распространены два типа подложки-носителя: керамические и металлические монолиты.

Керамические монолиты

Керамические монолиты представляют собой керамические тела, пронизанные несколькими тысячами мелких каналов, по которым перепускаются ОГ. Керамика изготавливается из термостойкого магниево-алюминиевого силиката. Монолит, чрезвычайно чувствительно реагирующий на механические напряжения, закреплен в металлическом корпусе. Для этого применяются минеральные расширяющиеся маты (2, рис. 3), которые при первом нагревании расширяются, надежно фиксируя монолит в требуемом положении.

Керамические монолиты являются наиболее часто применяемыми в настоящее время подложками-носителями каталитического покрытия.

Металлические монолиты

Металлический монолит, являющийся альтернативой керамическому, изготовлен из мелкогофрированной металлической фольги толщиной 0,05 мм и закреплен методом высокотемпературной пайки. Благодаря тонкостенной структуре, размещается больше газовых каналов на одной и той же площади. Это означает меньшее сопротивление пропуску ОГ, что важно для мощных форсированных двигателей.

Керамическое покрытие

Керамические и металлические монолиты требуют покрытия из оксида алюминия (Al_2O_3) — так называемый абсорбционный слой (4, рис. 3). Этот слой увеличивает эффективную поверхность каталитического нейтрализатора в 7000 раз. Нанесенный поверх него действующий каталитический слой содержит благородные металлы: в окислительных каталитических нейтрализаторах — платину и/или палладий, а в трёхкомпонентных каталитических нейтрализаторах — дополнительно родий. Платина и палладий ускоряют окисление углеводородов и оксида углерода, а родий ускоряет очистку ОГ от оксидов азота. Содержание благородных металлов в каталитическом нейтрализаторе составляет около 1–3 г. Эта величина зависит от рабочего объема двигателя.

Условия работы

Рабочая температура

Температура каталитического нейтрализатора играет очень важную роль в обеспечении эффективности очистки ОГ.

3 Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор

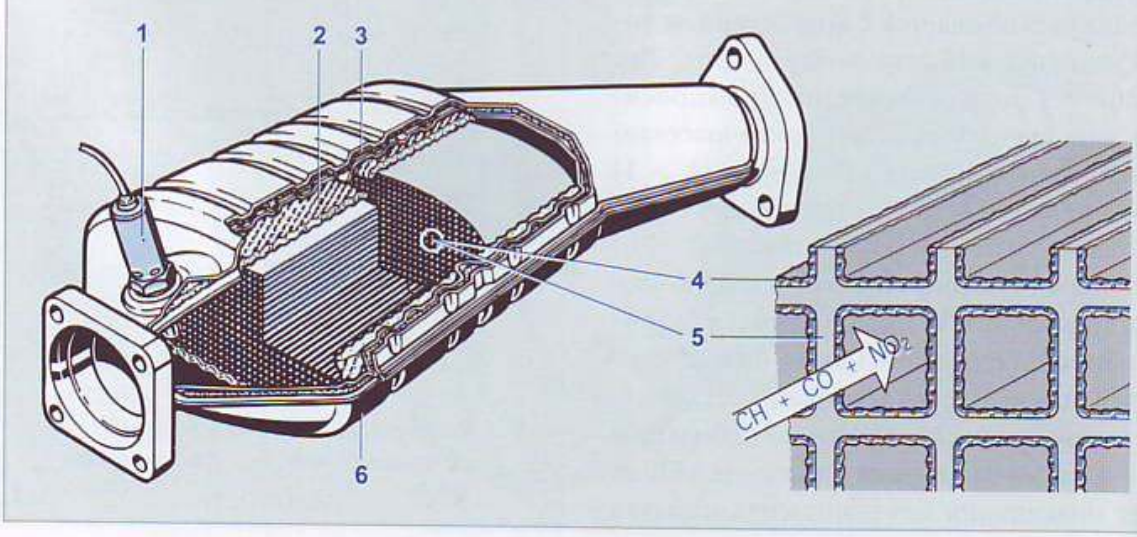


Рис. 3
1. Лямбда-зонд
2. Гофрированный подстилающий слой
3. Теплоизолирующая двойная оболочка
4. Абсорбционный слой (Al_2O_3 — несущий слой) с покрытием из благородных металлов
5. Подложка-носитель
6. Корпус нейтрализатора

Преобразование вредных веществ в трехкомпонентном каталитическом нейтрализаторе начинается лишь при рабочей температуре свыше 300 °C. Идеальные условия работы, обеспечивающие высокую степень очистки ОГ и длительный срок службы нейтрализатора, находятся в диапазоне температур 400–800 °C.

Термическое старение сильно возрастает в диапазоне 800–1000 °C за счет спекания благородных металлов и слоя Al_2O_3, что приводит к уменьшению активной поверхности нейтрализатора. При этом большое влияние оказывает также продолжительность работы в этом температурном диапазоне. Свыше 1000 °C термическое старение сильно возрастает и приводит к полной утрате эффективности каталитического нейтрализатора.

В результате нарушений в работе двигателя (например, перебои в зажигании) температура в каталитическом нейтрализаторе может подняться до 1400 °C. Такие температуры приводят к полному разрушению каталитического нейтрализатора за счет плавления материала носителя-подложки. Чтобы этого не допустить, система зажигания должна работать особенно надежно и не требовать технического обслуживания. Современные системы управления двигателем могут определять перебои в зажигании и сгорании. Если необходимо, они прекращают впрыскивание топлива в соответствующий цилиндр, благодаря чему несгоревшая смесь не попадает в систему выпуска.

Неэтилированное топливо

Другим условием надежной и длительной работы нейтрализатора является работа двигателя на неэтилированном топливе. Соединения свинца осаждаются в порах активной внешней поверхности и снижают их количество. Несгоревшие частицы моторного масла, попадающие в ОГ, тоже могут «отравить» каталитический нейтрализатор, т. е. повредить его так, что он становится неэффективным.

Место установки

Строгие нормы по предельно допустимой токсичности ОГ требуют применения специальной концепции нагрева каталитического нейтрализатора при пуске двигателя. Эти концепции (например, подача дополнительных порций воздуха, установка более низкого момента зажигания) определяют место установки каталитического нейтрализатора. Необходимость соблюдения определенной рабочей температуры трехкомпонентного каталитического нейтрализатора определяет его местоположение. Из-за этих температурных условий, необходимых для высокой эффективности преобразования вредных веществ, необходима установка трехкомпонентного каталитического нейтрализатора рядом с двигателем.

Главным образом, применяется схема раздельного размещения двух трехкомпонентных каталитических нейтрализаторов, первый из которых располагается рядом с двигателем, а второй (основной) — под днищем автомобиля. Каталитические нейтрализаторы, размещаемые рядом с двигателем, требуют оптимизации для обеспечения стабильной работы при высоких температурах, а основные каталитические нейтрализаторы, расположенные под днищем, оптимизироваться для обеспечения эффективной очистки при низкой пусковой температуре, а также высокой степени преобразования NO_x.

Альтернативой может быть только концепция общего каталитического нейтрализатора, установленного рядом с двигателем.

Эффективность

Каталитическая обработка ОГ с помощью трехкомпонентного каталитического нейтрализатора в настоящее время является самым эффективным методом очистки этих ОГ для бензиновых двигателей, работающих на гомогенных рабочих смесях при $\lambda = 1$. В эту систему включен замкнутый контур лямбда-управления, с помощью которого контролируется состав рабочей смеси. Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор может почти

полностью очищать ОГ от таких вредных веществ, как оксид углерода, углеводороды и оксиды азота при гомогенном распределении и стехиометрическом составе рабочей смеси. Но эти идеальные режимы работы могут соблюдаться не всегда. Несмотря на это, в среднем можно исходить из снижения количества вредных веществ в ОГ более чем на 98%.

Каталитический нейтрализатор с накопителем NO_x

Назначение

При работе двигателя на обедненной рабочей смеси трехкомпонентный каталитический нейтрализатор не может полностью преобразовывать оксиды азота (NO_x), образующиеся при сгорании. В этом случае кислород для процесса окисления оксида углерода и углеводородов вместо кислорода, получающегося при расщеплении оксидов азота, используется остаточный кислород, находящийся в сравнительно большом количестве в ОГ. Каталитический нейтрализатор с накопителем NO_x химически расщепляет оксиды азота другим способом.

Конструкция и специальное каталитическое покрытие

Каталитический нейтрализатор с накопителем NO_x имеют конструкцию, сходную с трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором. В дополнение к каталитическому покрытию из платины, палладия и родия он имеет еще специальные добавки, которые способны накапливать оксиды азота. Типичными материалами, способными к накоплению, являются, например, оксиды калия, кальция, стронция, циркония, лантана или бария.

Покрытие для накопления NO_x и покрытие трехкомпонентного каталитического нейтрализатора могут наноситься на общий носитель-подложку.

Принцип работы

За счет имеющегося покрытия из благородных металлов каталитический нейтрализатор с накопителем NO_X в режиме $\lambda = 1$ функционирует как трехкомпонентный каталитический нейтрализатор. Дополнительно он преобразует не уменьшившееся в обедненных ОГ количество оксидов азота. Но это преобразование не осуществляется непрерывно, как в случае оксида углерода и углеводородов, а протекает в три стадии:

1) накопление NO_x ;
2) извлечение NO_x ;
3) преобразование.

Накопление NO_x

Оксиды азота (NO_x) каталитическим путем окисляются на поверхности платинового покрытия в диоксид азота (NO_2). Затем NO_2 вступает в реакцию со специальными оксидами на каталитической поверхности и с кислородом (O_2) с образованием нитратов. Так, например, NO_2 с оксидом бария BaO образует химическое соединение нитрат бария $Ba(NO_3)_2$ (см. уравнение G1). Благодаря этому каталитический нейтрализатор с накопителем NOx при работе двигателя на смеси с избытком воздуха обеспечивает накопление оксидов азота.

Существуют два разных способа определения фазы полного заполнения каталитического нейтрализатора:

- способ моделирования, обеспечивающий расчет количества накопленных в нейтрализаторе NO_x с учетом температуры нейтрализатора;
- способ непрерывного измерения концентрации NO_x в ОГ с помощью датчика NO_x, расположенного за нейтрализатором.

Извлечение NO_x и их преобразование

По мере увеличения количества накопленных оксидов азота (загрузки) снижается способность дальнейшего химического связывания оксидов азота. С определенного их количества должна осуществляться регенерация, т. е. накопленные оксиды азота должны удаляться и преоб-

разовываться. Для этого на короткое время происходит переключение работы двигателя на режим использования обогащенной гомогенной рабочей смеси ($\lambda < 0{,}8$). Процессы извлечения NO_x и преобразования их в азот и углекислый газ протекают раздельно. В качестве восстановителей используются H_2, CH и CO. Самая низкая скорость реакции регистрируется при использовании CH, самая большая — при H_2. Процесс извлечения (рассмотрен при использовании оксида углерода в качестве восстановителя) осуществляется таким способом, при котором оксид углерода раскисляет нитрат, например, нитрат бария $Ba(NO_3)_2$, в оксид, например, оксид бария BaO. При этом образуются углекислый газ и моноксид азота (см. уравнение G2). Затем каталитическое покрытие из родия раскисляет оксиды азота посредством оксида углерода в азот и углекислый газ (см. уравнение G3).

G Уравнения реакций для фаз накопления NO_x (1), извлечения (2) и преобразования (3)

(1) $2BaO + 4NO_2 + O_2 \rightarrow 2Ba(NO_3)_2$
(2) $Ba(NO_3)_2 + 3CO \rightarrow 3CO_2 + BaO + 2NO$
(3) $2NO + 2CO \rightarrow N_2 + 2CO_2$

Существуют два разных метода определения завершения фазы выдачи:

- метод моделирования обеспечивает расчет количества NO_x, еще имеющегося в накопителе каталитического нейтрализатора;
- лямбда-зонд (6, рис. 1) за каталитическим нейтрализатором измеряет концентрацию кислорода в ОГ за счет скачка напряжения при переходе из обедненного в обогащенный режим, показывая, что извлечение завершено.

Рабочая температура и место установки нейтрализатора

Способность этого каталитического нейтрализатора накапливать NO_x в сильной мере зависит от температуры. Она достигает максимума в диапазоне 300–400 °C. За счет этого рабочий диапазон температур намного ниже, чем у трехкомпонентного каталитического нейтрализатора. По этой причине для каталитической очистки ОГ должны устанавливаться два отдельных каталитических нейтрализатора — трехкомпонентный каталитический нейтрализатор рядом с двигателем (передний) (3, рис. 1) и удаленный от дви-

1 Система выпуска с трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором предварительной очистки ОГ и основным каталитическим нейтрализатором с накопителем NO_x, а также лямбда-зондами

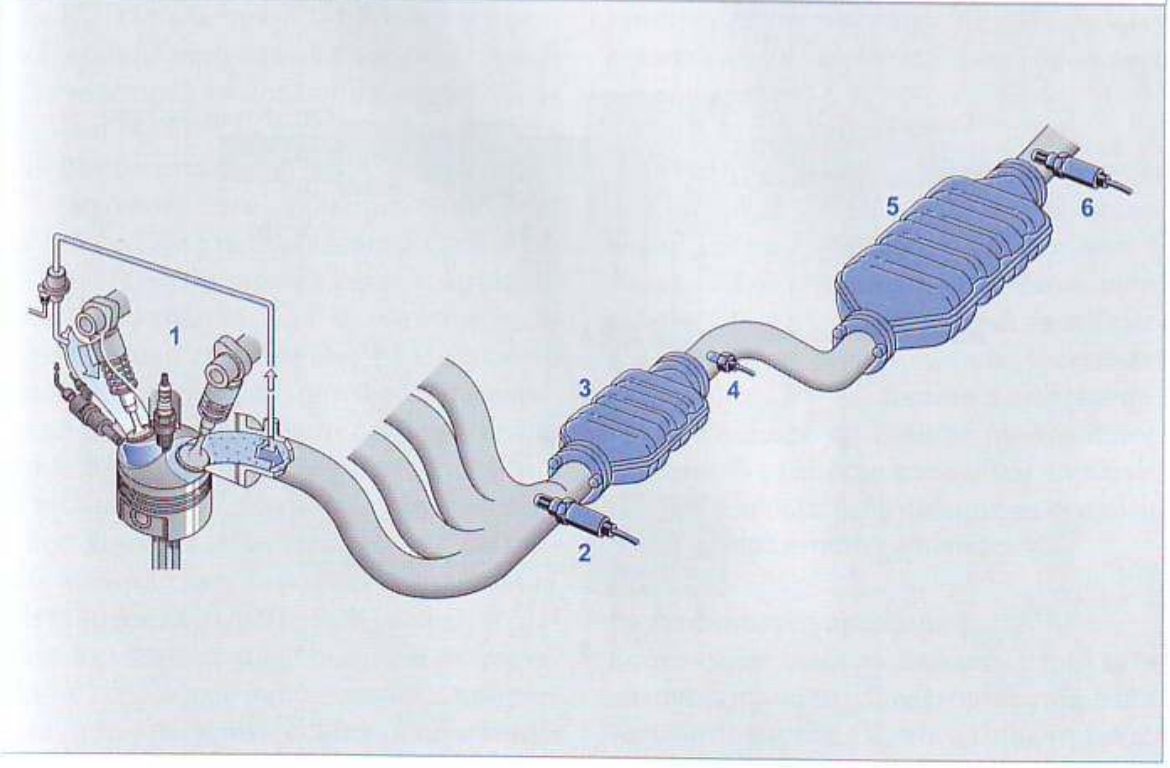


Рис. 1
1. Двигатель с системой рециркуляции ОГ
2. Лямбда-зонд перед каталитическим нейтрализатором
3. Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор (передний)
4. Температурный датчик
5. Каталитический нейтрализатор с накопителем NO_x (основной)
6. Двухточечный лямбда-зонд, как вариант, используется с интегрированным датчиком NO_x

гателя каталитический нейтрализатор с накопителем NO_x (5, рис. 1) в качестве основного.

Влияние серы, содержащейся в топливе, на работу нейтрализатора

Сера, содержащаяся в бензине, может оказывать негативное влияние на работу каталитического нейтрализатора с накопителем. Сера в ОГ вступает в реакцию с оксидом бария (материал накопителя), образуя сульфат бария. Поэтому количество этого накопителя NO_x со временем уменьшается. Сульфат бария очень температуростойкий, поэтому лишь его незначительная часть расщепляется при регенерации NO_x.

При применении серосодержащего бензина должно осуществляться регулярное десульфирование. Для этого выбран такой способ, как нагрев каталитического нейтрализатора до температуры 600–650°C. Например, двигатель для этого может работать в условиях послойного распределения смеси, а богатые ($\lambda = 0{,}95$) и бедные ($\lambda = 1{,}05$) ОГ затем пропускаются одна за другой через нейтрализатор. При этом сульфат бария раскисляется в оксид бария.

Контур лямбда-управления

Назначение

Для того чтобы в системах, оснащенных только трехкомпонентным каталитическим нейтрализатором, поддерживался максимальный уровень преобразования всех трех токсичных компонентов ОГ, эти компоненты должны находиться в химическом равновесии. Для этого необходимо обеспечивать состав рабочей смеси со стехиометрическим соотношением ($\lambda = 1{,}0$). Поэтому «окно», в котором должно находиться соотношение топлива и воздуха в смеси, очень узкое. Единственным решением такой проблемы является применение замкнутого контура управления для регулирования этого соотношения в смеси. Разомкнутый контур управления достаточной точности дозирования топлива не обеспечит.

Двигатели с непосредственным впрыскиванием топлива работают на смесях, состав которых отклоняется от стехиометрического соотношения. Для регулирования состава рабочих смесей в этих системах может также использоваться замкнутый контур управления.

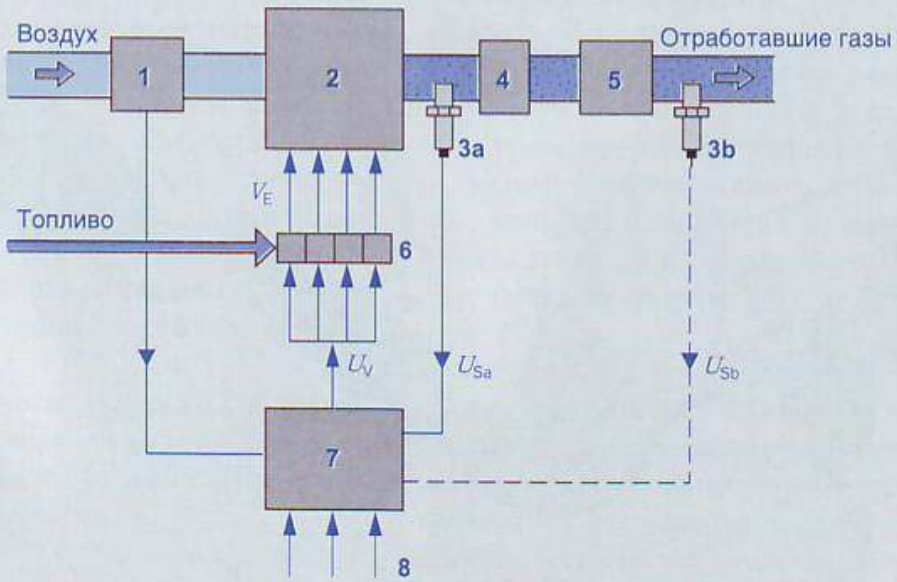
Рис. 1
1. Датчик массового расхода воздуха
2. Двигатель
3a. Лямбда-зонд, расположенный до каталитического нейтрализатора предварительной очистки ОГ (двухточечный или широкополосный лямбда-зонд)
3b. Двухточечный лямбда-зонд за основным каталитическим нейтрализатором (интегрированный с датчиком NO_x, устанавливаемый только при необходимости на двигателях с непосредственным впрыскиванием топлива)
4. Каталитический нейтрализатор предварительной очистки ОГ (трехкомпонентный)
5. Основной каталитический нейтрализатор (при впрыскивании топлива во впускной трубопровод — трехкомпонентный, при непосредственном впрыскивании топлива — с накопителем NO_x)
6. Форсунки
7. Электронный блок управления двигателем
8. Входные сигналы

U_S — напряжение зонда

U_V — напряжение включения форсунок

V_E — количество впрыскиваемого топлива

1 Функциональная схема замкнутого контура лямбда-управления



Конструкция

Лямбда-зонд 3a (рис. 1) располагается в системе выпуска до переднего каталитического нейтрализатора 4. Сигнал зонда U_{Sa} подается на блок 7 управления двигателем. Для этих целей может использоваться двухточечный (двухточечное управление) или широкополосный (непрерывное лямбда-управление) лямбда-зонд. За основным каталитическим нейтрализатором 5 может находиться второй лямбда-зонд 3b (двухзондовое регулирование), в качестве которого всегда используется двухточечный зонд. Он вырабатывает сигнал U_{Sb}.

Принцип работы

С помощью контура лямбда-управления могут распознаваться и корректироваться отклонения от определенного соотношения воздуха и топлива в смеси. Принцип управления базируется на измерении содержания остаточного кислорода в ОГ. Содержание остаточного кислорода является критерием состава рабочей смеси, поступающей в двигатель.

Двухточечное регулирование

Двухточечный лямбда-зонд, установленный перед каталитическим нейтрализатором, подает при обогащенной смеси ($\lambda < 1$) сигнал высокого, а при обедненной ($\lambda > 1$) — низкого напряжения U_{Sa}. Так как при $\lambda = 1$ возникает резкий скачок напряжения этого датчика, двухточечный лямбда-зонд может только показывать — обогащенная смесь или обедненная.

Выходной сигнал (напряжение) зонда в блоке управления двигателем преобразуется в бинарный сигнал, который является входным для замкнутого контура лямбда-управления, реализуемого с помощью программного обеспечения. Лямбда-управление непосредственно влияет на образование рабочей смеси и устанавливает точное соотношение в ней топлива и воздуха путем адаптации количества впрыскиваемого топлива. Регулируемая переменная может изменять значение в виде скачка или постепенно, управляя направлением изменения при каждом скачке напряжения зонда. Другими словами, резкое изменение регулируемой переменной приводит к изменению состава рабочей смеси. Это изменение сначала происходит резко, а затем постепенно. При высоком напряжении зонда (обогащенная смесь) регулируемая переменная обеспечивает изменение состава в сторону его обеднения, а при низком напряжении зонда (обедненная смесь) — в сторону обогащения смеси. С помощью этого так называемого двухточечного управления состав рабочей смеси может изменяться в диапазоне вблизи значения коэффициента избытка воздуха $\lambda = 1$.

Типичный ошибочный сигнал лямбда-зонда, вызываемый изменениями состава рабочей смеси (богатая/бедная), может компенсироваться путем использования ассимметричной характеристической кривой регулируемой переменной.

Непрерывное лямбда-управление

Широкополосный лямбда-зонд подает непрерывный сигнал напряжения U_{Sa}. С его помощью не только определяется лямбда-зонд (обогащенная или обедненная смесь), но и измеряются отклонения от значения $\lambda = 1$. Благодаря этому, лямбда-регулированием обеспечивается более быстрая реакция на отклонение состава смеси от значения $\lambda = 1$. Это дает лучшую регулировочную характеристику с высоким показателем динамического регулирования.

Так как с помощью широкополосного лямбда-зонда могут определяться отклонения состава рабочей смеси от $\lambda = 1$, можно также (в отличие от двухточечного регулирования) менять состав таких смесей. Диапазон регулирования составляет от $\lambda = 0{,}7$ до $\lambda = 3{,}0$. В связи с этим непрерывное лямбда-управление пригодно для двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива, работающих на обедненной и обогащенной рабочих смесях.

Двухзондовое управление

Если лямбда-зонд расположен перед каталитическим нейтрализатором предварительной очистки ОГ, то он подвергается

воздействию больших нагрузок (высокая температура, неочищенные ОГ). С другой стороны, основной лямбда-зонд (3b, рис. 1) за каталитическим нейтрализатором подвергается этим воздействиям в существенно меньшей степени.

Лямбда-управление только с помощью зонда за каталитическим нейтрализатором было бы слишком замедленным из-за длительного времени прохождения газа к зонду. Принцип регулирования с использованием двух зондов базируется на том, что первый зонд управляет изменением состава смеси (богатая/бедная), а второй (основной) зонд является частью замкнутого контура управления, обеспечивающего «медленную» дополнительную коррекцию состава смеси.

Замкнутый контур лямбда-управления для двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива

Каталитический нейтрализатор с накопителем NO_x обладает двойной функцией. Наряду с накоплением NO_x и окислением CH и CO при обедненной рабочей смеси, для условий $\lambda = 1$ он должен обладать такой стабильной функцией очистки от токсичных компонентов ОГ, которая обеспечивает минимальный уровень накопления кислорода. Лямбда-зонд перед каталитическим нейтрализатором контролирует стехиометрический состав рабочей смеси.

Двухточечный зонд за каталитическим нейтрализатором с накопителем NO_x и встроенным датчиком NO_x не только является частью системы управления с помощью двух зондов, но также контролирует работу комбинированного накопителя O_2 и NO_x (определение завершения фазы извлечения NO_x).

Нагревание каталитического нейтрализатора

Уменьшение угла опережения зажигания

Для того чтобы сохранять концентрацию вредных веществ в ОГ на минимальном уровне, каталитический нейтрализатор должен быть разогрет до своей рабочей температуры как можно быстрее. Помимо прочего, это достигается путем уменьшения угла опережения зажигания.

Эта мера снижает мощностные характеристики двигателя и приводит к получению более высоких температур ОГ, что также способствует нагреву каталитического нейтрализатора.

Подача дополнительных порций воздуха

Несгоревшие компоненты рабочей смеси, которые еще находятся в ОГ, сгорают при использовании процесса термодожигания. Необходимый для этого кислород имеется в самих ОГ при обедненном со-

1 Влияние подачи дополнительных порций воздуха на эмиссию CO и CH

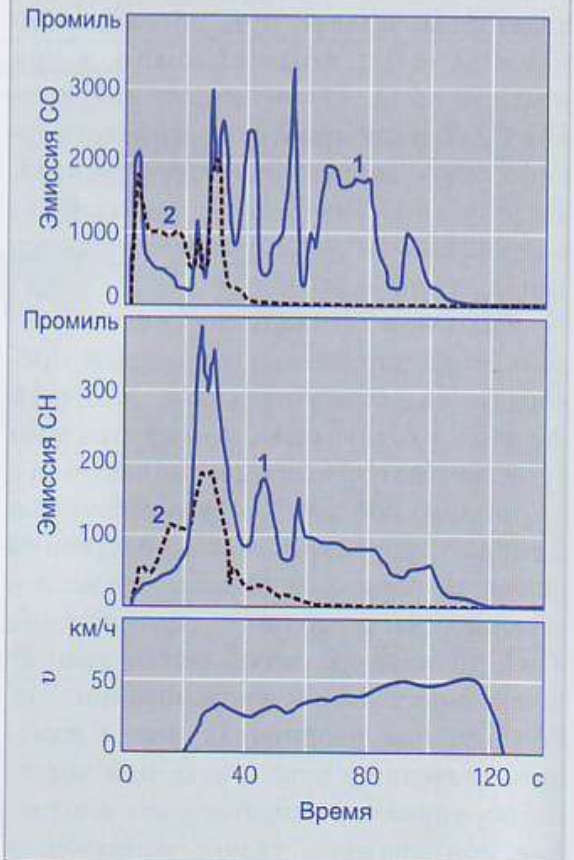


Рис. 1
1 Без подачи дополнительных порций воздуха
2 При подаче дополнительных порций воздуха
v — скорость движения автомобиля

ставе смеси в виде остаточного кислорода. При обогащенной смеси, которая часто бывает необходима для прогрева двигателя до его рабочих температур, дополнительные порции воздуха подаются в выпускной тракт для ускорения процесса прогревания двигателя.

Эта экзотермическая реакция, с одной стороны, снижает количество углеводородов и оксида углерода в ОГ, а с другой стороны, дожиганием также нагревается каталитический нейтрализатор, что быстро доводит его до рабочей температуры. Этот процесс существенно повышает степень преобразования токсичных компонентов в ОГ на стадии прогревания и ускоряет готовность каталитического нейтрализатора к работе. На рис. 1 показаны кривые изменения эмиссии углеводорода и оксида углерода в первые секунды испытаний с подачей дополнительных порций воздуха и без этой подачи.

При современном уровне развития техники подача дополнительного воздуха осуществляется электроприводным насосом.

Дополнительное впрыскивание топлива

Для бензиновых двигателей с непосредственным впрыскиванием топлива существует другой метод быстрого нагревания каталитического нейтрализатора до рабочей температуры. В условиях послойного распределения заряда смеси с большим избытком воздуха и нагревания каталитического нейтрализатора производится дополнительное впрыскивание топлива при рабочем ходе двигателя. Это топливо сгорает очень поздно, что приводит к сильному нагреву системы выпуска, в том числе выпускного коллектора. За счет этого, в тех случаях когда нельзя достичь установленных предельных значений токсичности ОГ, можно отказаться от подачи дополнительных порций воздуха во впускной трубопровод.

Получение патента

Что такое патент?

Патент является правовым документом, который дает владельцу патента исключительное право в определенной географической области на ограниченный период (максимум на 20 лет) производить, продавать или использовать запатентованное изобретение.

Что можно патентовать?

Патенты выдаются только на новые и оригинальные изобретения и могут иметь коммерческое применение. Изобретение считается новым, если оно до даты подачи заявки на патент (дата приоритета) неизвестно общественности в какой-либо форме. Оно считается оригинальным, если экспертом не будет признано уже ранее разработанным.

Патенты могут выдаваться на:

- материальные объекты;
- процессы;
- химические вещества;
- компьютерные программы, если они способствуют повышению уровня техники.

Патент является инструментом законодательной защиты интеллектуальной собственности. Другим способом правовой защиты заявителя является регистрация заявки на получение патента, которая обеспечивается законом о промышленных образцах, законом о защите авторского права, законом о защите товарных знаков и новым законом о защите права в области полупроводников.

Получение патента на изобретение

Эксперт по патентам в любой компании обычно первым из всех проверяет, существует ли возможность подачи сотрудником этой компании заявки на получение патента на изобретение и является ли целесообразной с экономической точки зрения заявка на получение этого патента. Если предпосылки для этого существуют, то подается заявка в соответствующее патентное бюро (в стране или за рубежом). Хотя не каждая заявка на получение патента может быть удовлетворена. Около 50% заявок отклоняется на основе того, что рассмотренные в них изобретения уже были сделаны ранее (например, уже получен патент).

Количество заявок на патенты является признаком творческой активности заявителя или ряда заявителей. Например, фирма Bosch в 2000 г. подала заявку на получение более чем 2400 патентов.

Публикация

Информация о заявках на патенты и о выданных патентах публикуется. Она является не только полезным инструментом анализа рынка, но и дает представление об инновационном развитии во всех областях науки и техники. Благодаря этому она является эффективным средством избежать дублирующих разработок и исследований.

Использование патентов

Патенты являются важным звеном, обеспечивающим передачу технологий с целью стимулирования возможной реализации изобретения на практике:

- исключительные права на коммерческое использование изобретения облегчают финансирование затрат на исследования и разработки предприятиями;
- за счет предоставления исключительных прав патенты укрепляют коммерческое положение компаний;
- запатентованные изобретения стимулируют исследования в направлении разработки альтернативных решений;
- лицензии на запатентованные изобретения способствуют распространению новых технологий.

Нормы предельно допустимой токсичности отработавших газов

Постоянно возрастающая интенсивность дорожного движения и связанная с этим нагрузка на окружающую среду, особенно за счет внутригородского транспорта, превратилась в экологическую проблему. Поэтому потребовалось ограничить эмиссию ОГ автомобилей. Как результат, появилась необходимость принятия норм по предельно допустимому содержанию токсичных компонентов в ОГ автомобилей. Также регламентируются способы проверки ОГ на токсичность. Каждый новый автомобиль должен соответствовать этим установленным нормам.

Обзор

Первым в своем стремлении законодательным путем ограничить эмиссию вредных веществ с ОГ автомобилей, был штат Калифорния (США). Причиной этому послужило то, что в крупных городах Калифорнии, таких как Лос-Анджелес, из-за их географического положения, ОГ не уносились ветром, а оставались висеть в городе в виде дымового облака. Вызванное этим образование смога не только оказывало вредное воздействие на здоровье людей, но и приводило к снижению видимости.

После вступления в действие в середине 60-х гг. в Калифорнии первых норм, ограничивающих токсичность ОГ бензиновых двигателей, там постоянно снижались значения предельно допустимых концентраций различных токсичных компонентов в ОГ. Тем временем все индустриально развитые страны ввели у себя стандарты, которые устанавливают предельно допустимую концентрацию токсичных веществ в ОГ бензиновых и дизельных двигателей, а также регламентируют методы их контроля. В дополнение к нормам по предельной эмиссии вредных веществ в ОГ, в некоторых государствах также ограничены выбросы в воздух паров топлива из топливной системы.

Наиболее важными стандартами (нормами) по предельной токсичности ОГ являются (рис. 1):

- стандарт CARB (Управление по охране воздушной среды, шт. Калифорния);
- нормы EPA (Агентство по охране окружающей среды США);
- стандарт EU (Европейский союз);
- нормы Японии.

Методы проведения испытаний

Следом за США свои собственные методы проведения испытаний для сертификации ОГ автомобилей разработали страны Европейского союза и Япония. Другие государства переняли эти методы в той же или в измененной форме.

В зависимости от класса автомобиля и цели испытания регламентируется применение трех методов проведения испытаний:

- испытание на соответствие стандартам для получения общего разрешения на производство данного автомобиля;
- контроль серийно выпускаемой продукции в виде выборочной проверки текущего производства, осуществляемой органами приемки;
- контроль автомобилей в дорожных условиях с целью проверки определенных компонентов в ОГ.

Самых больших затрат требует испытание на соответствие стандартам. Для контроля в дорожных условиях применяются более упрощенные методы.

Классификация

В тех государствах, где приняты нормы по предельной токсичности ОГ автомобилей, эти автомобили подразделяются на разные классы:

- легковые автомобили — проверка осуществляется на роликовом испытательном стенде (или динамометрическом шасси);

- грузовые автомобили малой грузоподъемности (в зависимости от принятых в данной стране норм верхняя граница допустимой полной массы автомобиля равна 3,5–3,8 т) — проверка осуществляется на том же роликовом испытательном стенде, что используется при испытании легковых автомобилей;
- грузовые автомобили большой грузоподъемности (допустимой полной массой свыше 3,5–3,8 т) — проверка осуществляется на испытательном моторном стенде для двигателей, измерения на самом автомобиле не предусмотрены.

Испытание на соответствие стандартам

Проверка ОГ на токсичность является условием выдачи общего разрешения на производство данного типа автомобиля или двигателя. Для этого испытательные циклы должны осуществляться в определенных граничных условиях и при этом соблюдаться установленные предельные значения эмиссии. В каждой стране установлены свои испытательные циклы (циклы экспертизы) и нормы предельно допустимой токсичной эмиссии ОГ (рис. 1).

Испытательные циклы

Для легковых автомобилей и грузовиков малой грузоподъемности установлены личные испытательные циклы, которые подразделяются на два типа в соответствии со страной их эксплуатации:

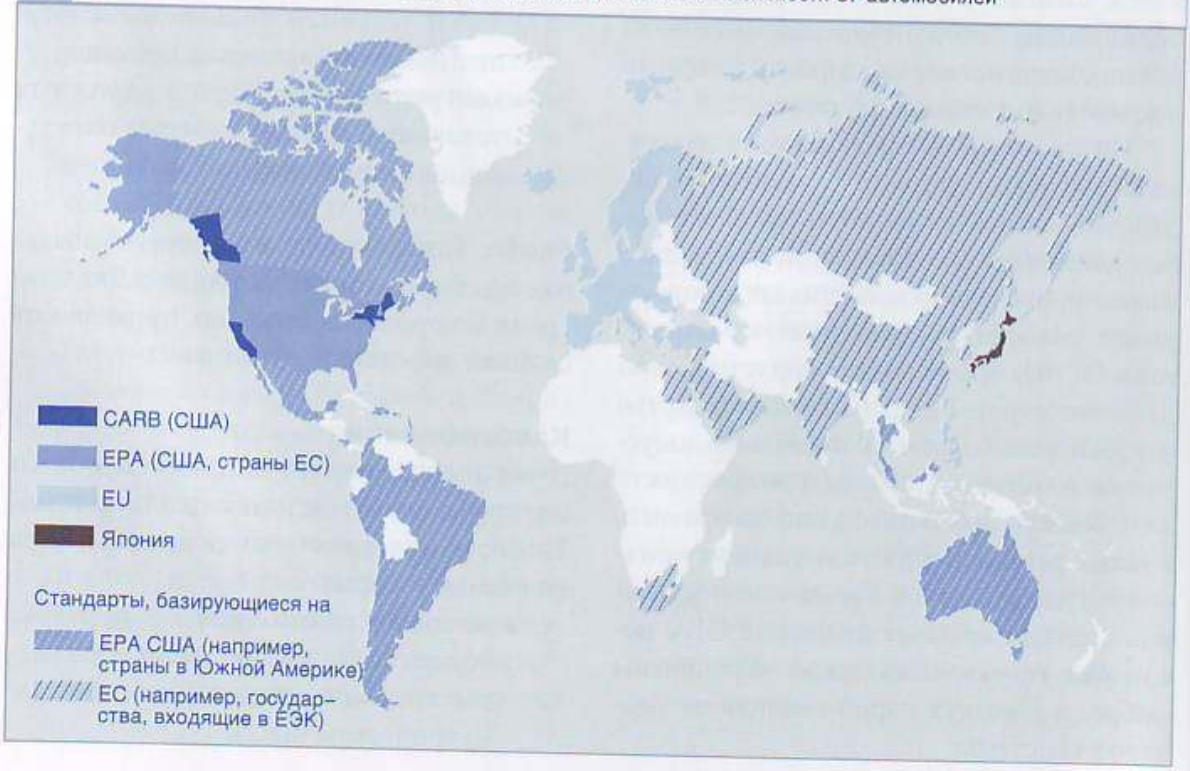
- ездовые испытательные циклы, основанные на данных реальных поездок по дорогам (например, испытательный цикл FTP в США);
- так называемые «искусственные» испытательные циклы (например, MNEDC для Европы и испытательные циклы для Японии), состоящие из этапов движения с постоянным ускорением и постоянной скоростью (созданные искусственным путем).

Для определения массы вредных веществ в ОГ каждого автомобиля осуществляется движение с точным воспроизводством графика установленной скорости для данного испытательного цикла. Во время поездки ОГ собираются для последующего их анализа на содержание массы отдельных компонентов.

Рис. 1
Испытательные циклы, установленные различными нормами по ОГ:
- цикл FTP-75 (CARB и EPA);
- цикл движения по скоростным автомагистралям (CARB и EPA, только для определения средних данных для всего парка);
- MNEDC (испытательный цикл ЕС/ЕЭК);
- 11-режимный цикл (Япония);
- 10–15-режимный цикл режимов (Япония)

В США предполагается использование других испытательных циклов:
- цикл SC03;
- цикл US06

1 Области действия различных законодательных ограничений токсичности ОГ автомобилей



Контроль серийно выпускаемых автомобилей

Как правило, изготовитель сам проводит испытание своей серийно выпускаемой продукции как часть контроля качества процесса производства. Орган, ответственный за выдачу разрешения на производство, может требовать информацию о результатах этих испытаний как угодно часто. Предписания ЕС и Директивы ЕЭК учитывают производственные допуски путем испытаний контрольной выборки от 3 до максимум 32 автомобилей. Самые строгие требования существуют в США, особенно в шт. Калифорния, где регламентируется проведение почти полного контроля качества.

Бортовая диагностика

Стандарты по ОГ также устанавливают способы контроля за соблюдением норм предельно допустимых концентраций вредных веществ. Блок управления двигателем имеет диагностические функции (программные алгоритмы), распознающие сбои в работе системы, и обеспечивает снижение токсичности ОГ. Функции OBD (бортовая диагностика) контролируют все элементы, которые при выходе из строя приводят к повышению эмиссии вредных веществ. Каждая страна принимает свои особые нормы предельной токсичности ОГ. При превышении предельно допустимой концентрации вредных веществ в ОГ лампа-индикатор информирует об этом водителя.

Стандарт CARB

Предельно допустимая концентрация вредных веществ в калифорнийском стандарте по эмиссии ОГ CARB для легковых автомобилей и автомобилей малой грузоподъемности (LDT) регламентируется требованиями:

- LEV I;
- LEV II.

Требование LEV I распространяется на легковые автомобили и автомобили малой грузоподъемности полной массой до 3750 фунтов (1,7 т) 1994–2003 гг. выпуска. С 1 января 2004 г. вступило в силу требование LEV II, которое распространяется на все автомобили, начиная с 2004 г. выпуска полной массой до 8500 фунтов (3,85 т).

Предельно допустимая концентрация вредных веществ

Стандарт CARB устанавливает предельно допустимую концентрацию в ОГ:

- оксида углерода CO;
- оксидов азота NO_x;

1 Категории автомобилей и предельно допустимые концентрации токсичных веществ в ОГ согласно стандарту CARB

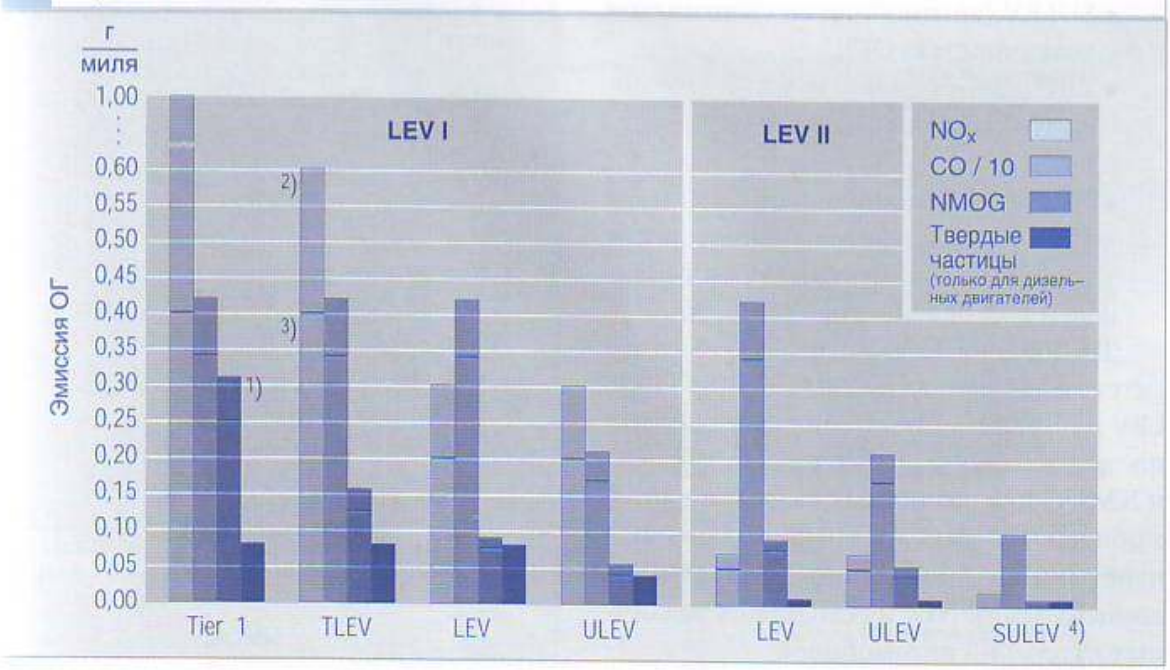


Рис. 1

1) Для категории Tier 1 — вместо предельных значений эмиссии неметановых органических соединений используются предельные значения эмиссии только неметановых углеводородов
2) Предельное значение эмиссии для полного срока службы автомобиля (10 лет или 160 тыс. км пробега в соответствии с требованием LEV I или 192 тыс. км — LEV II)
3) Предельное значение эмиссии для неполного срока службы автомобиля (5 лет или 80 тыс. км пробега)
4) Только предельное значение эмиссии для неполного срока службы автомобиля

Требование LEV I: распространяется на легковые автомобили и автомобили малой грузоподъемности полной массой до 3750 фунтов (1,7 т) 1994–2003 гг. выпуска

Требование LEV II: распространяется на все автомобили полной массой до 8500 фунтов (3,85 т) с 2004 г. выпуска

- неметановых органических соединений (NMOG);
- формальдегида (только LEV II);
- твердых частиц (в бензиновых двигателях — только согласно LEV II, в дизельных двигателях — в том числе согласно LEV I).

Эмиссия вредных веществ определяется с помощью ездового цикла FTP 75 (Federal Test Procedure — Федеральная процедура испытаний). Предельно допустимая концентрация вредных веществ устанавливается для определенного отрезка пути и пересчитывается в граммы на одну милю (равную 1,61 км).

Для автомобилей с бензиновыми и дизельными двигателями с 2004 г. действует одна и та же предельно допустимая концентрация вредных веществ.

Категории автомобилей по токсичности ОГ

Изготовитель автомобилей может использовать различные концепции автомобилей, которые по величине эмиссии NMOG, CO, NO_x и твердых частиц подразделяются на следующие категории:

- TLEV (автомобили переходных моделей с малой токсичностью ОГ);
- LEV (автомобили с малой эмиссией токсичных веществ и паров топлива);
- ULEV (автомобили с ультранизкой токсичностью ОГ);
- SULEV (автомобили со сверхнизкой токсичностью ОГ);
- ZEV (автомобили с нулевой эмиссией токсичных веществ и паров топлива);
- PZEV (в основном соответствует SULEV, но имеются более строгие требования к эмиссии паров топлива и долговечности).

Требование LEV I в основном относится к автомобилям категорий TLEV, LEV и ULEV. На рис. 1 показана предельно допустимая концентрация NO_x, CO и NMOG для различных категорий автомобилей. На рис. 2 в графическом виде изображены предельно допустимые концентрации NO_x и NMOG для различных категорий автомобилей.

С 1 января 2004 г. действует требование LEV II. Категория автомобилей TLEV отпадает и добавляется SULEV с существенно более низким предельно допустимым значением концентрации вредных веществ. Категории LEV и ULEV сохраняются. Предельно допустимая концентрация CO и NMOG в сравнении с LEV I не изменилась, а предельно допустимая концентрация NOx в LEV II заметно снизилась. Для того чтобы можно было различать эти две категории, в новом требовании LEV II они называются LEV 2 и ULEV 2.

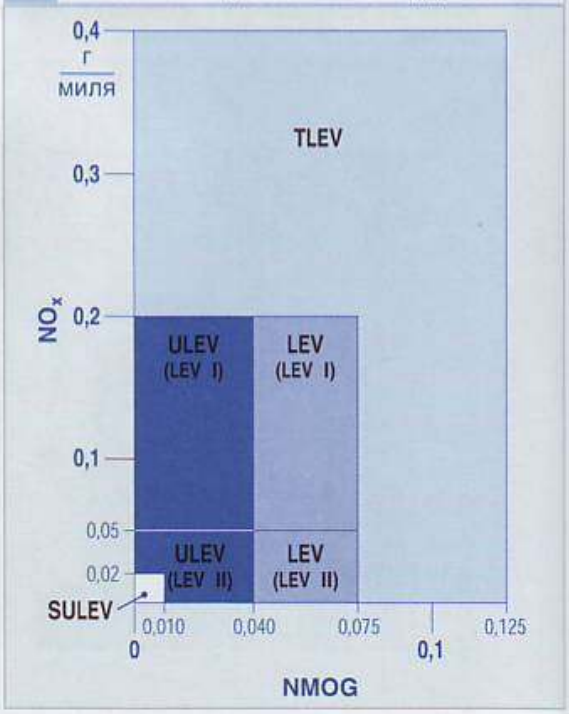
Требование LEV II также содержит новые дополнительные предельно допустимые значения концентрации для формальдегидов и твердых частиц.

Испытания на соответствие стандартам в США

Для получения разрешения на производство любой модели автомобиля изготовитель должен доказать, что токсичная эмиссия ОГ будет соответствовать ее предельным нормируемым значениям на протяжении:

- 80 или 160 тыс. км пробега (полный срок службы автомобиля) согласно требованию LEV I и 192 тыс. км пробега согласно требованию LEV II;

2 Графическое изображение предельно допустимых концентраций вредных веществ в ОГ в соответствии с требованиями стандарта CARB



- 5-летней эксплуатации (LEV I, 80 тыс. км пробега) или 10-летней.

Для автомобилей категории PZEV эти показатели составляют 240 тыс. км пробега или 15 лет.

Изготовители автомобилей могут увеличить пробег своих автомобилей до 240 тыс. км пробега при соблюдении той же предельно допустимой концентрации в ОГ вредных веществ, как при пробеге в 192 тыс. км. Изготовитель тогда получает бонус при определении среднего содержания NMOG в ОГ (см. далее раздел «Среднее значение токсичности»).

Для этого типа испытаний на соответствие стандартам изготовитель должен представить две группы серийно выпускаемых автомобилей:

- группа, в которой каждый автомобиль перед испытанием должен иметь пробег в 6,4 тыс. км;
- группа для длительных испытаний, с помощью которой устанавливаются коэффициенты увеличения концентрации отдельных токсичных компонентов ОГ.

При длительных испытаниях автомобили в соответствии с определенной программой совершают пробеги свыше 80 или 160 тыс. км. Через каждые 8 тыс. км пробега измеряется эмиссия ОГ. Диагностика и техобслуживание должны проводиться только через установленные интервалы времени.

Пользователи циклами испытаний США (например, Швейцария) для упрощения разрешают также применять установленные коэффициенты увеличения токсичности ОГ.

Поэтапное введение стандарта

После начала действия в 2004 г. требования LEV II как минимум 25% новых автомобилей должны удовлетворять этим нормативам. Поэтапное введение этого требования предусматривает, что каждый год требованию LEV II дополнительно должно соответствовать 25% автомобилей. Начиная с 2007 г., этому требованию должны отвечать все новые автомобили.

Среднее значение токсичности ОГ

Каждый изготовитель автомобилей должен следить за тем, чтобы его автомобили в среднем не превышали определенного предельного значения токсичной эмиссии ОГ. В качестве критерия в данном случае используется эмиссия NMOG. Среднее значение эмиссии по группе автомобилей

3 Динамика изменения по годам средних значений эмиссии неметановых органических соединений (NMOG) по всему парку автомобилей

определяется по среднему уровню эмиссии, показанной всеми автомобилями данного изготовителя, удовлетворяющей нормам предельно допустимой концентрации NMOG. Эти средние значения для группы принимаются разными для легковых автомобилей, автомобилей малой грузоподъемности и автофургонов.

Предельно допустимая концентрация NMOG в среднем по группе каждый год снижается (рис. 3). Это означает, что в каждый последующий год производители автомобилей должны выпускать все более экологически чистые автомобили, соответствующие более строгим нормам предельно допустимой концентрации вредных веществ в ОГ. Это правило поэтапного введения норм не оказывает никакого влияния на среднее значение токсичности ОГ по группе автомобилей.

Средний расход топлива в группе автомобилей

Каждый изготовитель автомобилей должен выполнять нормы США, устанавливающие средний расход топлива в милях на один галлон (равен 3,785 л). В настоящее время этот показатель среднего расхода топлива в группе автомобилей (CAFE) составляет для легковых автомобилей 27,5 миль на галлон, что соответствует 8,55 л/100 км. В конце года для каждого изготовителя на основе данных о проданных им автомобилях рассчитывается показатель среднего расхода топлива. За каждую лишнюю 0,1 милю на галлон изготовитель должен перечислять в бюджет государства 5,50 долларов США налога за каждый автомобиль. Для автомобилей, расходующих особенно много топлива («бензиновые пьяницы») этот налог платит покупатель автомобиля. Предельная величина равна 22,5 мили на галлон (соответствует 10,45 л/100 км).

Эти меры должны стимулировать разработку автомобилей с пониженным расходом топлива.

Бортовая диагностика

С введением системы бортовой диагностики OBD II все новые легковые автомобили и грузовые автомобили малой грузоподъемности с допустимой полной массой до 3,85 т должны иметь систему диагностики, с помощью которой выявляются неисправности, влияющие на состав ОГ.

Эта система реагирует на превышение на 1,5 % предельно допустимой концентрации вредных веществ в ОГ, установленной для данной категории автомобиля. В ином случае не позже окончания второго ездового цикла испытаний должна включаться лампа-индикатор неисправностей. После трех ездовых циклов без распознанной неисправности эта лампа может снова выключаться.

Контроль в дорожных условиях

Внеочередная проверка

Для автомобилей, находящихся в эксплуатации, выборочно проводится проверка состава ОГ по методу испытаний FTP 75, а также проверка эмиссии паров топлива. Для этой проверки выбираются только автомобили с пробегом менее 80 или 120 тыс. км (в зависимости от сертификации соответствующей модели автомобилей).

Контроль автомобилей изготовителем

Изготовители автомобилей с 1990 г. выпуска в обязательном порядке представляют официальный отчет о рекламациях и неисправностях компонентов и систем, связанных со снижением токсичной эмиссии ОГ. Эти отчеты подаются в течение 5 или 10 лет, либо до пробега 80 или 160 тыс. км (в зависимости от срока действия гарантии на конструктивный элемент или систему).

Способ представления отчета состоит из трех стадий (с возрастающим на каждой стадии уровнем детализации):

- информационного отчета о гарантированной эмиссии ОГ (EWIR);
- информационного дорожного отчета (FIR);
- информационного отчета об эмиссии ОГ (EIR).

Затем в органы по охране окружающей среды, которые используют отчет FIR в качестве базового для принятия реше-

ния об отзыве разрешения на производство конкретной модели автомобиля, подается информация, касающаяся:

- рекламаций;
- статистики неисправностей;
- анализа дефектов;
- действий, направленных на снижение токсичной эмиссии ОГ.

Автомобили с нулевой токсичной эмиссией

С 2003 г. в Калифорнии 10% новых автомобилей должны относиться к категории ZEV (автомобилей с нулевой токсичной эмиссией ОГ и паров топлива). Эти автомобили при эксплуатации вообще не должны выделять токсичных веществ с ОГ и топливных паров. Поэтому здесь речь идет преимущественно об электромобилях.

Автомобили, относящиеся к категории PZEV, выбрасывают с ОГ только очень небольшое количество вредных веществ. Доля в 10% автомобилей категории ZEV может также покрываться автомобилями категории PZEV. Эти автомобили, при расчетном учете их воздействия на окружающую среду, будут иметь весовой коэффициент от 0,2 до 1,0. Для получения весового коэффициента 0,2 должны быть выполнены следующие условия:

- сертификация автомобиля по категории SULEV должна действовать на протяжении 240 тыс. км пробега или 15 лет эксплуатации;
- гарантийный срок 240 тыс. км пробега или 15 лет эксплуатации на все компоненты, влияющие на снижение токсичной эмиссии;
- отсутствие эмиссии паров топлива из топливной системы (0-EVAP — нулевое испарение топлива), что достигается за счет дорогостоящей герметизации топливного бака и системы подачи топлива.

Особые нормы токсичности ОГ действуют для гибридных автомобилей с двигателем внутреннего сгорания и электрическим двигателем. Эти автомобили также могут составлять часть квоты 10%.

Нормы EPA

Нормы EPA (Environment Protection Agency — Агентство по защите окружающей среды) действуют в федеральных штатах США, за исключением шт. Калифорния, где применяется стандарт CARB. По сравнению со стандартом CARB, нормы EPA не такие строгие. По желанию, в отдельных штатах США также может применяться стандарт CARB –такой шаг уже сделан в шт. Мэн, Массачусетс и Нью-Йорк. Правовой основой этому является «Закон о чистом воздухе», который предусматривает реализацию многочисленных мер по защите окружающей среды, но не регламентирует предельные величины токсичности ОГ.

В настоящее время в рамках норм EPA действуют требования Tier 1 (ступень 1). В 2004 г. вступает в действие следующая ступень — Tier 2.

Добровольную деятельность штатов США (за исключением шт. Калифорния), нацеленную на снижение эмиссии токсичных веществ ОГ, обеспечивает программа NLEV (National Low Emission Vehicle). Автомобили по уровню токсичной эмиссии подразделяются на четыре категории: Tier 1, TLEV, LEV и ULEV. Так же как в шт. Калифорния, на основе эмиссии NMOG рассчитывается средний по автомобильному парку показатель топливной экономичности.

С введением требований Tier 2 программа NLEV утрачивает силу.

Предельно допустимая токсичность ОГ

Нормы EPA устанавливают предельно допустимую концентрацию в ОГ:

- оксида углерода (CO);
- оксидов азота (NO_x);
- неметановых органических соединений (NMOG);
- формальдегида (HCHO);
- твердых частиц.

Эмиссия вредных веществ в ОГ определяется при ездовом цикле FTP 75. Предельные значения соотносятся с пробегом автомобиля и приводятся в граммах на милю.

С введением требований Tier 2 автомобили с бензиновыми и дизельными двигателями должны соответствовать одним и тем же предельным значениям токсичности ОГ.

Категории ОГ

Требования Tier 1 определяют предельное значение концентрации каждого вредного вещества в ОГ. В требованиях Tier 2 предельные величины подразделяются на 10 ступеней эмиссии (ступень 10... ступень 1).

С переходом на применение требований Tier 2 имеют место следующие изменения:

- введение среднего значения эмиссии NOx для парка автомобилей (по аналогии со стандартом CARB);
- введение отдельной нормы предельной эмиссии формальдегидов (HCHO);
- объединение в один класс автомобилей легковых автомобилей и грузовых автомобилей малой грузоподъемности полной массой до 6000 фунтов (2,72 т);
- увеличение полной продолжительности сохранения установленных предельных значений токсичности ОГ до 190 тыс. км пробега.

Поэтапное введение требований

После введения в 2004 г. требований Tier 2 минимум 25% вновь регистрируемых автомобилей должны удовлетворять положениям этих требований. Поэтапное введение в действие требований Tier 2 предусматривает, что каждый год дополнительно еще 25% автомобилей должны им соответствовать. С 2007 г. под действие Tier 2 должны попадать все новые автомобили.

Среднее значение токсичности ОГ

В соответствии с нормами EPA для определения средней токсичности ОГ по всему парку автомобилей данного изготовителя будет использоваться эмиссия NO_x. В этом состоит отличие от стандарта CARB, где для определения среднего значения токсичности ОГ берется эмиссия NMOG.

Средний расход топлива по группе автомобилей

Предписания, устанавливающие средний расход топлива по группе автомобилей и действующие в 49 штатах США, аналогичны соответствующему предписанию шт. Калифорния. Для легковых автомобилей здесь тоже действует предельная величина в 27,5 миль на галлон (8,55 л/100 км), при превышении которой изготовитель

1 Предельно допустимые концентрации токсичных компонентов в ОГ согласно требованиям Tier 2 норм EPA по сравнению со стандартом CARB

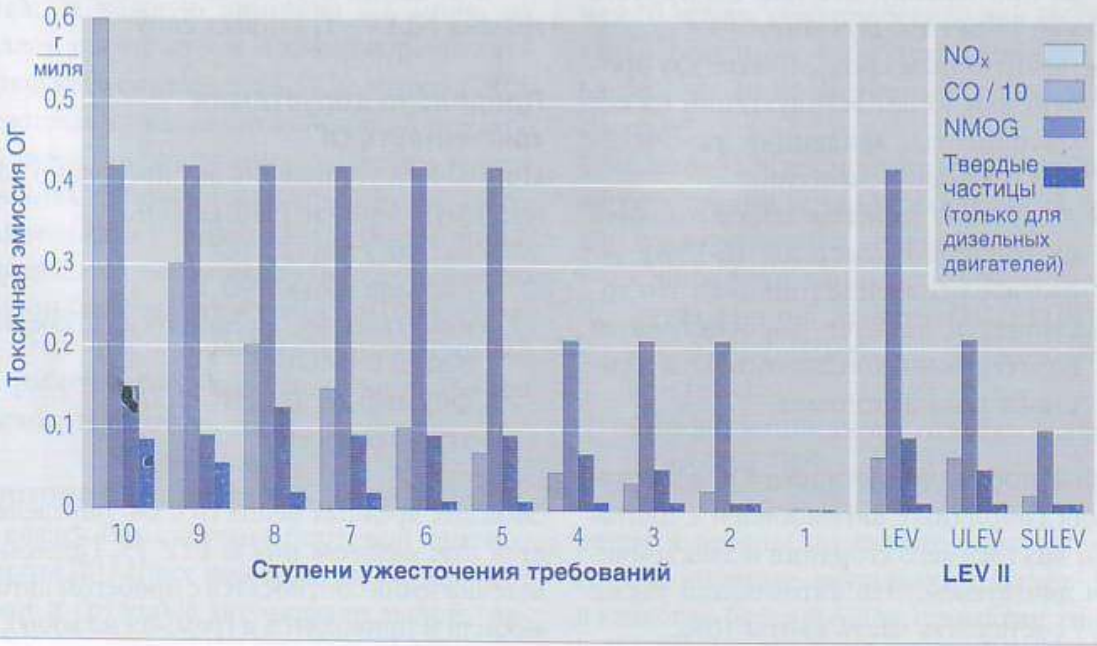


Рис. 1
Приведенные данные относятся к полному сроку службы автомобиля (195 тыс. км или 10 лет).
Данные, относящиеся к неполному сроку службы автомобиля (80 тыс. км или 5 лет), являются для ступеней 10–5 низкими, а для ступеней 4–1 параметры не предписаны.
Ступень 1 применяется только для автомобилей с нулевой токсичной эмиссией (например, для электромобилей)

автомобилей выплачивает налог. Также при превышении расхода топлива в 22,5 мили на галлон (10,45 л/100 км) специальный налог оплачивает уже сам покупатель.

Бортовая диагностика

Бортовая диагностика, выявляющая неисправности в системах снижения токсичности ОГ по нормам EPA, в основном соответствует требованиям стандарта CARB.

Контроль в дорожных условиях

Внеочередная проверка

Нормы EPA, так же как и стандарт CARB, предусматривают выборочную проверку эмиссии ОГ в эксплуатируемых автомобилях в соответствии с методом испытаний FTP 75. Проверке подвергаются автомобили с небольшим пробегом (16 тыс. км или один год службы) и с большим пробегом (80 тыс. км, но по меньшей мере один автомобиль на тест-группу с пробегом 120/145 тыс. км, 4 года службы). Количество испытываемых автомобилей зависит от количества проданных. Как минимум, один автомобиль в каждой тест-группе проверяется также на эмиссию топливных паров.

Контроль автомобилей изготовителем

С 1972 г. выпуска изготовители автомобилей представляют обязательный и детальный отчет о рекламациях или повреждениях определенных элементов или систем, влияющих на эмиссию ОГ. Этот отчет требуется тогда, когда минимум 25 элементов и систем в автомобилях одного года выпуска, влияющих на эмиссию ОГ, оказываются дефектными. Подача таких отчетов прекращается по истечении пяти лет после завершения производства автомобилей данного года выпуска. Форма отчета, наряду с названием соответствующих элементов, включает описание неисправности и характер ее влияния на эмиссию ОГ, а также данные о мерах, предпринимаемых изготовителем по устранению этого дефекта. Службы по охране окружающей среды используют эту информацию для принятия решения об отзыве разрешения на производство данной модели автомобиля.

Стандарты ЕС

Основные направления европейского законодательства о предельной токсичности ОГ установлены комиссией ЕС (Европейского Союза). Предельные величины вредных веществ в ОГ легковых автомобилей и грузовых автомобилей малой грузоподъемности содержатся в следующих директивах:

- Евро 1 (с 1 июля 1992 г.);
- Евро 2 (с 1 января 1996 г.);
- Евро 3 (с 1 января 2000 г.);
- Евро 4 (с 1 января 2005 г.).

Новый стандарт на предельную токсичность ОГ, как правило, вводится в два этапа. На первом этапе требуется соблюдение вновь установленных предельных значений эмиссии ОГ автомобилями, проходящими первоначальную сертификацию на соответствие (TA, type approval — одобрение типа). На втором этапе каждый новый автомобиль, при его первоначальной регистрации (FR, first registration — первоначальная регистрация), должен соответствовать новым требованиям к предельным значениям вредных веществ в ОГ. Законодатель может проверять серийные автомобили на соответствие этим предельным значениям (COP, conformity of production — соответствие продукции).

Отдельные страны-члены ЕС могут применять требования директив Евро 1 и Евро 2 как свои национальные законы. В Германии это позволило принять нормы D 3 и D 4. Ранее принятые нормы D 3 были более строгими, чем директива Евро 2. Благодаря этому Германия в рамках ЕС играет роль лидера во внедрении новых стандартов.

После вступления в силу с 1 января 2000 г. директивы Евро 3 в странах-членах ЕС национальные нормы больше не действуют. С 1 января 2005 г. начинает действовать директива Евро 4.

В Германии существуют разные ставки налогов на автомобили в зависимости от соответствия их нормам предельной токсичности ОГ. Директивы ЕС допускают

налоговые послабления (Tax incentives), если нормы предельно допустимой концентрации вредных веществ в ОГ выполняются еще до их официального введения в действие.

Предельно допустимая токсичность ОГ

Стандарты ЕС устанавливают предельно допустимое содержание в ОГ:

- оксида углерода CO;
- углеводородов CH;
- оксидов азота NO_x;
- твердых частиц, прежде всего, для автомобилей с дизельным двигателем.

Предельно допустимая концентрация токсичных веществ соотносится с пробегом автомобиля и устанавливается в граммах на километр (г/км). Состав ОГ определяется на роликовом испытательном стенде для автомобилей при реализации модифицированного нового европейского ездового цикла (MNEDC).

В директивах Евро 1 и Евро 2 эмиссия углеводородов и оксидов азота объединена и представлена в виде суммы ($CH + NO_x$). При введении директивы Евро 3 на эти вредные вещества, а также на оксид углерода (CO) распространяются отдельные нормы эмиссии.

Предельно допустимая эмиссия CO в директиве Евро 3 несколько выше, чем в Евро 2. Это увеличение предельной эмиссии связано с тем, что с введением в действие директивы Евро 3 при проверке токсичности ОГ измерения производятся также во время пуска двигателя. До сих пор токсичность ОГ при пуске двигателя не учитывалась и замеры начинались только через 40 с после его пуска. Но как раз на этой фазе работы двигателя эмиссия CO является очень высокой, поэтому прямое сравнение предельных значений CO в директивах Евро 2 и Евро 3 невозможно.

Хотя регламентируемые значения предельно допустимой токсичности ОГ для бензиновых и дизельных двигателей разные, в перспективе они должны быть согласованы.

Проверка автомобилей на соответствие стандарту

Проверка на соответствие стандарту осуществляется так же, как в США, но со следующими отличиями: измеряется концентрация в ОГ таких вредных веществ, как CH, CO, NO_x, а в дизельных автомобилях — твердых частиц и дымности (непрозрачности) ОГ. Пробег испытуемого

1 Предельно допустимая концентрация вредных веществ в ОГ согласно стандартам ЕС (для автомобилей с бензиновым двигателем)

автомобиля перед началом проверки на эмиссию ОГ составляет 3 тыс. км. Факторы, ухудшающие показатели токсичности ОГ, которые используются при оценке результатов испытаний, определены законом; изготовители автомобилей могут также представлять документацию, подтверждающую меньшее влияние этих факторов при выполнении долговременных программ испытаний автомобилей с пробегом свыше 80 тыс. км (для директивы Евро 4 — с пробегом свыше 100 тыс. км).

Установленная предельно допустимая концентрация токсичных веществ в ОГ должна соблюдаться при пробеге 80 тыс. км или 5 лет эксплуатации. Это требование является составной частью сертификационного испытания.

Директивы

Эти стандарты по эмиссии ОГ базируются на положениях директивы 70/220/ЕЭС 1970 г. Этой директивой впервые были установлены предельные величины токсичной эмиссии ОГ. С тех пор она постоянно обновляется.

Типы испытаний

В этой директиве регламентируются шесть различных типов испытаний.

Испытания типа I служат для оценки эмиссии непосредственно после пуска холодного двигателя. В дизельных автомобилях дополнительно определяется непрозрачность ОГ. В настоящее время новые автомобили должны соответствовать требованиям директивы Евро 3, хотя многие из них уже соответствуют требованиям директивы Евро 4 (вводится с 2005 г.).

При испытании типа IV измеряется эмиссия паров топлива в автомобиле с выключенным двигателем. В основном это топливные пары, испаряемые из топливного бака.

Испытание типа VI охватывает проверку эмиссии углеводородов и оксида углерода после пуска холодного двигателя при –7 °С. При этом испытании используется первая часть (городское движение) модифицированного нового европейского ездового цикла (MNEDC). Эта проверка является обязательной с 2002 г.

Парниковый эффект

Коротковолновое излучение Солнца, пронизывая атмосферу Земли, достигает земной поверхности и там поглощается. За счет поглощенной энергии почва нагревается и испускает длинноволновое тепловое или инфракрасное излучение. Часть этого излучения отражается атмосферой и обеспечивает нагревание Земли.

Без этого естественного «парникового эффекта» Земля была неуютной планетой со средней температурой –18 °С. Имеющиеся в атмосфере парниковые газы (водяной пар, углекислый газ, метан, озон, оксид диазота, аэрозоли и легкие частицы) обеспечивают увеличение средней температуры приблизительно до +15 °С. Большую часть тепла задерживает водяной пар.

С началом промышленной эпохи свыше 100 лет назад, концентрация углекислого газа в атмосфере стала сильно возрастать. Главной причиной этого роста является сжигание нефти и угля. При этом процессе высвобождается в виде углекислого газа связанный углерод.

Процессы, влияющие на возникновение парникового эффекта в атмосфере Земли, — весьма сложные. Существует теория, что главной причиной изменения климата являются антропогенные (т. е. вызванные деятельностью человека) процессы эмиссии. Однако она оспаривается другой теорией, согласно которой причиной нагревания Земли является усиление радиационной активности Солнца.

Но все ученые едины в том, что противодействовать развитию парникового эффекта можно путем снижения расхода энергии и, следовательно, уменьшения эмиссии углекислого газа.

Эмиссия CO_2

Для новых автомобилей, получивших разрешение на эксплуатацию в европейских государствах, эмиссия CO_2 должна указываться в граммах на один километр пути. Для ограничения этой эмиссии и, следовательно, расхода топлива установленных нормами предельных значений CO_2 нет, но существует добровольное обязательство производителей автомобилей, объединенных Европейской ассоциацией автомобильных производителей (ACEA). Согласно этому обязательству, эмиссия CO_2 для автомобилей класса M1 в 2003 г. должна была снизиться до 165–170 г/км, что соответствует расходу топлива 6,8–7,0 л/100 км. К 2008 г. эта эмиссия должна быть уменьшена до 140 г/км (5,8 л/100 км).

В настоящее время в Германии автомобили с особенно низкой эмиссией CO_2 освобождаются от налогов.

Бортовая диагностика

Принятие директивы Евро 3 сопровождалось началом использования системы европейской бортовой диагностики (EOBD) на двигателях с искровым зажиганием. В соответствии с этим все новые легковые автомобили и грузовые автомобили малой грузоподъемности с разрешенной полной массой до 3,5 т и до 9 посадочных мест должны располагать системой диагностики, которая может распознавать все неисправности, влияющие на токсичность ОГ. На автомобили с дизельными двигателями требование об обязательном использовании системы EOBD распространяется с 1 января 2003 г.

Установлены следующие абсолютные значения предельной эмиссии токсичных компонентов ОГ:

- оксид углерода (CO) — 3,2 г/км;
- углеводороды (CH) — 0,4 г/км;
- оксиды азота (NO_x) — 0,6 г/км.

Если диагностируются неисправности, ведущие к превышению предельных значений эмиссии, то не позднее третьего ездового цикла испытаний должна включаться лампа-индикатор. В памяти блока управления сохраняется информация о расстоянии, пройденном автомобилем с этой выявленной неисправностью.

После трех ездовых циклов без распознанного дефекта лампа-индикатор снова выключается.

Испытание в дорожных условиях

Стандартами ЕС предусматривается проверка соответствия автомобилей, находящихся в эксплуатации, установленным нормам как часть испытания типа I. Минимальное количество автомобилей, подлежащих проверке, равно трем, максимальное количество зависит от метода испытаний.

Автомобиль, подлежащий испытанию, должен соответствовать определенным критериям:

- он должен относиться к той модели автомобиля, выпуск которой был разрешен ранее согласно установленным нормам, на что имеется свидетельство соответствия;
- пробег или возраст автомобиля должны составлять от 15 тыс. км или 6 месяцев до 80 тыс. км или 5 лет (Евро 3, с 2000 г.), либо 100 тыс. км (Евро 4, с 2005 г.);
- проведение периодических технических осмотров в соответствии с требованиями изготовителя должны быть подтверждены документально;
- автомобиль не должен иметь признаков нештатного использования (например, следов изменения конструкции, серьезного ремонта и пр.).

Если эмиссия токсичных веществ у отдельного автомобиля существенно отклоняется от нормы, то следует установить причину этой повышенной эмиссии. Если более чем один автомобиль, при выборочной проверке, имеет повышенную эмиссию по одной и той же причине, то этот результат распространяется на всю выборку. Пока не превышено максимальное число автомобилей в выборке, предназначенных для испытаний на токсичную эмиссию, в испытаниях может участвовать дополнительный автомобиль в соответствии с разными сценариями их проведения.

Если организация, выдающая свидетельство о соответствии стандарту, делает заключение о том, что данная модель автомобиля не удовлетворяет установленным нормам, она может потребовать от изготовителя подготовить план мероприятий по устранению недостатков. Меры должны распространяться на все автомобили, которые предположительно имеют тот же дефект. К плану мероприятий по устранению дефектов относится также отзыв разрешения на эксплуатацию автомобиля.

Периодическая проверка эмиссии токсичных веществ в ОГ (контроль AU)

В Федеративной Республике Германии легковые автомобили и грузовые автомобили малой грузоподъемности и автофургоны должны через три года после первоначальной регистрации и затем через каждые два года проходить проверку эмиссии токсичных веществ в ОГ (контроль AU). Эта проверка, в основном, состоит из измерения эмиссии и расчета соответствующей величины коэффициента избытка воздуха.

В автомобилях с замкнутым контуром управления каталитическим нейтрализатором дополнительно проверяется функция системы лямбда-управления. Испытания таких автомобилей, оборудованных бортовой диагностикой (OBD), также включают считывание кодов неисправностей, хранящихся в памяти, и проверку кода готовности, как одного из нескольких дополнительных способов определения эмиссии оксида углерода (CO).

Испытательные ездовые циклы США

Федеральный ездовой цикл испытаний FTP 75

Федеральный ездовой цикл испытаний FTP 75 (Federal Test Procedure) состоит из трех режимов движения, соответствующих скоростям и условиям реального движения, зарегистрированных в Лос-Анджелесе (США) в утренние часы «пик» (рис. 1а).

Выполнение предварительных условий испытаний

После соответствующего выполнения ряда условий (размещение автомобиля на стоянке с выключенным на 12 ч двигателем при комнатной температуре 20–30 °C), подлежащий проверке автомобиль начинает движение с последовательной реализацией установленных режимов.

Взятие проб ОГ

Взятие проб ОГ производится при каждом режиме ездового цикла.

Режим ct: разбавленные ОГ при холодном переходном режиме отбираются в мешок № 1 испытательной установки для проведения испытаний по методу CVS (пробы постоянного объема).

Режим s: переключение забора проб на мешок № 2 в начале устойчивой работы двигателя (через 505 с) без прерывания ездового цикла. По окончании режима s, через 1365 с, двигатель выключается на 600 с.

Режим ht: двигатель снова пускается для испытаний в прогретом состоянии; при этом последовательность изменения скорости аналогична той, которая используется при испытании в холодном переходном режиме (ct). В это время ОГ отбираются в мешок № 3.

Анализ

Пробы ОГ, собранные в мешки за время трехрежимного ездового цикла, анализируются во время перерыва перед испытанием прогретого двигателя, т. к. пробы не должны оставаться в мешках дольше 20 мин.

После завершения ездового цикла также анализируется проба ОГ в мешке № 3. Для получения общего результата используются весовые коэффициенты для отдельных трех режимов ездового цикла, а именно 0,43 (режим ct), 1,00 (режим s) и 0,57 (режим ht). Весовые суммарные значения эмиссии токсичных веществ (CH, CO и NO_x) из всех трех мешков оцениваются по отношению к пройденному расстоянию и затем пересчитываются в весовое количество этих токсичных веществ в расчете на одну милю.

Этот ездовой цикл применяется, кроме США, включая шт. Калифорнию, также и в других государствах (например, в государствах Южной Америки).

Дополнительные федеральные ездовые циклы (SFTP)

Испытания согласно стандарту SFTP вводятся поэтапно с 2001 по 2004 г. Они состоят из следующих ездовых циклов:

- FTP 75;
- SC03;
- US06.

При расширенных испытаниях должны проверяться следующие дополнительные условия движения (рис. 1b, c):

- агрессивная езда;
- резкие изменения скорости;
- пуск двигателя и разгон;
- движение с частыми незначительными изменениями скорости;
- временные остановки автомобиля;
- работа при включенной системе кондиционирования воздуха.

При ездовых циклах SC03 и US06 после предварительного термостатирования запускается режим ct ездового цикла FTP 75, осуществляемый без отбора проб ОГ.

Цикл SC03 осуществляется при 35 °C и относительной влажности воздуха 40% (только автомобили с кондиционером воздуха). Отдельные ездовые циклы сочетаются следующим образом:

1 Испытательные ездовые циклы США для легковых автомобилей и грузовых автомобилей малой грузоподъемности и автофургонов

Испытательный ездовой цикл	a FTP 75	b SC03	c US06	d Автомагистраль
Дистанция цикла	17,87 км	5,76 км	12,87 км	16,44 км
Продолжительность цикла	1877 с + 600 с Пауза	594 с	600 с	765 с
Средняя скорость движения за цикл	34,1 км/ч	34,9 км/ч	77,3 км/ч	77,4 км/ч
Максимальная скорость движения в цикле	91,2 км/ч	88,2 км/ч	129,2 км/ч	94,4 км/ч

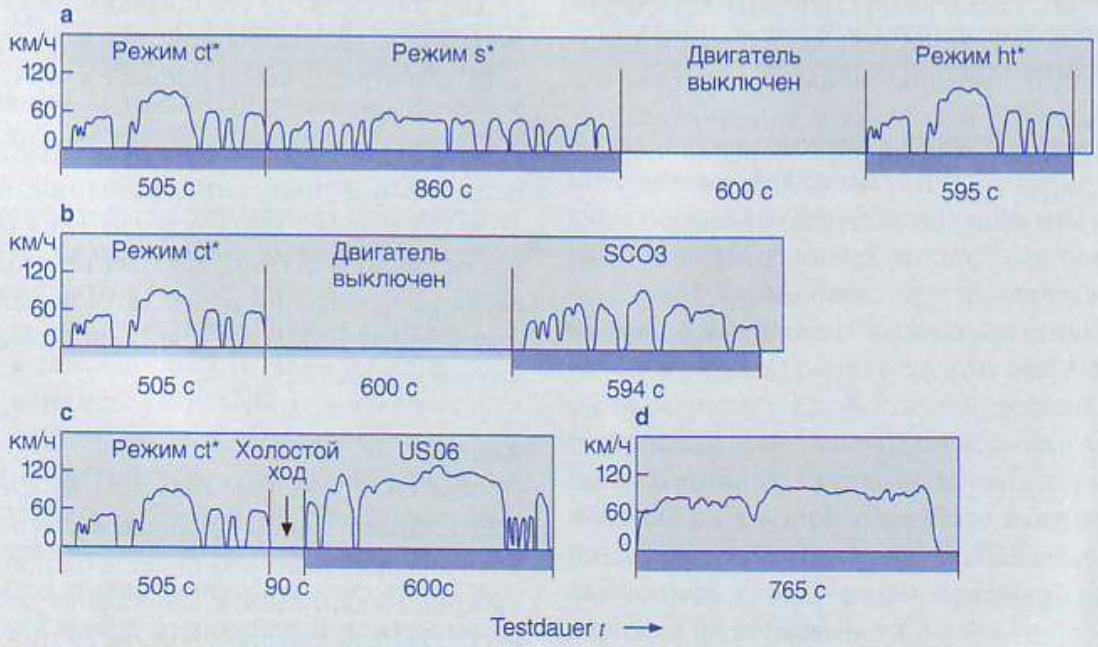


Рис. 1
* ct — переходной режим
s — режим устойчивой работы
ht — испытание при прогретом двигателе
■ режимы, при которых отбираются пробы ОГ
■ термостатирование (возможно также использование других ездовых циклов)

- для автомобилей с системой кондиционирования воздуха
  35% FTP 75 + 37% SC03 + 28% US06;
- для автомобилей без системы кондиционирования воздуха
  72% FTP 75 + 28% US06.

Ездовые циклы SFTP и FTP должны выполняться независимо друг от друга.

При пуске двигателя автомобиля при низких температурах в результате необходимого обогащения рабочей смеси при холодном пуске регистрируется особенно высокая эмиссия токсичных веществ, которая может быть определена при существующих методах проверки эмиссии ОГ, проводимых при температуре окружающего воздуха 20–30 °C. Для того чтобы определить соответствие эмиссии токсичных веществ установленным нормам, проводится дополнительная проверка при –7 °C. Но при этой проверке предусмотрена оценка на предельное содержание в ОГ только оксида углерода.

Циклы испытаний для определения среднего расхода топлива по группе автомобилей

От каждого изготовителя автомобилей требуется предоставление данных по среднему расходу топлива выпускаемыми автомобилями. Если превышаются определенные предельные величины этого расхода, изготовитель должен платить штраф, а при эмиссии вредных веществ ниже определенных предельных величин он получает льготы. Расход топлива определяется на основе данных об эмиссии ОГ при двух ездовых циклах: испытательного ездового цикла FTP 75 (55%) и ездового цикла в условиях движения по скоростным автомагистралям (45%).

Ездовой цикл при движении по скоростным автомагистралям (рис. 1d) запускается один раз после предварительного термостатирования (выключение двигателя на 12 ч при 20–30 °C). После этого во время второго прохождения испытаний производится отбор ОГ. Данные о замеренных уровнях эмиссии используются для расчета расхода топлива.

Соблюдение норм предельно допустимой концентрации токсичных веществ в ОГ

Каждый новый регистрируемый автомобиль должен удовлетворять регламентированно предельно допустимой токсичности ОГ при движении по всей установленной дистанции движения. Эта предельно допустимая токсичность не зависит от массы автомобиля и рабочего объема двигателя.

В США для автомобилей различных лет выпуска, которые работают в особых условиях, сделано исключение. В нормах оговариваются различия между предельной токсичностью ОГ при пробеге 80 и 160 тыс. км. При пробеге 160 тыс. км допустимые предельные значения токсичной эмиссии установлены несколько более высокими (факторы ухудшения).

Другие испытательные ездовые циклы

Ездовой цикл FTP 72

Цикл FTP 72, который также называется UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule — испытательный цикл, имитирующий городское движение на динамометрическом стенде), соответствует испытаниям с использованием ездового цикла FTP 75 без режима ht (при прогретом двигателе). Этот цикл используется при испытаниях автомобиля на потери мощности при работе.

Цикл Нью-Йорка (NYCC)

Этот цикл также включается в испытание, связанное с определением потерь мощности автомобиля при движении.

Европейский ездовой цикл

Цикл испытаний ЕС/ЕЭК (Европейский союз/Европейская экономическая комиссия), также известный как европейский ездовой цикл, реализуется по такому графику движения (рис. 1), который с максимальным приближением моделирует условия движения в городе (UDC,

urban driving cycle). В 1993 г. этот цикл был дополнен режимом загородного движения со скоростью до 120 км/ч (EUDC, extra urban driving cycle). Составленный из этих двух режимов ездовой цикл называется NEFZ (neuer europäischer Fahrzyklus) или NEDC (new european driving cycle — новый европейский ездовой цикл).

С введением в действие директивы Евро 3 (2000 г.) исключен период ожидания в течение 40 с до начала измерения эмиссии ОГ (NMEFZ, modifizierter neuer europäischer Fahrzyklus — новый модифицированный европейский ездовой цикл). Этот цикл позволяет начинать измерения эмиссии ОГ сразу после пуска двигателя.

Термотестирование

До начала проверки эмиссии ОГ автомобиль должен располагаться неподвижно при определенной температуре как минимум 6 часов. В настоящее время эта температура должна быть в пределах 20…30 °C. С 2002 г. температура при пуске двигателя для режима IV стандарта снижена до –7 °C.

1 NMEFZ (новый модифицированный европейский ездовой цикл ЕС/ЕЭК) для легковых автомобилей и грузовых автомобилей малой грузоподъемности

Дистанция пробега в цикле	11 км/ч
Продолжительность цикла	1220 с
Средняя скорость движения за цикл	32,5 км/ч
Максимальная скорость движения	120 км/ч

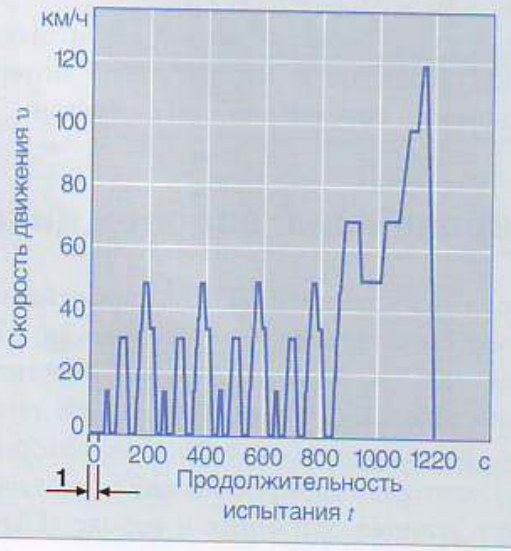


Рис. 1
1. Фаза предварительной работы двигателя (без забора ОГ); ранее 40 с, с директивы Евро 3 — без предварительного пуска

Городской ездовой цикл

Этот цикл состоит из четырех стадий, каждый длительностью 195 с, которые должны выполняться без перерывов. Путь, проходимый автомобилем за этот цикл равен 4,052 км, что соответствует средней скорости движения в 18,7 км/ч. Максимальная скорость — 50 км/ч.

Загородный ездовой цикл

После завершения испытаний по городскому ездовому циклу начинает выполняться загородный цикл при скорости 120 км/ч. Эта часть цикла продолжается 400 с, а пройденный путь равен 6,955 км.

Анализ

Для измерения пробы ОГ собираются в мешки по методу CVS. Массы токсичных веществ, определенные путем анализа содержимого мешка, соотносятся с пройденным путем.

Углеводороды и оксиды азота раньше суммировались в виде CH + NO_x, но после ввода в действие директивы Евро 3 эти вещества оцениваются по отдельности.

Ездовые циклы в Японии

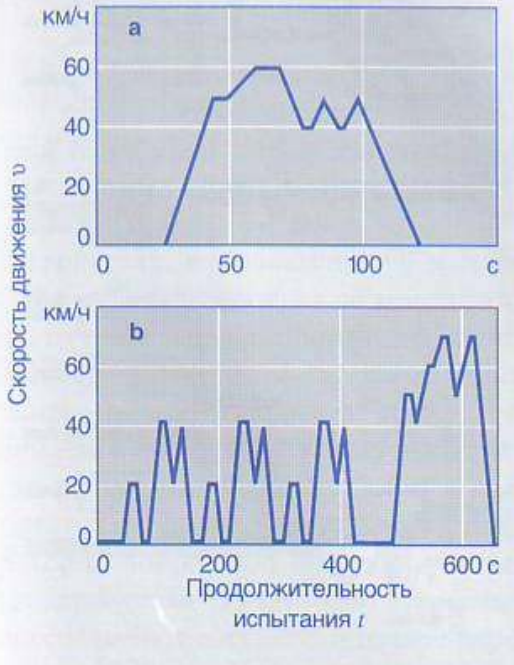
Полное испытание состоит из двух ездовых циклов с разными, искусственно смоделированными кривыми движения. 11-режимный цикл реализуется четыре раза после пуска холодного двигателя, при этом оцениваются все четыре цикла. 10–15-режимный цикл реализуется только один раз после пуска прогретого двигателя. Этот цикл, имитирующий условия движения автомобилей в Токио, был дополнен режимом высокоскоростного движения. Однако максимальная установленная скорость здесь ниже, чем в европейском ездовом цикле, т. к. в Японии в связи с более высокой интенсивностью движения, как правило, движение происходит с меньшими скоростями.

Предварительное термостатирование для проведения испытаний при прогретом двигателе включает также регламентируемую проверку токсичности ОГ на

холостом ходу и протекает по следующей схеме: примерно через 15 мин фазы прогрева автомобиля при скорости движения 60 км/ч измеряется концентрация CH, CO и CO_2 в выпускной трубе. После дальнейшего движения с прогретым двигателем в течение 5 мин при скорости 60 км/ч начинается выполнение 10–15-режимного ездового цикла. Так же при 11-режимном ездовом цикле здесь осуществляется анализ эмиссии ОГ по методу CVS. Разбавленные пробы ОГ, взятые при каждом режиме цикла, собираются в мешки. При испытании холодного двигателя содержание токсичных веществ определяется в граммах на каждый режим испытаний, а при испытании прогретого двигателя это содержание соотносится с пройденным расстоянием, т. е. пересчитываются в г/км.

1 Ездовые циклы в Японии для легковых автомобилей и грузовых автомобилей малой грузоподъемности

	11-режимный ездовой цикл	10–15-режимный ездовой цикл
Дистанция пробега в цикле	1,021км/ч	4,16 км/ч
Количество выполняемых циклов при испытании	4	1
Продолжительность цикла	480 с	660 с
Средняя скорость за цикл	30,6 км/ч	22,7 км/ч
Максимальная скорость	60 км/ч	70 км/ч



В Японии нормы предельной токсичности ОГ включают ограничение эмиссии паров топлива, которая определяется по методу SHED (герметичная камера по определению испаряемости топлива).

Проверка автомобилей на эмиссию отработавших газов

Для того чтобы иметь возможность точной оценки состава ОГ, режимы испытаний автомобиля должны точно воспроизводить реальные условия движения. Стендовые испытания по сравнению с испытанием в реальных условиях дорожного движения имеют то преимущество, которое позволяет точно устанавливать необходимую скорость без отклонений, вызываемых изменениями интенсивности реального дорожного движения. Это является важным фактором для обеспечения воспроизводимости результатов испытаний с целью их последующего сравнения.

Порядок проведения испытаний

Испытываемый автомобиль располагается своими ведущими колесами на вращающихся роликах 15 (рис. 1) динамометрического стенда.

Для того чтобы эмиссия ОГ, определяемая при испытаниях на динамометрическом стенде, соответствовала эмиссии, имеющей место в реальных условиях дорожного движения, должны моделироваться действующие на автомобиль различные инерционные усилия, силы сопротивления качению и аэродинамические силы. Для этого используются асинхронные электродвигатели, электрогенераторы постоянного тока и тормоза, работающие на принципе вихревых токов, которые создают нагрузки, соответствующие различным скоростям движения. Эти усилия, воздействующие на ролики стенда, должны преодолеваться автомобилем. Для имитации инерционных нагрузок в большинстве современных систем используется их электронное моделирование с помощью центробежной или маховичной

Рис. 1
a — 11-режимный ездовой цикл (при непрогретом двигателе)
b — 10–15-режимный ездовой цикл (при прогретом двигателе)

массы. На испытательных стендах, применявшихся ранее, использовались колебательные массы (2, рис. 1), которые могли соединяться с автомобилем быстродействующими соединительными муфтами для моделирования массы автомобиля.

Обеспечение точности изменения силовых нагрузок в зависимости от скорости движения и наличие требуемых инерционных масс являются очень важными факторами. Отклонения приводят к искажению замеряемых данных. Такие условия окружающей среды, как, например, влажность воздуха, температура и атмосферное давление также влияют на результаты измерений. Вентилятор, установленный непосредственно перед автомобилем, обеспечивает требуемое охлаждение двигателя.

Метод разбавления проб ОГ (CVS)

Метод CVS (Constant Volume Sampling — взятие проб при постоянном объеме газа) представляет собой способ сбора ОГ, выбрасываемых двигателем. Этот метод начал использоваться в 1972 г. в США для легковых автомобилей и грузовых автомобилей малой грузоподъемности и затем усовершенствовался в несколько этапов. В 1982 г. на применение метода CVS также перешла Европа. В результате этого во всем мире стал применяться единый метод сбора проб ОГ.

Принцип действия

Метод разбавления CVS работает по следующему принципу: эмиссия ОГ от испытуемого автомобиля разбавляется атмосферным воздухом в соотношении 1:5...1:10 и отсасывается с помощью специального насоса таким образом, что объемный расход ОГ и свежего воздуха остается постоянным. Это означает, что объем подмешиваемого воздуха к ОГ зависит от мгновенного объемного расхода ОГ. Из разбавленных воздухом ОГ в течение проведения всего испытания в нескольких мешках отбирается их постоянный объем.

После завершения ездового цикла испытаний концентрация вредных веществ в этих мешках точно соответствует средней концентрации всей откаченной насо-

1 Метод испытания CVS для легковых автомобилей и грузовых автомобилей малой грузоподъемности

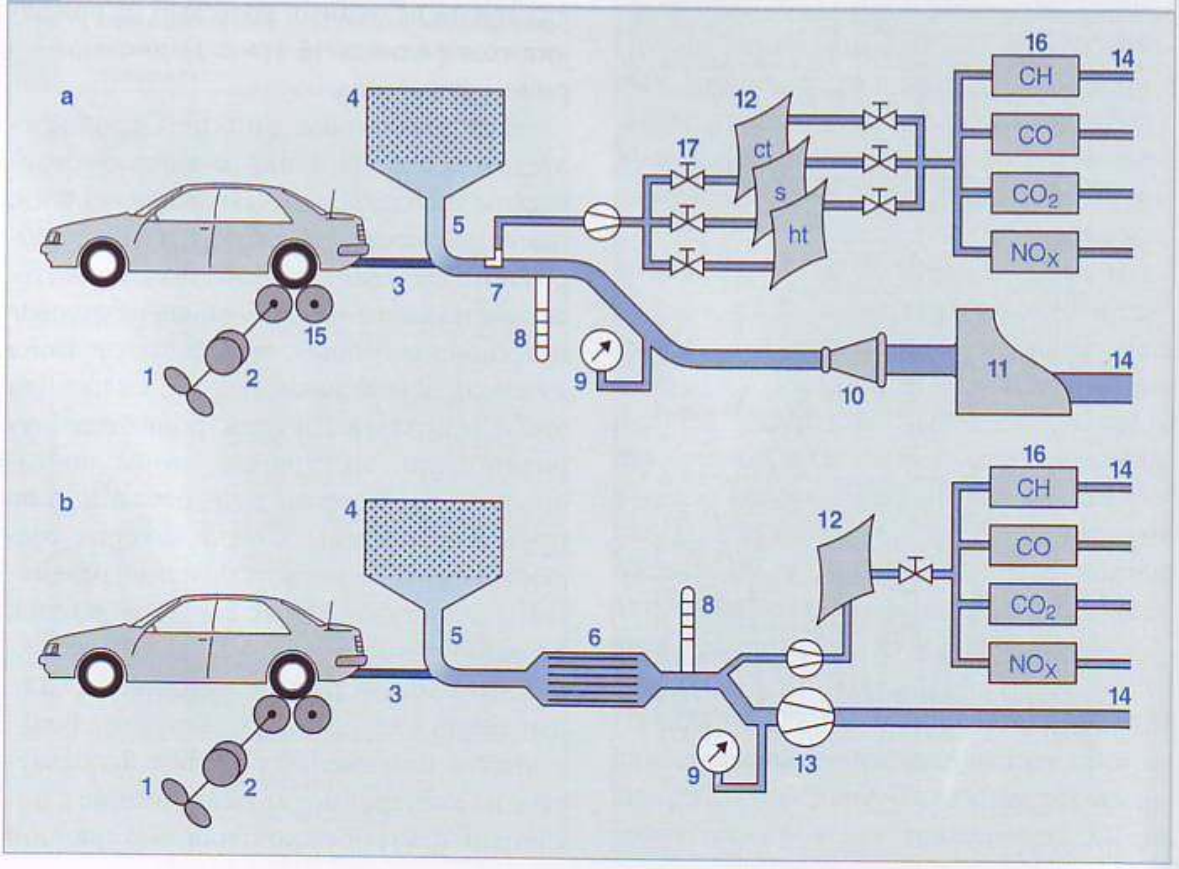


Рис. 1

a — для федерального испытания США (здесь с использованием системы Вентури)

b — для европейского испытания (здесь с использованием роторно-поршневого воздухонагнетателя)

1. Тормоз
2. Инерционная масса
3. Отработавшие газы
4. Воздушный фильтр
5. Разбавляющий воздух
6. Радиатор
7. Сопло Вентури для забора проб ОГ
8. Замер температуры газа
9. Замер давления
10. Сопло Вентури
11. Вентилятор
12. Мешок для сбора проб ОГ
13. Роторно-поршневой воздухонагнетатель
14. К выпуску
15. Ролики стенда
16. Анализатор
17. Многоходовые клапаны

ct — пробы ОГ, взятые при переходном режиме работы

s — пробы ОГ, взятые при устойчивом режиме работы

ht — пробы ОГ, взятые при режиме работы на прогретом двигателе

сом смеси из ОГ и воздуха. Так как можно определить общий объем смеси из ОГ и воздуха, то показатель концентрации вредных веществ может быть использован в качестве базы для расчета массовых долей этих веществ за время проведения испытания.

Преимущества метода CVS

За счет разбавления ОГ воздухом исключается конденсация водяных паров, содержащихся в ОГ, что приводит к заметному снижению потерь оксидов азота в мешке. Кроме того, за счет разбавления заметно снижаются взаимные реакции отдельных компонентов ОГ между собой (особенно углеводородов).

Однако за счет разбавления снижается концентрация вредных веществ в зависимости от степени этого разбавления: это требует применения высокочувствительных измерительных приборов. Для анализа вредных веществ в мешках используется стандартное оборудование.

Свойства метода CVS

Метод CVS характеризуется следующими свойствами:

- результаты, основанные на измерении эмиссии действительных объемов ОГ во время испытания двигателя;
- точная регистрация устойчивых и неустойчивых режимов работы автомобиля;
- устранение конденсации водяного пара и несгоревших углеводородов;
- технически однозначное определение эмиссии твердых частиц.

Устройства для разбавления ОГ воздухом

Один из двух различных по конструкции, но одинаковых по производительности насосов обычно используется для постоянного объемного расхода при испытании. Во-первых, это стандартный нагнетатель, откачивающий смесь ОГ и воздуха через сопло Вентури, а во-вторых, это роторно-поршневой воздухонагнетатель (воздуходувка Рута). Оба устройства обеспечивают достаточно точное определение объёмного расхода смеси.

Испытания дизельных автомобилей

С 1975 г. в США все дизельные автомобили должны испытываться по методу CVS. Для этого необходимо было модифицировать способ отбора проб ОГ и аналитическое оборудование, используемое для измерения содержания в ОГ углеводородов. Для того чтобы исключить конденсацию в пробах газа тяжелых плохо испаряющихся углеводородов или повторную конденсацию уже сконденсировавшихся углеводородов в ОГ, необходимо обеспечить нагрев всей системы забора проб ОГ примерно до 190 °C.

Включение требований по предельно допустимому выбросу твердых частиц в нормы по эмиссии ОГ привело к необходимости модификации метода CVS. Для этого в измерительное оборудование был интегрирован туннель разбавления с высокой внутренней турбулентностью потока (число Рейнольдса > 40 000) и дополнен соответствующими фильтрами для сбора эмиссии твердых частиц.

Принципы измерения

Все государства, включившие в свои нормы по эмиссии ОГ метод CVS, используют унифицированные принципы испытаний для анализа отдельных компонентов ОГ и других эмиссий:

- определение концентрации CO и CO_2 недисперсионными инфракрасными газоанализаторами (NDIR);
- определение концентрации NO_x на основе принципа хемилюминесценции (CLD);
- гравиметрическое количественное определение эмиссии твердых частиц (кондиционирование и взвешивание фильтров до и после отбора проб);
- определение общей концентрации углеводородов с помощью пламенно-ионизационного метода (FID).

Проверка эмиссии паров топлива

Независимо от вредных веществ, образующихся в двигателе при сгорании топлива, автомобиль с бензиновым двигателем выбрасывает дополнительное количество углеводородов (CH) за счет испарения топлива из топливного бака и топливной системы. Количество эмиссии этих паров зависит от конструктивных особенностей автомобиля и температуры топлива. В некоторых государствах (например, в США и странах Европейского союза) существуют нормы, ограничивающие эти потери топлива за счет испарения.

Принцип проверки

Определение эмиссии паров топлива обычно осуществляется в газонепроницаемой камере SHED (Sealed House for Evaporation Determination). Для этой цели концентрация CH определяется в начале и конце испытания, а разность этих концентраций определяет потери топлива за счет его испарения.

Измерения эмиссии паров топлива производятся при нескольких или при всех ниже перечисленных режимах работы (в зависимости от норм, принятых в разных странах):

- парения топлива из топливной системы вследствие колебаний температуры на протяжении дня (страны ЕС и США) — «проверка вентиляции топливного бака» или «Diurnal-Test» (суточный тест);
- испарения топлива из топливной системы после выключения прогретого двигателя (страны ЕС и США) — «испытания при неработающем прогретом двигателе» или «Hot Soak» (испарение топлива при горячем двигателе);
- испарения во время движения автомобиля (США) — «Running-Loss-Test» (испытания потерь топлива на испарение при движении).

Измерение эмиссии паров топлива производится во время детально прописанного испытательного процесса в несколько этапов. Испытание начинается после предварительного кондиционирования автомобиля, включая подготовку к работе резервуара с активированным углем и заполнение топливного бака на 40%.

Методы испытаний

Первое испытание: потери топлива на испарение при прогретом двигателе

Для определения эмиссии паров топлива на этой стадии испытаний двигатель автомобиля перед испытанием сначала нагревается до нормальной рабочей температуры за счет выполнения ездового цикла, принятого в данной стране. Затем автомобиль размещается в камере SHED. Измерением определяется повышение концентрации CH в течение одного часа во время снижения температуры двигателя.

При испытании должны оставаться открытыми окна и крышка багажника. Таким способом определяются также потери топлива за счет испарения из салона автомобиля.

Второе испытание: потери за счет вентиляции топливного бака

При этом испытании в герметично закрытой климатической камере воспроизводится температура жаркого летнего дня (максимальная температура для нормы ЕС 35°C; нормы EPA 35,5°C; стандарта CARB 40,6°C). При этом отбираются углеводороды, выделяемые автомобилем.

В США должны проводиться как двухсуточные (48 часов), так и трехсуточные (72 часа) испытания, в то время как нормы ЕС предусматривают 24-часовые испытания.

Потери топлива на испарение при движении автомобиля

Предшествующее испытанию при прогретом выключенном двигателе, испытание на испарение топлива во время движения автомобиля позволяет оценить эмиссию углеводородов в условиях дви-

жения автомобиля в соответствии с требованиями ездовых циклов (один раз — FTP 72, два раза — NYCC, один раз — FTP 72; см. раздел «Испытательные ездовые циклы США»).

Предельные значения эмиссии паров топлива

Нормы ЕС

Сумма результатов измерений, полученных при первом и втором испытаниях, представляет потери топлива за счет его испарения. Эта сумма должна быть ниже действующей в настоящее время нормы допустимого значения, равного 2 г за всю серию испытаний.

Нормы США

Стандартами и нормами в США (CARB и EPA Tier 1) устанавливается, что потери топлива за счет испарения при движении автомобиля не должны превышать 0,05 г на милю.

Другими нормами являются:

- при двухсуточном испытании — 2,5 г (сумма результатов первого и второго испытаний);
- при трехсуточном испытании — 2,0 г (сумма результатов первого и второго испытаний).

Эти предельные значения эмиссии паров топлива должны соблюдаться при пробеге свыше 160 тыс. км.

Агентство EPA приняло решение о дальнейшем ужесточении предельных значений в рамках требований Tier 2:

- при двухсуточном испытании — 1,2 г (сумма результатов первого и второго испытаний);
- при трехсуточном испытании — 0,95 г (сумма результатов первого и второго испытаний).

Эти предельные значения эмиссии паров топлива должны сохраняться при пробеге свыше 192 тыс. км. Они будут вводиться поэтапно, начиная с автомобилей 2004 г. выпуска и на 100% будут действовать с 2007 г. выпуска.

Другие испытания

Проверка эмиссии паров топлива при заправке автомобиля

При заправке автомобиля с целью контроля потерь топлива на испарение измеряется эмиссия CH (предельное значение — 0,053 г CH на 1 л заливаемого в бак топлива).

В США эта проверка включена как в стандарт CARB, так и в нормы EPA.

Проверка потерь топлива за счет его разбрызгивания при заправке автомобиля

При этой проверке измеряется количество разбрызгиваемого топлива, приходящегося на одну заправку. При этом топливный бак должен быть заполнен как минимум на 85%.

Эта проверка проводится только тогда, когда были не выполнены нормы на потери топлива за счет его испарения при заправке (предельное значение — 1 г CH на испытание).

Технология технического обслуживания

Внимание!
Эта глава дает представление о технологии технического обслуживания автомобиля, но не может заменить руководство по ремонту! Ремонт должен всегда выполняться квалифицированными специалистами!

Для оказания необходимой помощи владельцам автомобилей существует свыше 10 тыс. сервисных центров фирмы Bosch в 132 странах. Эти центры не представляют интересов каких-либо определенных производителей автомобилей. На быструю помощь можно рассчитывать даже в малонаселенных странах Африки и Южной Америки. Везде действует одинаковый стандарт качества обслуживания. Само собой разумеется, что гарантия фирмы Bosch распространяется на все автомобили, обслуживаемые в любой стране мира.

Обзор

Технические характеристики всех компонентов и систем Bosch точно соответствуют требованиям, предъявляемым к каждому автомобилю. Для проведения необходимых испытаний и проверок фирма Bosch разрабатывает соответствующее испытательное оборудование, специальный инструмент и технологию диагностики.

Универсальные контрольные приборы Bosch — от простых тестеров аккумуляторов до комплексных испытательных боксов для автомобилей — используются во всем мире на предприятиях автосервиса и в диагностических центрах. Персонал этих центров обучается рациональным методам применения технологии испытаний, а также использования информации о различных системах автомобилей. Пожелания клиентов этих сервисных центров учитываются при совершенствовании технологий.

Сеть предприятий автосервиса (AWN)

Технология проведения испытаний

Если механические системы автомобиля могут диагностироваться с помощью относительно простого общепринятого оборудования, то возрастающая сложность электронных систем в современном автомобиле привела к необходимости использования новых методов диагностики на базе устройств электронной обработки данных (EDV). Будущее принадлежит

1 Сеть предприятий автосервиса (AWN)

технике, при которой все устройства EDV, имеющиеся на предприятиях автосервиса, будут соединены между собой в одну интегрированную сеть (рис. 1). Этот проект фирмы Bosch получил в 1998 г. премию за инновацию в области автомеханики в категории «Автосервис».

Процесс испытания

Сразу при получении заявки на обслуживание автомобиля система EDV делает немедленный запрос в базу данных о всей имеющейся в ней информации об автомобиле. Благодаря этому при приемке имеется в распоряжении вся история автомобиля, со всеми проведенными в прошлом работами по его техническому обслуживанию и ремонту.

Отдельные диагностические приборы позволяют получить сведения, необходимые для прямого сравнения полученных данных с установленными параметрами без дополнительных вводов. Все проведенные работы и перечень замененных деталей регистрируются для выдачи счета. После завершающего дорожного испытания счет может быть выдан путем нажатия нескольких клавиш. Система дополнительно распечатывает результаты диагностики автомобиля. В итоге клиент получает полный протокол о всех проведенных работах и затратах на материалы при ремонтных операциях.

Электронная сервисная информация ESI(tronic)

Большое количество марок и типов автомобилей потребовало создания систем управляющих данных (например, номеров запасных частей, контрольных параметров и т. д.). Большие массивы таких данных сгруппированы на микрофишах. К ним можно получить доступ с помощью устройств для считывания микрофиш. Эти устройства являются стандартным оборудованием каждого предприятия автосервиса.

В 1991 г. фирма Bosch ввела систему ESI(tronic) (Electronic Service Information — электронная сервисная информация) на компакт-дисках (CD-ROM) для применения в персональных компьютерах. С помощью системы ESI(tronic) можно существенно увеличить объем массива базы данных. Благодаря этому данная система по сравнению с микрофишами обеспечивает расширенные возможности применения. Она может быть также включена в схему электронной обработки данных.

Применение

Сегодня пакет программ ESI(tronic) используется персоналом предприятия автосервиса при выполнении всей номенклатуры ремонтных работ для получения следующей информации:

- идентификация запасных частей (например, соответствие между кодовым числом запасной части и данной моделью автомобиля);
- рабочие параметры;
- инструкции по ремонту;
- электрические схемы автомобиля;
- условия проверок;
- диагностика автомобиля.

Для диагностики и выявления неисправности персонал автосервиса может выбрать один из двух вариантов диагностического оборудования: мобильная высокопроизводительная диагностическая система KTS500 или стенд KTS500C, связанный с установленным на предприятии автосервиса персональным компьютером (диагностическая станция). Последняя система состоит из платы адаптера персонального компьютера, сменной карты (KTS-Card) и модуля измерения напряжения, силы тока и сопротивления. Посредством интерфейса система ESI (tronic) соединяется с электронными системами автомобиля, например, с блоком управления двигателем. Работая на персональном компьютере, специалист автосервиса, после запроса инструкции по поиску неисправностей SIS (Service Information System), может запустить диагностику бортовых устройств управления и иметь доступ к запоминающему устройству о неисправностях в блоке управления двигателем. Система ESI (tronic) использует результаты диагностики как базу для выработки соответствующих инструкций по ремонту. Кроме того, мо-

жет выдаваться и другая информация, например, месторасположение отдельных элементов, изображение отдельных деталей узлов, схемы электрических, пневматических и гидравлических систем и т. д. С помощью персонального компьютера специалист может затем на основе списка запасных частей, выведенного на дисплей, заказать требуемую для замены деталь.

Диагностика бортовых блоков управления

Каждая электронная система управления на автомобиле (например, Motronic) снабжена системой диагностики электронного блока управления, с помощью которой возможен детальный контроль за работой электронной системы.

1 Диагностический стенд KTS500C

Испытательное оборудование

Для проведения эффективной проверки функционирования системы необходимо специализированное диагностическое оборудование. Если раньше систему впрыска еще можно было проверить простыми измерительными приборами (например, мультиметром), то сегодня, из-за постоянного совершенствования электронных систем, необходимо применение комплексных диагностических приборов. На предприятиях автосервиса широкое распространение получило диагностическое оборудование серии KTS, например, мобильная диагностическая система KTS500 или диагностический стенд KTS500C, используемый совместно с системой ESI(tronic) (рис. 1). Это оборудование предоставляет разнообразные возможности для их применения в автосервисе за счет использования диагностической и измерительной систем с графическими отображениями, например, результатов измерения. Ниже это диагностическое оборудование будет именоваться системным тестером.

Функции диагностической системы KTS500

Система KTS500 обеспечивает выполнение множества функций, доступ к которым осуществляется с помощью меню на дисплее большого формата путем ввода кода доступа. Далее перечисляются важнейшие функции, которыми располагает система KTS500.

Считывание кодов неисправностей: система KTS500 может использоваться для считывания этих кодов, хранящихся в памяти блока управления, при проведении диагностики неисправности — коды неисправностей показываются на экране монитора в виде обычного расшифрованного текста.

Считывание фактических значений: контролируемые данные, например, результаты процесса обработки информации в блоке управления двигателем, преобразуются в физические единицы (например, частота вращения коленчатого вала в $мин^{-1}$).

Функции мультиметра: могут измеряться сила тока, напряжение и сопротивление.
Кривые изменения контролируемых данных: эти данные (например, напряжение лямбда-зонда) могут изображаться графически в виде кривой изменения сигнала, сравнимой с той, которая может быть получена на осциллографе.
Дополнительная информация: специальная информация, относящаяся к отдельным элементам и выявленным неисправностям, также может быть выбрана для вывода на дисплей (например, размещение элементов, контрольные параметры, электрические коммутационные схемы).
Распечатка: все данные могут распечатываться на обычном принтере DIN-A4-PC (с перечнем результатов испытаний, являющимся документом для клиента).

Возможности диагностической системы KTS500 используются на предприятиях автосервиса в зависимости от проверяемой системы автомобиля. При этом не все системы автомобиля могут обеспечивать полную функциональность этой диагностической системы.

Другое преимущество системы KTS500 заключается в возможности подсоединения диагностики блока управления к системе электронной сервисной информации ESI(tronic) через устройство CAS (Computer-Aided Service). В этом случае от интерфейса ESI(tronic), как часть процесса поиска неисправностей, подключается диагностика блока управления. Возможные коды неисправностей показываются в системе ESI(tronic) для использования при выполнении ремонтных операций.

Стандартные методы обслуживания

Основные методы диагностики всех электронных систем одинаковы. Наиболее важным оборудованием является системный тестер, который посредством диагностического интерфейса подключается к электронным блокам управления в автомобиле.

Идентификация автомобиля

Вначале должна быть выбрана модель автомобиля. Эта информация вводится в системный тестер, что дает возможность доступа к данным, требуемым для проведения испытаний конкретного автомобиля.

Считывание кода неисправностей

Большинство систем в автомобиле снабжены диагностикой блока управления, что позволяет проверять электрические схемы на отсутствие сбоев в работе. Распознанная неисправность в виде кода постоянно сохраняется в запоминающем устройстве вместе с данными:

- о контуре с неисправностью (например, датчик температуры двигателя);
- о виде неисправности (например, короткое замыкание на «массу», недостоверный сигнал);
- о статусе неисправности (например, постоянно регистрируемый или периодически возникающий дефект);
- о внешних условиях (данные о частоте вращения коленчатого вала, температуре и т. д., которые контролируются при хранении кода неисправности).

Программа «Память неисправностей» может быть выбрана для передачи данных от блока управления в системный тестер. Информация о неисправностях выводится на дисплей в виде расшифрованного текста параллельно с указанием контура с этой неисправностью, местоположения, статуса неисправности и т. п.

Поиск неисправностей

Не все причины сбоев в работе двигателя могут быть установлены диагностикой блока управления. Специалисты автосервиса должны также быстро и надежно диагностировать и устранять неисправность.

В обоих случаях (с внесением кода неисправностей в запоминающее устройство неисправностей или без этого внесения) система ESI(tronic) способствует выполнению процесса диагностики. Существуют инструкции по диагностике, охватываю-

щие все возможные проблемы (например, неравномерная работа двигателя), а также специфические дефекты (например, короткое замыкание в датчике температуры двигателя и т. п.).

Устранение неисправностей

После локализации причины неисправности за счет информации, получаемой из системы ESI(tronic), выполняется работа по устранению этой неисправности.

Стирание кодов неисправностей из памяти

После устранения неисправности, соответствующий ее код должен быть стерт из памяти. Это выполняется за счет запуска функции «Стирание кода неисправности из памяти» в системном тестере.

Дорожные испытания

На следующей стадии осуществляются дорожные испытания, призванные подтвердить устранение неисправности. Во время этих испытаний система диагностики блока управления проверяет систему и вводит информацию о любой другой неисправности в память в виде нового кода неисправности.

2 Иллюстрация диагностических функций с помощью тестера KTS500

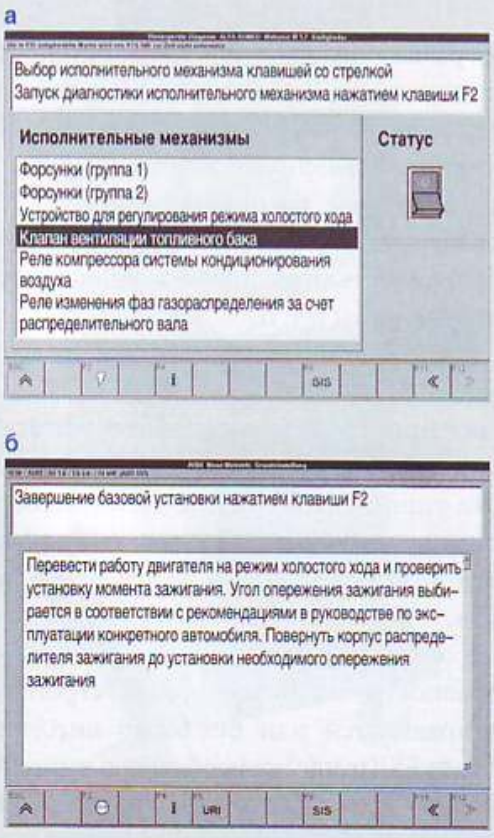


Рис. 2
а — запуск диагностики исполнительного механизма
b — проверка установки момента зажигания

Проверка запоминающего устройства неисправностей

После дорожного испытания память в запоминающем устройстве проверяется еще раз. Оно должно быть теперь пустым, что указывает на успешное устранение дефекта.

Другие методы диагностики

Системный тестер KTS500, кроме своих стандартных функций, предоставляет и другие возможности диагностики электронных систем. Он запускает функции, а блок управления выполняет их.

Диагностика исполнительных механизмов

Многие функции блоков управления (например, вентиляция топливного бака) действуют только при определенных условиях работы автомобиля. Это означает, что невозможно включить в действие (без использования вспомогательных средств) каждый исполнительный механизм (сервоустройство) для индивидуальной проверки его работоспособности (например, продувочный клапан резервуара с активированным углем).

С помощью системного тестера можно включить исполнительные механизмы для проверки их функционирования в условиях мастерской (рис. 2а). Их эффективная работа может быть затем подтверждена за счет акустической или визуальной обратной информации.

С помощью диагностики исполнительных механизмов проверяется вся электрическая цепь от блока управления двигателем через пучок проводов к исполнительному механизму, а также функциональность самого исполнительного механизма.

Диагностика исполнительных механизмов, как правило, проводится на стоящем автомобиле в определенные ограниченные периоды времени. Это ограничение по времени служит для устранения повреждений исполнительных механизмов и привод-

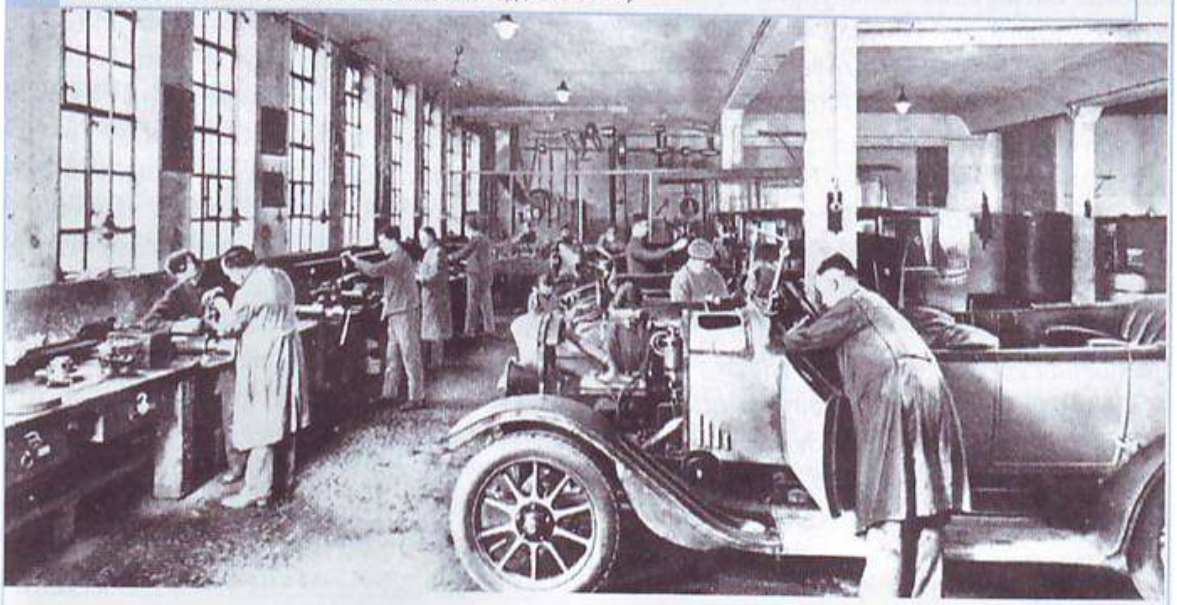
Организация технического обслуживания по всему миру

«Когда ты впервые поедешь в автомобиле, то вскоре поймешь, что с лошадьми это невероятно скучнее… Но автомобиль нуждается в заботливом хорошем механике…».

Роберт Бош писал эти строки своему другу Паулю Ройшу в 1906 г. Тогда возникавшие в действительности поломки могли устраняться дома шофером или механиком. Однако после первой мировой войны, с ростом числа самостоятельно ездящих автомобилистов, появилась потребность в службах автосервиса. В 20-е гг. Роберт Бош начал создавать всеобъемлющую сеть технического обслуживания автомобилей. В Германии в 1926 г. эти центры автосервиса получили в качестве фирменного товарного знака единое название «Bosch-Dienst» (служба Боша).

Станции автосервиса фирмы Bosch сегодня называются «Bosch Car Service». Они оснащены самыми современными электронными приборами, соответствующими требованиям современной технологии автомобилей и запросов клиентов.

1 Процесс ремонта автомобилей в 1925 г. (фото: Bosch)



2 Станция технического обслуживания автомобилей Bosch Car Service в 2001 г., оснащенная современным диагностическим оборудованием.

ных электродвигателей. Форсунки включаются также на минимальное время, для того чтобы не вызвать повреждения каталитического нейтрализатора впрыснутым топливом.

Проверка управляющих сигналов

При возникновении неисправности специалист может использовать осциллограф для проверки характеристики сигналов на включение. Это, прежде всего, относится к тем механизмам, которые не включены в систему диагностики исполнительных механизмов.

Новые диагностические функции современных блоков управления

Базовая настройка блока управления

При базовой настройке блок управления двигателем инициируется для определения закрытого положения дроссельной заслонки EGAS (после замены деталей в результате ремонта).

На рис. 2b показан экран дисплея тестера KTS500 с информацией о реализации этой функции.

Свободная схема соединений блока управления (вариантное кодирование)

При установке нового блока управления двигателем в него должны быть введены правильные коды неисправностей в автомобиле.

Иммобилайзер

После замены блока управления двигателем или устранения неисправности в нем иммобилайзер должен быть заново настроен для работы с новым блоком управления.

Момент переключения передач

В автомобилях с автоматической трансмиссией момент переключения передачи должен быть определен и отрегулирован с помощью блока управления.

Диагностика системы зажигания

Если возникают нарушения в работе бензинового двигателя, то локализовать неисправность и связать ее причину с системой зажигания не всегда просто. Система зажигания должна воспламенять рабочую смесь, обладающую максимально возможной гомогенизацией. Поэтому внутри всей этой системы могут происходить функциональные неисправности, которые являются следствием несоответствия между процессами смесеобразования и воспламенения в результате работы системы зажигания.

Система зажигания на всем диапазоне рабочих режимов бензинового двигателя подвергается очень динамичным

Внимание!
Общее правило: в системе зажигания во время работы двигателя первичная и вторичная электрические цепи находятся под высоким напряжением и поэтому к ним ни в коем случае нельзя прикасаться!
Проведение любых работ должно осуществляться исключительно лицами, обладающими необходимой квалификацией!
Следует соблюдать соответствующие инструкции по безопасности, касающиеся обращения с приборами высокого напряжения!

1 Характер протекания процесса зажигания (вторичная цепь) шестицилиндрового двигателя с двухискровыми катушками зажигания в пространственном (3D) изображении при частоте вращения коленчатого вала 760 мин$^{-1}$

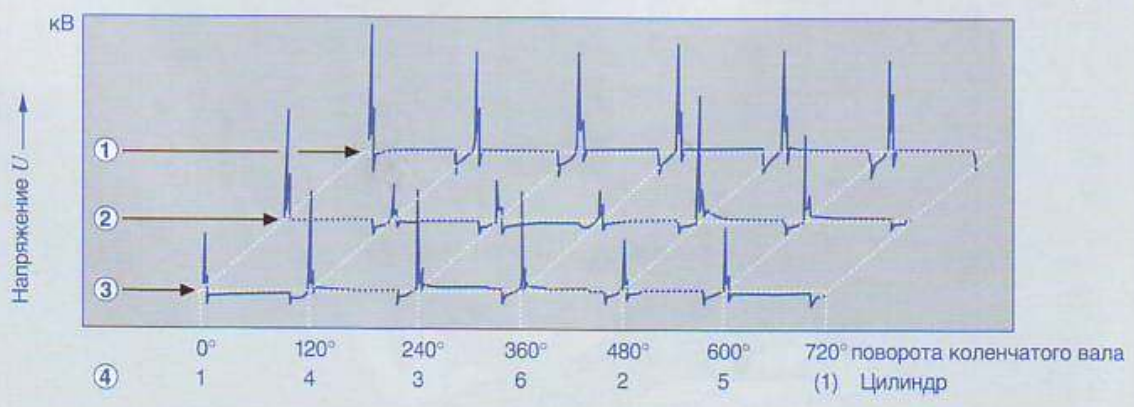


Рис. 1
1 — процесс зажигания с перекрытием основного и дополнительного искровых разрядов
2 — приемлемый вариант: основная искра в цилиндрах 1, 2 и 5; дополнительная искра в цилиндрах 4, 3 и 6
3 — неприемлемый вариант: основная искра в цилиндрах 4, 3 и 6; дополнительная искра в цилиндрах 1, 2 и 5
4 — порядок зажигания 1-4-3-6-2-5

воздействиям. В зависимости от угла опережения зажигания, частоты вращения коленчатого вала, коэффициента наполнения цилиндров, давления наддува, состава рабочей смеси и т. д., требуется разное напряжение для создания искры на свече зажигания. В результате этого диагностика спорадически возникающих неисправностей сильно затруднена.

Система зажигания бензинового двигателя должна всегда рассматриваться как единая система, состоящая из управления зажиганием (Motronic), задающего каскада зажигания, катушки зажигания, свечей зажигания и всех соединительных элементов.

Поиск неисправностей облегчается за счет использования инструкций по ремонту, вводимых в ESI(tronic). Проверка основных функций системы зажигания (например, базовой установки опережения угла зажигания) проводится при помощи тестеров –от портативных тестеров до комплексных диагностических систем с множеством функций, включающих, например, анализ ОГ, проверку с помощью осциллографа и др. Стационарные тестеры оборудованы мониторами анализа сигналов, поступающих от первичной и вторичной электрических цепей нескольких катушек зажигания одновременно. Работа системы зажигания шестицилиндрового двигателя с двухискровыми катушками зажигания изображается в виде осциллограммы на сетке координат (рис. 1). Для контроля работы отдельного цилиндра осциллограф может быть переключен на соответствующий режим.

Другую помощь при поиске неисправностей оказывает функция определения погрешностей по характеру сигналов, поступающих от первичной и вторичной электрических цепей. При этом изучается характеристика сигнала, записываемого за несколько последних секунд перед нажатием клавиши запоминающего устройства. В результате этого можно, например, сравнивать непосредственно между собой напряжение зажигания и действие искрового разряда в отдельных цилиндрах, что может помочь при локализации неисправности.

Диагностика катушек зажигания

Катушка зажигания является необслуживаемым компонентом системы зажигания, который обычно надежно работает на протяжении всего срока службы автомобиля.

Диагностика неисправностей

Возникающие сбои в работе катушки зажигания могут вызвать перебои в сгорании, что приводит к неравномерной работе двигателя. В этом случае должны быть проверены провода, подводимые к катушке зажигания, и высоковольтные провода, идущие от катушки зажигания к свечам зажигания, на надежность контактов (визуальная проверка).

Распознать наличие неисправности внутри катушки зажигания бортовая диагностика (OBD) системы управления двигателем способна не всегда. Дефект во внутренней изоляции катушки зажигания может, например, при очень высоком потребном напряжении зажигания привести к переносу искрового разряда со свечи зажигания внутрь самой катушки зажигания. Такие дефекты не распознаются ни с помощью диагностики OBD, ни визуальным осмотром.

Последствия неисправностей в катушке зажигания

Дефекты катушки зажигания можно подразделить на различные категории: полный выход из строя, ухудшение работоспособности, спорадическое возникновение неисправностей.

Полный выход из строя катушки зажигания

При роторном контактном распределителе зажигания выход из строя катушки зажигания приводит к полной остановке автомобиля. В системах без распределителя зажигания при дефектной катушке зажигания одного цилиндра перемещение поршня будет осуществляться за счет работы остальных цилиндров. Современные системы управления двигателем при

таком функциональном нарушении отключают подачу топлива в соответствующий цилиндр, для того чтобы избежать повреждения каталитического нейтрализатора. Хотя двигатель при этом будет работать неравномерно, автомобиль все же сможет проследовать на станцию технического обслуживания своим ходом.

Ухудшение работоспособности катушки зажигания

При определенных режимах работы двигателя требуется повышенная потребность в энергии и напряжении зажигания. При этих условиях возникают спорадические перебои в сгорании, когда не достигается требуемый уровень напряжения зажигания или достаточная продолжительность искрового разряда. Этот дефект очень трудно локализовать как при наличии в системе распределителя зажигания, так и без него, т. к. из-за износа элементов и изменения условий работы возникают различные взаимосвязанные проблемы.

В этом случае преимуществом обладают системы, т. к. такие неисправности распознаются диагностическими функциями двигателя.

Спорадически возникающие неисправности катушки зажигания

В этом случае регистрируется неравномерная работа двигателя и перебои в зажигании по всему диапазону нагрузок и частоты вращения коленчатого вала, причем это наиболее ярко выражено в двигателях с контактно-роторным распределением зажигания. Диагностические функции современных систем управления двигателем, как правило, распознают эти неисправности с идентификацией соответствующего цилиндра.

Признаки дефектной катушки зажигания

Дефектная катушка зажигания распознается по нижеследующим признакам.

Отсутствует искровой разряд

Это позволяет сделать вывод о разрыве в первичной обмотке, в соединительных проводах или в задающем каскаде зажигания, либо о внутреннем коротком замыкании высоковольтной цепи на «массу».

→ Не генерируется высокое напряжение.

Нагрев катушки зажигания при неработающем двигателе

Указывает на наличие короткого замыкания в задающем каскаде зажигания или на «массу» между клеммой 1 и задающим каскадом зажигания.

Внимание: возможна опасность возгорания проводов и выхода из строя катушки зажигания!

Сильный нагрев катушки зажигания при работе двигателя

Причина может быть в коротком замыкании между несколькими витками одной из обмоток или неправильном их подключении.

Внимание: возможна опасность возгорания проводов и выхода из строя катушки зажигания!

Перебои в зажигании или неравномерная работа двигателя при определенных диапазонах нагрузки/частоты вращения коленчатого вала

Пониженное высокое напряжение:

→ катушка зажигания не обеспечивает установленных характеристик зажигания.

Поврежденная изоляция высоковольтных элементов или износ электродов свечей зажигания могут также привести к этим последствиям.

Замена катушки зажигания

Катушка зажигания является составной частью системы зажигания, в которой все элементы по своим электрическим характеристикам адаптированы друг к другу. Поэтому при замене катушки зажигания очень важно обеспечить совместимость электрических характеристик катушки и остальных элементов системы зажигания.

Применение катушки зажигания с несоответствующими характеристика-

ми может привести к следующим дефектам или повреждениям системы:

- выход из строя задающих каскадов зажигания в блоке управления двигателем из-за токов слишком большой силы;
- разрушение катушки зажигания токами слишком большой силы;
- преждевременный износ электролитов свечей зажигания;
- сбои в работе двигателя и перебои в зажигании;
- повреждение или выход из строя каталитического нейтрализатора;
- повреждение двигателя, например, из-за отсутствующего диода EFU.

Инструкция по применению

Общие сведения

Ко всем поставляемым фирмой Bosch пластмассовым катушкам зажигания прилагаются инструкции по применению. Несоблюдение инструкций может привести к повреждению катушки зажигания, сбоям в работе или повреждению других элементов системы зажигания и, как следствие, перебоям в зажигании или полному выходу из строя всей системы зажигания. Возможны последствия в виде повреждения двигателя, систем впрыска и выпуска. В исключительных случаях может произойти полное разрушение пластмассового корпуса катушки зажигания и соединительных проводов первичной обмотки, в результате чего существует опасность возгорания.

По этим причинам никогда нельзя использовать поврежденные или электрически неправильно подсоединенные катушки зажигания, а также катушки, бывшие в употреблении!

Пластмассовые катушки зажигания Bosch разработаны и испытаны для применения на автомобильных двигателях. Другое использование (например, в авиации или на лодочных моторах) лежит на полной ответственности пользователя.

Транспортировка и упаковка

Пластмассовые катушки зажигания должны перевозиться в упаковке рекомендованных типов и в сухих условиях. Упаковка не обеспечивает защиту от ударного воздействия (например, от падения коробки). При извлечении катушки из упаковки следует обращать внимание на то, чтобы резиновый наконечник, защитная оболочка или вывод высокого напряжения не были поцарапаны или надрезаны.

При падении пластмассовой катушки зажигания она должна быть отделена от остальных катушек в упаковке.

Установка и снятие катушки зажигания

Сильные удары (например, удары молотком) или другие силовые воздействия при установке и снятии катушки (например, неквалифицированный отжим монтировкой) недопустимы. Должны применяться только предусмотренные для этих целей инструменты. Всегда должны соблюдаться установленный момент затяжки крепежных соединений и все инструкции, касающиеся монтажной поверхности, для того чтобы избежать повреждений пластмассовой катушки зажигания или ослабления креплений во время движения автомобиля.

Смазка (тальк или специальная смазка) в резиновом наконечнике, защитной оболочке или выводе высокого напряжения предназначена для предотвращения склеивания их поверхностей с изолятором свечи зажигания и поэтому не должна удаляться. При замене смазки должна использоваться только та, что рекомендована изготовителем свечи.

Изменения в электропроводах первичной цепи (жгут проводов), касающиеся веса, жесткости, свободной длины и т.д., могут привести к их перенатяжению и, в результате, к повреждению или перелому штекерных соединений.

Хранение

Пластмассовые катушки зажигания должны храниться, по возможности, в оригинальной упаковке в сухом и чистом помещении при комнатной температуре.

Большие колебания температуры при высокой влажности воздуха могут привести к образованию конденсата на поверхности катушки. По этой причине перед ее установкой предусматривается достаточное время для выравнивания температуры и высыхания, для того чтобы избежать попадания влаги на высоковольтные соединения и разъемы первичной цепи, что приводит к развитию контактной коррозии.

Пространство для размещения катушки зажигания

Наличие острых краев или выступающих металлических кромок вблизи от местоположения высоковольтных элементов катушки зажигания может привести к появлению чрезмерных коронных разрядов и поэтому эти края и кромки должны удаляться. Между высоковольтными элементами и поверхностями любого конструктивного узла двигателя всегда должно соблюдаться минимальное расстояние в 2 мм.

В стержневых катушках зажигания вторичная обмотка прикрыта металлом для обратного замыкания и таким образом экранирована. Минимальное расстояние до металла обратного замыкания не требуется.

Электрические соединения и эксплуатация

Должны быть обеспечены надежные соединения с правильным их размещением. Ослабленные контакты в высоковольтных соединениях приводят к возникновению искровых дорожек, которые снижают напряжение зажигания и вызывают разрушение самих соединений.

В первичной обмотке всегда должно обеспечиваться правильное подсоединение проводов к клеммам. Неправильная полярность может привести к коротким замыканиям в задающих каскадах зажигания и полностью вывести из строя катушку зажигания и провода, идущие к первичной цепи.

Ни в коем случае — в том числе и с целью проверки — не подключайте катушку зажигания напрямую к аккумулятору.

Катушка зажигания не должна эксплуатироваться со снятым разъемом свечи зажигания (без вторичной нагрузки), т. к. в ином случае за счет экстремально высокого напряжения будет превышена прочность изоляции катушки зажигания, что приведет к постоянной неисправности всей катушки. Кроме того, при прикосновении к поверхности катушки открытого резинового наконечника, открытой защитной оболочки или разъема свечи зажигания возникающий электроискровой разряд является опасным для жизни!

Наружный железный сердечник или металл для обратного замыкания должен, как правило, соединяться с «массой». Отсутствующий или недостаточный контакт с «массой» приводит к накоплению чрезмерно высокого электрического заряда и неконтролируемому разряду его на железный сердечник или металл для обратного замыкания. Последствия: опасность для человека при прикосновении, сбои в работе или повреждения системы зажигания или других электрических элементов автомобиля и негативное воздействие на коммуникационную электронику. За счет отсутствия соединения с «массой» могут быть также повреждены внутренние конструктивные элементы катушки зажигания и в особых случаях это может привести к выходу из строя всей катушки зажигания. Если катушки зажигания не подсоединены к «массе», то они должны быть заменены.

Обслуживание свечей зажигания

Установка свечи зажигания

При правильных установке и выборе типа свечи зажигания она будет надежно работать в системе зажигания.

Регулирование зазора между электродами рекомендуется проводить только на свечах зажигания с передними электродами. При свечах зажигания с поверхностным или полуповерхностным искровыми промежутками зазоры между электродами никогда не должны изменяться.

Выворачивание свечи зажигания

При необходимости замены свечи зажигания ее вначале выворачивают на несколько оборотов. Затем свеча очищается сжатым воздухом или щеткой, для того чтобы частички грязи не могли попасть в свечное резьбовое отверстие в головке блока цилиндров и в камеру сгорания. Лишь после этого свеча зажигания выворачивается полностью.

Во избежание повреждения резьбы свечного отверстия в головке блока цилиндров из-за пригорания или заедания свечи в этом отверстии, она, при ее выворачивании, сначала только страгивается с места. Затем на витки резьбы наносят масло или растворитель и снова заворачивают свечу зажигания до упора, чтобы через короткое время воздействия этих веществ полностью ее вывернуть.

Установка новой свечи зажигания

При установке новой свечи зажигания следует обратить внимание на следующее:

- контактные поверхности между свечой зажигания и двигателем должны быть чистыми и свободными от всех видов загрязнений;
- свечи зажигания Bosch обработаны антикоррозийным маслом, поэтому нет необходимости в дополнительном смазочном средстве. Так как резьба свечи имеет никелевое покрытие, свеча не заедает и не пригорает в свечном отверстии при нагреве.

Свечи зажигания должны заворачиваться динамометрическим ключом с соблюдением приведенного в табл. 1 момента затяжки, который передается от шестигранника корпуса свечи на посадочную поверхность и резьбу.

Если из-за слишком большого момента затяжки или искривления свечного ключа деформируется корпус свечи зажигания, то может быть поврежден изолятор свечи. В результате этого нарушаются тепловые характеристики свечи зажигания, что может привести к повреждению двигателя. Поэтому момент затяжки не должен превышать определенной величины. Моменты затяжки в табл. 1 приведены для новых свечей зажигания, т. е. для свечей зажигания, слегка смазанных маслом. На практике эта работа часто выполняется без динамометрического ключа. В результате свечи зажигания чаще всего бывают затянуты слишком сильно. В связи с этим фирма Bosch рекомендует действовать в соответствии со следующими основными правилами:

Во-первых: свеча зажигания на максимально возможную глубину заворачивается в очищенное резьбовое отверстие от руки, а затем уже используется свечной ключ. При этом следует различать:

- новые свечи зажигания с плоской посадочной поверхностью, которые, после возникновения противодействия, доворачиваются еще примерно на угол 90° (рис. 1);
- бывшие в употреблении свечи зажигания с плоской посадочной поверхностью, которые окончательно доворачиваются на угол 30°;
- свечи зажигания с конусовидной посадочной поверхностью, которые должны доворачиваться примерно на угол 15° (рис. 2).

Во-вторых: торцевые ключи при заворачивании или отворачивании свечи зажигания нельзя держать наклонно; в противном случае, из-за воздействия на изолятор

1 Моменты затяжки

Посадочная поверхность свечи зажигания	Резьба	Головка блока цилиндров из чугуна Момент затяжки, Н·м	Головка блока цилиндров из легкого сплава Момент затяжки, Н·м
Свеча зажигания с плоской посадочной поверхностью	M10×1	10...15	10...15
	M12×1,25	15...25	15...25
	M14×1,25	20...40	20...30
	M18×1,5	30...45	20...35
Свеча зажигания с конусовидной посадочной поверхностью	M14×1,25	20...25	15...25
	M18×1,5	20...30	15...23

Таблица 1

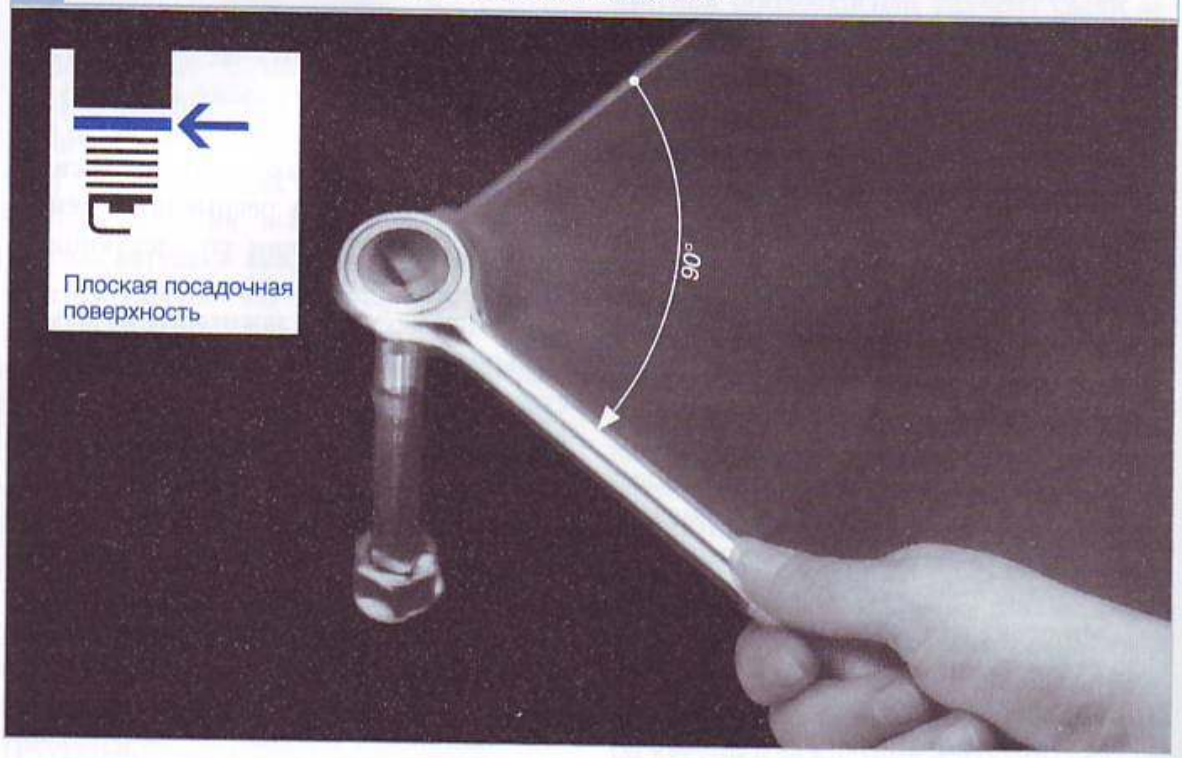
чрезмерных вертикальных или поперечных усилий, свеча зажигания становится непригодной.

В-третьих: при использовании свечных ключей с раздельной шестигранной головкой следует всегда следить за тем, чтобы стержень центрального электрода полностью входил в отверстие этой головки. Если отверстие недостаточно глубокое, это может привести к повреждению свечи зажигания.

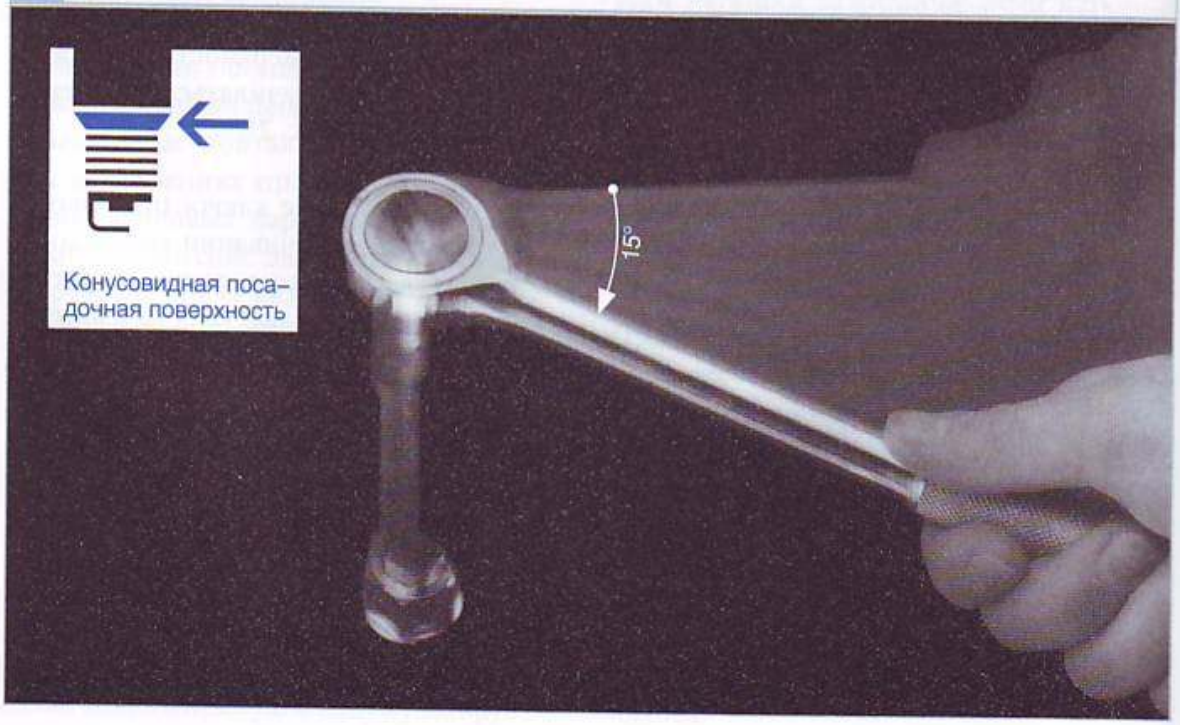
Неправильный выбор типа свечей зажигания и его последствия

В конкретном двигателе можно использовать только рекомендованные его изготовителем и фирмой Bosch свечи зажига-

1 Затяжка свечи зажигания с плоской посадочной поверхностью



2 Затяжка свечи зажигания с конусовидной посадочной поверхностью



ния. Для того чтобы исключить неправильный выбор, владельцу автомобиля необходимо проконсультироваться со специалистом в автосервисе Bosch. Кроме того, требуемую информацию можно получить из каталогов, руководств по применению, стендов в пунктах продажи и других подобных источников.

При применении неподходящих типов свечей зажигания могут возникнуть серьезные повреждения двигателя. Наиболее часто встречающимися ошибками при выборе типа свечи являются:

- несоответствующее калильное число свечи зажигания;
- несоответствующая длина резьбовой части свечи;
- модифицированная посадочная поверхность.

Несоответствующее калильное число

Калильное число обязательно должно соответствовать инструкции по эксплуатации свечей зажигания производителя двигателя или рекомендации фирмы Bosch. При несоблюдении требований может иметь место калильное зажигание в двигателе.

Несоответствующая длина резьбовой части свечи

Длина резьбовой части свечи зажигания должна соответствовать длине резьбового свечного отверстия в головке блока цилиндров. Если резьба слишком длинная, то свеча зажигания выдвигается слишком далеко в камеру сгорания. Возможные последствия:

- повреждения поршня;
- нагарообразование на витках резьбы свечи зажигания, что может сделать невозможным выворачивание свечи;
- перегрев свечи зажигания.

Если резьба слишком короткая, то свеча зажигания входит в камеру сгорания недостаточно. Возможные последствия:

- ухудшенное воспламенение топливовоздушной смеси;
- свеча зажигания не достигает своей температуры самоочищения;
- нижние витки резьбы в головке блока цилиндров покрываются слоем нагара.

Модифицированная посадочная поверхность

В свечах зажигания с конусовидной посадочной поверхностью нельзя использовать ни прокладку, ни уплотнительное кольцо. В свечах зажигания с плоской уплотнительной поверхностью можно применять только находящееся на свече зажигания несъемное уплотнительное кольцо. Его нельзя удалять или заменять прокладкой или шайбой. Без уплотнительного кольца свеча зажигания выдвигается в камеру сгорания слишком далеко. Поэтому нарушается теплопередача от корпуса свечи зажигания к головке блока цилиндров и герметизация между посадочной поверхностью свечи и блоком цилиндров.

Если используется дополнительное уплотнительное кольцо, то свеча зажигания выдвигается недостаточно глубоко в резьбовое отверстие, и теплопередача от корпуса свечи зажигания к головке блока цилиндров также ухудшается.

Оценка состояния свечи зажигания по ее внешнему виду

Внешний вид свечи зажигания позволяет оценить условия работы ее самой и двигателя. Внешний вид электродов и изоляторов свечи зажигания информирует о режиме работы свечи зажигания, а также о составе рабочей смеси и процессе сгорания в двигателе (см. рис. 3–5).

В связи с этим оценка этого внешнего вида свечей зажигания является существенным элементом диагностики двигателя. Но правильность этой оценки связана с некоторыми важными предпосылками. Для проведения оценки автомобиль должен иметь определенный пробег — порядка 10 км. При этом двигатель должен работать на режиме изменяющейся частоты вращения коленчатого вала при средней мощности. Следует избегать длительной работы двигателя на холостом ходу перед его выключением. Предварительная длительная работа двигателя на

3 Внешний вид свечей зажигания, часть 1

1. Нормальное состояние

Основание изолятора от серо-белого/серо-желтого цвета до рыжеватого. Двигатель в хорошем состоянии. Калильное число выбрано правильно. Состав рабочей смеси и установка момента зажигания оптимальны, нет перебоев в зажигании, устройство для обогащения смеси при пуске холодного двигателя функционирует нормально.

Нет осаждения от действия свинцовосодержащих топливных присадок или присадок к моторному маслу. Отсутствует перегрев.

2. Закопченная свеча

Тепловой конус изолятора, электроды и корпус свечи зажигания покрыты рыхлой, матово-черной копотью.

Причина: неправильный состав рабочей смеси (карбюратор, система впрыска) — смесь слишком богатая, воздушный фильтр сильно загрязнен, воздушная заслонка с автоматическим управлением или трос воздушной заслонки повреждены, автомобиль работает преимущественно на коротких дистанциях пробега, свеча зажигания слишком холодная и ее калильное число слишком низкое.

Последствие: перебои в зажигании, плохой пуск холодного двигателя.

Помощь: регулировка состава смеси до оптимального уровня, проверка воздушного фильтра.

3. Замасленное состояние

Тепловой конус изолятора, электроды и корпус свечи зажигания замаслены или покрыты блестящим маслянистым нагаром.

Причина: попадание большого количества масла в камеру сгорания. Уровень масла в поддоне двигателя слишком высокий, сильно изношены поршневые кольца, цилиндры и направляющие клапанов. В двухтактных двигателях слишком много масла в рабочей смеси.

Последствия: перебои в зажигании, плохой пуск холодного двигателя.

Помощь: ремонт двигателя, оптимизация состава рабочей смеси, установка новых свечей зажигания.

4. Отложение свинца

Тепловой конус изолятора местами покрыт желто-коричневой глазурью, которая может быть также зеленоватого цвета.

Причина: наличие свинцовосодержащих присадок в топливе. Глазурь образуется в условиях, когда двигатель работает при больших нагрузках после продолжительной частичной нагрузки.

Последствие: при повышенной нагрузке налет становится электропроводящим и вызывает перебои в зажигании.

Помощь: установка новых свечей зажигания, т. к. очистка электродов невозможна.

4 Внешний вид свечей зажигания, часть 2

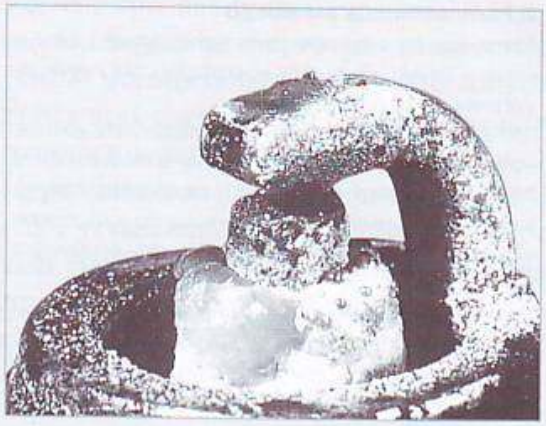
5. Большие отложения свинца

На тепловом конусе изолятора местами имеется толстый слой желто-коричневой глазури, которая может переходить в зеленоватый оттенок.

Причина: наличие свинцовосодержащих присадок в топливе — глазурь образуется в условиях, когда двигатель начинает работать при больших нагрузках после продолжительной частичной нагрузки.

Последствие: при повышенной нагрузке налет становится электропроводящим и вызывает перебои в зажигании.

Помощь: установка новых свечей зажигания, т. к очистка электродов невозможна.



6. Образование сажи

Образование большого слоя сажи на тепловом конусе изолятора происходит из-за наличия присадок в смазочном масле и топливе, в кольцевом зазоре термического расширения и на «массовом» электроде. Структура — от рыхлой до шлакообразной.

Причина: частицы присадок, имеющихся в топливе и особенно в масле, могут образовывать частицы сажи в камере сгорания и на электродах свечи.

Последствия: это приводит к калильному зажиганию с потерей мощности и выходом из строя двигателя.

Помощь: ремонт двигателя, замена свечей зажигания на новые, использование других сортов масла.

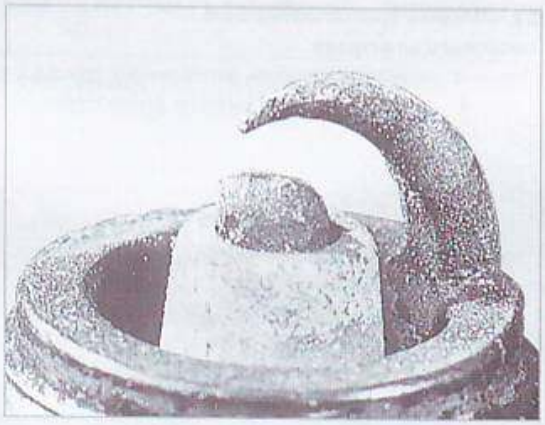
7. Расплавление центрального электрода

Центральный электрод расплавлен, тепловой конус изолятора — пористый, губчатый и размягченный.

Причина: тепловая перегрузка в результате калильного зажигания. Например, из-за установки слишком раннего зажигания, осадка от сгорания в камере сгорания, дефектных клапанов, дефектного распределителя зажигания и недостаточного качества топлива. Возможно слишком низкое калильное число.

Последствия: перебои в зажигании, потеря мощности (выход из строя двигателя).

Помощь: проверка двигателя, систем зажигания, впрыска и выпуска, установка новых свечей зажигания с правильным калильным числом.



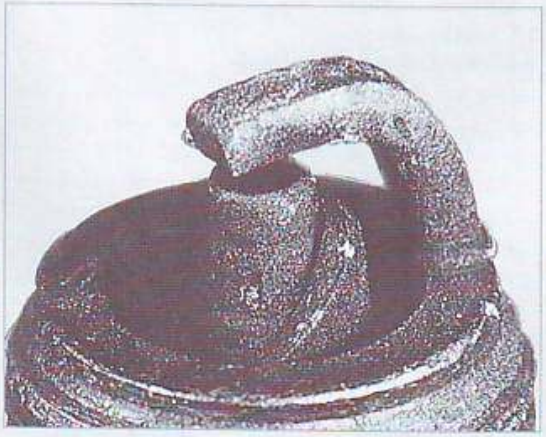
8. Оплавление центрального электрода

Центральный электрод оплавлен, одновременно очень сильно поврежден массовый электрод.

Причина: тепловая перегрузка в результате калильного зажигания, например, из-за установки слишком раннего момента зажигания, нагарообразования в камере сгорания, дефектных клапанов и распределителя зажигания, использования низкокачественного топлива.

Последствия: перебои в зажигании, потеря мощности, возможно, выход из строя двигателя, систем зажигания, впрыска и выпуска. Тепловой конус изолятора может быть поврежден из-за перегрева центрального электрода.

Помощь: проверка двигателя, установка новых свечей зажигания.



5 Внешний вид свечей зажигания, часть 3

9. Расплавленные электроды

Электроды по внешнему виду напоминают цветную капусту. Возможен осадок чужеродных для свечи зажигания материалов.

Причина: тепловая перегрузка в результате калильного зажигания, например, из-за установки слишком раннего момента зажигания, нагарообразования в камере сгорания, дефектных клапанов и распределителя зажигания, использования некачественного топлива.

Последствия: от снижения мощности до полного выхода из строя двигателя.

Помощь: проверка двигателя, систем зажигания, впрыска и выпуска, установка новых свечей зажигания.

10. Большой износ центрального электрода

Причина: не соблюдаются сроки замены свечей зажигания.

Последствия: перебои в зажигании, особенно при ускорениях (напряжение зажигания в условиях увеличенного зазора между электродами уже недостаточно), ухудшение пусковых характеристик двигателя.

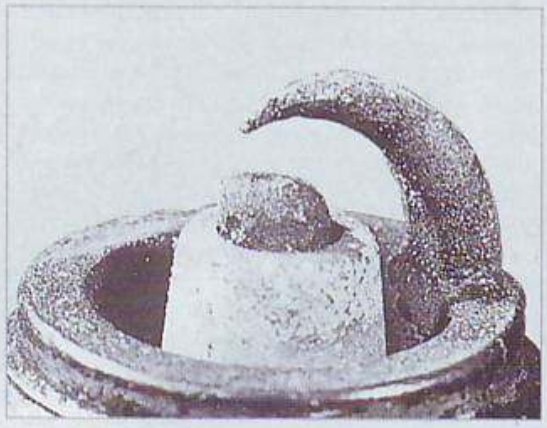
Помощь: замена свечей зажигания на новые.

11. Сильный эрозионный износ массового электрода

Причина: наличие химически агрессивных присадок в топливе и масле, неблагоприятное воздействие на перемещение рабочей смеси в камере сгорания за счет отложений и других факторов, детонация двигателя. Тепловая перегрузка отсутствует.

Последствия: перебои в зажигании, особенно при ускорениях (напряжение зажигания в условиях увеличенного зазора между электродами уже недостаточно), ухудшение пусковых характеристик двигателя.

Помощь: установка новых свечей зажигания.



12. Растрескивание теплового конуса изолятора

Причина: механическое повреждение (например, удар, падение или нажатие на центральный электрод при некомпетентном обращении). В крайних случаях тепловой конус изолятора может быть расщеплен из-за отложений между центральным электродом и тепловым конусом или за счет коррозии центрального электрода (особенно, когда не соблюдаются установленные сроки замены свечей).

Последствия: перебои в зажигании. Искровой разряд образуется в тех местах, которые недостаточно доступны для рабочей смеси.

Помощь: установка новых свечей зажигания.

холостом ходу, особенно в том случае, если пускается холодный двигатель, может привести к тому, что электроды будут покрыты слоем сажи, что не позволит установить точную оценку состояния свечи.

Проверка токсичности отработавших газов (AU)

Для того чтобы уменьшить количество вредных компонентов в ОГ, законодательно регламентируемая проверка эмиссии ОГ также распространена на автомобили, которые эксплуатируются в настоящее время (периодическая проверка эмиссии ОГ). Поэтому в Германии при регулярных проверках токсичности ОГ, сокращенно называемых AU (Abgasuntersuchung), контролируется соблюдение определенных предельно допустимых концентраций отдельных компонентов ОГ (например, оксида углерода). Каждый легковой автомобиль должен через три года после первоначальной регистрации, а затем через каждые два года проходить проверку на токсичность ОГ. При ее проведении устанавливается, могут ли ОГ по своему составу классифицироваться как удовлетворяющие существующим на данный момент требованиям.

С введением бортовой диагностики (OBD) осуществляется постоянный контроль всех элементов и систем, имеющих отношение к снижению токсичности ОГ. Периодическая проверка токсичности ОГ (AU) устанавливает, правильно ли работает система OBD и соответствует ли она предъявляемым к ней требованиям на протяжении всего срока службы автомобиля.

Законодательная база

Европейский союз (ЕС) выпустил Директиву, устанавливающую общие условия проверки токсичности ОГ. Отдельные государства ЕС требования этой Директивы переносят в свои национальные стандарты. Это приводит к специфическим способам проверки ОГ, например, к проверке токсичности ОГ (AU) в Германии (1993 г.).

Среди других требований можно назвать Директиву, касающуюся применения системы бортовой диагностики

1 Проверка токсичности ОГ газоанализатором BEA250 фирмы Bosch

(OBD) для сертификации всех новых легковых автомобилей и грузовых автомобилей малой грузоподъемности, начиная с 2000 г., и всех вновь регистрируемых автомобилей в 2001 г. Кроме того, в Германии процесс проверки токсичности ОГ (AU) был видоизменен в соответствии с новыми требованиями и использованием дополнительных испытаний с помощью системы бортовой диагностики (OBD).

Процесс проверки

Процесс проверки каждого автомобиля, оснащенного системой OBD, выглядит следующим образом:

- вводятся идентификационные данные автомобиля (номерной знак, изготовитель автомобиля, показания счетчика пробега и т.д.); параметры испытания для данного автомобиля берутся из базы данных (эта база данных имеется только в Германии) или вводятся вручную;
- проводится визуальный контроль системы выпуска — проверка наличия всех требуемых элементов, их повреждений и герметичности;
- проводится визуальный контроль лампы-индикатора неисправностей при включенном зажигании и при работающем двигателе; считывание статуса этой лампы (M1) из блока управления осуществляется посредством интерфейса OBD;

затем оцениваются коды запоминающего устройства; если автомобиль не смог пройти испытание на установленную токсичность ОГ, то в память неисправностей вводится соответствующий код;

если не проведены один или несколько тестов готовности к испытанию, то в дополнение к измерению CO на холостом ходу проверяется напряжение лямбда-зонда (измерение напряжения двухточечного зонда и напряжения, тока или концентрации кислорода в широкополосном зонде); если полученные данные выходят за пределы установленного диапазона значений, то считается, что автомобиль не выдержал испытаний;

- проверка частоты вращения коленчатого вала и температуры двигателя;
- проверка концентрации CO и кислорода в определенном диапазоне частот вращения коленчатого вала (повышенные обороты коленчатого вала на холостом ходу);
- проверка выдержана — да/нет; внесение замечаний испытателем;
- автоматическая распечатка протокола испытания.

Тестер

Для проведения проверки токсичности ОГ фирма Bosch предлагает такое оборудование как, например, газоанализатор модульного типа модели BEA250. Наиболее важными характеристиками этого пятикомпонентного тестера являются:

- высокая точность измерений, обозначаемая показателем «класс 0» согласно OIML (Organisation Internationale de Métrologie Légale);
- сравнение результатов испытаний с требуемыми показателями из базы данных;
- устойчивая работа при долговременном использовании (калибровка необходима только один раз в год);
- функция бортовой диагностики (OBD);
- цветной дисплей, выполненный по тонкопленочной технологии (TFT);
- простота управления оператором;
- наличие различных датчиков для контроля частоты вращения коленчатого вала (B+, B-, клемма 1, клемма 15, TN/TD, OT);
- измерение напряжения лямбда-зонда и определение момента зажигания;
- возможность дополнительного оснащения для получения полнокомплектной станции контроля токсичности ОГ (бензиновый и дизельный двигатели);
- возможность дополнительного оснащения для измерения NO;
- возможность дополнительного оснащения для подсоединения к сети AWN.

Принцип измерения состава отработавших газов

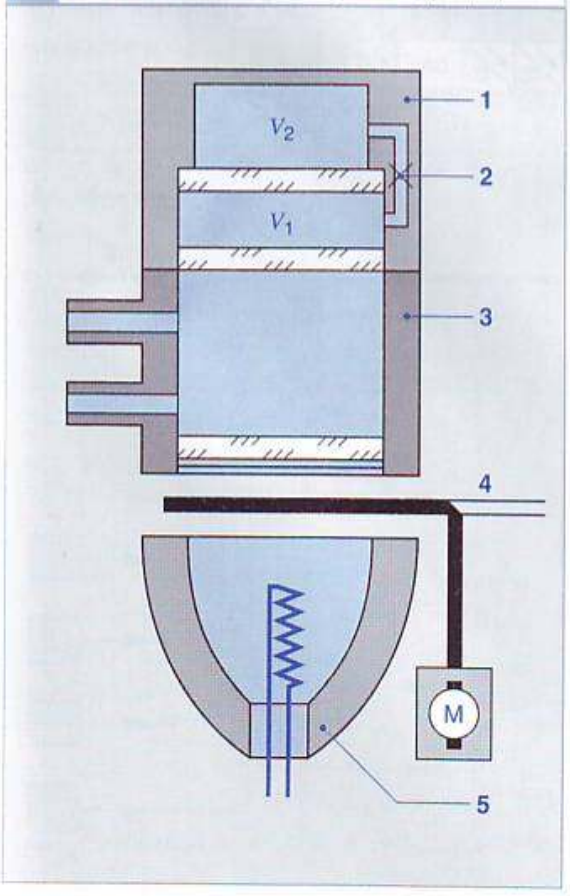
Приборы для измерения состава ОГ используются для проведения измерений в дорожных условиях, например, проверка токсичности ОГ (AU), для того чтобы можно было контролировать соблюдение регламентируемых предельных значений токсичной эмиссии ОГ. Эти приборы также являются важным оборудованием станций автосервиса, обеспечивая получение данных, необходимых для оптимальной регулировки систем впуска и впрыска топлива и диагностики двигателя.

Методы проверки

Отдельные компоненты ОГ должны измеряться выборочно и с большой точностью. В лабораториях для этих целей используются сложные и дорогостоящие методы. В автосервисе в последнее время получил распространение метод с использованием инфракрасного излучения. Этот метод базируется на принципе различной степени поглощения определенными компонентами ОГ этого излучения, что зависит от длины волны, характерной для каждого компонента.

Существуют однокомпонентные (например, для анализа содержания CO) или многокомпонентные приборы (для анализа содержания CO/CH, CO/CO_2, $CO/CH/CO_2$ и т.д.).

1 Измерительная камера, используемая при методе инфракрасного излучения (принцип)



Измерительная камера в приборе для анализа состава ОГ

Излучатель 5 (рис. 1), нагретый примерно до 700 °C, генерирует инфракрасное излучение, которое проходит через измерительный отсек 3 и поступает в приемную камеру 1.

Пример измерения концентрации CO

При измерении концентрации CO герметичная приемная камера заполняется газом с определенной концентрацией CO. В ней поглощается часть характерного для CO излучения. Это вызывает повышение температуры газа, что приводит к перепуску газа через расходомер 2 из объема V1 в компенсационный объем V2. Так как излучение с определенной периодичностью прерывается вращающимся обтюратором 4, то возникает переменный поток газа между обоими объемами V1 и V2. Расходомер преобразует его в электрический сигнал переменного тока.

Измеряемый газ с изменяющейся концентрацией CO при прохождении через измерительный отсек поглощает часть энергии излучения в количестве, пропорциональном данной концентрации; эта энергия, таким образом, до приемной камеры не доходит. Следствием этого становится снижение перепуска газа в приемную камеру. Поэтому изменение амплитуды базового сигнала является мерой концентрации CO в измеряемом газе.

Путь газа в измерительном приборе

Забор ОГ из испытываемого автомобиля осуществляется с помощью зонда 1 (рис. 2). Эти газы засасываются мембранным насосом 7, входящим в комплект измерительного прибора, и через фильтр грубой очистки 2 отводятся в сепаратор конденсата 3. Здесь отделяются конденси-

Рис. 1

1. Приемная камера с компенсационными объемами V1 и V2
2. Расходомер
3. Измерительный отсек
4. Вращающийся обтюратор с приводом от электродвигателя
5. Инфракрасный излучатель

рованная вода и крупные частицы грязи до того, как измеряемый газ еще раз проходит очистку в другом фильтре. Второй мембранный насос 8 откачивает конденсат в специальный бачок 16.

Измеряемый газ вначале пропускается через газоанализатор GA1 (10), где определяются концентрации CO_2 и CO. Затем газ поступает в газоанализатор GA2 (11), в котором определяется концентрация CH. До того как газ выходит через отверстие 15 из измерительного прибора, он пропускается через электрохимические датчики 13 и 14, которые измеряют содержание в нем кислорода (O_2) и оксида азота (NO).

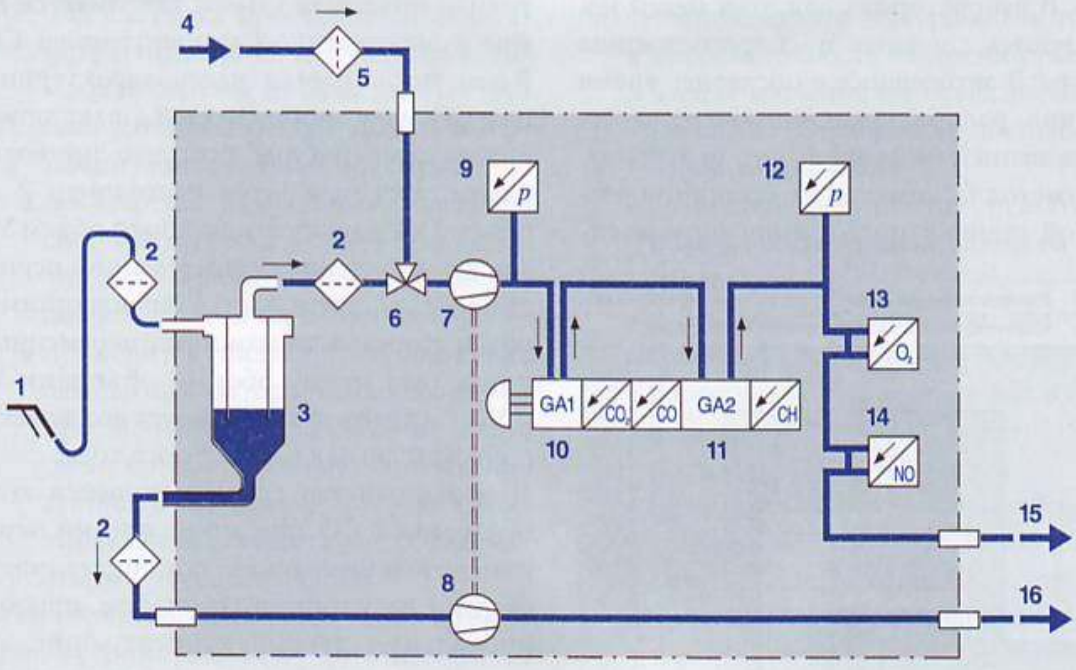
С помощью электромагнитного клапана 6, расположенного перед насосом 7, на вход измерительной камеры вместо воздуха начинают поступать ОГ, когда осуществляется автоматическая юстировка прибора на «ноль».

Угольный фильтр 5 на входе воздуха 4 защищает измерительный прибор от проникновения в него углеводородов (CH) из окружающего воздуха.

Датчик давления 9 служит для проверки герметичности прибора на всем пути пропуска газа. Другой датчик давления 12 определяет атмосферное давление, которое учитывается при расчетах.

Рис. 2
1. Зонд для забора ОГ
2. Фильтр грубой очистки (мокрый фильтр)
3. Сепаратор конденсата
4. Вход воздуха
5. Фильтр из активированного угля
6. Электромагнитный клапан
7. Мембранный насос (газовый насос)
8. Мембранный насос (насос конденсата)
9. Датчик давления (внутреннее давление/герметичность)
10. Газоанализатор GA1 (измерительная камера CO_2, CO)
11. Газоанализатор GA2 (измерительная камера CH)
12. Датчик давления (атмосферное давление)
13. Электрохимический датчик (датчик O_2)
14. Электрохимический датчик (датчик NO)
15. Выход газа
16. К бачку для сбора конденсата

2 Путь потока газа в многокомпонентном приборе для анализа состава ОГ



Разработка электронного блока управления

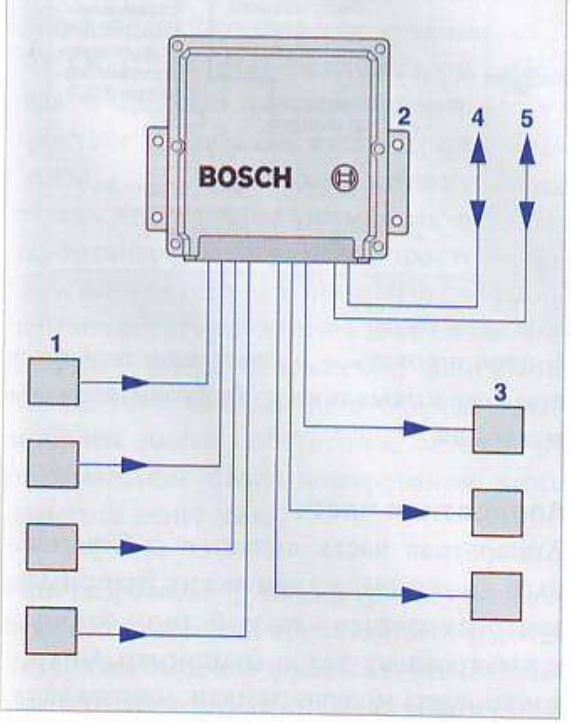
Электронный блок управления (ECU) является основной частью системы, осуществляющей управление функционированием электронной системы автомобиля. Поэтому к разработке блока управления предъявляются высокие требования в отношении его качества и надежности работы.

Обзор

Электронная система состоит из датчиков и задающих генераторов, блока управления и исполнительных механизмов (рис. 1).

Датчики определяют рабочие параметры электронной системы (например, частоту вращения колес, температуру двигателя, атмосферное давление). Задающие генераторы определяют установочные величины, которые, например, задаются водителем путем воздействия на органы управления (например, выключатель системы кондиционирования воздуха). Датчики и задающие генераторы выдают входные сигналы, которые оцениваются и обрабатываются в блоке управления.

1 Отдельные компоненты электронной системы



Исполнительные механизмы (например, катушки зажигания, форсунки) преобразовывают электрические выходные сигналы в физические величины.

Процесс разработки электронной системы осуществляется в несколько стадий, причем разработке блока управления принадлежит решающая роль. При этом ставятся следующие задачи (рис. 2):

- разработка аппаратной части;
- разработка функций;
- разработки в области программного обеспечения;
- применение.

Требования

В техническом задании и перечне обязательств разработчиков документируются требования, которые должна выполнять конкретная электронная система. Основу процесса разработки формируют два документа: техническое задание и перечень спецификаций, используемых при разработке.

Техническое задание

В техническом задании формулируются требования к разрабатываемому блоку управления, предъявляемые изготовителем автомобиля, и описываются функции, которые должен выполнять этот блок. В этом документе сгруппированы все требования изготовителя автомобиля к техническим характеристикам и обслуживанию блока. Эти требования должны включать пункты по объемам производства и замеряемым параметрам. В техническом задании определяется, какая задача ставится и с какой целью она должна быть решена.

Техническое задание в процессе разработки не изменяется.

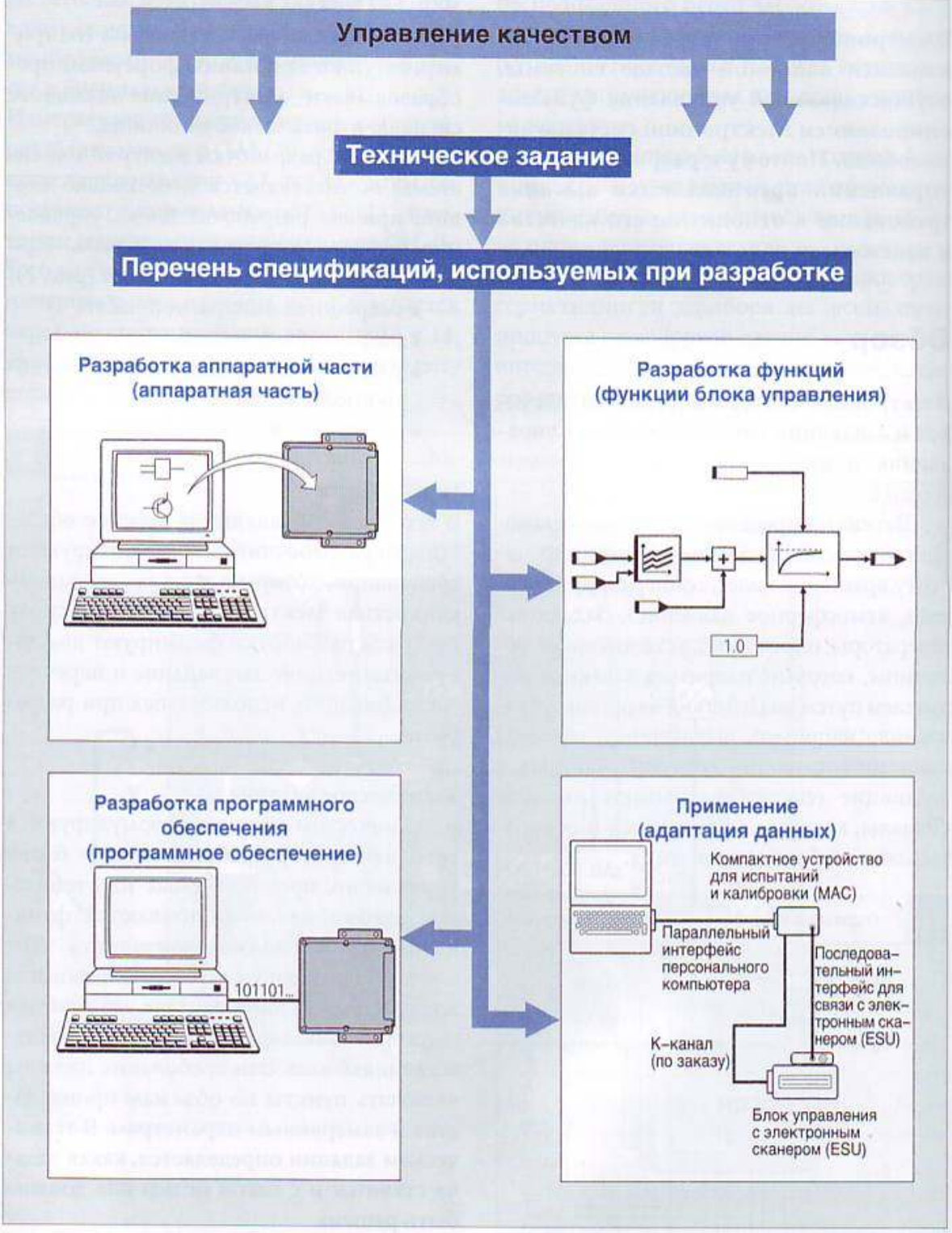
Перечень спецификаций, используемых при разработке

На базе требований, перечисленных в техническом задании, изготовитель блока управления вырабатывает перечень спецификаций для его разработки.

Рис. 1

1. Датчики и задающие генераторы (входные сигналы)
2. Электронный блок управления
3. Исполнительные механизмы (приводы)
4. Интерфейс для связи с другими системами
5. Диагностический интерфейс

2 Процесс разработки электронного блока управления: взаимосвязь различных задач, решаемых при разработке



В этом перечне определяется, как и какими средствами должны реализовываться предъявляемые к блоку требования (заданные параметры реализации требований).

Спецификации для разработки блока управления являются основой для практических действий. В процессе разработки эти спецификации должны постоянно контролироваться и совершенствоваться при согласовывании с изготовителем автомобиля.

Аппаратная часть

Аппаратная часть является собирательным понятием механических (например, теплоотводящее устройство, корпус) и электронных узлов (например, микроконтроллер, модули памяти, модули зада-

ющих каскадов). Это применимо как к отдельным компонентам, так и к полностью собранному узлу.

Аппаратная часть электронного блока управления производит обработку электрических сигналов, поступающих от датчиков, и посылает их для дальнейшей обработки в «вычислительное ядро» блока управления. Модули задающих каскадов усиливают сигналы управления, поэтому исполнительные механизмы могут работать при потребной электрической мощности.

При разработке аппаратной части (рис. 2) стоит задача спроектировать такой блок управления, который бы выполнял требования, вытекающие из спецификаций, принятых для разработки.

Функции блока управления

Перед блоком управления стоит задача оценивать входные сигналы и в зависимости от этого управлять исполнительными механизмами так, чтобы система функционировала в соответствии с предъявляемыми к ней требованиями. Совокупная функциональность блока управления подразделяется на множество отдельных функций (например, для системы управления бензиновым двигателем: регулировка частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу, контроль за уровнем эмиссии ОГ, управление вентилятором двигателя и т.д.). Но даже кажущееся весьма простым управление вентилятором двигателя с помощью современного блока управления зависит от многих входных переменных. Недостаточно просто включить вентилятор при прогретом до рабочей температуры двигателе и снова выключить после охлаждения двигателя. Кроме того, каждый изготовитель автомобилей имеет собственное мнение об оптимальном функционировании этого элемента двигателя.

При разработке функций (рис. 2) используются технические требования от изготовителя автомобиля и дается очень детальное описание функций блока управления. Совокупность этих документов является составной частью спецификаций, принятых при процессе разработки функций.

Программное обеспечение

Программным обеспечением называют все программы и данные, хранящиеся в памяти системы, управляемой компьютером.

Центральным звеном блока управления в автомобиле является микроконтроллер. Он работает по программе, которая хранится в памяти блока. Эта программа представляет собой порядок реализации функций блока управления в форме программного кода.

Разработка программного обеспечения (рис. 2) заключается в преобразовании требований, устанавливаемых описаниями функций, в программу. Созданный на базе этого машинный код вводится в программную память блока управления. Для облегчения процесса составления программ используются языки программирования. Возрастающая сложность электронных систем делает крайне необходимым применение языков программирования высокого уровня (например, языка программирования C). При разработке программного обеспечения используются также методы моделирования.

Адаптация данных

Функциональное поведение электронной системы зависит не только от рабочей программы блока управления. Решающую роль играют данные, которые хранятся наряду с кодом программы в той же памяти. Примером таких данных для блока управления двигателем является характеристическая диаграмма зависимости установки опережения зажигания от других параметров, с помощью которой определяется оптимальный момент зажигания с точки зрения расхода топлива и состава ОГ для разных режимов работы двигателя (частота вращения коленчатого вала и нагрузки/крутящие моменты). Эти величины зависят от типа двигателя и поэтому

должны определяться и адаптироваться на стадии разработки автомобиля. Эта адаптация данных к конкретному типу двигателя является задачей стадии «применение» (рис. 2).

Управление качеством

Весь процесс разработки и затем изготовления сопровождается мерами по обеспечению качества. Только так можно гарантировать качество конечного продукта. Особенно высоки требования к качеству систем, обеспечивающих безопасность движения (например, антиблокировочная система ABS).

Системы обеспечения качества

Все элементы системы управления качеством и меры по обеспечению этого качества должны систематически планироваться. Соответствующие задачи, компетенция и ответственность фиксируются письменно в справочнике по управлению качеством. В нем учитываются также международные стандарты, например, DIN/ISO от 9001 до 9004.

С целью регулярного контроля элементов системы управления качеством проводятся аудиторские проверки. Они служат для того, чтобы оценить, как соблюдаются требования системы управления качеством и с какой эффективностью выполняются требования и цели обеспечения качества.

Оценка качества

После завершения определенных этапов процесса разработки вся информация, имеющаяся на данный момент и касающаяся качества и надежности, анализируется и принимаются необходимые меры для внесения коррекций.

FMEA

FMEA (Failure Mode and Effects Analysis, т.е. анализ характера и последствий отказов) является аналитическим методом поиска потенциально слабых мест и распознавания их значения. Систематическая оптимизация приводит к снижению риска и затрат на устранение неисправностей, а также к повышенной надежности. FMEA подходит для анализа видов отказов отдельных компонентов системы и их влияния на работу всей системы. Анализ последствий этих отказов может осуществляться посредством причинно-следственной цепи, начиная от места нахождения неисправности (например, датчик) до системы (например, автомобиль).

Различают следующие типы FMEA:

- FMEA конструкции — оценка проектного решения систем на соблюдение установленных спецификаций. Также проверяется, как система реагирует на погрешности этого проектного решения;
- FMEA процесса — оценка технологичности процесса производства;
- FMEA системы — оценка взаимодействия компонентов системы.

Оценка с использованием FMEA опирается на теоретические принципы и практический опыт.

Пример: выход из строя указателя поворота, что в значительной мере влияет на безопасность движения. Обнаружить эту неисправность во время движения водитель не может, т. к. из кабины он этот указатель не видит. В качестве способа обнаружения неисправности должно вводиться изменение частоты мигания указателя поворота. Более высокая частота мигания регистрируется как визуально на приборной панели, так и акустически. С помощью этой меры можно уменьшить последствия от данной неисправности.

Экспертная оценка

Экспертиза, в особенности при разработке программного обеспечения, является эффективным средством обеспечения качества. Эксперты проверяют соответствие результатов работы существующим заданным параметрам и поставленным целям.
Экспертная оценка может с пользой применяться для проверки результатов работы уже на ранних стадиях разработки.

Цель заключается в том, чтобы распознать возможно существующие ошибки и устранить их как можно раньше.

Разработка аппаратной части

Сложность электронных систем в последние годы постоянно возрастала и эта тенденция будет сохраняться и дальше. Поэтому единственным способом обеспечения эффективности процесса разработки является применение интегральных схем с высокой степенью интеграции. Дополнительные высокие требования к разработке диктуются необходимостью минимизации размеров всех компонентов систем.

Экономически эффективная разработка аппаратной части в настоящее время возможна только путем использования стандартных модулей, которые производятся в больших количествах.

Запуск проекта

На схеме отражаются все функции, которые должен выполнять разрабатываемый блок управления. Исходя из этого, могут быть разрешены следующие вопросы:

- определение характеристик аппаратной части;
- оценка стоимости аппаратной части;
- затраты на разработку;
- стоимость инструментов.

Прототип аппаратной части

После запуска проекта создается прототип аппаратной части, который подвергается проверке качества. Эти разработки прототипов могут быть выполнены в одной из четырех категорий, представляющих собой последовательные стадии реализации проектного решения до создания блока управления, который предназначается для серийного производства. Каждая категория прототипа базируется на предыдущей и пригодна для соответствующей цели применения.

Прототип A

Прототип A разрабатывается на базе имеющегося или модифицированного блока управления или на базе разработанных печатных плат. Диапазон функций ограничен. Выполнение технических функций в значительной степени обеспечено; но для длительного испытания прототип A не пригоден. Этот функциональный прототип используется для предварительных испытаний и служит для подтверждения основных положений проекта.

Прототип B

В прототипе B содержатся все элементы схемы. Это опытный образец, с помощью которого проводятся предварительные проверки полного диапазона функций и технических требований. На этой стадии он уже пригоден для непрерывных испытаний на прототипах автомобиля.

Размеры соединительных элементов и самого блока управления уже соответствуют серийному изделию. Возможно, на этой стадии еще не будут выполнены все требования, предъявляемые к блоку управления со стороны изготовителя автомобиля, т. к., например, применялись другие материалы.

Прототип C

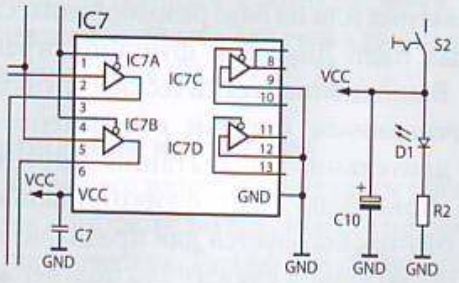
Прототип C является образцом с разрешением на производство, который испытывается изготовителем автомобиля с целью получения «разрешения на серийное производство». Этот вариант блока управления уже полностью удовлетворяет всем техническим требованиям. С получением разрешения на серийное производство стадия разработки завершается. Насколько это возможно, прототипы C изготавливаются с использованием полного комплекта технологического оборудования и методами производства, в максимальной степени соответствующими технологии серийного производства.

Прототип D

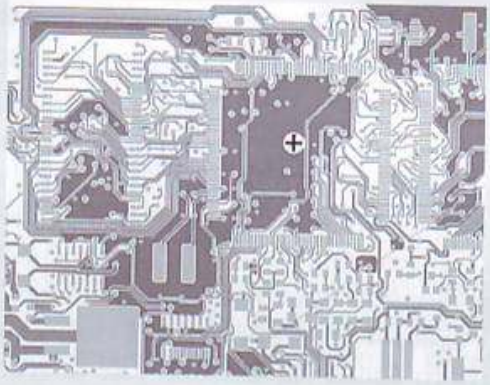
Прототип D является пилотным образцом, на котором размещается идентификационная пластинка с номером ва-

1 Процесс разработки аппаратной части

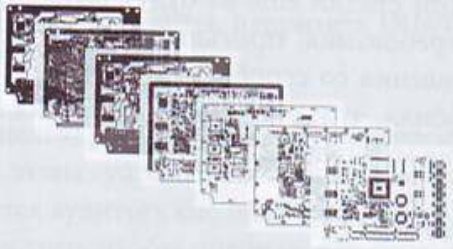
a



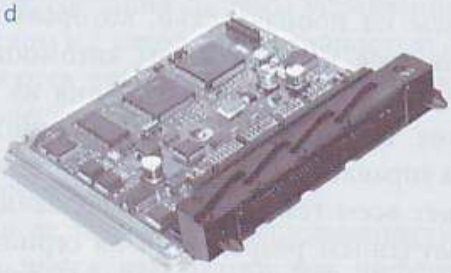
b



c



d



e

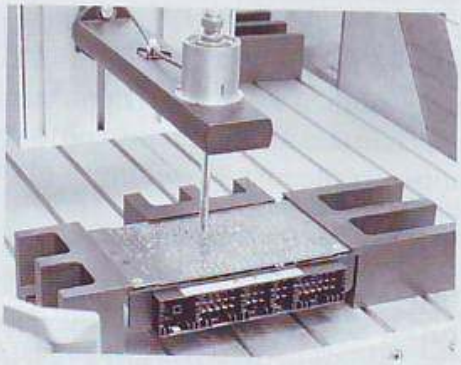


Рис. 1
a — коммутационная схема
b — компоновочная схема
c — изготовление печатной платы
d — конструкция прототипа
e — испытания

рианта. Прототипами D оснащаются пилотные автомобили при проведении их полномасштабных испытаний. Эти варианты блока управления изготавливаются с использованием технологии крупносерийного производства и испытываются в условиях проверки серийных моделей. Этот прототип используется для подтверждения надежности производства.

Подготовка

Подготовка к изготовлению прототипа B начинается с запуска проекта, включая:

- определение предназначения штекерных разъемов;
- выбор конструкции корпуса;
- выполнение задания на разработку новых модульных схем (функциональные группы);
- создание коммутационной схемы;
- определение компонентов (должны использоваться только разрешенные к производству компоненты или на них это разрешение следует получить).

При выборе модульных схем (например, схемы датчика-анализатора детонации, интегрированные в интегральную схему) разработчик проверяет возможность использования уже существующих схем — если необходимо, с модификацией. В противном случае должны быть разработаны новые модули.

Коммутационная схема и перечень отдельных элементов

Коммутационная схема (рис. 1a) с перечнем всех используемых в ней элементов создается с помощью системы CAD (Computer Aided Design — система автоматизированного проектирования). При этом по каждому элементу приводится детальная информация:

- размер элемента;
- расположение выводов;
- конструкция корпуса;
- организация-поставщик и условия поставки.

Компоновка схемы

Для изготовления печатной платы требуется выбор ее компоновочной схемы (рис. 1b), на которой показано расположение токопроводящих связей и соединительных разъемов.

Эта схема выполняется с помощью системы CAD. Процесс начинается с использования данных коммутационной схемы и их последующего преобразования. Затем создается схема соединений (перечень соединений отдельных элементов). На основе этой схемы соединений и данных CAD для элементов (размер и расположение разъемов) разрабатывается окончательная компоновочная схема.

При создании компоновочной схемы должны учитываться особые критерии. При выборе вариантов расположения элементов этой схемы должны учитываться следующие факторы:

- потери мощности в отдельных элементах (возможность теплоотвода);
- влияние электромагнитной совместимости;
- удобное расположение элементов относительно разъемов;
- учет наличия ограничительных зон (размеры элементов);
- возможность облегченного монтажа элементов с помощью автоматизированного технологического оборудования;
- доступность испытательных точек;
- потребность в месте для размещения разъемов для подсоединения тестеров.

Печатная плата

Данные компоновочной схемы могут использоваться для изготовления пленки для печатных плат (рис. 1c). Пленки используются для фотографического экспонирования свободных зон (которые покрываются светочувствительным слоем) с последующим проявлением и вытравливанием. Отдельные слои многослойных печатных плат накладываются друг на друга и закрепляются.

Наконец на печатную плату наносятся печатные элементы схемы, резисторы (путем напайки) и карбоновый лак.

Конструкция прототипа

На готовой печатной плате должны размещаться элементы схемы (рис. 1d). При изготовлении прототипа это является частью технологического процесса производства прототипа. Из-за миниатюризации элементов и высокой плотности их размещения на печатной плате необходим их машинный монтаж даже на прототипах, который управляется данными CAD компоновочной схемы.

После монтажа эти элементы припаиваются к плате. При этом используются два альтернативных способа пайки:

- волновая пайка;
- пайка оплавлением припоя.

Испытание изготовленной печатной платы

Электрическая проверка

После размещения всех элементов и припайки всех соединений на печатной плате эта плата должна испытываться. Для этого определяется последовательность электрических испытаний, которые проводятся на компьютере. Этими автоматизированными проверками тестируются полнота монтажа, а также функциональная способность схемы.

2 Термографическая картина печатной платы

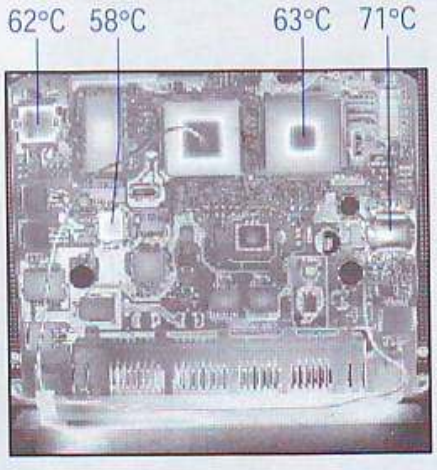


Рис. 2
Блок управления двигателем
Напряжение питания
U = 14 В
Холостой ход
n = 1000 мин$^{-1}$

Термография

Термографические снимки печатной платы показывают картину выделения тепла элементами при работе (рис. 2). На пленке различные температурные зоны показаны разными тонами. Таким способом могут быть обнаружены элементы, которые слишком сильно нагреваются. Информация об этом вводится в перечень изменений между прототипами B и C. Путем изменения компоновочной схемы (например, при теплоотводе через контактные элементы на печатной плате) можно уменьшить тепловыделение.

Электромагнитная проверка

С помощью датчика магнитного поля могут сканироваться создаваемые на печатной плате электромагнитные поля (рис. 1e). Обработка считываемых данных производится с использованием персонального компьютера. Различная напряжённость магнитного поля обозначается разными цветами. Если необходимо, в компоновочную схему вносятся изменения и предусматривается использование дополнительных элементов, снижающих магнитное поле или делающих блок управления помехозащищенным.

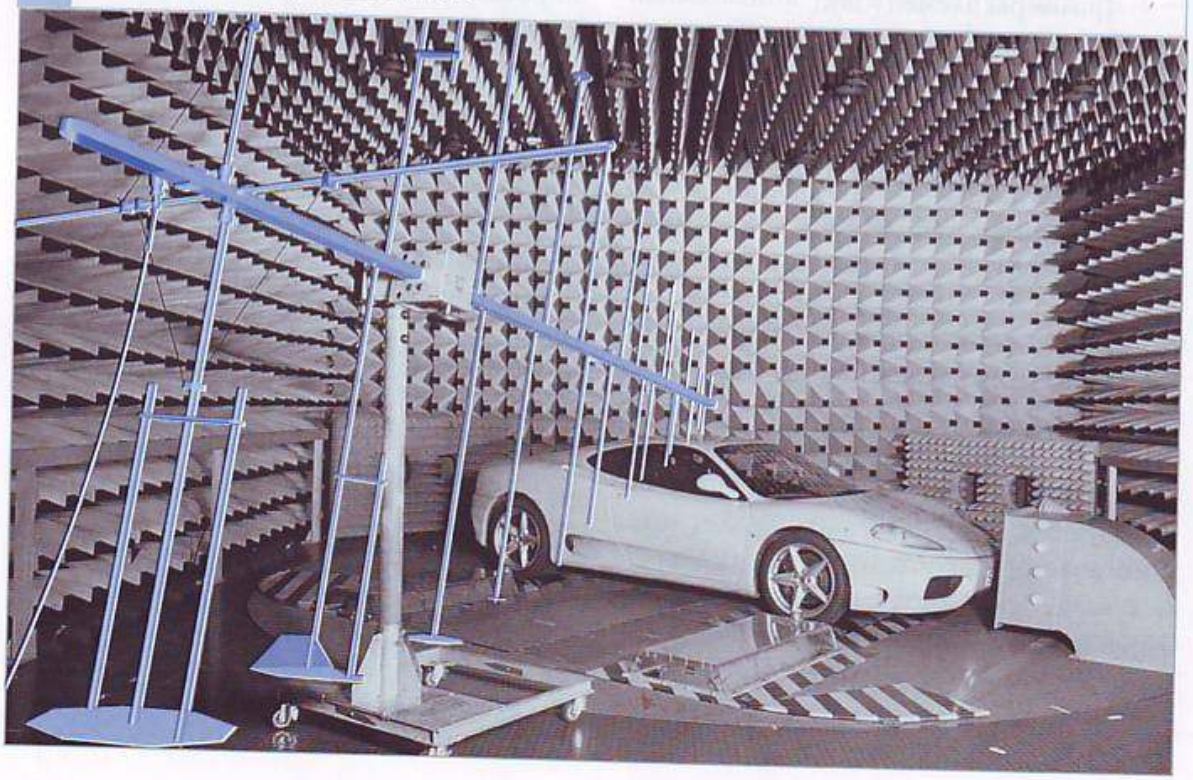
Эти испытания проводятся на прототипе B, для того чтобы можно было внести необходимые изменения уже в прототип C.

Измерения электромагнитной совместимости

Путем измерений в камере или в испытательном отсеке (рис. 3) для проверки на электромагнитную совместимость испытывается реакция блока управления на внешний и внутренний источники электромагнитного излучения. Измерения проводятся как на установленном на автомобиле блоке управления (измерения в автомобиле), так и в лабораторных условиях (например, метод полосковой линии).

У метода измерений в автомобиле есть недостаток: они могут проводиться лишь тогда, когда разработка автомобиля и электронных систем уже продвинулась довольно далеко. Поэтому на этой стадии сильно ограничены возможности вмешательства при выявлении неудовлетворительных характеристик на электромагнитную совместимость. Поэтому метод лабораторных измерений на ранних стадиях очень важен, т. к. позволяет иденти-

3 Измерительная камера для проверки электронного блока управления автомобиля на электромагнитную совместимость



фицировать потенциальные проблемы на прототипах аппаратной части уже на ранних стадиях разработки.
Измерения электромагнитной совместимости осуществляются на разных значениях частоты и напряженности электрического поля. Исследуются защищенность сигналов на выходе (например, сигналов зажигания, сигналов впрыска топлива) от воздействия внешних помех, а также уровень помех, создаваемых самим блоком.

Разработка функций

К современным автомобильным двигателям предъявляются высокие требования в отношении ходовых качеств и расхода топлива. Для того чтобы можно было экономически эффективно выполнить эти требования даже с одновременным соблюдением все более ужесточающихся норм предельной токсичности ОГ, необходима оптимальная взаимосвязь системы управления двигателем со всей силовой передачей, множеством датчиков и исполнительных механизмов, а также диагностическими функциями для них.
Так как, в отличие от прежних решений, прямое механическое воздействие на исполнительные механизмы при изменении окружающих условий невозможно, то единственную связь между датчиками и исполнительными механизмами обеспечивает электронный блок управления двигателем вместе с соответствующим программным обеспечением. Следовательно, характеристики расхода топлива автомобилем в значительной степени определяются алгоритмами, реализуемыми в системе управления двигателем, и их качественными параметрами.
Создание этих алгоритмов является целью разработки функций.

Требования к функциям

Принцип модульного построения

Современные системы управления должны иметь модульный принцип построения с функциональной и аппаратной точек зрения, для того чтобы можно было управлять очень большим количеством переменных параметров двигателя, например, число цилиндров, методы впрыскивания топлива, используемые датчики или тип концепции системы выпуска. Иерархическое структурирование в подсистемы (воздушную, топливную, выпускную системы) со стабильными интерфейсами позволяет при этом обеспечить параллельную и, следовательно, быструю разработку, что при современных объемах инвестиций в автомобильную промышленность приобретает все большее значение.

Пакеты компонентов

Для каждого класса датчиков и исполнительных механизмов создается стандартный интерфейс и его физическая интерпретация. Управляющие функции более высокого уровня взаимодействуют с тим интерфейсом независимо от структуры и свойств элементов. Эти функции через интерфейс определяют в дальнейшем комплекс функций более низкого уровня, так называемый пакет элементов, который обеспечивает оптимальное взаимодействие между периферией (датчиками и исполнительными механизмами) и микроконтроллером с его управляющими командами и программным обеспечением. В пакете элементов также могут быть представлены функция защиты от перегрузок или от неблагоприятных физических факторов, коррекция нелинейности характеристики и преобразование управления для исполнительных механизмов различного физического принципа работы (электрического, пневматического и т. п.).

Процесс разработки

Требование

При новых требованиях заказчика или возникающих при реализации проекта, например, в отношении применения новых компонентов, должно быть найдено возможное решение и определены действующие функции. При этом должна максимально сохраняться существующая функциональная структура для того, чтобы не подвергнуть опасности интер-

фейсы и, следовательно, взаимосвязь с другими функциями. Если необходимые алгоритмы уже известны и реализованы в блоке управления, происходит оценка трудозатрат, стоимости разработки и сроков окончания разработки. После обсуждения с внутренними и внешними заказчиками проект утверждается заказчиком и устанавливается предельный срок его выполнения.

Концепция

Если имеющихся алгоритмов недостаточно для решения требуемой задачи и если эта задача достаточно важна, то начинается реализация нового процесса разработки с включением в него основных операций по калибровке и измерениям на испытательном стенде для автомобиля или двигателя. Созданная в результате этого концепция проверяется на соответствие физическим принципам, отсутствие противоречий, возможность использования в существующей системе управления двигателем и ожидаемую пригодность к использованию (эта концепция обсуждается с участием представителей разработчиков функций системы и способов ее использования).

Определение функций

После этого концепция реализуется путем составления спецификации для каждой функции. После моделирования на режиме «off-line» критических элементов с использованием данных измерений на автомобиле эти функции вместе с соответствующей документацией, которая включает также словесные описания и инструкции по применению, вводятся в виде определения функций в центральную базу данных.

Рассмотрение этих функций с другими их разработчиками позволяет избегать повторения уже известных ошибок.

Кодирование

На следующем этапе разработчики программного обеспечения преобразуют функции в программный код либо путем генерации автоматического кода, либо при критических функциях — вручную. Так же как и в случае анализа функций, анализ этих кодов снижает до минимума частоту ошибок.

Проверка функций

После изготовления все программные модули интегрируются в программную версию для определенного проекта автомобиля. Лишь после этого возможно испытание системы в реальных условиях работы на автомобиле, которое проводится в три этапа:

- разработчик функций проверяет спецификацию и реализуемое программное обеспечение на соответствие друг другу;
- разработчик функций сравнивает реализуемое решение с требованием заказчика или проектного задания;
- разработчики функций и их применения проверяют совместно во время первого ввода в эксплуатацию, достаточно ли хорошо применимо выбранное решение и, следовательно, применимо ли также для других проектов.

Эти проверки могут привести к более или менее крупным изменениям в выбранном варианте решения. Но цель всегда заключается в том, чтобы найти ошибки в процессе разработки как можно раньше, для того чтобы с минимально возможными отклонениями могли быть соблюдены требования к срокам выполнения, стоимости и качества разработки.

Передача на уровне программы

После стадии испытаний функции направляются заказчику в виде программной версии. В случае применения новой концепции или при большом объеме изменений разработчик функций вместе с разработчиком их применения обеспечивает поддержку ввода продукта в эксплуатацию заказчиком путем предоставления выбранной концепции и обсуждения процедуры калибровки на испытательном стенде для двигателей или во время летних или зимних пробеговых испытаний.

Разработка программного обеспечения

От «ассемблера»...

Когда первые микроконтроллеры стали применяться в блоках управления, то у используемых ими программ был объем от 4 Кбайт или даже еще меньше. У микросхем памяти (чипов) в то время емкость была не больше. По этой причине программы должны были разрабатываться с помощью кода, экономящего память. Наиболее часто применяемым языком программирования был «ассемблер». Команды в этом языке мнемонические и они в целом соответствуют машинному коду микроконтроллера. Однако, как правило, программы на языке «ассемблер» трудно читать и интерпретировать.

Со временем емкость чипов памяти все увеличивалась, а диапазон функций, реализуемых системой управления двигателем, становился все сложнее. Растущее количество функций сделало неизбежным создание модулей программного обеспечения. Программное обеспечение блока управления двигателем структурировано на модули, каждый из которых содержит определенную группу функций (например, замкнутый контур лямбда-управления, регулировка частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу). Эти модули должны, конечно, применяться не в одном проекте, а во многих подобных проектах. Поэтому необходимо использование стандартных интерфейсов для входных и выходных переменных. В связи с этим язык программирования «ассемблер» достиг пределов своих возможностей применительно к автомобильной электронике.

...к языку программирования более высокого уровня

При современных требованиях к разработке программного обеспечения неизбежно применение языков программирования высокого уровня. Теперь все программное обеспечение системы управления двигателем создается на языке высокого уровня — главным образом на языке программирования Си. Программирование на языке высокого уровня обеспечивает:

- возможность корректировки программного обеспечения;
- модульность;
- взаимозаменяемость пакетов программ;
- независимость программного обеспечения от микроконтроллера, используемого в блоке управления.

Качество программного обеспечения

Большая часть инноваций в автомобильную технику осуществляется за счет использования электроники. Раньше программное обеспечение рассматривалось как «довесок» к аппаратной части. С течением времени программному обеспечению стало уделяться все большее значение. Вместе со сложностью электронных систем, управляемых микроконтроллерами, качество программного обеспечения стало главным фактором при его разработке, т. к. проблемы, возникающие из-за несовершенства программного обеспечения, вредят репутации фирмы-производителя и увеличивают стоимость гарантий.

Совершенствование процесса разработки программного обеспечения

В качестве модели совершенствования процессов разработки программного обеспечения используется CMM (Capability Maturity Model). Она представляет собой рамочный продукт, который выявляет элементы эффективного процесса разработки программного обеспечения и описывает эволюционный путь от стохастического к упорядоченному процессам, и поддерживает:

- характеристику степени стабилизации процессов;
- определение целей процесса совершенствования;
- установку приоритетов предпринимаемых действий.

Распределенная разработка

Фирма Bosch разрабатывает программы не только в Германии, но и в ряде других стран мира. В рамках этого международного объединения разработчиков применяется один и тот же процесс разработки. Благодаря этому во всем мире программное обеспечение Bosch отличается высоким стандартом качества.

Различные программные продукты

За счет модульного принципа построения программного обеспечения и использования определенных интерфейсов, в программы блоков управления могут быть также включены «внешние» программные модули. Благодаря этому изготовитель автомобилей может использовать свой собственный программный продукт на разных моделях автомобилей, в результате чего программное обеспечение становится фактором, в значительной мере определяющим конкуренцию.

Создание кода программы

Основой для разработки программы служат определения функций, которые осуществляются разработчиками функций. Эти документы описывают функции блока управления (например, замкнутый контур лямбда-управления), которые преобразуются инженерами-программистами в программу и затем составляются в работоспособную общую программу блока управления.

Разработка исходного текста программы

Для каждой функции составляется отдельный модуль (компонент общей программы). Исходный код для модулей записывается на персональный компьютер с использованием «текстового редактора» (рис. 1). Исходный код содержит в основном исполнительные программные команды, а также документацию, которая облегчает считываемость программы (отладка и тестирование программы).

Компилятор

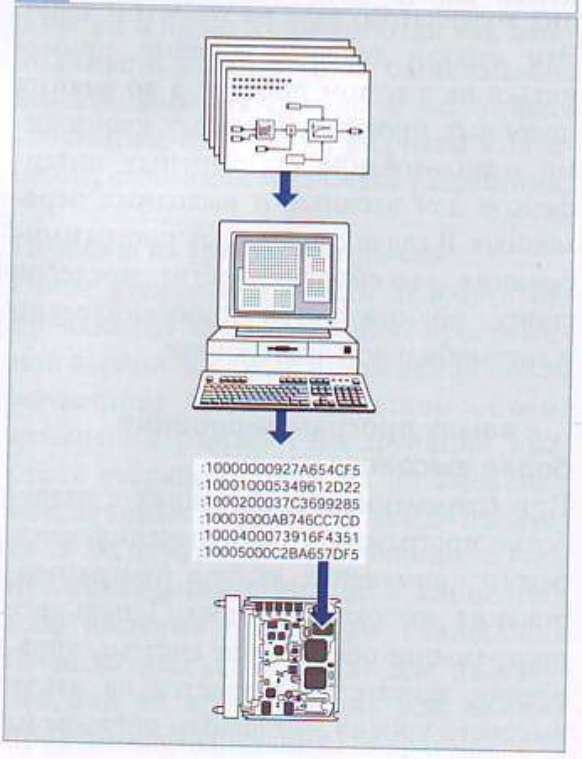
Разработанная исходная программа должна быть переведена в машинный код, который может быть понят микроконтроллером. Это требует использования компилятора, который создает «объектный код», содержащий предпочтительно не абсолютные, а относительные адреса памяти.

Редактор связей

Когда все модули, относящиеся к общей программе, составлены и скомпилированы, все модели объектных кодов могут быть объединены для формирования рабочей программы. Эту задачу решает программа «редактор связей», использующая файл, в который внесены все связанные между собой модули. В этом файле также детализированы адреса памяти для данных и программ памяти. Благодаря этому все относительные адреса, приведенные в отдельных модулях, могут быть заменены на абсолютные адреса.

Результатом работы редактора связей является машинная программа обслуживания в целевую систему — электронный блок управления.

1 От функциональной схемы (FDEF) к блоку управления, работающему по программе



Архивирование модулей

Программное обеспечение подвергается быстрым изменениям. Для того чтобы программные версии, поставляемые заказчику, могли надежно воспроизводиться, важно обеспечить архивирование модулей. Программы архивирования позволяют отследить все изменения каждого модуля. Для каждого варианта программы архивирования могут быть проверены и снова отправлены на хранение все используемые модули.

Испытательная станция

Код программы, созданный редактором связей, должен пройти проверку в лаборатории до того, как блок управления, запрограммированный этим кодом, может быть установлен на автомобиле. Вначале детальной экспертизе подвергаются по отдельности все новые модули. На следующем этапе проверяется возможность эффективной работы всех модулей в комбинации друг с другом.

Эти проверки проводятся на испытательной станции, оснащенной многочисленными измерительными приборами (рис. 2).

Блок управления с модулем эмулятора

Для лабораторной экспертизы используется специально созданный лабораторный вариант блока управления. От серийного образца он отличается гнездом для интегральной схемы вместо припаиваемого модуля стираемой постоянной памяти Flash-EPROM. В это гнездо вводится модуль эмулятора, который посредством памяти с произвольной выборкой RAM моделирует EPROM. За счет этого можно изменять данные и коды программы в режиме «он-лайн». Контроль за этим осуществляется с помощью персонального компьютера.

LabCar

Блок управления при реальной эксплуатации автомобиля получает входные сигналы от датчиков и задающих устройств. Сигналы на выходе управляют исполнительными механизмами, установленными в автомобиле. В лабораторных условиях сигналы датчиков моделируются. Необходимые для этого генераторы сигналов (например, индуктивный датчик скорости) или цепи аппаратной части (например, каскад сопротивлений для

2 Испытательная станция для проверок программного обеспечения электронного блока управления

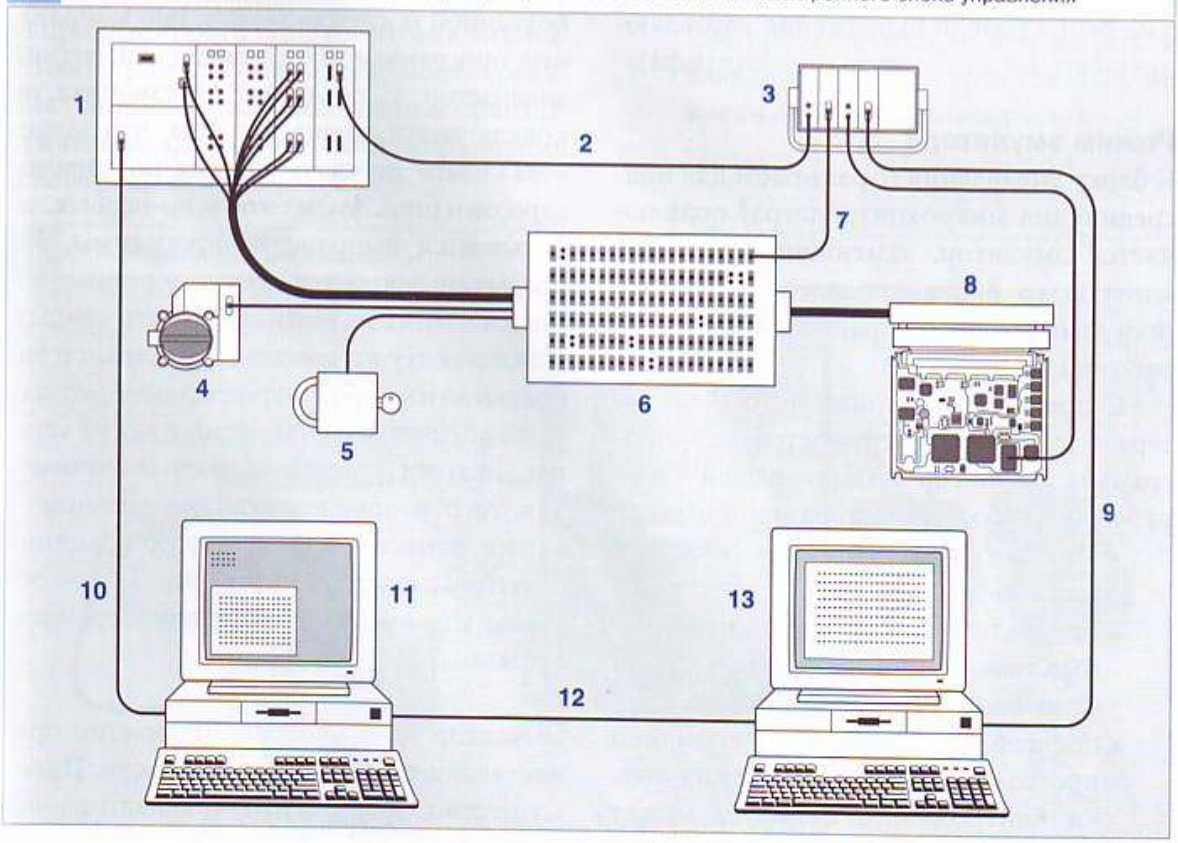


Рис. 2

1. LabCar (лабораторный автомобиль)
2. Интерфейс TRS 4.22
3. INCA VME (калибровочный блок)
4. Дроссельная заслонка с электронным управлением (EGAS)
5. Иммобилайзер (блокировка движения автомобиля)
6. Соединительное устройство
7. K-канал (последовательный однопроводной интерфейс)
8. Электронный блок управления двигателем с модулем эмулятора
9. Последовательный интерфейс (RS232)
10. Параллельный интерфейс (соединительный кабель Centronics с дополнительными световодами)
11. Персональный компьютер (модель для испытаний двигателя, управление LabCar)
12. Последовательный интерфейс (RS232)
13. Персональный компьютер (измерительный процессор, задающий процессор для автоматического управления испытанием)

моделирования датчика температуры) помещены в «черный ящик», известный под названием LabCar (лабораторный автомобиль).

В LabCar имеются также все соединения с исполнительными механизмами, управляемыми блоком управления. Одним из наиболее важных из них является электронно-управляемая дроссельная заслонка, т. к. обратная связь непрерывно контролируется блоком управления. Без связи с дроссельной заслонкой невозможно управлять автомобилем при движении.

Так же к блоку управления должен быть подключен иммобилайзер, блокирующий движение автомобиля. Электрические сигналы моделируются.

Благодаря этому с помощью LabCar можно моделировать реальный автомобиль с целью проверки программы блока управления.

Соединительное устройство

В жгуте проводов, соединяющем LabCar с блоком управления, находится соединительное устройство, к гнезду которого подводится каждый проводник жгута проводов. За счет этого любой сигнал, идущий от блока управления или к нему, становится доступным для измерения (например, измерение кривой напряжения управляющего сигнала с помощью осциллографа).

Режим эмулятора

К блоку управления (с разъемом для подсоединения микроконтроллера) подключается эмулятор, заменяющий микроконтроллер блока управления, так что программа блока управления начинает работать на эмулятор.

С помощью персонального компьютера в эмулятор загружается код программы. Эмулятор также управляется от персонального компьютера, что означает:

- программа может запускаться от определенного адреса памяти;
- могут ставиться «точки контрольного останова» (т. е. программа останавливается в определенном месте);
- последовательность выполнения программы после достижения точки контрольного останова может отслеживаться назад (режим трассировки), и на каждом этапе программы может считываться и изменяться содержание памяти;
- могут определяться триггерные условия; выполнение программы может проверяться до и после триггерной точки;
- могут считываться внутренние сигналы и регистры (регистры процессора), которые обычно не доступны;
- в пошаговом режиме шаг за шагом может обрабатываться последовательность команд программы и наблюдаться ее выполнение;
- при отладке программы могут изменяться данные и код программы для изменения последовательности выполнения программы.

Установка триггерных условий и возможность записи позволяют целенаправленно проверить прогон программы в зависимости от отдельных входных сигналов. Благодаря этому на основе определений функций может быть проверен каждый путь ответвления.

Логический анализатор

Другую возможность наблюдения за установленной последовательностью выполнения программы обеспечивает логический анализатор. С помощью переходника он подключается таким образом, что может отлаживать передачу данных по каналам адресов и шин. За счет этого, во-первых, записывается выполнение программы, во-вторых, наблюдается доступ в режиме записи и чтения на внешней памяти данных. Однако доступ к памяти данных, интегрированной в микроконтроллер, невозможен.

В логическом анализаторе могут устанавливаться условия записи (например, для того чтобы достичь определенного адреса, записать определенную величину в ячейку памяти) или чтения. Таким образом устанавливается режим перезаписи данных.

Эмулятор и логический анализатор предоставляют сходные возможности. Преимущество логического анализатора за-

ключается в том, что он не оказывает влияния на установленную последовательность выполнения программы в реальном режиме времени и при действительной эксплуатации автомобиля.

Испытание в автоматическом режиме

Измерительный пункт LabCar (лабораторного автомобиля), наряду с ручной проверкой программ блока управления, предоставляет также возможность за счет испытания в автоматическом режиме существенно сократить время проведения проверки, особенно при повторных испытаниях. Для этого блок управления работает в замкнутом контуре управления. В настоящее время применяются четыре разных вида испытаний:

1) наиболее часто применяемый тест на достоверность является «грубой» проверкой наиболее важных функций блока управления; с его помощью осуществляются электрические и физические проверки всех входных переменных, а также проверки систем впрыска топлива и зажигания, реакции дроссельной заслонки и максимальное время прогона программы на блоке управления;

2) при испытании OBD (бортовая диагностика) проверяются, путем моделирования ошибок, наиболее важные диагностические функции блока управления и контроль за ошибками;

3) испытание CAN (бортовой контроллер связи) служит для проверки сигналов связи со ссылкой на диапазон значений и контрольный сигнал;

4) испытание на режиме «пуск/остановка» служит для проверки реагирования систем впрыска топлива и зажигания на функционирование блока управления при пуске и остановке. Здесь, кроме того, измеряется напряжение аккумуляторной батареи.

Адаптация к условиям применения

Для того чтобы автомобиль соответствовал требованиям, предъявляемым водителем, необходимы большие затраты на специальную разработку систем, узлов и агрегатов, особенно двигателя.

Как правило, изготовитель автомобиля при разработке новой модели обращается к базовому двигателю. Наиболее важными рабочими параметрами этого двигателя являются:

- степень сжатия;
- фазы клапанного газораспределения (в двигателях с изменяемыми фазами газораспределения регулирование времени открытия и закрытия клапанов может осуществляться во время движения автомобиля).

1 Инструментарий для калибровки

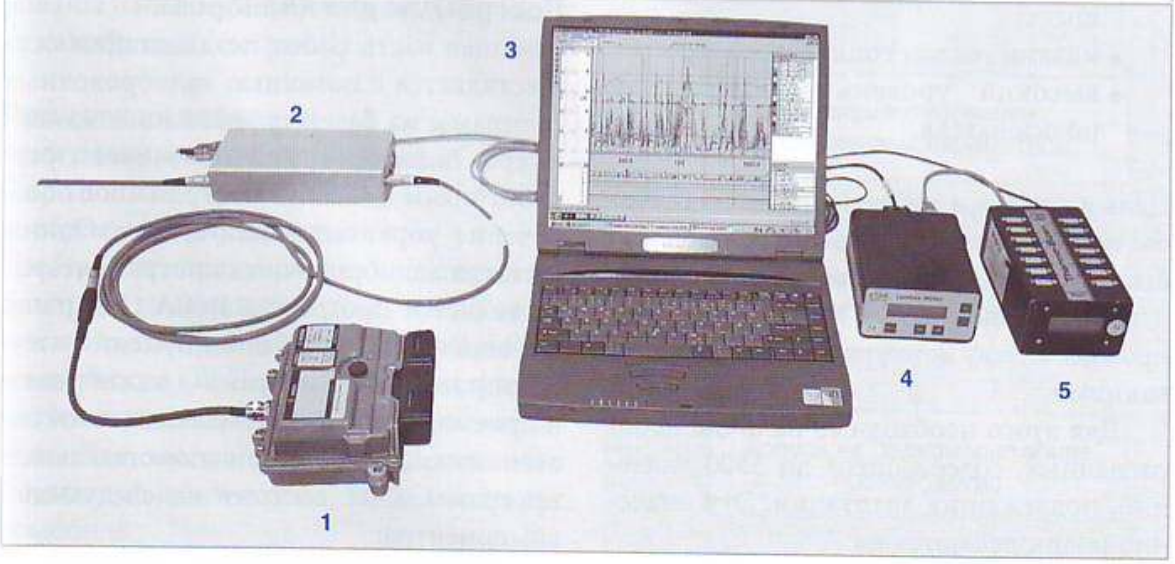


Рис. 1

1. Электронный блок управления двигателем
2. MAC (компактный прибор для испытаний и калибровки)
3. Ноутбук
4. Лямбда-сканер (испытательный интерфейс для широкополосного лямбда-зонда)
5. Термо-сканер (испытательный интерфейс для датчиков температуры)

Периферийные устройства двигателя должны быть адаптированы к местам их установки. Прежде всего, это относится:

- к системе воздухоподачи;
- к системе выпуска.

Другие важные моменты должны уточняться в процессе консультаций с отделом применения фирмы Bosch (например, место установки датчиков детонации).

Определение параметров

На следующем этапе к двигателю должна адаптироваться система электронного управления Motronic. Это является условием адаптации двигателя к определенной модели автомобиля.

Программа блока управления состоит из собственно программы и большого числа данных. Она выполняет требования, перечисленные в документированных спецификациях (функциональная основа), но при применении необходимо также осуществить адаптацию данных к определенной модели двигателя или автомобиля.

На стадии адаптации все данные, называемые также параметрами, должны регулироваться так, чтобы обеспечивалась оптимальная эффективность работы. Важными критериями оценки являются:

- отработавшие газы с низким содержанием в них вредных веществ (выполнение действующих стандартов на эмиссию ОГ);
- высокие крутящий момент и мощность;
- низкий расход топлива;
- высокий уровень удобства для пользователя.

Цель адаптации заключается в том, чтобы предварительно названные критерии были выполнены как можно полнее, т. е. чтобы был достигнут наилучший компромисс между конкурирующими требованиями.

Для этого необходимо наличие набора данных, содержащего до 5500 значений, подлежащих адаптации. Эти значения подразделяются на:

- отдельные параметры (например, температурные пороги для активизации функции);
- характеристические кривые (например, зависимость частоты вращения коленчатого вала от температурного порога включения функции или зависимость между температурой и моментом зажигания);
- диаграммы данных (например, зависимость угла опережения зажигания от нагрузки двигателя и частоты вращения коленчатого вала двигателя).

Вначале требуются работы на испытательном стенде для двигателя. При этой базовой адаптации определяются такие параметры как, например, характеристика угла опережения зажигания. После того как с помощью базовой адаптации закладывается основа для проведения первоначальных испытаний автомобиля, осуществляется адаптация всех параметров, влияющих на реакцию и динамические характеристики двигателя. Эти работы проводятся, по большей части, непосредственно на двигателе, установленном на автомобиле.

Возможности оптимизации систем Motronic стали настолько обширными и сложными, что в настоящее время многие функции возможны только при применении автоматизированных методов оптимизации и мощного инструментария.

Программы для калибровки

Большая часть работ по адаптации осуществляется с помощью калибровочных программ на базе персонального компьютера. Такие программы позволяют разработчикам изменять программное обеспечение управления двигателем. Одним из таких калибровочных инструментариев является программа INCA (Integrated Calibration and Acquisition System — интегрированная система калибровки и приема). Программа INCA является системой из нескольких вспомогательных программ. Она состоит из следующих компонентов:

- стержневая система, включающая все измерительные и регулировочные функции;
- автономный инструментарий (стандартная спецификация), содержащий программное обеспечение для оценки замеренных данных и управления установочными данными и инструмент программирования для стираемой постоянной памяти (Flash-EPROM).

Блок управления, использующийся для целей адаптации, содержит вместо программы памяти (EPROM) модуль эмулятора (ETK), в котором работают модули памяти EPROM и RAM блоков управления. С помощью программы INCA обеспечивается доступ к данным этих запоминающих устройств.
Такой эмулятор памяти представляет самый мощный в настоящее время интерфейс для подсоединения к калибровочным приборам.

Для более простого подсоединения калибровочных приборов (ноутбук) к блоку управления предлагается использовать MAC (компактный прибор для испытаний и калибровки). Подключение осуществляется посредством K-канала диагностического интерфейса или модуля эмулятора (рис. 1), при его наличии.

Использование и функции калибровочных приборов могут быть проиллюстрированы на блок-схеме типичного процесса калибровки (см. рис. 2).

Процесс калибровки программного обеспечения

Определение требуемых характеристик

Требуемые характеристики (например, динамика реакций, шум, состав ОГ) задаются изготовителем двигателя и нормами токсичности ОГ. Цель калибровки заключается в изменении характеристик двигателя. Для этого необходимо проведение испытаний двигателя на стенде или на автомобиле.

2 Блок-схема этапов процесса калибровки

Подготовка к калибровке

Для калибровки используются специальные блоки управления двигателем с модулем эмулятора. По сравнению с блоками управления, применяемыми на серийных моделях автомобилей, они предоставляют возможность изменять значения, которые при обычном режиме работы являются постоянными. Важным аспектом процесса подготовки являются выбор и установка соответствующего интерфейса аппаратной части и/или программного обеспечения.

Дополнительное испытательное оборудование (например, датчики температуры, расходомеры) позволяет определять другие физические переменные для проведения специальных испытаний с использованием таких компонентов аппаратной части INCA, как:

- термо-сканер (для измерения температуры);
- лямбда-сканер (для измерения концентрации кислорода в ОГ);
- баро-сканер (для измерения давления);
- аналого-цифровой сканер (для других аналоговых сигналов).

Определение и документирование действительной реакции системы

Детектирование определенных замеряемых данных осуществляется с помощью стержневой системы INCA. Соответствующая информация может быть отражена на мониторе и анализироваться в форме цифровых значений или графиков (рис. 3).

Замеряемые данные могут регистрироваться не только после осуществления замеров, но и во время этих замеров. Благодаря этому может исследоваться реакция двигателя на эти изменения (например, влияние на интенсивность рециркуляции ОГ). Эти данные могут также регистрироваться для последующего анализа переходных процессов (например, при пуске двигателя).

Идентификация возможностей для изменения параметров

При использовании документации программного обеспечения блока управления (функциональная основа) возможно идентифицировать те параметры, которые в лучшей степени реагируют на изменение системы.

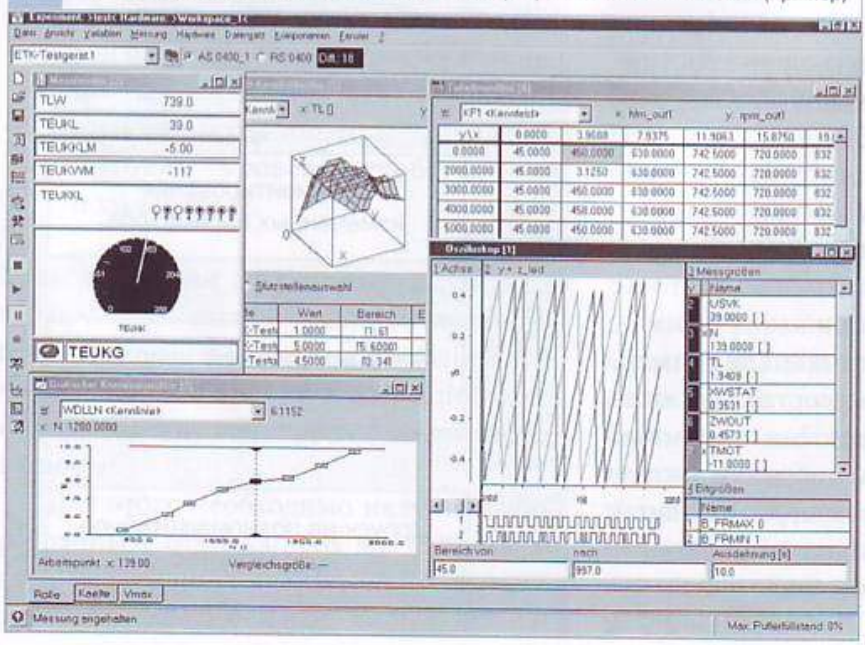
Изменение выбранных параметров

Параметры, находящиеся в программном обеспечении блока управления, могут быть изображены на персональном компьютере как в цифровом (в виде таблиц), так и в графическом виде. При этом они могут изменяться.

Все параметры могут изменяться при работающем двигателе и последствия этих изменений сразу наблюдаются и могут быть измерены.

При разовых кратковременных, переходных процессах (например, пуск двигателя) невозможно эффективно изменить параметры при этих процессах. В таких случаях процесс должен быть зарегистрирован во время проведения испытаний. Замеряемые данные направляются для сохранения в файл и затем параметры, под-

3 Монитор, используемый для калибровки программного обеспечения (пример)



лежащие изменению, идентифицируются с помощью анализа зарегистрированных данных.
Дальнейшие испытания служат для оценки полученной при этом выгоды или более полного изучения этого процесса.

Анализ замеренных данных

Анализ и документирование замеренных данных осуществляется с помощью автономной программы MDA (Measured Data Analyzer — анализ замеренных данных). На этом этапе работы процесс калибровки сравнивается и документируется поведение системы до и после изменения параметров. Это документирование включает усовершенствования, а также все проблемы и нарушения в работе. Документация важна, поскольку в разное время несколько человек участвуют в оптимизации двигателя.

Документирование изменяемых параметров

Также осуществляется сравнение и документирование изменений параметров с помощью автономной программы ADM (Application Data Manager — администратор применения данных), также называемой CDM (Calibration Data Manager — администратор калибровки данных).
Данные калибровки, полученные различными способами, сравниваются и сводятся вместе в один регистратор.

Программирование дополнительных блоков управления

Новые полученные установочные параметры могут также использоваться на других блоках управления двигателями для дальнейшей калибровки. Это требует программирования в блоке управления памяти Flash-EPROM, которое осуществляется с помощью программы PROF (Programming of Flash-EPROM) для стержневой системы INCA.

В зависимости от объемов калибровки и конструктивных инноваций необходима многократная реализация описанных здесь шагов.

Пример калибровки

Регулировка температуры отработавших газов (ATR)

При работе современного бензинового двигателя существенную роль играют следующие аспекты:

- эмиссия ОГ;
- расход топлива;
- тепловые нагрузки на отдельные компоненты двигателя.

Для снижения динамических нагрузок на двигатель до минимального уровня необходимо стремиться к получению низкой температуры ОГ (например, максимальная температура ОГ — ниже 1050°C, а постоянная температура — ниже 970°C). Это особенно важно для двигателей с турбонаддувом, т. к. при иных температурных режимах турбонагнетатель может получить тепловые повреждения.

Температура ОГ может быть снижена, например, обогащением рабочей смеси посредством изменения параметров оптимизации. К сожалению, в результате обогащения смеси, повышается как расход топлива, так и токсичная эмиссия ОГ (CO и CH). Вследствие этого обогащение рабочей смеси должно производиться до уровня, соответствующего минимально потребному.

Двигатели, как правило, работают на динамических режимах, поэтому температура ОГ подвержена колебаниям. Вот почему для определения температуры ОГ необходима физическая модель, учитывающая теплоемкость, теплопередачу и время запаздывания. Такого рода сложные модели, как правило, могут структурироваться с помощью механизмов оптимизации. При этом должны проводиться испытания при всех относящихся к этому условиях работы, при которых одновременно регистрируются все важные входные и выходные параметры. В случае управления температурой ОГ (ATR) блок оптимизации затем адаптирует параметры оптимизации, до тех пор пока смоделированная температура с максимальной точностью не совпадет с измеренной температурой. Точность смоделированной температуры при соответствующем вы-

боре параметров находится в диапазоне точности, которая достигается путем применения датчика температуры.
Преимущество этого метода очевидно: при применении модели производства можно отказаться от датчика температуры, провода считывания и монтажной схемы в серии. Кроме того, отпадает риск выхода из строя компонента за весь срок службы автомобиля и, следовательно, оказывается ненужной функция диагностики неисправностей.

Другие направления адаптации

Адаптация параметров, определяющих безопасность

Наряду с функциями, определяющими уровни эмиссии ОГ, мощность и комфорт, имеются также многочисленные функции безопасности, подлежащие адаптации (например, реакция на выход из строя датчика или исполнительного механизма).

Функции обеспечения безопасности служат, прежде всего, для восстановления безопасных условий работы водителя и/или обеспечения безопасной работы двигателя (например, во избежание повреждения двигателя).

Связь

Электронный блок управления двигателем обычно является частью сети, состоящей из нескольких блоков управления. Обмен данными между автомобилем, трансмиссией и прочими системами осуществляется посредством шины сбора данных, чаще всего, бортового контроллера связи (CAN). Правильное взаимодействие между различными блоками управления не может быть полностью проверено и оптимизировано, пока эти блоки управления установлены на автомобиле, т. к. при определении базовых параметров на испытательном стенде двигателя чаще всего используется только лишь модуль управления двигателем.

Типичным примером взаимодействия блоков управления на автомобиле является процесс передаточного числа в автоматической трансмиссии. Блок управления трансмиссией в оптимальный момент изменения передаточного числа передает через шину сбора данных соответствующую команду на снижение крутящего момента. Затем блок управления двигателем инициирует действия без участия водителя для снижения крутящего момента, обеспечивая, таким образом, сглаженное и плавное изменение передаточного числа в трансмиссии. Данные, которые приводят с снижению крутящего момента, должны быть адаптированы.

Электромагнитная совместимость

Большое число электронных систем на автомобиле и широкое распространение другого электронного коммутационного оборудования (например, радиотелефоны, приборы двухсторонней радиосвязи, глобальные системы навигации GPS) требуют оптимизации электромагнитной совместимости электронного блока управления двигателем и всех соединительных проводов в отношении невосприимчивости к воздействию внешних помех и эмиссии сигналов, взаимовлияющих друг на друга. Большая часть этой работы по оптимизации выполняется еще при разработке блоков управления и соответствующих датчиков. Но т. к. исполнение (например, длина проводов, вид экранирования) и места прокладки жгутов проводов в реальном автомобиле оказывают большое влияние на помехозащищенность и помехоустойчивость, требуется обязательное проведение испытаний и, если необходимо, оптимизация всего автомобиля в камере для проверки на электромагнитную совместимость.

Диагностика неисправностей

Требования к диагностике неисправностей автомобиля, благодаря законодательно регламентируемым нормам, очень высоки. Блок управления двигателем постоянно контролирует сигналы, получаемые от всех подключенных датчиков и исполнительных механизмов, на соответствие установленным диапазонам предельных значений. Он также определяет наличие плохих контактов, короткие замыкания на «массу» или на клеммы ак-

кумуляторной батареи и на соответствие с другими сигналами. Этот диапазон, во-первых, должен быть достаточно широким, для того чтобы в экстремальных условиях (например, очень жаркая или холодная погода, условия высокогорья) не имела место ошибочная диагностика, а, во-вторых, — достаточно узким, для того чтобы сохранялась высокая чувствительность к реальным неисправностям. Кроме того, должны определяться возможность и способы работы двигателя при выявленной данной неисправности. Наконец, информация о сбое в работе должна сохраняться в запоминающем устройстве, с тем чтобы дать возможность специалисту быстро найти и устранить неисправность.

Испытания пробегом в экстремальных климатических условиях

Испытания пробегом в климатически экстремальных условиях проводятся на протяжении срока службы автомобиля, как правило, только в исключительных случаях. Условия, встречающиеся при этих реальных испытаниях, могут лишь частично моделироваться на испытательном стенде, т. к. здесь важную роль играют субъективные ощущения водителя-испытателя и его многолетний опыт. На испытательном стенде можно без проблем моделировать температуру, но оценка, например, на динамометрическом стенде реакции двигателя на трогание автомобиля с места, по сравнению с реальными условиями, значительно затруднена.

Кроме того, дорожные испытания характеризуются большими дистанциями пробега и участием нескольких автомобилей; это позволяет проверить параметры калибровки по большему числу испытываемых автомобилей, в результате чего можно сделать более многостороннее заключение на основании применения только одного объекта испытания.

Другим существенным аспектом является влияние на работу автомобиля различий в сортности топлива, существующих в разных странах мира. В основном, разное качество топлива влияет на поведение при пуске и прогреве двигателя. Изготовители автомобилей затрачивают большие усилия для того, чтобы обеспечить эффективную работу автомобиля на всех сортах топлива, имеющегося на рынке.

Испытания в условиях низких температур

Пробеговые испытания в зимних условиях охватывают температуры примерно от 0 °C до –30 °C. К предпочитаемым регионам для зимних испытаний относятся, например, север Швеции и Канада. Основной целью таких испытаний является оценка пусковых характеристик двигателя и трогания с места.

При пуске оценивается каждый отдельный процесс сгорания и, при необходимости, оптимизируются соответствующие параметры. Правильный выбор параметров каждого последовательного впрыскивания топлива также имеет решающее влияние на время пуска и плавного увеличения частоты вращения коленчатого вала двигателя от момента пуска до установления режима холостого хода. Даже одно нарушение в процессе сгорания, следствием чего является уменьшение крутящего момента во время разгона двигателя, неопытными водителями ощущается как нарушение в работе двигателя.

Испытания в условиях высоких температур

При испытаниях в условиях жаркого климата температурный диапазон составляет от +15 °C до +40 °C. Эти испытания проводятся, например, на юге Франции, в Испании, Италии, США, Южной Африке, а также в Австралии. Южная Африка и Австралия представляют определенный интерес, несмотря на большую отдаленность от центров автомобилестроения и огромные затраты на транспортировку испытательного оборудования, т. к. необходимые температуры там бывают во время зимних месяцев в Европе. За счет все более сокращающегося времени, отводимого на разработки, необходимо использовать и такие возможности.

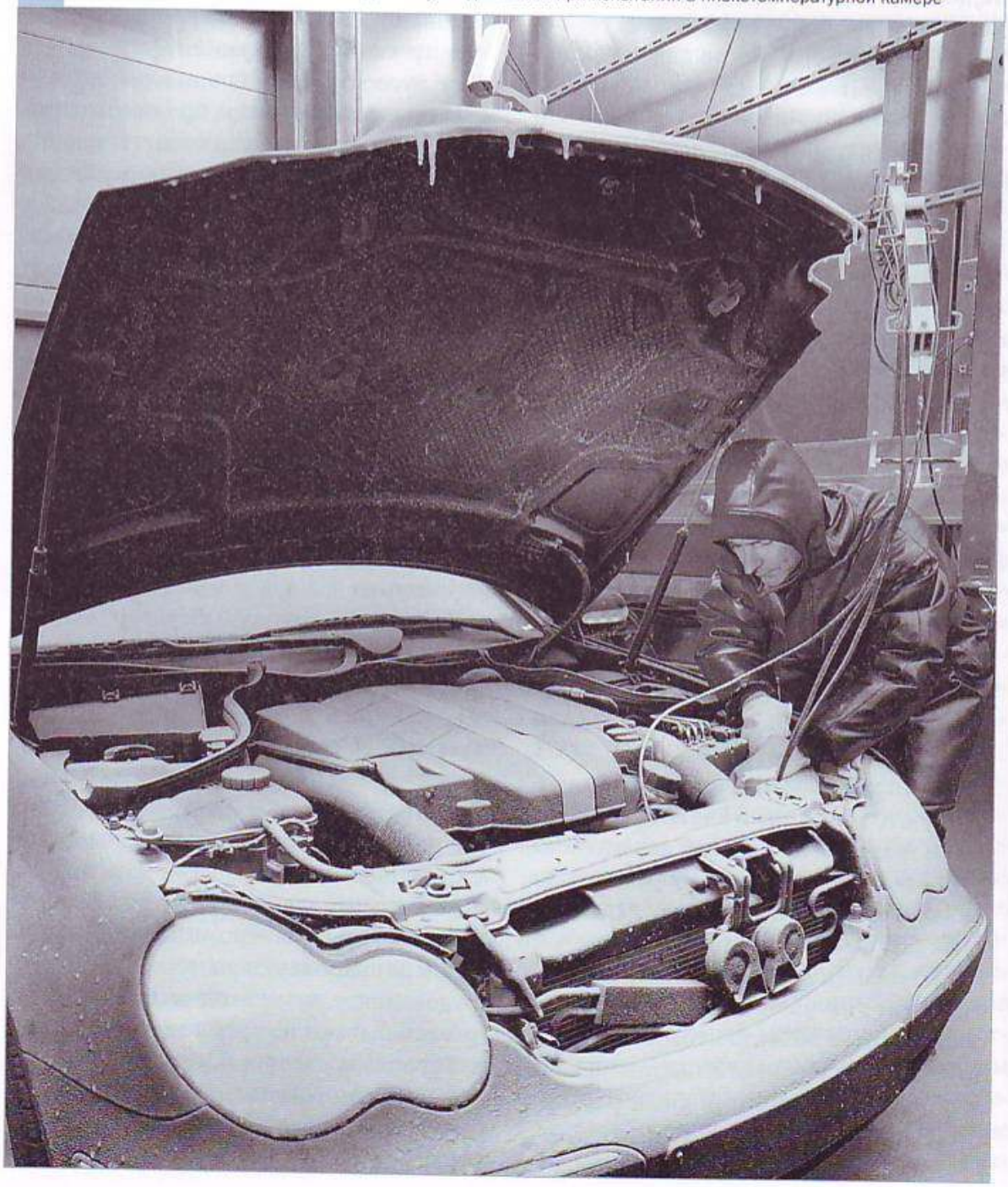
При испытаниях в условиях высоких температур проверяются, например, пуск прогретого двигателя, система вентиляции топливного бака, выявление негерметичности топливного бака, детонационное сгорание, регулировка температуры ОГ и многие другие диагностические функции.

Испытания в условиях высокогорья

Пробеговые испытания в условиях высокогорья проводятся на высоте над уровнем моря в диапазоне примерно от 0 до 4000 м. Здесь важное значение имеет не только абсолютная высота, но и, во многих случаях, быстрое изменение этой высоты за короткое время. Испытания в этих условиях проводятся чаще всего в сочетании с испытаниями при высоких или низких температурах.

Здесь также большую роль играют пусковые характеристики двигателя. Кроме того, изучается адаптация к этим условиям рабочей смеси, вентиляции топливного бака, регулировки детонации и многих других диагностических функций.

4 Регистрация характеристик холодного пуска двигателя при испытании в низкотемпературной камере



Испытательный центр Bosch в Боксберге

Важнейшим фактором разработки современных систем автомобиля является проведение ездовых испытаний, осуществляемых поставщиком этих систем. Не все эти испытания можно провести на дорогах общего пользования. С 1998 г. для этой цели начал использоваться новый испытательный центр Bosch под Боксбергом (между Хейльбронном и Вюрцбургом на юге Германии). Системы испытываются на 92 гектарах на семи разных модулях-трассах до физических пределов выносливости при всех возможных ситуациях движения — и это при максимальной безопасности для водителей-испытателей и автомобилей.

Трассы, имитирующие плохие дороги (1, см. рис. 1) рассчитаны на скорости движения до 50 км/ч либо максимум до 100 км/ч. Для этой цели построены следующие типы трасс: трасса с выбоинами; так называемая «стиральная доска»; вибрационная трасса; «бельгийская» мостовая; трассы с различными неровностями.

На асфальтированных трассах с подъемами (2) имеются полосы разной ширины для испытаний на трогание с места и разгон на подъемах 5, 10, 15 и 20%, которые также могут быть покрыты слоем воды. Имеются два участка с водной преградой (3) длиной 100 и 30 м и глубиной, соответственно, 0,3 и 1,0 м. Предусмотрены покрытые водой трассы специального назначения (4) со следующим дорожным покрытием: «шахматная доска» (асфальт, плитка); асфальт; плитка; голубой базальт; бетон; трасса для испытания на аквапланирование; трапецеидальная трасса из голубого базальта. Площадка для анализа динамических характеристик автомобиля (5) обеспечивает возможность движения с поворотами диаметром 300 м по асфальтированному дорожному покрытию, частично покрытому водой для моделирования аквапланирования или условий движения по обледенелой дороге. Площадка окружена защитным барьером из шин, для того чтобы обезопасить водителей от травм и сохранить автомобили от повреждений. Овалообразная высокоскоростная трасса (6) располагает тремя дорожками и может использоваться для испытаний как легковых, так и грузовых автомобилей. Характеристики трассы обеспечивают возможность движения по ней со скоростями до 200 км/ч. Трасса для испытаний автомобилей на управляемость (9) включает два дорожных участка, один из которых предназначен для движения со скоростями до 50 км/ч, другой — до 80 км/ч. На обоих участках есть повороты с разными радиусами и уклонами. Эта трасса используется преимущественно для испытания динамических систем (ESP).

Схема испытательного центра с различными трассами

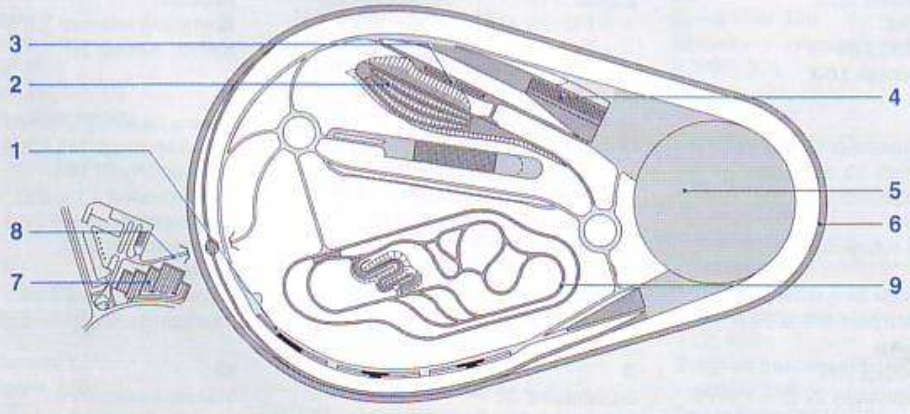


Рис. 1
1. Трассы, имитирующие плохие дороги
2. Трассы с дорожными подъемами
3. Проезды по воде
4. Трассы специального назначения, покрытые водой
5. Площадка для анализа динамических характеристик автомобиля
6. Овалообразная высокоскоростная трасса
7. Здания с помещениями обслуживания
   — мастерские
   — офисы
   — испытательные стенды
   — лаборатории
   — заправочная станция
   — бытовые помещения и медицинский пункт
8. Подъездная дорога
9. Трасса для испытаний автомобилей на управляемость

Предметный указатель

А
Абсорбер 130
Автоматизированное проектирование (CAD) 207
Автомобиль лабораторный (LabCar) 417
Агенство по охране окружающей среды (EPA) 317
Адаптация рабочей смеси 124
Адаптивная интегральная схема (ASIC) 300
Азар, Эскин 69
Азот 343
Айземан, Эрнст 170
Аккумулятор топлива 85
Аналоговый входной сигнал 297
Аналого-цифровой преобразователь 117, 297

Б
Барнетт, Уильям 69
Батарейное зажигание 46, 170
Бензин неэтилированный 29
– этилированный 29
Бенц, Карл 10, 13, 71, 165
Блок электронный (ECU) 296, 405
– центрального впрыска 111
Бортовой контроллер связи (CAN) 336
Бош, Роберт 14, 389

В
Вентилятор двигателя 251
Верхняя мертвая точка (ВМТ) 16
Возвратно-поступательное движение поршня 16
Вольта, Алессандро 164
Воспламенение позднее 223
– рабочей смеси 19
– раннее 223
Впрыскивание топлива во впускной трубопровод 37
– – индивидуальное в каждый цилиндр 149
– – непосредственное 37
– – последовательное 149
– – синхронное 148

Г
Газ инертный 37
– природный 33
Газоанализатор модульного типа 402
Газообмен 38
Газораспределение полновариантное 55
Гистерезис 194
Гонольд, Готтлоб 169
Гюйгенс, Кристиан 164

Д
Давление топливных паров 31
Даймлер, Готлиб 10, 12, 166
Датчик атмосферного давления 277
– давления в топливной рампе 281
– – в топливном аккумуляторе дизельного двигателя 281
– – во впускном трубопроводе 247
– – масла и топлива 277
– – микромеханический 277
– – толстопленочный 280
– – тормозной жидкости 283
– детонации 276
– индуктивный для системы транзисторного зажигания 273
– – частоты вращения коленчатого вала 275
– массового расхода воздуха 247
– – – – термоанемометрический 108
– – – – термопленочный 287
– объемного расхода воздуха 246
– положения дроссельной заслонки 81, 104, 268
– – педали газа 269
– скоростного напора (массового расхода) воздуха 283
– температуры воздуха 265
– – моторного масла 265
– – отработавших газов 265
– – охлаждающей жидкости системы охлаждения двигателя 265
– – топлива 265
– углового положения дроссельной заслонки 247
– уровня топлива в топливном баке 266
– Холла в транзисторной системе зажигания 274
– – дифференциальный стержневой 272
– – стержневой 271
– – угловой 270
– – фазный 271
Двигатель Отто 70
Демпфер давления топлива 142
Детектирование утечек топлива 328
Детонационная стойкость 30
Детонационное сгорание 20
Диаграмма рабочая 24
– расхода топлива 27
Дизель, Рудольф 13
Диоксид серы 32, 344
– углерода 343
Директивы 70/220/ЕЭС 373
– Евро 1, 2, 3, 4 371
Дроссельная заслонка 244

Е
Европейская система бортовой диагностики (EOBD) 318
Европейский ездовой цикл ЕС/ЕЭК 377
Ездовой цикл FTP 72 377
– – FTP 75 375
– – SC03 376
– – SFTP 376
– – US06 376
– – в Японии 378
– – европейский ЕС/ЕЭК 377
– – модифицированный новый европейский (MNEDC) 372
– – Нью-Йорка (NYCC) 377
Емкость 205

Ж
Женатци, Камиль 11

З
Зажигание 48
– батарейное 46, 170
– бесконтактное транзисторное с датчиком Холла 177
– двойное 197
– калильное 226
– катушечное 173
– контактно-транзисторное 176
– магнитоэлектрическое искрой низкого напряжения с прерыванием электрического тока 166
– многоискровое 204
– от калильной головки 166
– от магнето 167
– транзисторное с импульсным генератором индукционного типа 178
– электронное (транзисторное) 47
Зазор между электродами 217
Закон Бойля-Мариотта 24
– Гей-Люссака 24

И
Износ электродов 225
– массового электрода эрозионный 400
Индекс образования паровой пробки (VLI) 32
Индуктивность 205
Инертный газ 37
Интерфейс диагностический 316
Ионный ток 221
Испарение топлива 342
Испаряемость 31

К
Калильное зажигание 226
– число 209
Карбюратор 69
Катушечное зажигание 173
Катушка зажигания 183
Клапан дифференциальный нагнетательный 88
– продувочный 137
– регулировки давления 154
– рециркуляции ОГ 57
– форсунки электромагнитный 129
Компрессор 61
Контур высокого давления 134
– лямбда-управления 123, 358
– низкого давления 134
Корректор давления электрогидравлический 93
Коэффициент вариаций 218
– избытка воздуха 18, 39
– наполнения цилиндра 38
КПД 24
Крутящий момент 23, 34
Куньо, Жозеф 10

Л
Лампа неисправностей индикаторная (MIL) 319
Ленуар, Этьен 165
Лямбда-зонд 123, 251
– двухступенчатый 290
– планарный 292
– планарный широкополосный 294
Лямбда-управление 117

М
Магнето высокого напряжения 168
– низкого напряжения 167
Магнитная индукция 194

Магнитное поле 193
Магнитопровод 194
Майбах, Вильгельм 12, 71
Маркус, Зигфрид 69
Метан 33
Метанол 33
Метилтретбутилэфир (MTBE) 29
Метод CVS
(пробы постоянного объема) 380
– диагностики, основанный на анализе разрежения в топливном баке 327
– исследовательский определения октанового числа (RON) 30
– конечных элементов (FEM) 207, 233
– моторный определения октанового числа (MON) 30
– опрессовки топливного бака 328
Микроконтроллер 299
Микромеханика 282
Мичерлих, Эйлхард 69
Многоискровое зажигание 204
Момент зажигания 42, 190
– затяжки свечи зажигания 395
Морей, Сэмюэль 69
Мощность 23
Мультивибратор управляющий разделительный (РУМ) 99

Н
Нагнетатель (компрессор) 61
Наддув 38
– динамический 38, 58
– инерционный 58
– механический 38, 61
– резонансный 59
Напряжение зажигания 187
Насос высокого давления 152
– лопастной (центробежный) 138
– плунжерный (поршневой) 138
– поршневой (плунжерный) 138
– топливный с электроприводом 84, 138, 249
– трехцилиндровый 153
– центробежный (лопастной) 138
Неметановые органические соединения (NMOG) 366
Нефть 28
Нижняя мертвая точка (НМТ) 16
Нормы EPA 369

О
Объем камеры сгорания 16
Озон 345
Окислительный каталитический нейтрализатор 352
Оксид углерода 344
Оксиды азота 344
Октановое число 30
Остаточные ОГ 36
Отто, Николаус 10, 12, 70
Охлаждение наддувочного воздуха 66
Оценка состояния свечи зажигания 397

П
Панар, Рене 10
Парниковый эффект 373
Перекрытие клапанов 38
Положение искры 218
Порше, Фердинанд 11
Потери мощности 206
– на трение 26
– при газообмене 25
– энергии на шунтирование 189
Привод дроссельной заслонки 127
Присадки 32
Продолжительность впрыскивания топлива 78
Промежуток искровой (воздушная искра) 216

Р
Рабочий ход 17
Рампа топливная 250
Распределение рабочей смеси 18
– смеси гомогенное 18, 26
– – послойное 18, 26, 160
Распределитель (дозатор) топлива 87
– зажигания вакуумный 176
Расход топлива 22
Расходомер воздуха 86
– – с потенциометром 267
– – термоанемометрический с горячей проволокой 286
Регулятор давления топлива 85, 141, 249
– обогащения горючей смеси при прогреве двигателя 90
– – зажигания центробежный 175
– частоты вращения коленчатого вала на холостом ходу 246
Рейка топливная 140
Рециркуляция ОГ 57
Рива, Исаак 164

С
Самовоспламенение рабочей смеси термическое 222
Самодиагностика 314
Свеча зажигания 209
Сгорание детонационное 226
Сжатие 18
Сжатый природный газ (СПГ) 33
Сжиженный нефтяной газ (СНГ) 33
Система CARTRONIC® 341
– D-Jetronic 47, 77, 82
– EGAS (электронное управление дроссельной заслонкой) 51
– ESI(tronic) (электронная сервисная информация) 385
– KE-Jetronic 47, 67, 82, 93
– KE-Motronic 50
– K-Jetronic 46, 67, 82, 83
– L3-Jetronic 105
– LH-Jetronic 48, 108
– L-Jetronic 47, 82, 95
– ME-Motronic 50, 252
– MED-Motronic 50, 257
– M-Motronic 50, 244
– Mono-Jetronic 110
– Mono-Jetronic 48, 82
– Mono-Motronic 50
– Motronic 49, 82, 238, 304
– бортовой диагностики (OBD) 317
– – – европейская (EOBD) 318
– зажигания полностью электронная без распределителя 180
– – полупроводниковая без датчика-распределителя 49
– – электронная 47, 179
– калибровки и приема интегрированная (INCA) 420
– мультиплексная 337
– обеспечения качества 408
– подачи дополнительных порций воздуха 251
– принудительной вентиляции картера (PCV) 331
– рециркуляции ОГ (EGR) 331
– с электронным управлением дроссельной заслонкой (EGAS) 303
Смесеобразование внешнее 67
– внутреннее 68
Смесь рабочая 39
Смог 345
Состав заряда рабочей смеси 36
Спирты 33
Стандарт CARB 365
– EC 371
Стенд диагностики KTS500C 385
Степень сжатия 18
Стрит, Роберт 69

Т
Такт 16
Твердые частицы 345
Теплота сгорания 29
Теплотворная способность 29
Термореле 89
Термостатирование 378
Тестер 402
– KTS500 388
Топливная рампа 250
– рейка 140
Топливный бак 142
– насос с электроприводом 84, 138, 249
– фильтр 85, 139
Топливопровод 142
Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор 353
Турбонагнетатель 63
Турбонаддув 38, 63

У
Углеводороды 344
Угол замкнутого состояния контактов прерывателя 44
– опережения зажигания 43
– поворота дроссельной заслонки 115

Ф
Фазы газораспределения 17
– – регулируемые 53
Фильтр топливный 85, 139
Форд, Генри 11, 13
Форсунка 85, 145
– высокого давления 156
– пусковая 89
– электромагнитная 145, 250

Ц
Цикл идеальный 24
– четырехтактный 16

Ш
Шина CAN 336
Широтно-импульсная модуляция (ШИМ) 301

Э
Экранирование 187
Электрод 214
– биметаллический 215
– массовый 214
– платиновый 215
– серебряный центральный 215
– центральный 214
Электромагнитная совместимость 412, 424
Энергия зажигания 188
– искры 196
Эрозия искровая 225
Этанол 33
Эффект парниковый 373

Сокращения, принятые в литературе по устройству систем управления

A

ABS Antiblockiersystem — антиблокировочная система тормозов
ACC Adaptive Cruise Control — адаптивный круиз-контроль
ACEA Association des Constructeurs Européen d'Automobiles — Европейская ассоциация автомобильных производителей
ADC Analog/Digital Converter — аналого-цифровой преобразователь
ADM Applikationsdatenmenager — администратор применения данных
AGR Abgasrückführung — рециркуляция отработавших газов
ASIC Application Specific Integrated Circiut — адаптивная интегральная схема
ASR Antriebsschlupfregelung — противобуксовочная система
ASTM American Society for Testing and Materials — Американское общество по испытанию материалов (США)
ATL Abgasturbolader — турбонагнетатель, приводимый в действие потоком отработавших газов
ATR Abgastemperaturregelung — регулировка температуры отработавших газов
AU Abgasuntersuchung — контроль токсичности отработавших газов

B

BDE Benzin-Direkteinspritzung — непосредственный впрыск топлива (бензина)

C

CAD Computer Aided Design — автоматизированное проектирование
CAFE Corporate Average Fuel Economy — средний расход топлива в группе автомобилей (США)
CAN Controller Area Network — бортовой контроллер связи
CARB California Air Resources Board — Калифорнийское управление по охране воздушного бассейна (США)
CIFI Cylinder Individual Fuel Injection — впрыскивание топлива в отдельный цилиндр
COP Coil on Plug — катушка зажигания, смонтированная на свече зажигания
CPU Central Processing Unit — центральный процессор (микропроцессор)
CVS Constant Volume Sampling — метод отбора проб при постоянном объеме газа

D

DFPM Diagnose-Fehlerpfad-Management — управление диагностикой цепи неисправностей
DI Direct Injection — непосредственный впрыск
DIN Deutsches Institut für Normung — Немецкий институт стандартизации
DKG Drosselklappengeber — датчик положения дроссельной заслонки
DOR Direct Ozone Reduction — каталитическое покрытие для снижения количества озона
DS Diagnostic System — диагностическая система
DS Saugrohrdrucksensor — датчик давления во впускном трубопроводе
DSCHED Diagnose-Funktions-Scheduler — планировщик диагностических функций
DSM Diagnose-System-Management — управление системой диагностики
DVAL Diagnose-Validator — подтверждение достоверности диагностики

E

ECE Economic Comission for Europe — Европейская экономическая комиссия ООН
ECU Electronic Control Unit — электронный блок управления
EDC Electronic Diesel Control — электронная система управления дизельным двигателем
EEPROM Electrically Erasable Programmable Read Only Memory — электронно-стираемая программируемая постоянная память
EFU Einschaltfunkenunterdrückung — подавление включения искры
EFZ Einfunkenzündung — одноискровое зажигание
EGAS Elektronisches Gaspedal — электронно-управляемая педаль «газа»
EGR Exhaust-Gas Recirculation — рециркуляция ОГ
EGS Elektronische Getriebesteuerung — электронное управление трансмиссией
EIR Emissions Information Report — отчет об эмиссии ОГ (США)
EKP Elektokraftstoffpumpe — топливный насос с электроприводом
EMS Elektronische Motorleistungssteuerung — электронное управление мощностью двигателя
EMV Elektromagnetische Verträglichkeit — электромагнитная совместимость
EN European Norm — Европейские нормы
EOBD European On-Board Diagnose — европейская система бортовой диагностики
EoL End of Line — программирование в конце сборки
EPA Environmental Protection Agency — Агентство по охране окружающей среды (США)
EPROM Erasable Programmable Read-Only Memory — стираемая программируемая постоянная память
ESI (tronic) Electronic Service Information — электронная сервисная информация
ESP Elektronisches Stabilitäts-Programm — электронная программа устойчивости автомобиля
ETC Electronic Throttle Control — электронная система управления дроссельной заслонкой двигателя
EU Europäische Union — Европейский союз
EUDC Extra Urban Driving Cycle — европейский цикл испытаний легковых автомобилей по уровню эмиссии ОГ
EV Einspritzventil — впускной клапан
EWIR Emissions Warranty Information Report — отчет об эмиссии ОГ (США)
EZ Elektronische Zündung — электронное зажигание

F

FDEM Function Definition — функциональная схема
FEM Finite-Element-Methode — метод конечных элементов
FID Flammen-Ionisations-Detektor — детектор содержания углеводородов методом пламенной ионизации
FIR Field Information Report — отчет об эмиссии ОГ (США)
Flash-EPROM Flash Erasable Programmable Read-Only Memory — программируемая память с групповым электрическим стиранием
FMEA Failure Mode and Effects Analysis — анализ характера и последствий отказов
FS Fuel System — топливная система
FTP Federal Test Procedure — федеральный испытательный цикл легковых и легких грузовых автомобилей по уровню эмиссии ОГ (США)

G

GS Elektronische Getriebesteuerung — электронное управление изменением передаточного числа в трансмиссии

H

HDEV Hochdruck-Einspritzventil — форсунка высокого давления
HDP Hochdruckpumpe — насос высокого давления
HFM Heissfilm-Luftmassenmesser — термоанемометрический плёночный расходомер воздуха
HLM Hitzdraht-Luftmassenmesser — термоанемометрический проволочный расходомер воздуха

I
IC Integrated Circuit — интегральная схема
ICE Internal Combustion Engine — двигатель внутреннего сгорания
IGBT Insulated Gate Bipolar Transistor — биполярный транзистор с изолированным затвором
INCA Integrated Calibration and Acquisition System — интегрированная система калибровки и сбора данных
ISO International Organisation for Standartization — Международная организация по стандартизации

K
KW Kurbelwelle — коленчатый вал

L
LabCar Laboratory Car — лабораторный автомобиль
LDT Light-Duty Truck — автомобиль малой грузоподъемности
LEV Low Emission Vehicle — автомобиль с низким уровнем эмиссии ОГ
LMLi Lean-Misfire Limit — предельно допустимое обеднение рабочей смеси
LMM Luftmengenmesser — датчик массового расхода воздуха

M
MAC Mess- und Applikationsgerät Compact Serie — компактное устройство для испытаний и калибровки
MDA Measure Data Analyzer — анализатор замеренных данных
MFZ Mehrfunkenzündung — многоискровое зажигание
MIL Malfunction Indicator Lamp — лампа-индикатор неисправности
MNEFZ Modifizierter Neuer Europäischer Fahrzyklus — модифицированный новый европейский ездовой цикл испытаний
MON Motor Octane Number — октановое число по моторному методу
MPI Multipoint Injection — многоточечный (распределенный) впрыск
MSV Mengensteuerventil — клапан управления количеством подаваемого топлива
MTBE Methyltertiarybutylether — метилтретбутилэфир

N
NDIR Nicht-Dispersiver Infrarot-Analysator — бездисперсионный инфракрасный анализатор
NE Nachentflammung — калильное зажигание
NEDC New European Driving Cycle — новый европейский ездовой цикл испытаний
NEFZ Neuer Europäischer Fahrzyklus — новый европейский ездовой цикл испытаний
Nkw Nutzkraftwagen — грузовой автомобиль
NMOG Nicht-Methanhaltige organische Gase — неметановые органические соединения
NW Nockenwelle — кулачковый вал
NYCC New Yorc City Cycle — цикл испытаний легковых автомобилей по определению уровня эмиссии ОГ в Нью-Йорке (США)

O
OBD On-Board-Diagnose — бортовая диагностика
OT Oberer Totpunkt — верхняя мертвая точка (ВМТ)

P
PCV Positive Crankcase Ventilation — принудительная вентиляция картера
Pkw Personenkraftwagen — легковой автомобиль
ppm past per million — промиль (миллионная часть) (1000 ppm = 0,1%)
PS Pferdestärke — метрическая лошадиная сила (1 PS = 0,7355 кВт)
PWM Pulsweitenmodulation — широтно-импульсная модуляция (ШИМ)
PZEV Partial Zero-Emission Vehicle — автомобиль с очень низким уровнем токсичности ОГ и топливных испарений
PZZ Pulszugzündung — многоискровое зажигание

R
RAM Random Access Memory — оперативное запоминающее устройство (ОЗУ)
RFLS Returnless Fuel System — топливная система без системы рециркуляции топлива
ROM Read Only Memory — постоянное запоминающее устройство (ПЗУ)
ROV Rotierende Hochspannungsverteilung — распределение высокого напряжения с помощью вращающегося ротора
RON Research Octane Number — октановое число по исследовательскому методу
RUV Ruhende Spannungsverteilung — неподвижное распределение напряжения

S
SAE Society of Automotive Engineers — Общество автомобильных инженеров (США)
SEFI Sequential Fuel Injection — последовательный впрыск
SFTP Supplemental Federal Test Procedure — дополн. федеральный испытательный цикл легковых и легких грузовых автомобилей по уровню эмиссии ОГ (США)
SHED Sealed House for Evaporation Determination — испытание на испаряемость в герметичной камере
SI Spark Ignition — искровое зажигание
SMD Surface Mounted Device — технология поверхностного монтажа
SRE Saugrohreinspritzung — впрыскивание топлива во впускной трубопровод
SULEV Super Ultra-Low-Emission Vehicle — автомобиль со сверхнизкой токсичной эмиссией ОГ
SZ Konventionelle Spulenzündung — традиционное катушечное зажигание
SZ Selbstzündung — самовоспламенение

T
TD Torque Demand — потребная величина крутящего момента
TLEV Transitional Low-Emission Vehicle — переходная модель автомобиля с низкой токсичной эмиссией ОГ
TS Torque Structure — структура крутящего момента
TZ Transistorzündung — транзисторное зажигание
TZ-H Transistorzündung mit Hall-Geber — транзисторное зажигание с датчиком Холла
TZ-I Transistorzündung mit Induktionsgeber — транзисторное зажигание с индуктивным датчиком
TZ-K Transistorzündung, kontaktgesteuert — контактно-транзисторное зажигание

U
UDC Urban Driving Cycle — городской ездовой цикл
ULEV Ultra-Low-Emission Vehicle — автомобиль с ультранизкой токсичной эмиссией ОГ
UT Unterer Totpunkt — нижняя мертвая точка (НМТ)

V
VE Vorentflammung — преждевременное воспламенение
VLI Vapour-Lock Index — индекс образования паровой пробки
VST Variable Schieberturbine — турбина с золотниковым регулированием
VTG Variable Turbinen-Geometrie — изменяемая геометрия турбины
VVT Variabler Ventiltrieb — изменяемая установка фаз газораспределения
VZ Vollelektronische Zündung — полностью электронное зажигание

W
WOT Wide-Open Throttle — широкое открытие дроссельной заслонки
WWR Wärmewertreserve — резерв теплового диапазона по углу поворота коленчатого вала

Z
ZEV Zero-Emission-Vehicle — автомобиль с нулевой токсичной эмиссией ОГ и паров топлива
ZZP Zündzeitpunkt — момент зажигания по углу поворота коленчатого вала

Системы управления бензиновыми двигателями

Обложка Ольга Шиян
Верстка Денис Микляев
Кирилл Николаев
Светлана Стикс
Наталья Сычева
Цветоделение Михаил Плотников
Технический редактор Лариса Рассказова
Корректоры Галина Попова
Маргарита Авдюшкина

Подписано в печать ООО «Книжное издательство «За рулем» 31.03.05.
Формат 165 x 235 мм. Бумага мелованная матовая. Гарнитура Minion. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 35,1. Тираж 3000 экз. Заказ № 0505480. Цена свободная.

ООО «Книжное издательство «За рулем»
107150, Москва, 5-й проезд Подбельского, д. 4а, стр. 1.

ОАО «Ярославский полиграфический комбинат»
150049, г. Ярославль, ул. Свободы, д. 97

BOSCH

Автомобильная Техника

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕНЗИНОВЫМИ ДВИГАТЕЛЯМИ

УЗЛЫ И АГРЕГАТЫ

Системы управления бензиновыми двигателями непрерывно развиваются на протяжении всей истории автомобилестроения. Этот процесс нашел свое отражение в данном издании, созданном специалистами фирмы Bosch и впервые переведенном на русский язык.

В книге представлены

общее устройство двигателей с искровым зажиганием, история создания систем управления двигателем, системы управления наполнением цилиндров зарядом рабочей смеси, впрыскивание топлива во впускной трубопровод, а также впрыскивание топлива непосредственно в цилиндры, системы зажигания, датчики, электронное регулирование и управление, электронные блоки управления, электронная диагностика, эмиссия отработавших газов, каталитическая нейтрализация отработавших газов, нормы на предельно допустимую токсичность отработавших газов, технология технического обслуживания, предметный указатель, список сокращений на английском и немецком языках.

Книга предназначена

- инженерам-двигателистам
- работникам транспортных предприятий
- работникам станций технического обслуживания
- преподавателям и студентам технических учебных заведений
- водителям и владельцам автомобилей
- всем, кто интересуется системами управления двигателями

ТЕОРИЯ И ПРАКТИКА

http://knigi.zr.ru

ISBN 5-9698-0025-2

675-00