

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

Кафедра Транспорта

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Е. С. Воеводин  
« » \_\_\_\_\_ 2022г.

### **БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

23.03.03.01 Автомобили и автомобильное хозяйство

Совершенствование алгоритма лямбда-регулирования в двигателях  
внутреннего сгорания с искровым зажиганием

Руководитель

к. т. н., доц. каф. Транспорт С. В. Мальчиков

Выпускник

В. А. Чермянин

Красноярск 2022

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Политехнический институт

Кафедра Транспорта

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Е. С. Воеводин  
« » \_\_\_\_\_ 2022г.

**ЗАДАНИЕ  
НА ВЫПУСКНУЮ КВАЛИФИКАЦИОННУЮ РАБОТУ  
в форме Бакалаврской работы**

Красноярск 2022

Студенту Чермянину Владимиру Алексеевичу

Группа ФТ18-02БП Направление: 23.03.03.01 “Автомобили и автомобильное хозяйство”

Тема выпускной квалификационной работы: “Совершенствование алгоритма лямбда-регулирующего в двигателях внутреннего сгорания с искровым зажиганием”

Утверждена приказом по университету № 345/с от 12.01.2022

Руководитель ВКР: С. В. Мальчиков, доц. каф. Транспорт ПИ СФУ, канд. техн. наук

Исходные данные для ВКР: данные отчета Министерства экологии Красноярского края за 2020 год, насыщенность легковыми автомобилями в городах России, средний годовой пробег легковых автомобилей в РФ, население города Красноярск, Пробеговые выбросы загрязняющих веществ легковыми автомобилями на территории населённых пунктов.

Перечень разделов ВКР:

1. Литературный анализ;
2. Системы впрыска топлива;
3. Электронная система управления бензиновым двигателем;
4. Лямбда-регулирующее;
5. Проблема процесса лямбда-регулирующего;
6. Токсичность ОГ бензинового двигателя.

Перечень графического материала:

Лист 1 – Экологические проблемы автомобильного транспорта

Лист 2 – Лямбда-регулирующее

Лист 3 – Алгоритм проверки топливных форсунок в процессе лямбда-регулирующего

Лист 4 – Алгоритм сравнения коэффициентов корректировки подачи топлива и вывода кода неисправности

Руководитель ВКР

С. В. Мальчиков

Задание принял к исполнению

В. А. Чермянин

«12» января 2022 г.

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме “Совершенствование алгоритма лямбда-регулирования в двигателях внутреннего сгорания с искровым зажиганием” содержит 81 страницу текстового документа, 70 иллюстраций, 5 таблиц, 2 приложения, 16 использованных источников, 4 листа графического материала.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ АВТОМОБИЛЯ, РОЛЬ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА В ЗАГРЯЗНЕНИИ АТМОСФЕРЫ ЗЕМЛИ, ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ДВС, СИСТЕМЫ ВПРЫСКА ТОПЛИВА, ЭСУД, ДАТЧИКИ БЕНЗИНОВОГО ДВИГАТЕЛЯ, ЭБУ, ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА, КАТАЛИТИЧЕСКИЙ НЕЙТРАЛИЗАТОР, ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНАЯ СМЕСЬ, ЛЯМБДА-РЕГУЛИРОВАНИЕ, ДАТЧИК КИСЛОРОДА, АЛГОРИТМ ЛЯМБДА-РЕГУЛИРОВАНИЯ, ВРЕДНЫЕ ВЫБРОСЫ АВТОМОБИЛЯ.

Объект аудита – процесс лямбда-регулирования в двигателях внутреннего сгорания с искровым зажиганием

Цель аудита: усовершенствования существующего алгоритма лямбда-регулирования с целью улучшения экологичности автомобиля.

В данной работе приведено описание систем впрыска бензина и систем электронного управления двигателем с искровым зажиганием, сущность процесса лямбда регулирования, а также предложено решение поставленной выше проблемы.

## СОДЕРЖАНИЕ

Реферат .....	4
Введение.....	6
1 Литературный анализ.....	7
2 Системы впрыска топлива.....	13
2.1 Впрыск топлива .....	14
2.2 История развития систем питания двигателей .....	17
3 Электронная система управления бензиновым двигателем .....	39
3.1 Датчики .....	41
3.2 Электронный блок управления .....	48
4 Лямбда-регулирование .....	56
4.1 Каталитический нейтрализатор отработавших газов.....	56
4.2 Лямбда-регулирование .....	60
4.3 Датчик кислорода.....	60
4.3.1 Циркониевый кислородный датчик .....	61
4.3.2 Титановый кислородный датчик .....	63
4.3.3 Широкополосный датчик .....	64
5 Проблема процесса лямбда-регулирования .....	66
5.1 Предлагаемое решение проблемы.....	67
6 Токсичность отработавших газов бензинового двигателя .....	71
6.1 Характеристика вредных выбросов .....	71
6.2 Расчет вредных выбросов.....	73
Заключение .....	77
Список сокращений .....	78
Список использованных источников .....	79
Приложение А .....	80
Приложение Б .....	81

## ВВЕДЕНИЕ

По данным отчета Министерства экологии Красноярского края за 2020 год [1] уровень загрязнения воздуха в крупных городах региона оценивается как высокий, и только в одном НП (Назарово) уровень загрязнения оценивается как низкий.

Большую роль в загрязнении воздуха играет автомобильный транспорт: в Красноярске за 2020 год вредные выбросы от передвижных источников составили 78 тыс. т – 42% от общей массы выбросов [1]. Поэтому проблема загазованности атмосферы актуальна в настоящее время.

Наиболее эффективным устройством для решения этой проблемы в бензиновых двигателях является каталитический нейтрализатор. Однако, эффективность его работы достигает 98% только при точном управлении составом топливно-воздушной смеси [2], которое может быть достигнуто лишь в процессе лямбда-регулирования. Процесс лямбда регулирования, осуществляемый в настоящее время, имеет недостаток: топливная коррекция не учитывает техническое состояние форсунок.

Это приводит к повышенному расходу топлива увеличению концентрации токсичных веществ в отработавших газах и, следовательно, к ухудшению экологичности автомобиля.

## 1 Литературный анализ

Тема экологической безопасности автомобиля является актуальной. Одним из направлений в повышении экологичности являются научные исследования в области электронных систем управления двигателем внутреннего сгорания, в частности системы управления составом топливно-воздушной смеси. Описание мероприятий, повышающих экологическую безопасность автомобилей, представлены в источниках [2], [3], [4].

**М. Рендалл** в своем руководстве “Электрическое и электронное оборудование автомобилей” [2] рассказывает о проблеме загрязнения атмосферы вредными веществами в отработавших газах автомобилей.

По мнению автора, наиболее эффективным устройством для решения проблемы уменьшения содержания вредных веществ в выхлопных газах является каталитический нейтрализатор, уменьшающий эту концентрацию до допустимых пределов.

Непременным условием для установки каталитического преобразователя является наличие системы управления составом рабочей смеси (соотношением топливо/воздух), при которой происходит наиболее полное сгорание. Это соотношение называется стехиометрическим и равно 14,7:1, то есть на 14,7 кг воздуха приходится 1 кг топлива. Это соотношение принято равным 1,0 и обозначается символом  $\lambda$  – лямбда (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Различные значения коэффициента избытка воздуха

Наименование параметра	Значение параметра				
	11,76	13,23	14,7	16,17	17,64
Соотношение Воздух/топливо	11,76	13,23	14,7	16,17	17,64
Лямбда	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
Вид смеси	Бедная		Стехиометрическая	Богатая	

Поскольку долгое время многие системы не имели контроля за результатами сгорания, проблема наличия вредных веществ в выхлопных газах была актуальна. Карты для определения расхода топлива были определены только для двигателя в хорошем состоянии и не учитывали износ его деталей. Подобные системы называются системами без обратной связи.

Для получения информации относительно состава выхлопных газов в выхлопной трубе устанавливается датчик кислорода. Этот датчик измеряет количество несгоревшего кислорода в выхлопных газах и создает сигнал для электронного блока управления. Блок электронного управления корректирует подачу топлива таким образом, чтобы коэффициент избытка воздуха не выходил за пределы диапазона вокруг единицы. Этот диапазон называется окном каталитического преобразователя.

Так как информация о составе выхлопных газов поступает в обратном направлении в ЭБУ, который в свою очередь управляет этим составом, такая система

называется системой с обратной связью. При работе с обратной связью через датчик кислорода ЭБУ изменяет длительность впрыска таким образом, чтобы поддерживать коэффициент избытка воздуха в пределах 0,97...1,03 – так называемое “окно лямбда” (рисунок 1.1). При этом нейтрализатор задействован в наименьшей степени, из выхлопной трубы в атмосферу выбрасываются газы с наименьшей вредностью.

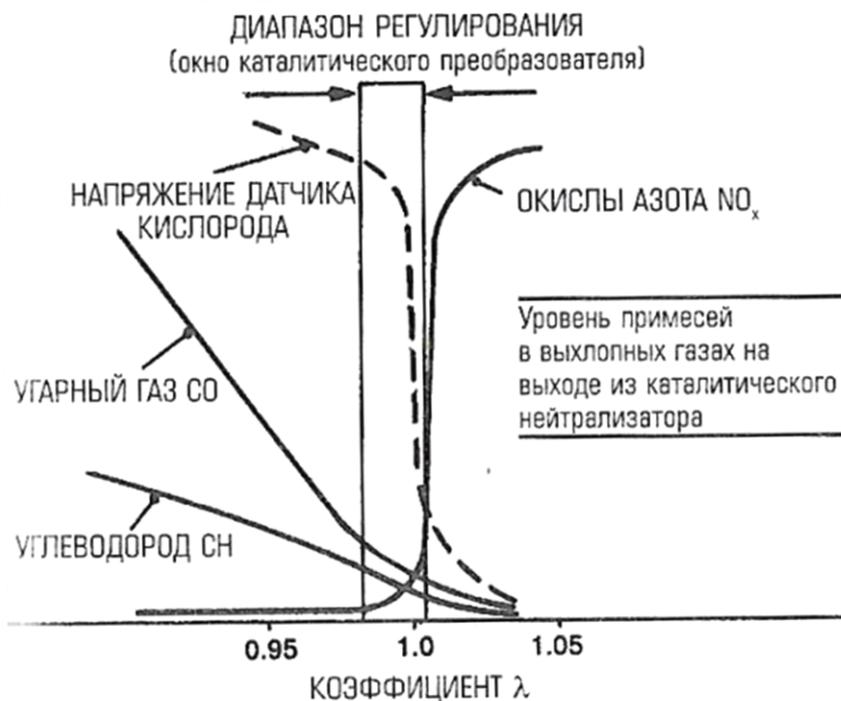


Рисунок 1.1 – Кривая напряжения датчика лямбда и состав выхлопных газов

Автор пособия утверждает, что обратная связь включается в том случае, когда двигатель прогрет до рабочей температуры, а также приводит условия, при которых обратная связь выключается:

- при запуске и прогреве двигателя;
- при разгоне, когда полностью открыта дроссельная заслонка.

Рендалл отмечает важную роль обратной отрицательной связи: если в выпускной системе предусмотрен каталитический нейтрализатор без  $\lambda$ -зонда (работа без обратной связи), то вредность выхлопа уменьшается примерно на 50%. С датчиком кислорода вредность выхлопа снижается до 90%.

Таким образом, процесс **лямбда-регулирования** – это принудительное изменение основного расчетного времени впрыска топлива с целью поддержания стехиометрического состава топливно-воздушной смеси (коэффициент избытка воздуха находится в интервале 0,99...1,01) для обеспечения максимально эффективной работы каталитического нейтрализатора.

В пособии “Системы впрыска бензина. Устройство, обслуживание и ремонт” [3] Росс Твег рассматривает принципы работы и особенности

конструкции систем впрыска бензина, таких как “Bosch K-Jetronic”, “L-Jetronic”, “Motronic” и некоторых других фирм. Исследователь приводит краткий экскурс в историю систем, из которого стоит выделить тот факт, что лямбда-регулирование впервые появилось в механической системе впрыска топлива с электронным управлением “**KE-Jetronic**” (рисунок 2.17) в конце 1970-х годов. Автор говорит, что для более рационального дозирования топлива необходима обратная связь – от отработавших газов к составу смеси. При этом в ЭБУ подаются сигналы от лямбда-зонда ( $\lambda$ -зонд; от франц. sonde – щуп), размещенного в выпускном трубопроводе двигателя. Сигнал датчика преобразуется электронным блоком в команду для регулятора управляющего давления, который изменяет давление управления и тем самым обогащает или обедняет смесь.

Впервые **датчик кислорода (ДК)** был разработан компанией Robert Bosch GmbH в 1960 году под руководством Гюнтера Баумана и применен в конструкции автомобилей марки “Вольво” в 1976 году совместно с системой впрыска KE-Jetronic, также являющейся разработкой Bosch. Это были бинарные датчики циркониевого типа, которые показывают только богатую или бедную смесь. Первые датчики не имели подогрева, поэтому им требовалось время для того, чтобы начать нормально работать. Все время прогрева датчика состав топливно-воздушной смеси регулировался с низкой точностью. Затем производители разработали и внедрили подогрев датчика, что позволило решить данную проблему. В середине 1990-х годов появился широкополосный датчик кислорода, способный определять более бедную смесь.

В настоящее время на автомобилях применяются два ДК – до каталитического нейтрализатора и после. Первый необходим для контроля состава рабочей смеси, а второй – для оценки эффективности работы нейтрализатора.

**Иванов А. М.** в учебнике “Основы конструкции современного автомобиля” [4] отмечает основные компоненты систем распределенного электронного впрыска, которые в настоящее время получили наибольшее распространение. К таким компонентам относятся в том числе датчик концентрации кислорода в ОГ, который используется в системах с обратной связью. Датчик устанавливается в выпускной системе с каталитическим нейтрализатором. Трехкомпонентный каталитический нейтрализатор необходим для уменьшения содержания вредных веществ в ОГ. Он работает наиболее эффективно, если в двигатель подается смесь **стехиометрического состава** (рисунок 1.2).

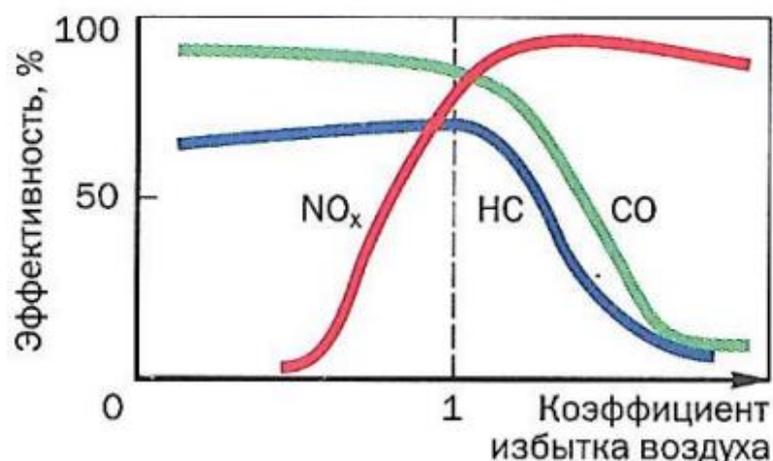


Рисунок 1.2 – Зависимость эффективности работы нейтрализатора от коэффициента избытка воздуха

Поэтому появилось поколение двигателей, в которых состав смеси регулировался постоянно для получения точного соответствия коэффициента избытка воздуха  $\alpha=1$  с помощью вышеупомянутого датчика концентрации кислорода.

В добавок Иванов отмечает, для того чтобы нейтрализатор и ДК могли работать максимально эффективно, они должны быть прогреты до определенной температуры – минимальная температура, при которой задерживаются 90% вредных веществ, составляет порядка 300°C.

В случае пропусков воспламенения (зажигания) несгоревшее топливо будет догорать в нейтрализаторе, при этом внутри него произойдет резкое повышение температуры, что приведет к повреждению устройства.

Также в книге Иванова обозначены мероприятия, повышающие экологичность автомобиля:

- снижение содержания углеводородов за счет уменьшения “целевых объемов”, таких как зазор между поршнем и стенкой цилиндра над верхним компрессионным кольцом и полостей вокруг седел клапанов;

- снижение уровня концентрации оксидов азота NO<sub>x</sub> с помощью системы рециркуляции ОГ;

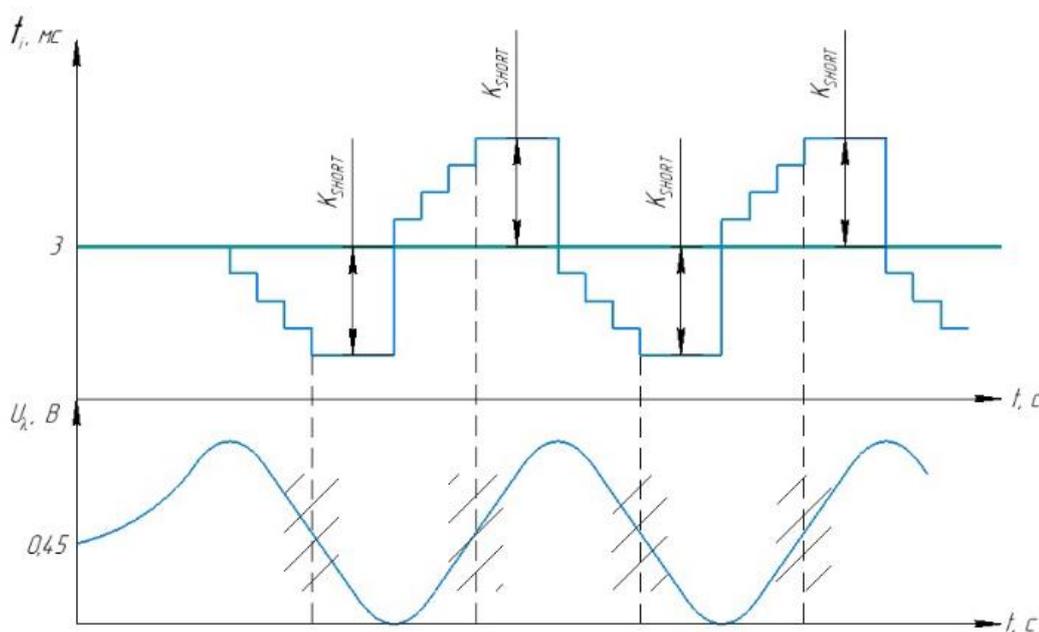
- для ускорения прогрева нейтрализатора и выхода его на рабочий режим используется способ вторичной подачи воздуха в выпускной коллектор с помощью электроприводного насоса;

- с целью нейтрализации вредных продуктов в ОГ применяется пламенное дожигание, основанное на способности горючих составляющих ОГ (CO, CH<sub>4</sub>, альдегиды и т. д.) окисляться при высоких температурах. ОГ поступают в камеру дожигателя, имеющую эжектор, через который поступает нагретый воздух из теплообменника. Горение происходит в камере, а для воспламенения служит запальная свеча.

Как утверждает автор, все эти меры, а также быстрый и точный контроль за работой двигателя на переходных режимах. Могут свести к минимуму вредные выбросы еще до каталитического преобразователя.

Технический эксперт компании “AUTEL” **Константин Курганов** в учебном курсе по диагностике бензиновых систем впрыска рассказывает о процессах лямбда-регулирования и лямбда-адаптации.

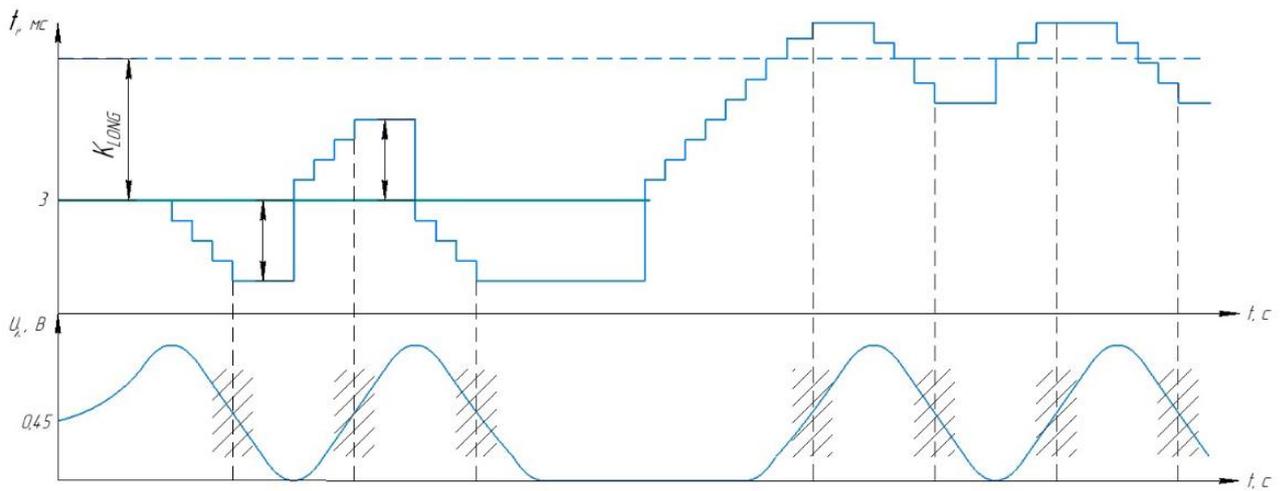
Лямбда-регулирование – это принудительное изменение расчетного времени впрыска для того, чтобы вызвать переключение датчика кислорода с целью поддержания стехиометрического состава топливно-воздушной смеси для максимально эффективной работы каталитического нейтрализатора. В процессе лямбда-регулирования вводится коэффициент краткосрочной корректировки. На рисунке 1.3 представлено изменение расчетной длительности впрыска в зависимости от напряжения ДК при лямбда-регулировании.



$t_i$  – длительность впрыска;  $t$  – время;  $U_\lambda$  – напряжение датчика кислорода;  $K_{SHORT}$  – коэффициент краткосрочной корректировки

Рисунок 1.3 – График процесса лямбда-регулирования

Лямбда-адаптация – это долгосрочная корректировка, которая связана прежде всего с отклонениями в работе системы питания двигателя (например, неучтенный воздух, неправильно измерена нагрузка двигателя, неверное давление топлива, неправильная работа форсунок и т. д.). В процессе лямбда-адаптации вводится коэффициент долгосрочной корректировки. На рисунке 1.4 представлено изменение расчетной длительности впрыска в зависимости от напряжения ДК при лямбда-адаптации.



$t_i$  – длительность впрыска;  $t$  – время;  $U_\lambda$  – напряжение датчика кислорода;  $K_{LONG}$  – коэффициент долгосрочной корректировки

Рисунок 1.4 – График процесса лямбда-регулирования

В ходе литературного анализа были изучены мероприятия по повышению экологичности автомобиля. Электронная система контроля состава топливно-воздушной смеси является наиболее эффективным инструментом для снижения концентрации вредных веществ в отработавших газа автомобилей. В процессе такого контроля происходит лямбда-регулирование, которое осуществляется на основе показаний датчика кислорода.

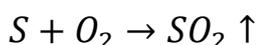
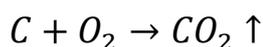
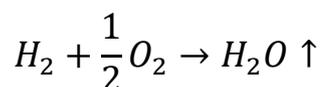
## 2 Системы впрыска топлива

**Топливом** называют горючие вещества, способные при сжигании выделять тепловую энергию. Топливо может быть жидким, твердым и газообразным в зависимости от агрегатного состояния.

Бензин представляет собой жидкое топливо, смесь углеводородов, выкипающих при температуре от 40 до 215°C [5]. Применяется для двигателей внутреннего сгорания с принудительным воспламенением.

Под **сгоранием** применительно к автомобильным двигателям понимают быструю реакцию взаимодействия углеводородов топлива с кислородом воздуха. Такая реакция сопровождается свечением и выделением большого количества тепла.

В составе жидкого топлива преобладают углерод и водород, поэтому при сгорании такого топлива наблюдаются преимущественно следующие реакции:



Таким образом, продуктами идеального сгорания смеси углеводородного топлива с воздухом являются углекислый газ, пары воды и окислы серы, если она содержится в топливе (рисунок 2.1).

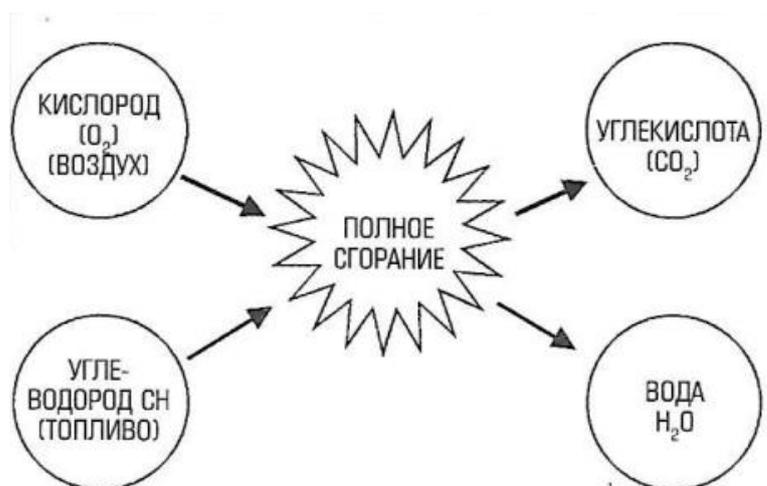


Рисунок 2.1 – Продукты полного сгорания углеводородного топлива

Полное сгорание топлива в действительности происходит не всегда. При недостатке кислорода, который поступает в цилиндры двигателя в составе

атмосферного воздуха, образуются продукты неполного сгорания (рисунок 2.2).



Рисунок 2.2 – Продукты неполного сгорания углеводородного топлива

Процесс смесеобразования представляет собой подготовку горючей смеси воздуха с топливом. Быстрее и проще всего подготовка смеси происходит в газовой среде

Окисление происходит в форме горения при условии быстрого перемещения активных частиц и разветвления цепей реакций. Это возможно только в газовой среде. Поэтому жидкое топливо сначала газифицируется, а затем воспламеняется. Эту задачу выполняет система питания.

Таким образом, система питания – карбюратор или система **впрыска топлива** – необходима для приготовления гомогенной смеси воздуха с топливом в определенном соотношении (14,7:1 соответственно) с целью полного сгорания топлива.

## 2.1 Впрыск топлива

Впрыск топлива – это система подачи топлива, при которой оно с помощью специального устройства – форсунки (от англ. force pump – нагнетательный насос; от франц. force – сила) распыляется во впускной коллектор или непосредственно в цилиндр двигателя. Независимо от типа систем, принцип работы у них схожий (рисунок 2.3)

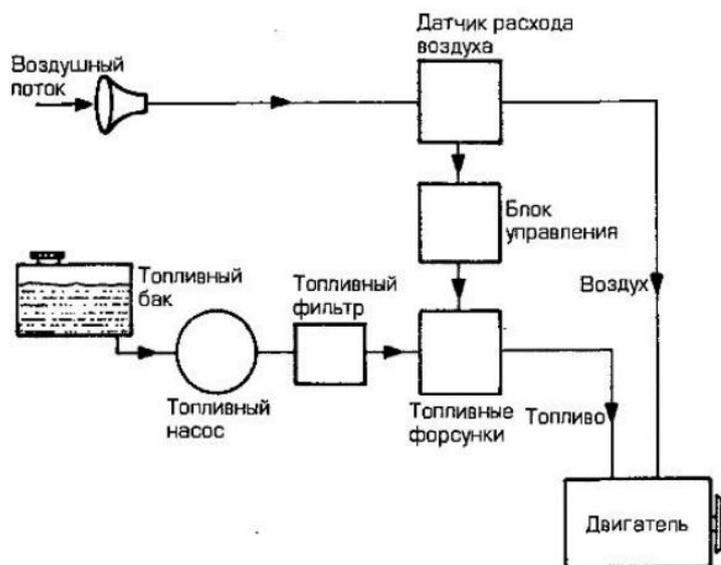


Рисунок 2.3 – Схема системы впрыска топлива

В зависимости от места установки форсунок и их количества различают следующие виды впрыска: моновпрыск (центральный или одноточечный), распределенный (многоточечный), и прямой (непосредственный).

При **одноточечном** впрыске (рисунок 2.4) в двигателе перед дроссельной заслонкой устанавливается одна форсунка. Был разработан в качестве замены карбюратору. Экологический стандарт Евро-3 предусматривает дозировку топлива отдельно для каждого цилиндра, поэтому такая система не устанавливается на автомобилях в странах, принявших требования данного стандарта.

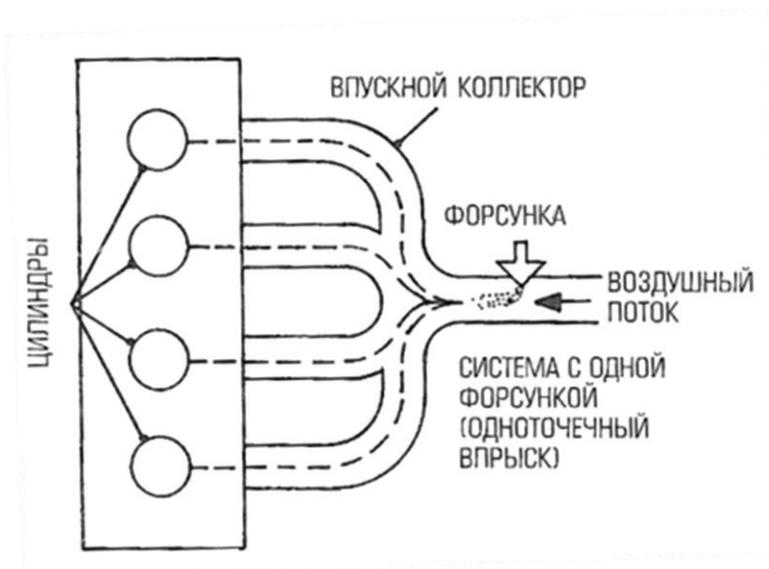


Рисунок 2.4 – Схема центрального впрыска топлива

При **многоточечном** (рисунок 2.5) впрыске форсунки устанавливаются перед каждым цилиндром. В обоих случаях топливо распыляется под

невысоким давлением во впускной коллектор и смешивается с воздухом до впускного клапана цилиндра.

Впрыск топлива может производиться как одновременно (параллельный) всеми форсунками (многоточечный) или одной форсункой (одноточечный) независимо от тактов в цилиндре, так и последовательно – каждая форсунка впрыскивает топливо во впускной канал определенного цилиндра – распределенный последовательный впрыск.

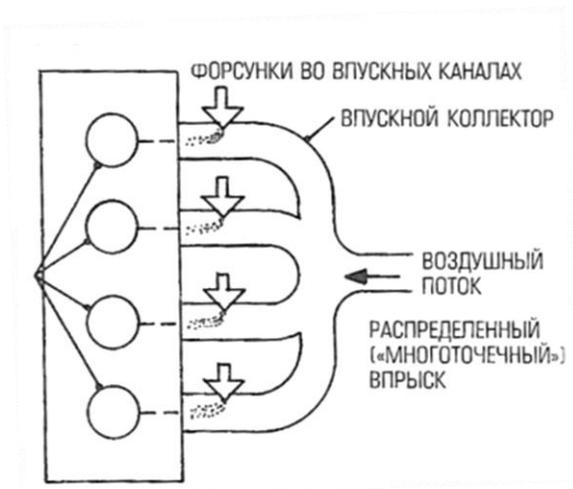
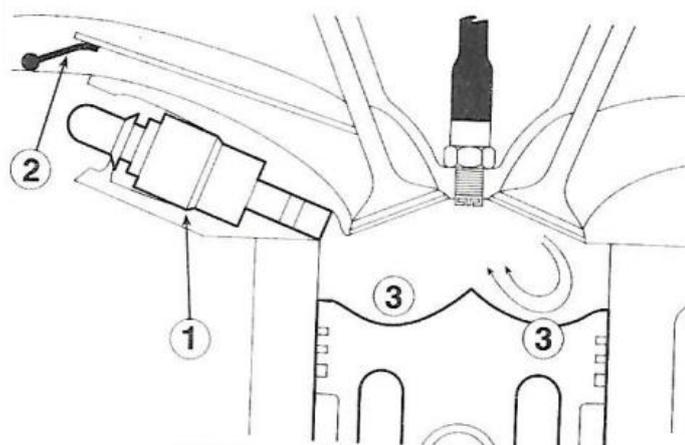


Рисунок 2.5 – Схема распределенного впрыска топлива (“Multipoint injection”)

В системе **непосредственного** впрыска топливо под высоким давлением, нагнетаемым специальным насосом, подается непосредственно в цилиндр двигателя – на днище поршня (рисунок 2.6). Прямой впрыск впервые был применен в 1996 году на двигателе GDI (от англ. Gasoline direct injection – прямой впрыск бензина) автомобилей Mitsubishi Galant.



1– форсунка высокого давления; 2 – механизм системы изменения геометрии впускного коллектора; 3 – выемки в днище поршня

Рисунок 2.6 – Прямой впрыск топлива

Сравнивая способы подачи топлива – прямой впрыск в цилиндр и непрямой впрыск во впускной коллектор – можно выделить достоинства прямого впрыска:

- хорошее охлаждение стенок цилиндра благодаря испарению топлива;
- отсутствие сопротивления во впускном коллекторе, так как форсунки не мешают движению потока воздуха, как следствие – улучшается наполнение цилиндра;

- на переходных режимах работы двигателя улучшается качество топливно-воздушной смеси, потому что топливо не конденсируется на стенках впускного тракта;

- возможность работы на бедных смесях (бедная рабочая смесь в камере сгорания обогащается возле электродов свечи зажигания, что обеспечивает возможность воспламенения такой смеси – эффект расслоения смеси)

Однако прямой впрыск обладает следующими недостатками:

- форсунки подвержены большому износу, так как подвергаются воздействию высоких температур и давления;

- усложняется конструкция головки блока цилиндра;

- высокое давление впрыска повышает износ элементов топливной системы.

## 2.2 История развития систем питания двигателей

Эволюция систем питания двигателей тесно связана развитием самих двигателей внутреннего сгорания. Двигателестроение в первую очередь ассоциируется с фамилиями Отто и Дизель. Важнейшие изобретения этих инженеров способствовали стремительному развитию конструкции ДВС.

История открытия ДВС берет начало с открытия **Филиппом Лебоном** в светильного газа в 1779 году. А уже в 1801 году Лебон взял патент на конструкцию газового двигателя. Принцип действия изобретения основывался на свойстве светильного газа: его смесь с воздухом взрывается при воспламенении с выделением большого количества тепла. В идеях двигателя Лебона два компрессора накачивают в смесительную камеру светильный газ и воздух, затем эта смесь поступает в цилиндр, где воспламеняется. Продукты горения расширяются и оказывают давление на поршень. По сути, это были первые мысли о двигателе внутреннего сгорания, но в 1804 Лебон погиб, так и не успев воплотить свое изобретение в жизнь.

Долгое время шла работа над попыткой создать рабочий образец двигателя на светильном газе. Создать более экономичный, чем паровая машина двигатель, было задачей очень трудной. Поэтому изобретение двигателя Лемуара стало большим шагом вперед.

В 1860 году бельгийский изобретатель **Жан Этьен Лемуар** создал первый в истории газовый двухтактный двигатель внутреннего сгорания, работающий на светильном газе.

В основе конструкции во многом была паровая машина, основное отличие заключалось в подаче газообразного топлива – в паровой машине пар подается в цилиндры из котла, а в двигателе Ленуара смесь воздуха и светильного газа через впускной золотник поступала в цилиндр под действием разряжения, вызываемого движением поршня (рисунок 2.7). Эта была первая, реализованная на практике система подачи топлива, пусть и газообразного.

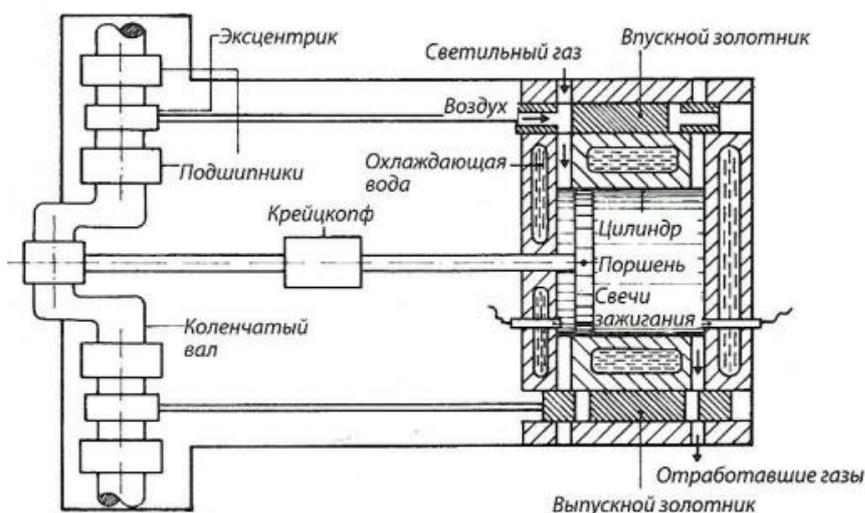


Рисунок 2.7 – Схема двигателя Ленуара

Затем рабочая смесь воспламенялась от простейших свечей зажигания. Газы, образующиеся при горении смеси, давили на поршень, который перемещался до конца его рабочего хода. Отработавшие газы выбрасывались в атмосферу через выпускной золотник. Двигатель имел водяное охлаждение. Конструкция Ленуара вырабатывала мощность 3 л. с. И расходовала  $4 \text{ м}^3/\text{кВт}\cdot\text{ч}$  светильного газа [6].

В 1867 году инженер **Николаус Август Отто** представил свой газовый двигатель. На первый взгляд, двигатель Отто представлял собой шаг назад по сравнению с двигателем Ленуара. Цилиндр был вертикальным (рисунок 2.8). Вращаемый вал помещался над цилиндром сбоку. Вдоль оси поршня к нему была прикреплена рейка, связанная с валом. Двигатель работал следующим образом. Вращающийся вал поднимал поршень, в результате чего под поршнем образовывалось разреженное пространство и происходило всасывание смеси воздуха и газа. Затем смесь воспламенялась

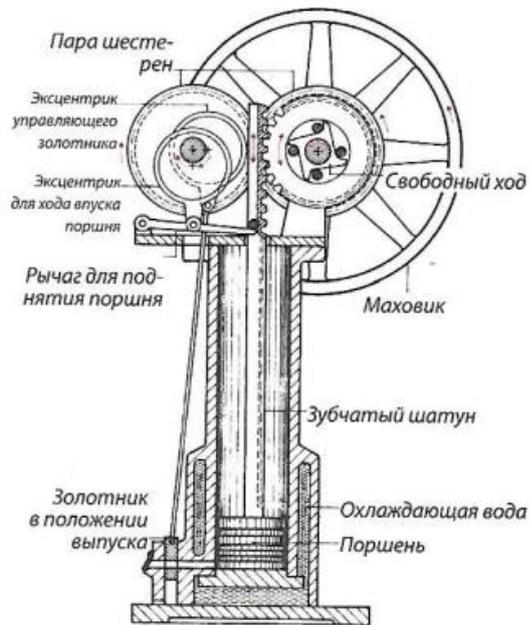


Рисунок 2.8 – Схема двигателя Отто

Воспламенение топлива осуществлялось открытым пламенем через трубку (рисунок 2.9). При взрыве давление под поршнем возрастало примерно до 4 атм. Под действием этого давления поршень поднимался до тех пор, пока под ним не создавалось разрежение. Таким образом, энергия сгоревшего топлива использовалась в двигателе с максимальной полнотой. В этом заключалась главная оригинальная находка Отто. Рабочий ход поршня вниз начинался под действием атмосферного давления, открывался выпускной вентиль, и поршень своей массой вытеснял отработанные газы. Из-за более полного расширения продуктов сгорания КПД этого двигателя был значительно выше, чем КПД двигателя Ленуара и достигал 15 %, т. е. превосходил КПД лучших паровых машин того времени.

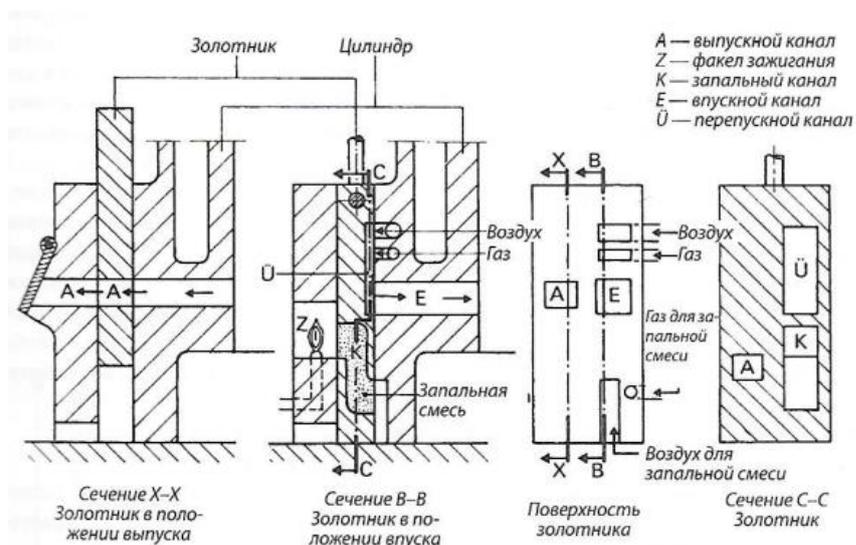


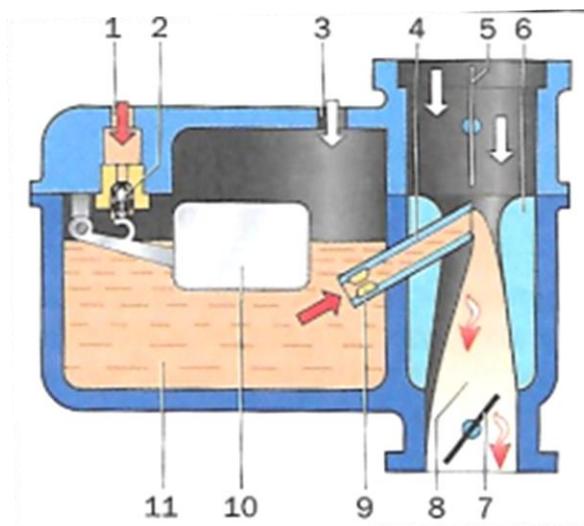
Рисунок 2.9 – Схема системы факельного зажигания двигателя Отто

Поскольку двигатели Отто были почти в пять раз экономичнее двигателей Ленуара, они сразу стали пользоваться большим спросом. В последующие годы их было выпущено около пяти тысяч штук. Однако то обстоятельство, что в качестве топлива использовался светильный газ, сильно суживало область применения таких двигателей. Количество светильногазовых заводов было незначительно. Поэтому не прекращались поиски нового горючего для двигателя внутреннего сгорания. Некоторые изобретатели пытались применить в качестве газа пары жидкого топлива.

Еще в 1872 г. американец **Джордж Брайтон** пытался использовать в этом качестве керосин. Однако керосин плохо испарялся, и Брайтон перешел к более легкому нефтепродукту – бензину. Но для того, чтобы двигатель на жидком топливе мог успешно конкурировать с газовым, необходимо было создать специальное устройство для испарения бензина и получения горючей смеси его с воздухом. Для этого Брайтон изобрел систему впрыска топлива с помощью жатого воздуха. (Брайтон в том же 1872 г. придумал один из первых так называемых «испарительных» карбюраторов, но он действовал неудовлетворительно).

**Вильгельм Майбах** предложил не испарять бензин, а мелко распылять его в воздухе. Долгое время он и его друг **Готлиб Даймлер** работали в фирме Отто, но 1882 году из-за личных разногласий с Отто, возникших в результате спора о пути развития двигателей внутреннего сгорания, ушли оттуда, открыли свою мастерскую и стали работать над проектом. За основу конструкции инженеры взяли двигатель Отто, у которого была переработана схема подачи топлива и камера сгорания, рассчитанная на бензин. Это топливо показалось Готлибу Даймлеру перспективным по причине его способности воспламеняться даже при очень низких температурах. В 1883 году они сконструировали калильный бензиновый двигатель с зажиганием от раскаленной трубки, в конструкцию которого входили один горизонтально расположенный цилиндр, чугунный маховик, калильная трубка для воспламенения топлива, выпускной клапан и воздушное охлаждение.

Процесс испарения жидкого топлива в первых бензиновых двигателях оставлял желать лучшего. Поэтому настоящую революцию в двигателестроении произвело изобретение карбюратора венгерским инженером **Донатом Банки**. В 1883 году он получил патент на карбюратор с жиклёром, который был прообразом всех современных карбюраторов. В отличие от своих предшественников, Банки предлагал не испарять бензин, а мелко распылять его в воздухе (рисунок 2.10).



1 – топливопровод; 2 – игольчатый клапан; 3 – отверстие в крышки поплавковой камеры; 4 – распылитель; 5 – воздушная заслонка; 6 – диффузор; 7 – дроссельная заслонка; 8 – смесительная камера; 9 – дозирующий жиклер; 10 – поплавок; 11 – поплавковая камера

Рисунок 2.10 – Схема карбюратора

Это обеспечивало его равномерное распределение по цилиндру, а само испарение происходило уже в цилиндре под действием тепла сжатия. Для обеспечения распыления всасывание бензина происходило потоком воздуха через дозирующий жиклёр, а постоянство состава смеси достигалось за счёт поддержания постоянного уровня бензина в карбюраторе. Жиклёр выполнялся в виде одного или нескольких отверстий в трубке, располагавшейся перпендикулярно потоку воздуха. Для поддержания напора был предусмотрен маленький бачок с поплавком, который поддерживал уровень на заданной высоте, так что количество всасываемого бензина было пропорционально количеству поступающего воздуха.

Изобретение Банки карбюратора способствовало развитию автомобильной промышленности, так как до этого момента не было разработано более эффективного способа правильно смешивать жидкое топливо с воздухом для подачи такой смеси в двигатель.

Тем временем, к концу 1885 года Майбах и Даймлер завершили работы над вторым двигателем. На этом образце был применен карбюратор испарительного типа. Такой карбюратор представлял собой резервуар, в который наливался бензин. Воздух, который засасывался в двигатель поршнем, проходил над поверхностью бензина. Бензин испарялся, пары смешивались с воздухом и поступали в цилиндры двигателя. Для ускорения испарения бензина карбюратор снаружи нагревался выхлопными газами.

Разработку своего карбюратора Майбах представил патентному бюро на шесть месяцев позже, чем это сделал Донат Банки. Поэтому изобретение

первого в истории карбюратора приписывается именно венгерскому инженеру.



Рисунок 2.11 – Двигатель Даймлера и Майбаха 1885 года

Двигатель развивал мощность в одну лошадиную силу при 600 об/ мин. Объем цилиндра, который устанавливался вертикально, был составлял  $100 \text{ см}^3$  (рисунок 2.11)

Годом ранее, в 1884 год **Огнеслав Костович** в России построил первый бензиновый карбюраторный двигатель. Двигатель Костовича был оппозитным, с горизонтальным размещением направленных встречно цилиндров. В нём впервые в мире было применено электрическое зажигание. Он был 4-тактным, 8-цилиндровым, с водяным охлаждением. Мощность двигателя составляла 80 л. с. при массе двигателя 240 кг, что существенно превышало показатели двигателя Г. Даймлера, созданного годом позже. Однако, заявку на свой двигатель Костович подал только 14 мая 1888 г., а патент получил в 1892 г., т. е. позже, чем Даймлер и Майбах, разрабатывавшие карбюраторный двигатель параллельно и независимо от Костовича.

Позже **Рудольф Дизель** изобрел новый тип силовой установки – дизельный двигатель, в котором использовал систему распыления топлива, похожую на систему Брайтона.

Идея заключалась в том, что нагретый до высоких температур с помощью сжатия воздух будет осуществлять работу. С целью избежать преждевременное воспламенение топливо должно подаваться в цилиндр в конце такта сжатия с помощью сжатого воздуха. В качестве топлива сначала предполагалось использовать бензин. Но система непосредственного впрыска

просто не работала, поскольку в то время не было топливной аппаратуры (насос высокого давления) с требуемой точностью изготовления деталей. Поэтому изобретатель изменил способ подачи топлива, в качестве которого теперь выступал керосин. Теперь оно впрыскивалось в цилиндр в момент воспламенения с помощью сжатого воздуха.

Усовершенствованный образец своего двигателя, способный работать самостоятельно, Рудольф Дизель представил в 1897 году. Агрегат развил мощность 17,7 л. с. при 154 об/мин, а расход топлива составил 324 г/кВт·ч [6]. С такими показателями двигатель Дизеля превзошел все тепловые двигатели того времени, став самым экономичным на то время.

Таким образом, в двигателе Дизеля впервые была применена непосредственного впрыска топлива под действием сжатого воздуха.

Тем не менее, принято, что первый работоспособный двигатель внутреннего сгорания на жидком топливе с применением карбюратора, был разработан инженерами из Германии Даймлером и Майбахом [7]. Этот двигатель стал прообразом современного ДВС.

Долгое время инженеры из разных стран совершенствовали подачу топлива. Первой массовой системой стала система подачи топлива с помощью карбюратора.

**Карбюратор** (от франц. Carburateur – смешивать) – это устройство, предназначенное для приготовления топливно-воздушной смеси. В нем жидкое топливо смешивается с воздухом и затем через впускной коллектор поступает в камеру сгорания – так называемое внешнее смесеобразование.

Карбюратор обеспечивает подачу одинакового количества рабочей смеси во все цилиндры. Топливо, не перешедшее в газообразную фазу – в виде капель, по возможности не должно отделяться от общего потока смеси. Это может легко произойти, если впускной коллектор имеет большой изгиб. То есть карбюратор не позволяет придать впускному тракту более свободный вид. Карбюратор простейшего типа – испарительный – представлен на рисунке 2.12.

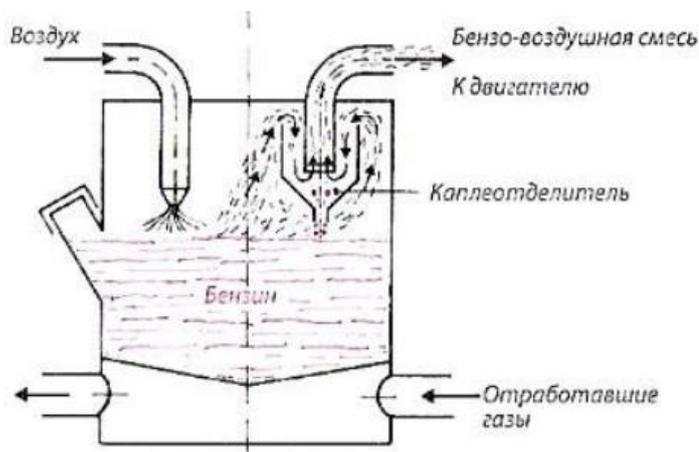


Рисунок 2.12 – Схема испарительного карбюратора

Воздух проходил над жидким топливом и обогащался его парами. Испарение бензина обеспечивалось благодаря подогреву смесительной камеры карбюратора ОГ.

С развитием двигателей увеличивалась их мощность, поэтому испарительный карбюратор уже не справлялся со своими задачами по приготовлению требуемого количества топливно-воздушной смеси. Поэтому его сменил всасывающий, или пульверизационный карбюратор (рисунок 2.13).

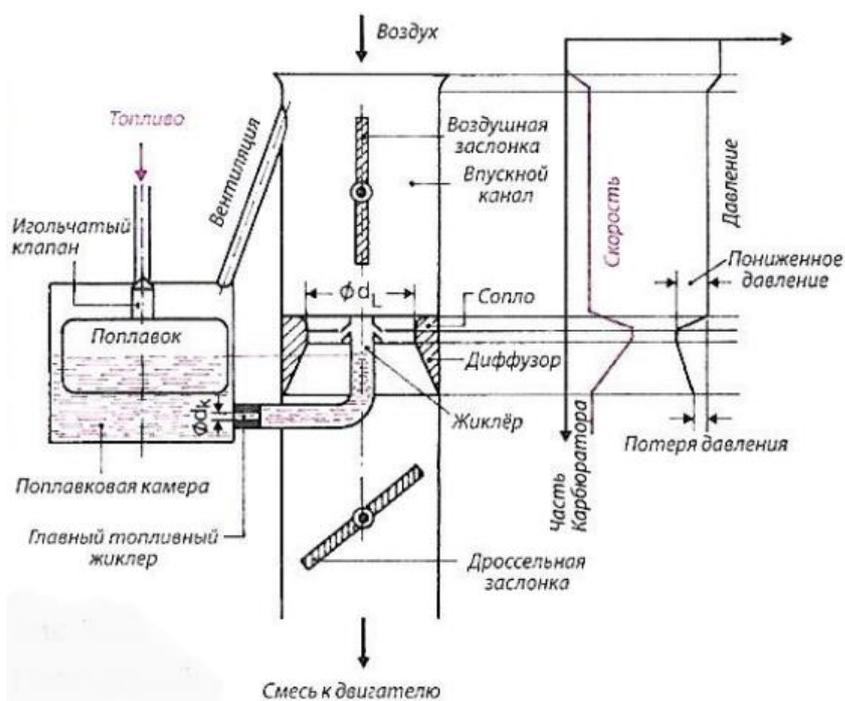


Рисунок 2.13 – Схема всасывающего карбюратора

Во время работы двигателя атмосферный воздух, поступающий под действием разрежения в цилиндрах, проходит через смесительную камеру карбюратора.

В таком устройстве всасываемый двигателем воздух поступал в смесительную камеру карбюратора, в которой находится суженное проходное сечение – диффузор. При прохождении через диффузор давление воздуха уменьшается, а скорость – увеличивается, что обеспечивает хорошее распыление топлива.

Топливо вытекает из распылителя, подхватывается потоком воздуха и распыляется. Распылитель с имеющимся внутри него отверстием – жиклером - связан с поплавковой камерой, куда через игольчатый клапан из бака поступает топливо. Поплавок поддерживает уровень топлива в камере.

Преимуществами карбюратора считаются относительная простота конструкции и уменьшенная в сравнении с системами впрыска стоимость изготовления, а также несложные обслуживание и регулировка.

Существенный недостаток описанного выше карбюратора – он не обеспечивает получения требуемого состава смеси на различных режимах работы двигателя: при пуске двигателя, работе на ХХ, при неполных и полных нагрузках, при резком открытии ДЗ.

Карбюратор, который должен отвечать всем этим условиям, имеет более сложное устройство, чем описанный выше. Поэтому карбюраторы стали оснащать дополнительными устройствами и системами: облегчения пуска двигателя (пусковое устройство, воздушная заслонка с автоматическим устройством), система холостого хода, главная дозирующая система, ускорительный насос, экономайзер и т. д. Все эти дополнительные устройства повысили стоимость карбюратора, но способствовали увеличению экологичности автомобиля с такой системой.

Повышенные требования к смесеобразованию, выбросам токсичных веществ и устойчивой работе двигателя на всех режимах привели к разработке электронного управления карбюратором – так называемой системы “Ecotronic”. Она состоит из карбюратора, датчиков и микропроцессора (рисунок 2.14).

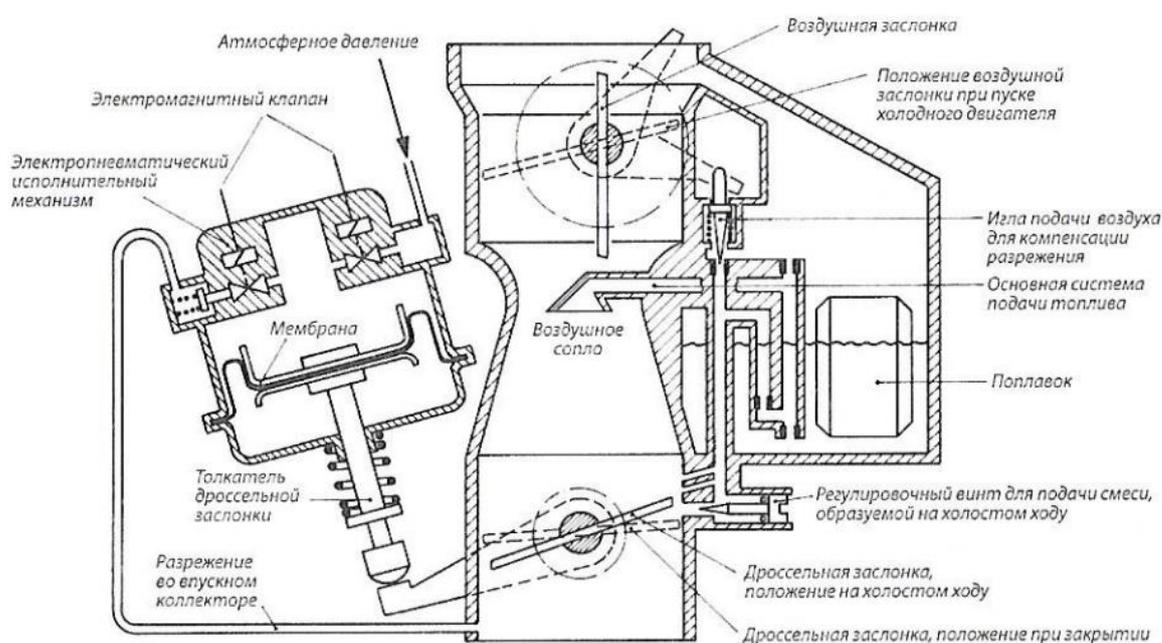


Рисунок 2.14 – Схема карбюратора “Ecotronic” производства фирмы Bosch

Карбюратор “Ecotronic” используется также в двигателях с трехкомпонентным нейтрализатором ОГ. Стехиометрический состав смеси поддерживается с помощью датчика кислорода, сигнал которого поступает в микропроцессор, который с помощью исполнительного механизма перемещает ДЗ, обеспечивая коэффициент избытка воздуха равным 1,0 (рисунок 2.15).

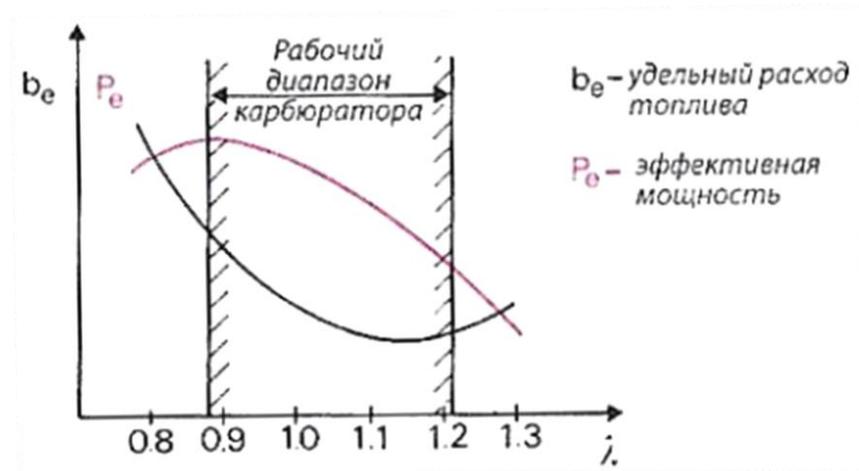


Рисунок 2.15 – Зависимость удельного расхода воздуха и эффективной мощности от коэффициента избытка воздуха

Такая модернизация карбюратора позволила ему долгое время быть наиболее распространенным типом топливной аппаратуры, с помощью которой долгое время решалась функция дозирования топлива по отношению к количеству воздуха. Но постоянно ожесточающиеся требования к экологичности автомобиля требовали более точного измерения топлива.

Впервые система механического впрыска была разработана компанией «Даймлер-Бенц» и серийно применена на автомобиле Мерседес-Бенц-300 SL в 1954 году.

В 1995 году из всех выпускаемых в мире легковых автомобилей, а это около 1800 моделей, впрыск применялся на 76%, а с учетом дизельных двигателей – 90% транспортных средств [3].

Сегодня всеми производителями выпускаются только двигатели с системами впрыска. Причина полного перехода на впрыск – повышение топливной экономичности и снижение токсичности ОГ.

Итак, преимуществами систем впрыска топлива являются:

- лучшее наполнение цилиндра, так как отсутствует дополнительное сопротивление потоку воздуха;
- при прямом впрыске возможно внутреннее охлаждение цилиндра с помощью испарения топлива и, соответственно сдвиг границы детонации в двигателях с высокой степенью сжатия благодаря понижению температуры в камере сгорания; возможность работы двигателя на бедной смеси за – эффект расслоения рабочей смеси. Как следствие – повышение литровой мощности двигателя (мощность на единицу объема);
- точная регулировка соотношения количества топлива и воздуха на всех режимах работы двигателя позволяет снизить расход топлива, что приводит к уменьшению содержания вредных веществ в ОГ;
- при запуске холодного двигателя с прямым впрыском топливо не конденсируется на стенках впускного коллектора.

Из истории развития систем питания ДВС очевидно, что идея впрыскивать топливо не является новой. Однако впрыск раньше широко не применялся, так как такие системы конструктивно более сложные, чем карбюратор, имеют много прецизионных подвижных элементов, а также требуют квалифицированного обслуживания при эксплуатации.

Таким образом, преимущества систем впрыска, благодаря которым повысились экологичность и топливная экономичность автомобиля, позволили производителям перейти к массовому применению их на автомобильных двигателях.

Далее будут описаны системы впрыска топлива производства компании Robert Bosch GmbH, так как именно эти системы наиболее широко применяются в мировом автомобилестроении. К таким относят две большие группы семейств – Jetronic и Motronic.

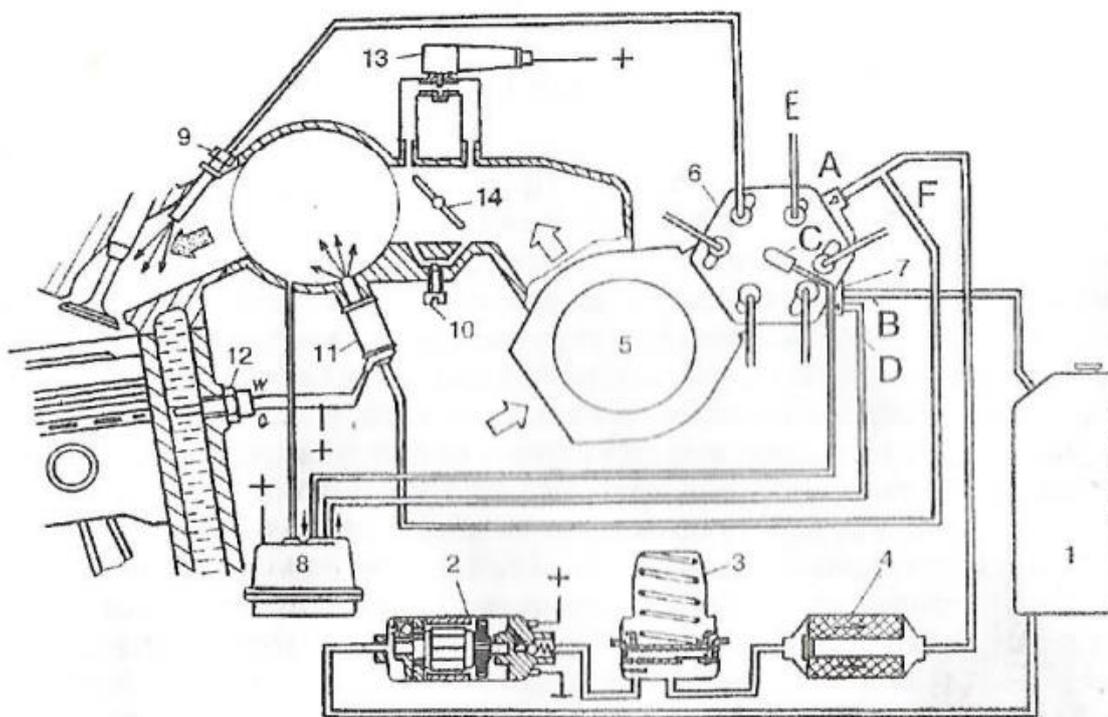
Системы **Jetronic** – это семейство систем впрыска топлива, разработанное немецкой компанией Bosh для бензиновых двигателей внутреннего сгорания. Системы массово применялись на автомобилях европейского производства с 1960-х до 2000-х годов. Стоит отметить, что системы Jetronic работали автономно от системы управления зажиганием, то есть отвечали только за подачу топлива. Далее будут описаны основные системы данного семейства.

Система **K-Jetronic** (от нем. *Kontinuierlich* – непрерывный) была разработана в начале 1970-х годов; представляет собой механическую систему постоянного впрыска топлива без управляющей электроники (рис. 2.11). Топливо под давлением поступает к форсункам, расположенным во впускном тракте перед впускными клапанами.

Управление двигателем происходит поворотом ДЗ с помощью педали “газа”. В отличие от карбюратора, где ДЗ регулирует подачу топлива и воздуха, в системе впрыска K-Jetronic ДЗ регулирует только количество поступающего воздуха.

Количество воздуха, поступающего в двигатель, измеряется расходомером. Поток воздуха вызывает перемещение напорного диска расходомера, перемещение диска вызывает перемещения плунжера дозатора-распределителя топлива. Так обеспечивается стехиометрический состав смеси. Однако, автомобильный двигатель работает на различных режимах, для каждого из которых необходимо менять состав топливно-воздушной смеси.

Для этого в системе K-Jetronic в распределитель 6 (рисунок 2.16) по каналу “С” подходит управляющее давление, величина которого определяется регулятором 8. При увеличении этого давления увеличивается и сопротивление движению плунжера – смесь обедняется, при уменьшении давления – сопротивление уменьшается и смесь обогащается. Воздействие регулятора зависит от разряжения во впускном коллекторе (нагрузки на двигатель) и температуры ОЖ двигателя.



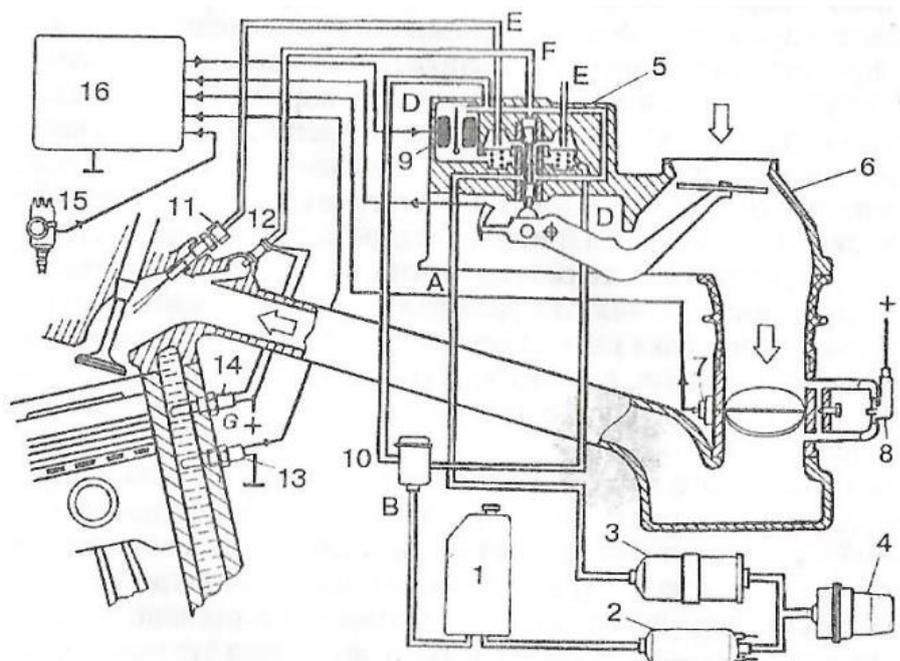
1 – топливный бак; 2 – топливный насос; 3 – накопитель топлива; 4 – топливный фильтр; 5 – расходомер воздуха; 6 – дозатор-распределитель; 7 – регулятор давления питания; 8 – регулятор управляющего давления; 9 – форсунка впрыска; 10 – винт регулировки холостого хода; 11 – пусковая форсунка; 12 – термореле; 13 – клапан добавочного воздуха; 14 – дроссельная заслонка; Каналы: А – подвод топлива к дозатору-распределителю; В – слив топлива в бак; С – канал управляющего давления; D – канал толчкового клапана; E – подвод топлива к рабочим форсункам; F – подвод топлива к пусковой форсунке

Рисунок 2.16 – Схема системы впрыска K-Jetronic

Вспомогательные компоненты системы: топливный бак, топливный насос, накопитель топлива, дозатор-распределитель, регулятор давления, регулятор управляющего давления, пусковая форсунка, термореле, и форсунки впрыска (рабочие форсунки).

Дальнейшим развитием системы **K-Jetronic** является система **KE-Jetronic** (рисунок 2.17), это также механическая система впрыска топлива, но уже с электронным блоком управления. Электронное управление позволяет более точно управлять дозированием топлива.

В этой системе на рычаге расходомера воздуха установлен потенциометр, подающий сигнал ЭБУ. Этот сигнал несет в себе информацию о положении напорного диска расходомера. Положение напорного диска определяется расходом воздуха – нагрузкой на двигатель. Таким образом, в системе KE-Jetronic электронный блок получает информацию разряжении во впускном коллекторе с помощью данного потенциометра.



1 – топливный бак; 2 – топливный насос; 3 – топливный фильтр; 4 – накопитель топлива; 5 – дозатор-распределитель; 6 – расходомер; 7 – выключатель положения ДЗ; 8 – клапан дополнительной подачи воздуха; 9 – электрогидравлический регулятор управляющего давления; 10 регулятор давления топлива в системе; 11 – рабочая форсунка; 12 пусковая форсунка; 13 -датчик температуры охлаждающей жидкости; 14 – термореле; 15 – датчик-распределитель; 16 – электронный блок управления; Клапаны: А – подвод топлива (давление системы); В – слив топлива в бак; С – канал управляющего давления; D – канал регулятора давления; E – подвод топлива к рабочим форсункам; F – подвод топлива к пусковой форсунке

Рисунок 2.17 – Схема системы впрыска KE-Jetronic

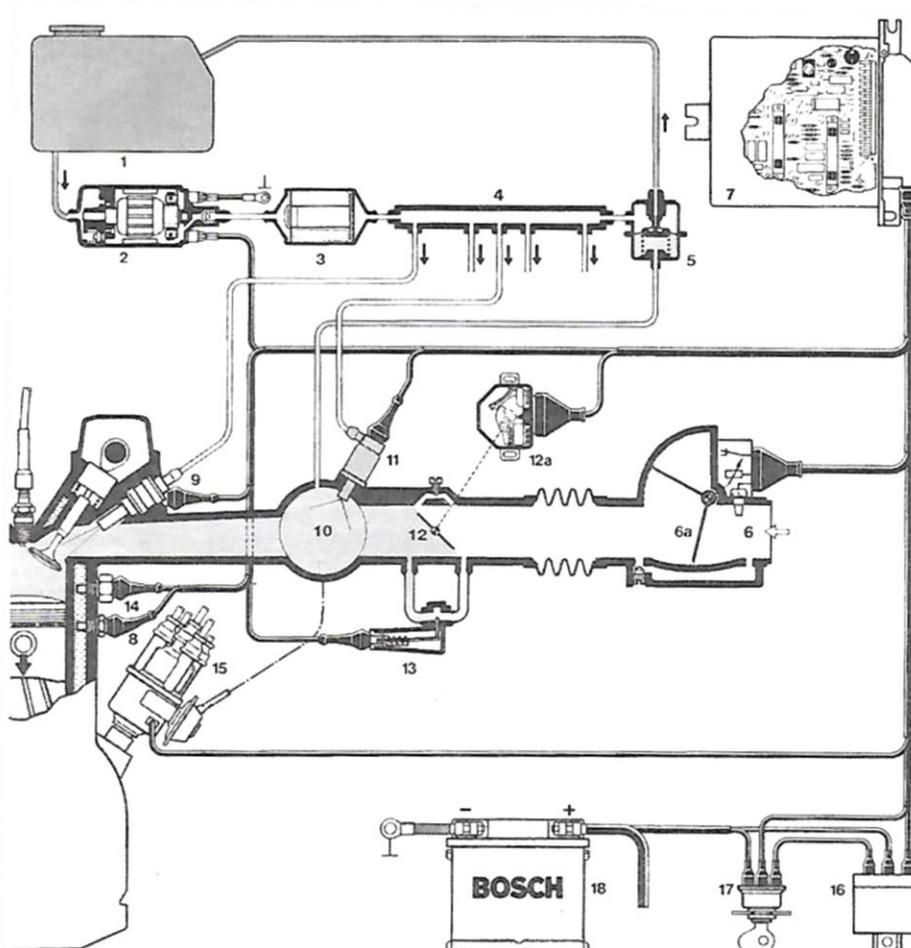
Еще одно важное отличие от системы K-Jetronic заключается в наличии выключателя положения дроссельной заслонки, информирующего ЭБУ о крайних положениях ДЗ – полностью открыта или закрыта; всех положениях заслонки; скорости ее открытия и закрытия.

В системе KE-Jetronic на части автомобилях применяется обратная связь – для более рационального управления составом топливно-воздушной смеси. При этом в ЭБУ поступает сигнал с **датчика кислорода**. Этот сигнал преобразуется в команду для регулятора управляющего давления, изменяющего давление впрыска, тем самым обедняя или обогащая смесь. С помощью обратной связи удастся уменьшить токсичность ОГ автомобилей. Как правило, применяется такая система совместно с каталитическими нейтрализаторами.

Системы K-Jetronic KE-Jetronic ввиду сложной конструкции, невысокой надежности и дорогого обслуживания применялись только на автомобилях мелкосерийного производства. Поэтому с развитием электронных модулей управления такие системы быстро перестали использовать.

Более совершенной системой является **L-Jetronic** (от нем. Lade – порция, заряд). Это система распределенного прерывистого впрыска топлива, управляемая электроникой, была разработана в конце 1970-х годов для автомобилей высокой ценовой категории. По сравнению с предыдущими системами, в данной отсутствуют распределитель-дозатор и регулятор управляющего давления, поэтому значительно изменился расходомер воздуха.

Работа системы L-Jetronic (рисунок 2.18) состоит в обеспечении оптимального соотношения воздух-топливо в рабочей смеси и определении длительности впрыска топлива в форсунках. Для каждого цилиндра предусмотрена своя форсунка, устанавливаемая во впускном трубопроводе перед впускным клапаном. При открытии клапана облако топлива вместе с воздухом под действием разряжения поступает в цилиндр.

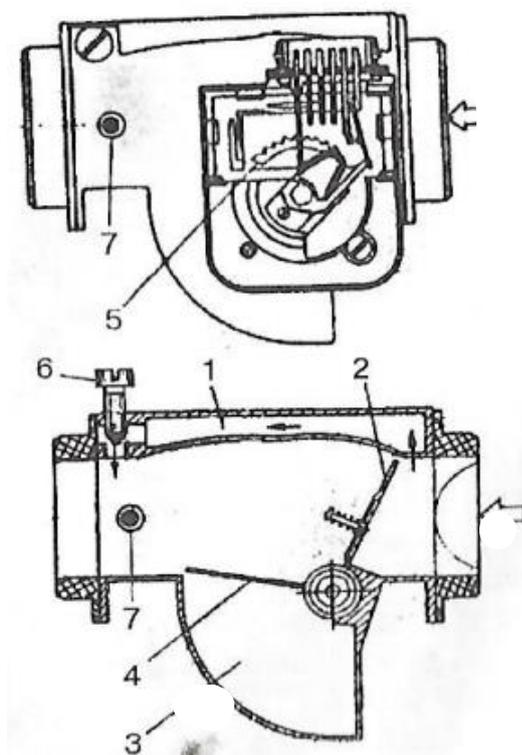


- 1 – топливный бак; 2 – топливный насос; 3 – фильтр тонкой очистки; 4 – топливная раampa;  
 5 – регулятор давления в системе; 6 – расходомер воздуха; 7 – электронный блок управления; 8 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 9 – рабочая форсунка; 10 – впускной коллектор; 11 – пусковая форсунка; 12 – дроссельная заслонка; 13 – клапан холостого хода; 14 – термореле; 15 – распределитель зажигания; 16 – блок реле; 17 – выключатель зажигания; 18 – Аккумуляторная батарея

Рисунок 2.18 – Схема системы впрыска L-Jetronic

Принцип действия такой системы следующий. Электрический насос из бака через фильтр тонкой очистки подает топливо под давлением  $2,5 \text{ кгс/см}^2$  [3] к распределительной магистрали (рампе). Магистраль связана с форсунками цилиндров (форсунки имеют электромагнитное управление). Постоянное давление впрыска на всех режимах работы двигателя поддерживается с помощью регулятора давления, который выпускает лишнее топливо в бак. Таким образом обеспечивается циркуляция топлива по системе без образования паровых пробок.

Количество впрыскиваемого топлива рассчитывается ЭБУ в зависимости от поступающего в двигатель воздуха (его объема, температуры и давления), частоты вращения коленчатого вала и температуры ОЖ. Но основным параметром является объем поступающего воздуха, который определяется расходомером. Поток движущегося воздуха, воздействуя на измерительную заслонку расходомера (рисунок 2.19), поворачивает ее на определенный угол. Этот поворот преобразуется потенциометром в напряжение, пропорциональное объему воздуха. Так создается сигнал для ЭБУ. ЭБУ определяет необходимое на данный момент времени количество топлива и подает управляющие импульсы на форсунки.

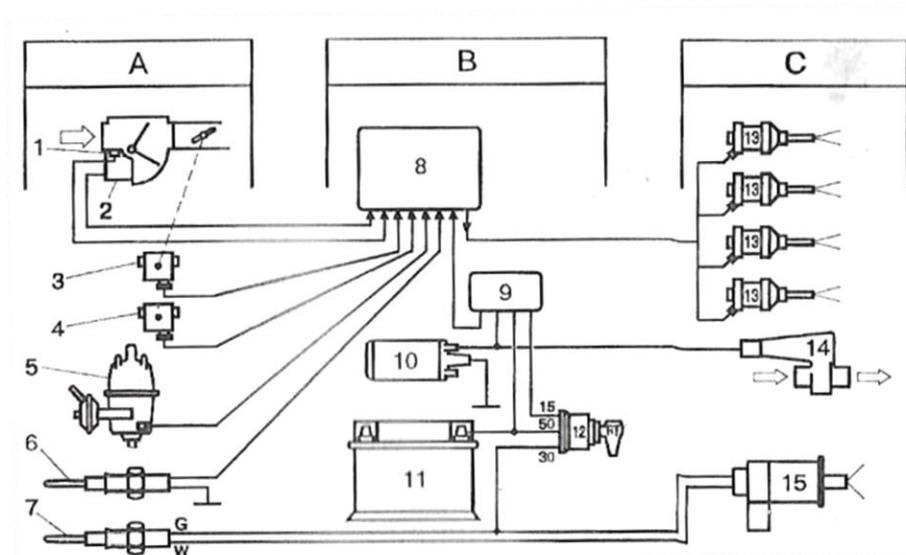


1 – обводной канал; 2 – измерительная заслонка; 3 – демпферная камера; 4 – пластина демпфера; 5 – потенциометр; 6 – винт качества (состава) смеси на холостом ходу; 7 – датчик температуры всасываемого воздуха

Рисунок 2.19 – Схема расходомера воздуха системы L-Jetronic

Для облегчения пуска холодного двигателя также, как и в других рассмотренных выше системах, здесь предусмотрена пусковая форсунка. Длительность ее открытия меняется в зависимости от температуры ОЖ.

Функциональная связь элементов системы L-Jetronic показана на рисунке 2.20. Обратная связь по датчику кислорода была предусмотрена в данной системе, но не являлась обязательным элементом. L-Jetronic пережила несколько улучшений и соответствовала экологическим требованиям до стандарта Евро 3.

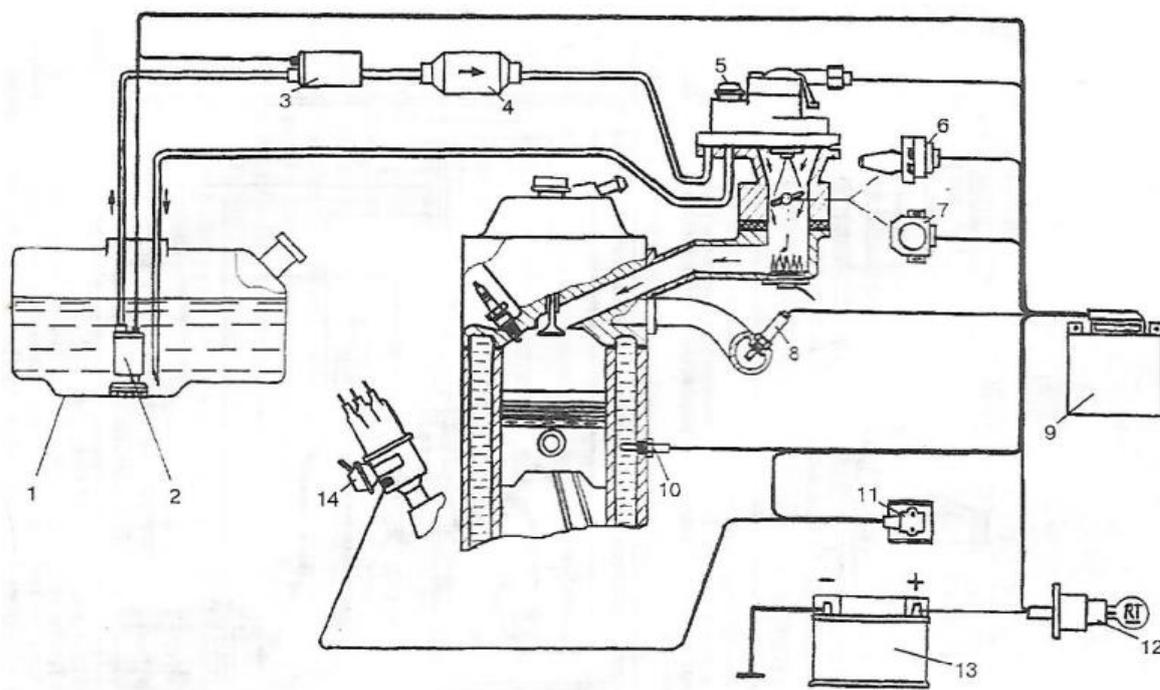


- 1 – датчик температуры всасываемого воздуха; 2 – расходомер воздуха; 3 – выключатель положения ДЗ; высотный корректор; 5 – распределитель зажигания; 6 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 7 – термореле; 8 – электронный блок управления; 9 – блок реле; 10 – топливный насос; 11 – аккумуляторная батарея; 12 – выключатель зажигания; 13 – рабочие форсунки; 14 – клапан добавочного воздуха; 15 – пусковая форсунка; А – устройства входных параметров; В – устройства управления; С – устройства выходных параметров

Рисунок 2.20 – Схема управления системой L-Jetronic

Таким образом, L-Jetronic более совершенная система, применение которой обеспечивает увеличение топливной экономичности, экологичности и динамических показателей автомобиля. Система стала настолько массовой, что применялась практически всеми автопроизводителями.

Система **M-Jetronic** (или **MONO-Jetronic**) – система впрыска с электронным управлением. Появилась в середине 1980-х годов на замену карбюраторам. Система имеет одну на весь двигатель электромагнитную форсунку, расположенную перед ДЗ, практически на месте карбюратора (рисунок 2.21).



1 – топливный бак; 2 – топливоподающий насос; 3 – топливный насос; 4 – топливный фильтр; 5 – узел центральной форсунки; 6 – регулятор холостого хода; 7 – потенциометр дроссельной заслонки; 8 – лямбда-зонд; 9 – электронный блок управления впрыском; 10 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 11 – прибор, коммутирующий сигнал информации о частоте вращения к/вала получаемый из системы зажигания; 12 – выключатель зажигания; 13 – аккумуляторная батарея; 14 – распределитель зажигания

Рисунок 2.21 – Схема системы впрыска M-Jetronic

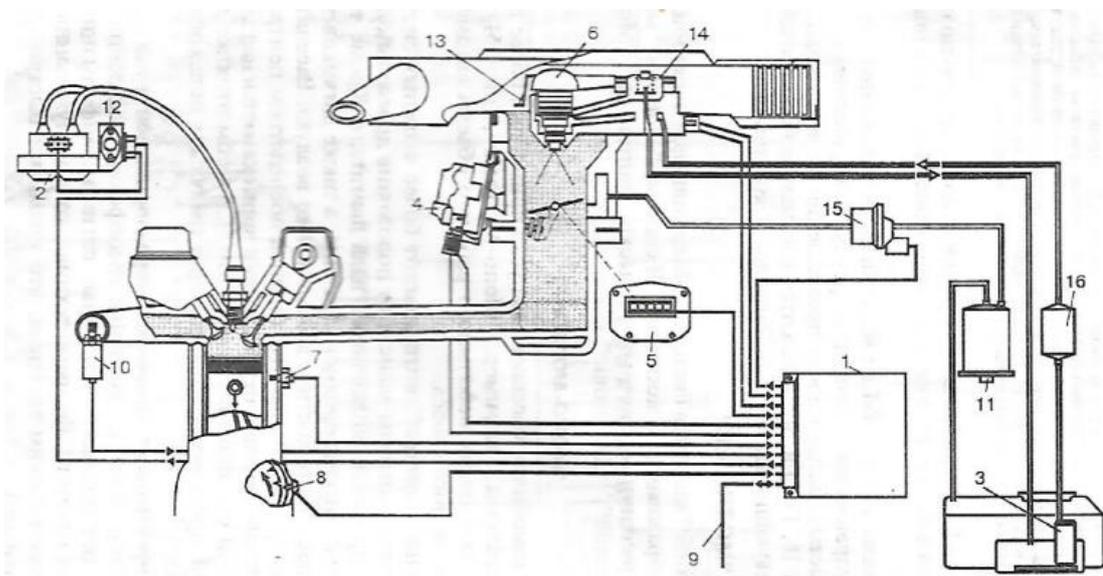
M-Jetronic не предполагает наличие расходомера воздуха, поэтому соотношение топливо-воздух соблюдается менее точно. ЭБУ рассчитывает количество впрыскиваемого топлива по сигналу потенциометра о положении ДЗ, температуре поступающего в двигатель воздуха и частоте вращения коленчатого вала. Также в системе предусмотрена топливная коррекция по сигналу датчика кислорода, что дает возможность установки каталитического нейтрализатора (см. главу 4).

В массовом производстве данная система просуществовала недолго и была вытеснена более совершенными системами распределенного впрыска.

На протяжении всего предыдущего периода развития автомобилестроения системы питания и зажигания развивались отдельно друг от друга. Однако исследования работы двигателя совместно с экологическими требованиями показывают, что системы являются зависимыми друг от друга [2]. Например, изменение состава смеси топлива с воздухом должно вызывать изменение момента зажигания для обеспечения наиболее эффективной работы двигателя.

Системы **Motronic** объединяют в себе функции смесеобразования и управления зажиганием.

На легковых автомобилях массового выпуска с двигателями небольшого рабочего объема применяют более простые и дешевые системы “Моно-Motronic” (рисунок 2.22).



1 – электронный блок управления; 2 – катушка (катушки) зажигания; 3 – топливный насос; 4 – регулятор холостого хода; 5 – датчик положения дроссельной заслонки; 6 – топливная форсунка; 7 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 8 – датчик частоты вращения к/вала; 9 – разъем для диагностики; 10 – лямбда-зонд; 11 – адсорбер; 12 – распределитель бесконтактного зажигания; 13 – диффузор с датчиком температуры всасываемого воздуха; 14 – регулятор давления топлива; 15 – возвратный топливный клапан; 16 – топливный фильтр

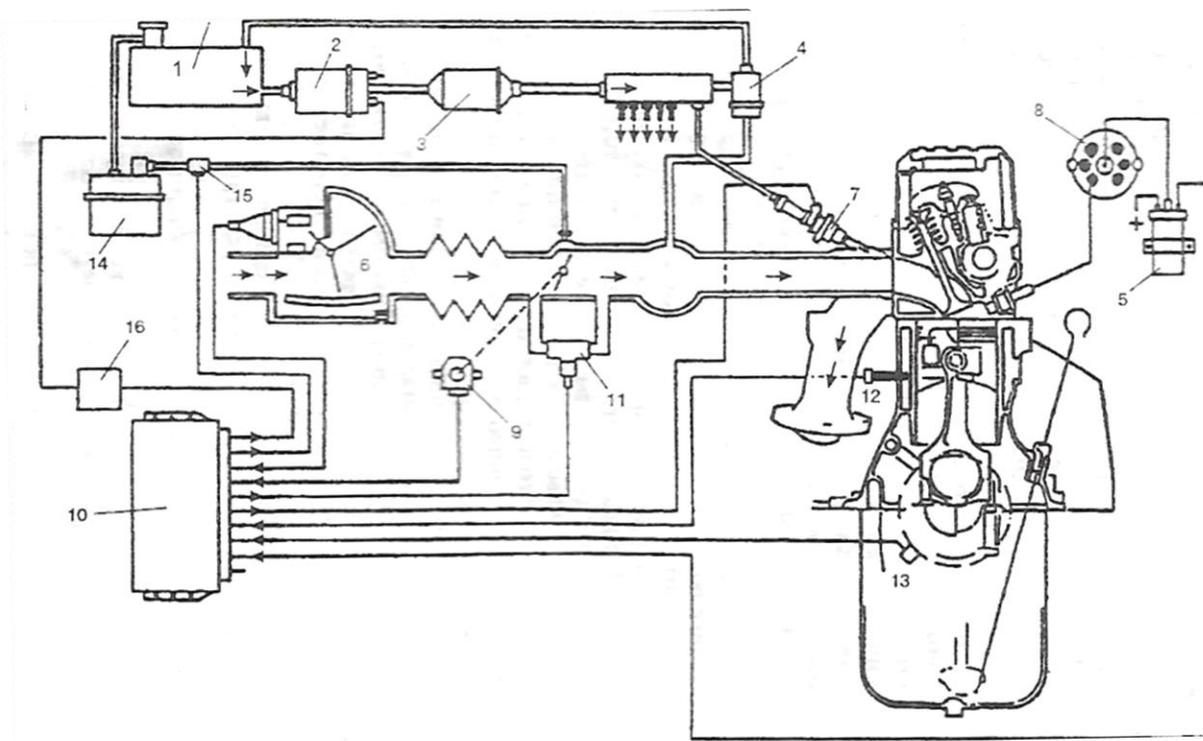
Рисунок 2.22 – Схема системы впрыска Mono-Motronic

В такой системе, в отличие от более сложных, основными сигналами являются сигнал о положении ДЗ и сигнал частоты вращения коленчатого вала. Также учитывается информация, поступающая с ДК, ДТОЖ и датчика температуры всасываемого воздуха. Рассчитанное ЭБУ количество топлива с помощью центрально форсунки подается перед ДЗ и смешивается с поступающим воздухом. С учетом этих же данных, но по другой программе управления, импульсы подаются на катушку зажигания. Так осуществляется управление впрыском топлива и зажиганием рабочей смеси.

**Motronic 1.1, Motronic 1.2, Motronic 1.3** объединяют в себе системы зажигания и системы впрыска (рисунок 2.23):

- в Motronic 1.1 и Motronic 1.2 электронная система зажигания объединена с системой впрыска L-Jetronic;

- в Motronic 1.3 электронная система зажигания объединена с системой впрыска LE-Jetronic



1 – топливный бак; 2 – топливный насос; 3 – топливный фильтр; 4 – регулятор давления топлива; 5 – катушка зажигания; 6 – измеритель расхода воздуха; 7 – форсунка; 8 – распределитель зажигания; 9 – потенциометр дроссельной заслонки; 10 – электронный блок управления; 11 – поворотный регулятор холостого хода; 12 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 13 – датчик числа оборотов коленчатого вала; 14 – адсорбер; 15 – клапан вентиляции топливного бака; 16 – реле включения топливного насоса

Рисунок 2.23 – Схема системы управления двигателем Motronic 1.1–1.3

Обе функции выполняет один контроллер – специализированная цифровая микро-ЭВМ, который вычисляет количество впрыскиваемого топлива и оптимальные углы опережения зажигания в зависимости от сигналов, выдаваемых различными датчиками (см. главу 3).

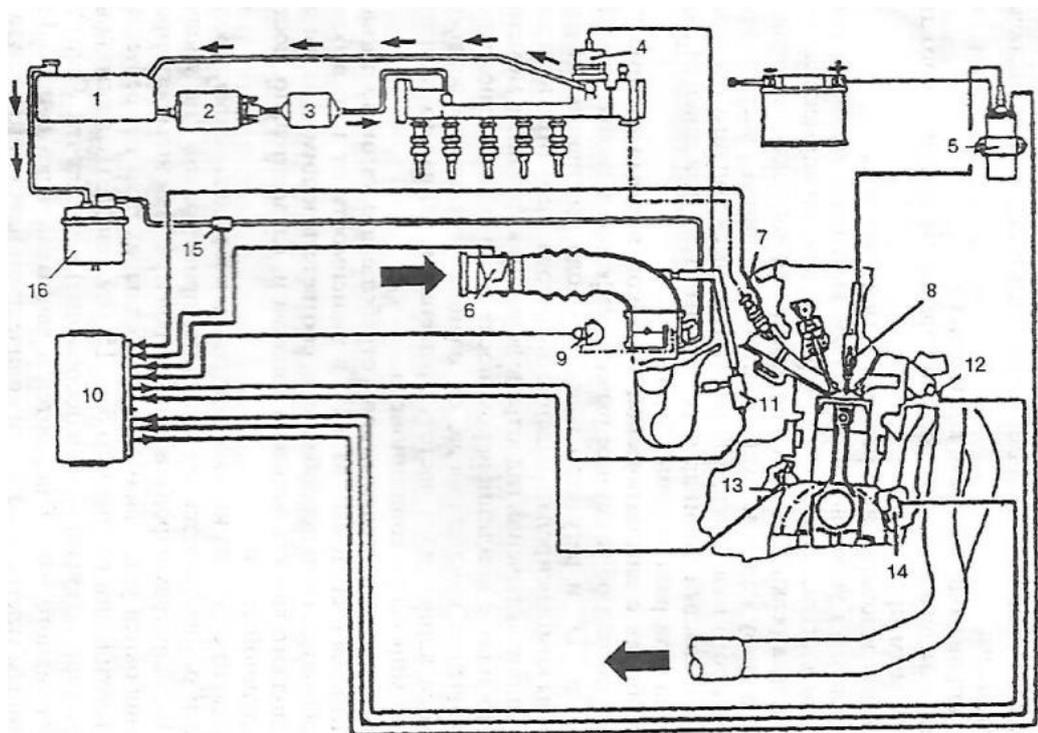
Модификацией системы Motronic 1.3 является система **Motronic 1.7**. Основное отличие усовершенствованной системы заключается в применении устройства распределения зажигания без подвижных частей, что обусловило применение четырех (для 4-цилиндрового ДВС) выходных каскадов зажигания вместо одного. Теперь на каждый цилиндр устанавливается отдельная катушка зажигания.

Достоинством такой системы является возможность оперативного изменения УОЗ в каждом цилиндре, а также выдаваемый на свечи зажигания ток высокого напряжения, достигающего до 32 кВ [6].

Следующей ступенью развития систем Motronic стала система **Motronic 3.1** (рисунок 2.24). По сравнению с предшественницей имеет следующие различия:

- увеличена производительность ЭБУ;

- применен измеритель массы воздуха термоанемометрического типа, с нагреваемым проводником;
- применен последовательный режим впрыска топлива.



- 1 – топливный бак; 2 – топливный насос; 3 – топливный фильтр; 4 – регулятор давления топлива; 5 – катушка зажигания; 6 – измеритель массы воздуха с нагреваемым проводником; 7 – форсунка; 8 – свеча зажигания; 9 – потенциометр дроссельной заслонки; 10 – электронный блок управления; 11 – поворотный регулятор холостого хода; 12 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 13 – датчик детонации; 14 – датчик числа оборотов двигателя; 15 – клапан вентиляции топливного бака; 16 – адсорбер

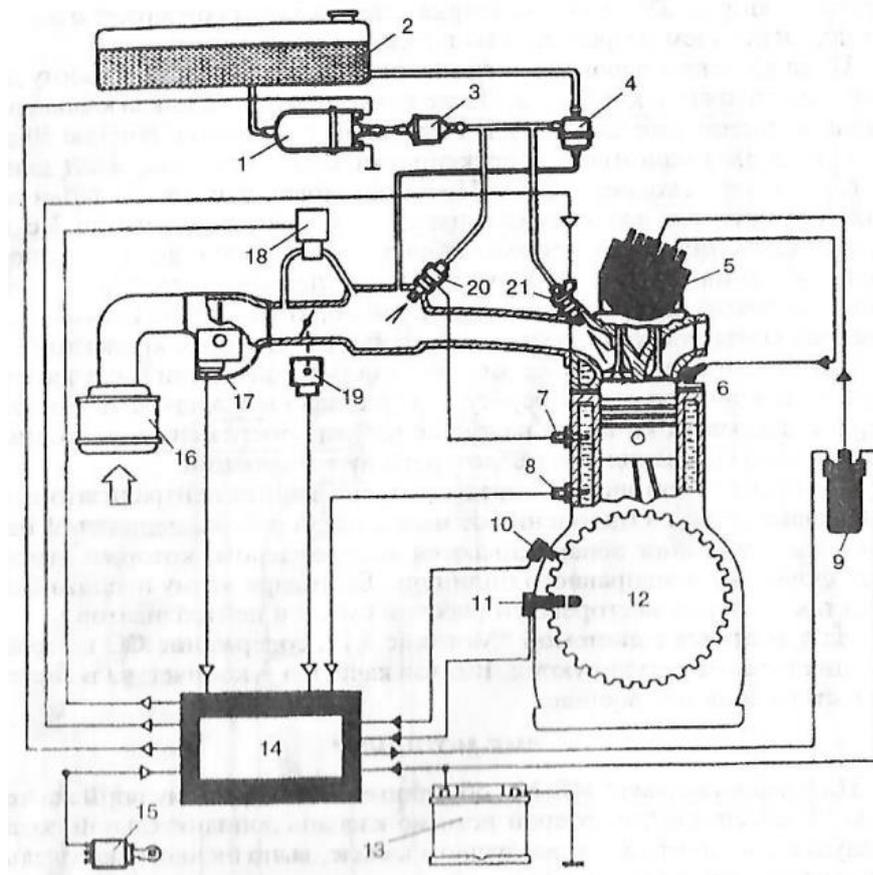
Рисунок 2.24 – Схема системы управления двигателем Motronic 3.1

Впрыск топлива происходит отдельно в каждый цилиндр через  $120^\circ$  угла поворота коленчатого вала- три раза за оборот. При этом каждая форсунка управляется отдельным выходным каскадом ЭБУ, благодаря этому впрыск происходит с высокой точностью, и система может быстро реагировать на изменение нагрузки двигателя.

На автомобилях, оборудованных каталитическим нейтрализатором, состав топливно-воздушной смеси меняется ЭБУ в зависимости от сигнала ДК ( $\lambda$ -зонда). При отказе этого датчика корректировка состава смеси осуществляется по величине, принимаемой по умолчанию (напряжение на датчике принимается равным 0,45В).

В системе Motronic 3.1 предусмотрена защита каталитического нейтрализатора от поступления в него несгоревшей рабочей смеси. Отклонения от нормальной работы первичной цепи системы зажигания обнаруживаются ЭБУ, который отключает неисправную форсунку.

Система **ME-Motronic** (рисунок 2.25) основана на системе впрыска LE2-Jetronic и системе полностью электронного зажигания.



1 – топливный насос; 2 – топливный бак; 3 – фильтр тонкой очистки топлива; 4 – регулятор давления; 5 – распределитель зажигания; 6 – свеча зажигания; 7 – тепловое реле времени; 8 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 9 – катушка зажигания; 10 – датчик числа оборотов; 11 – датчик угловых импульсов; 12 – зубчатый венец маховика; 13- аккумуляторная батарея; 14 – электронный блок управления; 15 – выключатель зажигания; 16 – воздушный фильтр; 17 – расходомер; 18 – регулятор холостого хода; 19 – датчик положения дроссельной заслонки; 20 – пусковая форсунка; 21- рабочие форсунки

Рисунок 2.25 – Схема системы управления двигателем ME-Motronic

ЭБУ управляет двигателем в зависимости от:

- частоты вращения коленчатого вала двигателя (датчик 10 числа оборотов (рисунок 2.21));
- углового положения коленчатого вала (датчик 11 угловых импульсов);
- сигнала от теплового реле 7, которое замыкает ДТОЖ при достижения рабочей температуры двигателя;
- положения ДЗ;
- количества и температуры поступающего воздуха;
- температуры ОЖ.



### 3 Электронная система управления бензиновым двигателем

Автомобильные двигатели с воспламенением топлива от искры всегда имели две основные системы управления: систему управления составом топливно-воздушной смеси и систему управления моментом зажигания. На протяжении всего предыдущего периода развития автомобилестроения эти системы развивались отдельно друг от друга. Однако исследования работы двигателя совместно с экологическими требованиями показывают, что системы являются зависимыми друг от друга [2]. Например, изменение состава смеси топлива с воздухом должно вызывать изменение момента зажигания для обеспечения наиболее эффективной работы двигателя.

Поэтому для улучшения качества управления двигателем логичным является объединение этих двух систем в одну. Именно такие системы широко представлены в автомобилях на сегодняшний день.

Системы объединенного электронного управления впрыском и зажиганием имеют следующие достоинства:

- совмещение функций агрегатов и датчиков позволяет снизить их количество;

- процессы смесеобразования и зажигания выполняются совместно, при этом оптимизируются динамические характеристики двигателя, улучшается топливная экономичность автомобиля, уменьшается концентрация вредных выбросов, облегчаются пуск и прогрев холодного двигателя;

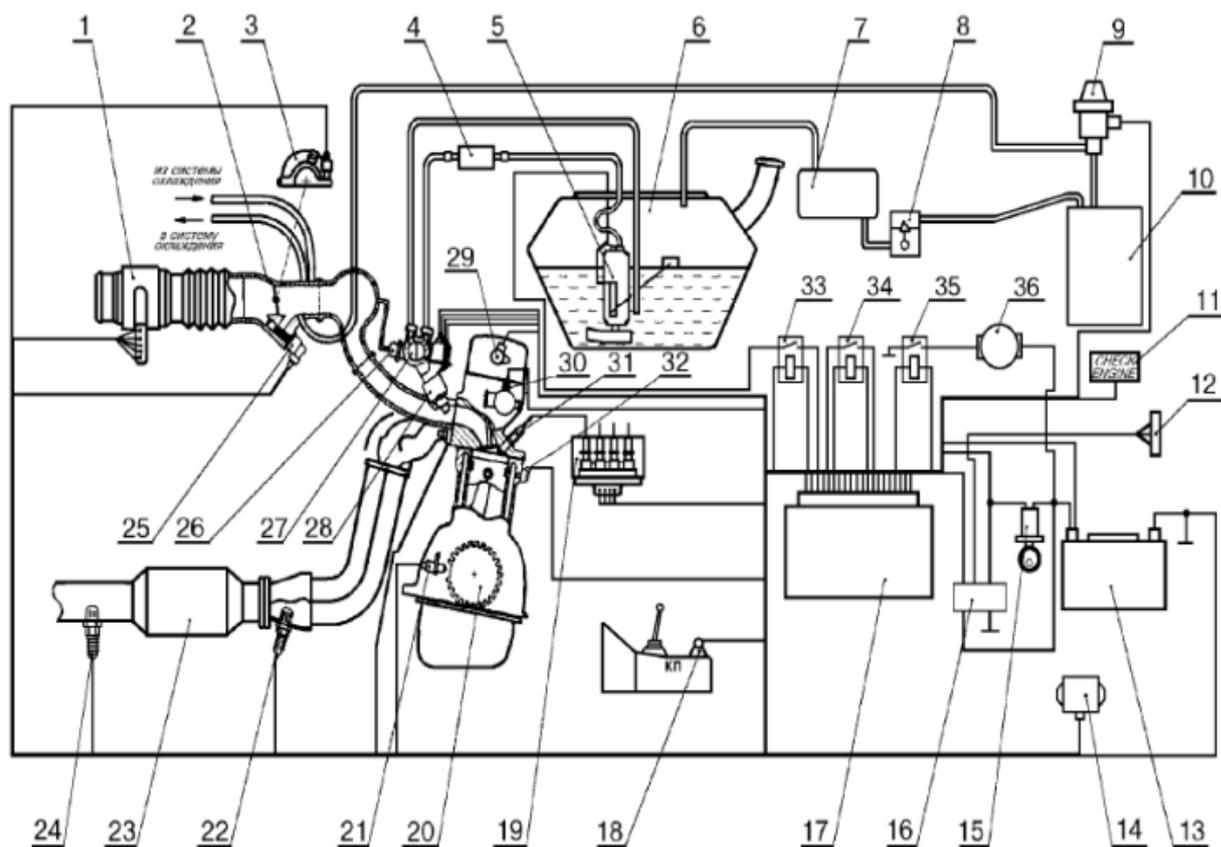
- появляются возможности выполнять новые функции – управление АКПП, АБС, кондиционером, противоугонными системами и т. д.

- способность таких систем к самодиагностике;

**Электронная система управления двигателем (ЭСУД)** включает набор датчиков и различных устройств для получения и обработки информации, исполнительные механизмы и вспомогательные устройства. На разных режимах работы двигателя момент впрыска топлива и момент зажигания синхронизируются – совместно используются входные сигналы с различных датчиков.

Принцип работы ЭСУД следующий, с датчиков двигателя (рисунок 3.1) [8] снимается информация о режиме его работы: частота вращения коленчатого вала, положение коленчатого вала по углу поворота, расход воздуха или абсолютное давление во впускном трубопроводе, положение ДЗ, температура ОЖ и воздуха, поступающего во впускной коллектор и др.

Эти сигналы поступают в электронный блок управления, который преобразовывает полученную информацию и управляет исполнительными механизмами: топливными форсунками, катушками зажигания, РХХ, электрическим топливным насосом, вентилятором радиатора ОЖ, клапаном продувки адсорбера, клапаном рециркуляции ОГ и т. д.



1 – датчик массового расхода воздуха; 2 – патрубок дроссельный; 3 – датчик положения дроссельной заслонки; 4 – топливный фильтр; 5 – электрический топливный насос; 6 – топливный бак; 7 – сепаратор; 8 – гравитационный клапан; 9 – электромагнитный клапан продувки адсорбера; 10 – адсорбер; 11 – лампа контроля; 12 – колодка диагностики; 13 – аккумулятор; 14 – датчик неровной дороги; 15 – замок зажигания; 16 – иммобилизатор; 17 – электронный блок управления; 18 – датчик скорости; 19 – модуль зажигания; 20 – задающий диск; 21 – датчик положения коленчатого вала; 22 – управляющий датчик кислорода; 23 – нейтрализатор; 24 – диагностический датчик кислорода; 25 – регулятор холостого хода; 26 – регулятор давления топлива; 27 – топливная рампа; 28 – форсунки; 29 – датчик фаз; 30 – датчик температуры охлаждающей жидкости; 31 – свечи зажигания; 32 – датчик детонации; 33 – реле топливного насоса; 34 – главное реле; 35 – реле электроventилятора; 36 – электроventилятор системы охлаждения двигателя

Рисунок 3.1 – Схема ЭСУД ВАЗ ЕВРО-3

Рассмотрим процесс работы ЭСУД на примере впрыска топлива – воздух, который поступает в двигатель, измеряется датчиком расхода воздуха, данные показания переносятся в электронный блок управления, который анализирует их и с учетом значений различных параметров, заложенных в его памяти (температура воздуха, температура ОЖ, степень открытия ДЗ, скорость, с которой она открывается, скорость вращения коленчатого вала и т.д.), рассчитывает то количество топлива, которое необходимо сжечь в количестве воздуха при данном режиме работы двигателя.

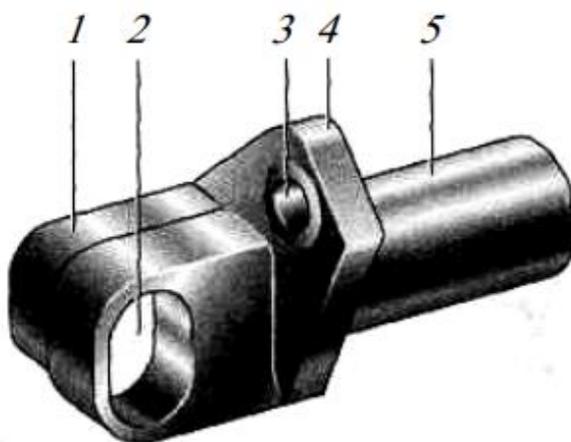
Выделяют ЭСУД двух типов: импульсного и непрерывного впрыска. В системах **импульсного типа** форсунки открываются импульсным электрическим сигналом и количество топлива, впрыскиваемого в цилиндры, будет зависеть от длительности электрического сигнала. В системах **непрерывного впрыска** форсунки открываются под давлением топлива и количество впрыскиваемого топлива, будет зависеть от давления топлива.

### 3.1 Датчики

Датчики – это устройства, передающие сигналы ЭБУ о различных параметрах двигателя. К ним относят ДМРВ, ДПКВ, ДТОЖ, ДПДЗ и многие другие. Ниже описаны основные датчики, обеспечивающие работу современного бензинового двигателя.

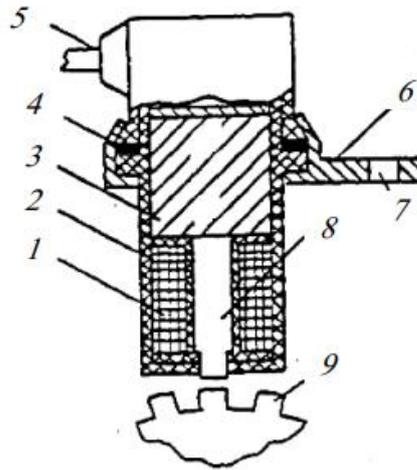
**Датчик положения (частоты вращения) коленчатого вала (ДПКВ)** необходим для определения частоты вращения и положения к/вала, а также синхронизации работы ЭБУ и двигателя. Наиболее распространены датчики индуктивного типа. Такой датчик работает совместно с синхронизирующим диском. Синхронизирующий диск представляет собой зубчатый венец маховика к/вала двигателя. При шаге в  $6^\circ$  на диске помещается 60 зубьев, но два зуба срезаны для создания импульса синхронизации, необходимого для согласования работы ЭБУ с ВМТ поршней 1 и 4 цилиндров.

Индуктивный ДПКВ состоит из катушки с сердечником и постоянным магнитом (рисунок 3.2).



1 – корпус; 2 – разъём; 3 – отверстие для крепления; 4 – фланец крепления; 5 – магнитопровод

Рисунок 3.2 – Внешний вид датчика положения коленчатого вала индуктивного типа



1 – обмотка датчика; 2 – корпус; 3 – магнит; 4 – уплотнитель; 5 – провод; 6 – кронштейн крепления; 7 – отверстие крепления; 8 – магнитный провод; 9 – диск синхронизации

Рисунок 3.3 – Устройство датчика положения коленчатого вала индуктивного типа

При вращении диска синхронизации изменяется магнитный поток в магнитопроводе датчика, формируя импульсы напряжения переменного тока в его обмотке. ЭБУ по количеству и частоте следования импульсов рассчитывает длительность импульсов управления форсунками и зажиганием. Зазор между датчиком и вершиной зуба диска синхронизации составляет 0,5–1,0 мм [9].

**Датчик положения распределительного вала (ДПРВ) или датчик фаз (ДФ)** предназначен для определения ВМТ первого цилиндра при такте сжатия. Принцип действия индуктивного ДФ схож с ДПКВ. Датчик фаз выдает один импульс за один цикл работы. ЭБУ, получив импульс от ДФ, определяет ВМТ такта сжатия первого цилиндра и синхронизирует управление форсунками. Благодаря сигналам от ДФ блок управления точнее дозирует качество смесеобразования

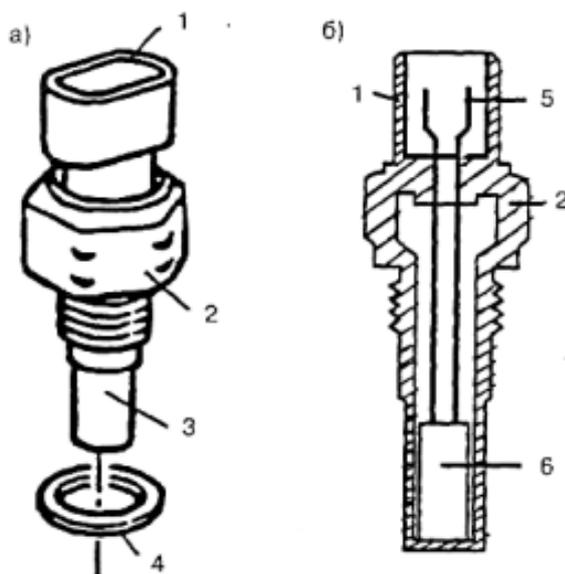
Датчик положения распределительного вала автомобилей семейства «ВАЗ» (рис. 3.х), работающий на основе эффекта Холла, содержит корпус, электрод с пазом и электрический разъём. Ротор размещён на распределительном вале. На половину окружности ротора нанесено металлическое покрытие – реперный экран, направленный к датчику. Он установлен на левой стороне головки цилиндров, напротив шторки, выполненной в виде полукруга в 180°. Шторка закреплена на торце распределительного вала. При нахождении сегментной шторки в воздушном зазоре датчика последний выдаёт на ЭБУ сигнал напряжением 12 В.

Датчик формирует сигнал в момент прохождения в магнитном поле датчика отметчика, выполненного в виде отогнутой пластины, установленной на выпускном р/вале. Положение отметчика относительно датчика должно строго соответствовать правильной ориентации р/вала. Зазор между

отметчиком и датчиком должен находиться в диапазоне 0,5 – 1,5 мм. При выходе из строя ДФ ЭБУ определяет ошибку и переходит на попарно-параллельный впрыск топлива.

**Датчик температуры охлаждающей жидкости (ДТОЖ)** предназначен для определения температурного состояния двигателя и обеспечения необходимой корректировки параметров топливоподачи и зажигания.

Датчик температуры (рисунок 3.4) содержит корпус 2, электрический разъём 1, термочувствительный элемент 3 и уплотнитель 4. В корпусе 2 размещены полупроводниковый резистор 6 и электрические контакты 5.



а – внешний вид датчика; б – разрез датчика; 1 – разъём; 2 – корпус; 3 – термочувствительный элемент; 4 – уплотнитель; 5 – электрические контакты; 6 – резистор

Рисунок 3.4 – Датчик температуры охлаждающей жидкости

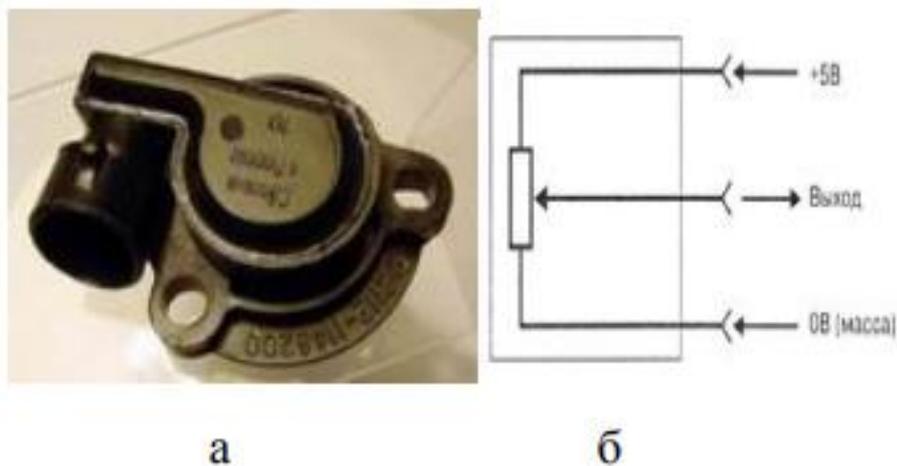
Термический резистор, расположенный внутри датчика, имеет отрицательный температурный коэффициент сопротивления, то есть при нагреве его сопротивление уменьшается. Высокая температура вызывает низкое сопротивление (70 Ом при 130 °С) датчика, а низкая температура охлаждающей жидкости – высокое сопротивление (100 кОм при –40 °С) [8]. Температуру ОЖ ЭБУ рассчитывает по падению напряжения на резисторе датчика.

По мере нагревания двигателя, ЭБУ измеряет напряжение на выходе с ДТОЖ и, соответственно, корректирует работу двигателя (обороты ХХ, обогащение подачи топливной смеси, УОЗ, включение и выключение вентилятора ОЖ). Датчик температуры охлаждающей жидкости устанавливается на выпускном патрубке системы охлаждения в потоке охлаждающей жидкости двигателя.

**Датчик положения дроссельной заслонки (ДПДЗ)** измеряет положение дроссельной заслонки и передает ЭБУ информацию о том, в каком

положении сейчас находится ДЗ. Датчик представляет собой потенциометр, ползунок которого соединен с осью ДЗ; при повороте заслонки меняется электрическое сопротивление и напряжение его питания, которое и является выходным сигналом для ЭБУ.

На один конец датчика подается плюс напряжения питания (5 В), другой соединен с массой (рисунок 3.5). С третьего вывода потенциометра (от ползунка) идет выходной сигнал к блоку.



а – внешний вид; б – электрическая схема

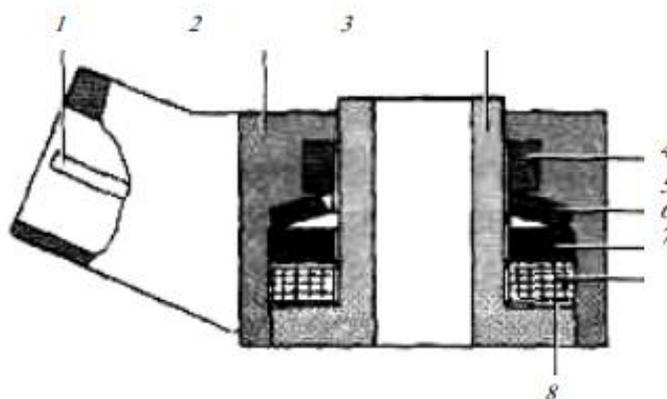
Рисунок 3.5 – Датчик положения дроссельной заслонки

При закрытой дроссельной заслонке выходной сигнал датчика должен быть в пределах 0,3–0,7 [9] В. Когда дроссельная заслонка открывается (при нажатии на педаль газа), напряжение на выходе датчика начинает расти и при полностью открытой дроссельной заслонке составляет 4,0–4,75 В [9].

Дроссельная заслонка является единственным узлом, который принимает команды от водителя на управление двигателем. Все остальные узлы и агрегаты в системе управления двигателем, передают сигналы или принимают сигналы без участия водителя. Отслеживая выходное напряжение датчика, ЭБУ получает информацию о нагрузке на двигатель, то есть о режиме его работы.

**Датчик детонации** обеспечивает коррекцию величины угла опережения зажигания (УОЗ) по параметрам сигнала обнаруженной детонации. Датчик детонации (рисунок 3.6) состоит из кварцевого пьезоэлемента 7, инерционной массы 6, упругой шайбы 5, контактной пластины 8, штекера 1, изолятора 2 и корпуса 3. При детонационном горении рабочей смеси в цилиндре образуются ударные волны, вызывающие вибрацию стенок блока, которые передаются на корпус датчика. При возникновении вибрации инерционная масса воздействует на кварцевые пьезоэлементы с соответствующей частотой и усилием. На их обкладках в результате пьезоэффекта появляется переменный электрический заряд. Этот заряд снимается с помощью вывода, соединённого

с контактами соединительной вилки, и воспринимается ЭБУ. ЭБУ управляет углом опережения зажигания. Уменьшение УОЗ с учётом сигнала датчика детонации позволяет ЭБУ обеспечивать работу двигателя без детонации или с минимальной её интенсивностью.



1 – штекер; 2 – изолятор; 3 – корпус; 4 – гайка; 5 – упругая шайба; 6 – инерционная масса; 7 – пьезоэлемент; 8 – контактная пластина

Рисунок 3.6 – Датчик детонации

В случае неисправности датчика детонации электронный блок переходит на аварийный режим работы двигателя с безопасными УОЗ.

**Датчик массового расхода воздуха (ДМРВ)** необходим для определения количества массы или объема поступающего в цилиндры двигателя. Расположен после воздушного фильтра и перед ДЗ.

Долгое время наиболее распространенным являлся ДМРВ проволочного типа (рис. 3.х). Работа такого датчика основана на принципе постоянства температуры.

Нагретый платиновый провод, расположенный в воздушном потоке, является одним из плеч измерительного моста сопротивлений (мост Уитстона). При этом за счет изменения силы тока, протекающей через мост, поддерживается постоянная температура платинового провода, обдуваемого воздушным потоком. При увеличении расхода воздуха этот провод остывает и его сопротивление падает. Мост сопротивлений становится несимметричным и возникает напряжение, поступающее на вход усилителя и используемое после усиления для повышения температуры провода. Это процесс продолжается до тех пор, пока температура и сопротивление провода не приведут к равновесию системы. Диапазон силы тока, протекающей через платиновый провод, составляет 500...1200 мкА [2]. Этот ток протекает через калибровочный резистор  $R_3$  (рисунок 3.7), на котором возникает напряжение, поступающее в ЭБУ для вычисления впрыскиваемого количества топлива.

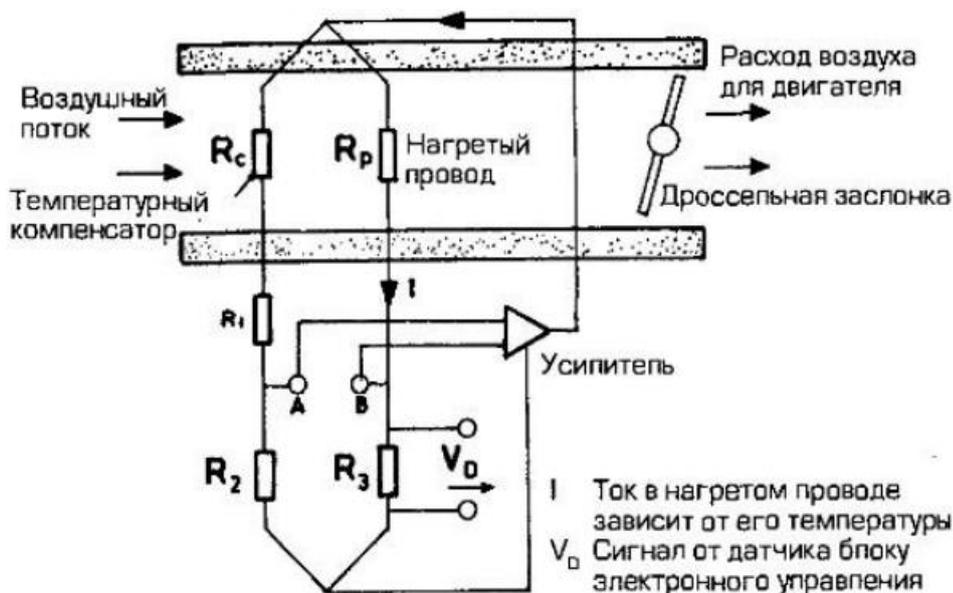
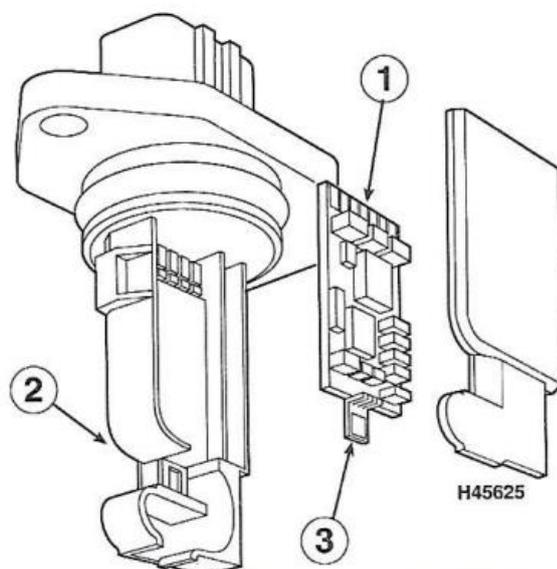


Рисунок 3.7 – Схема датчика массового расхода воздуха

Сейчас популярны пленочные датчики массового расхода воздуха (рис. 3.9). Этот датчик состоит из керамического основания, на котором расположена пленка. В пленку вмонтированы измерительный и компенсационный резисторы.



1 – выводы; 2 – измерительный канал; 3 – чувствительный элемент

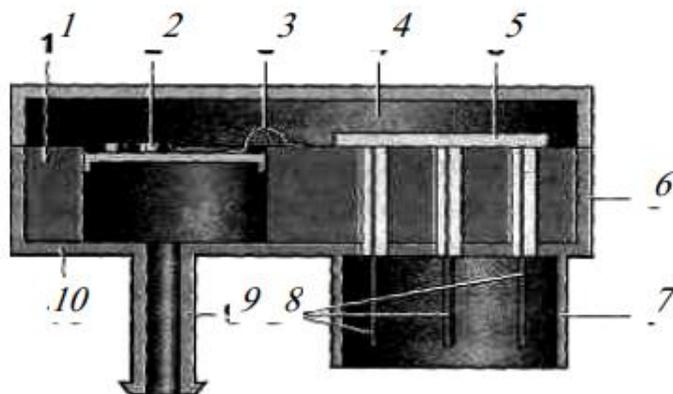
Рисунок 3.8 – Схема пленочного датчика массового расхода воздуха

Такая конструкция датчика делает его более надежным и дешевым. Принцип его работы схож с проволочным датчиком, только вместо провода используется пленочный элемент. Пленка нагревается до определенной температуры. Ток, необходимый для ее поддержания, пропорционален массе

воздуха, проходящего через датчик. Измеряя ток, датчик вырабатывает сигнал, поступающий далее в ЭБУ.

В случае неисправности ДМРВ электронный блок корректирует подачу топлива в зависимости от угла открытия дроссельной заслонки, разрежения во впускном коллекторе частоты вращения к/вала.

**Датчик абсолютного давления.** Датчик абсолютного давления измеряет разность между атмосферным давлением и давлением во впускном трубопроводе., таким образом считается нагрузка на двигатель. В основе работы датчика абсолютного давления лежит тензорезистивный эффект: изменение сопротивления проводника в результате его деформации. В корпусе 6 датчика (рисунок 3.9) размещена мембрана 1, снабжённая напыленными тензорезисторами 2 и нагруженной пружиной 3 в надмембранной полости 4. Резисторы 2 выполнены по мостовой схеме. Электрическая схема 5 усиления сигнала содержит электрические выводы, размещенные в разъёме 7. Полость датчика 10 через штуцер 9 подвода разрежения сообщается с впускным трубопроводом. При изменении давления во впускном коллекторе, мембрана механически воздействует на пьезоэлемент, изменяющий величину эталонного напряжения, подаваемого на нагрузочное сопротивление, вызывая изменение напряжения на входе в ЭБУ.



1 – мембрана; 2 – терморезисторы; 3 – пружина; 4 – надмембранная полость; 5 – схема усиления; 6 – корпус; 7 – разъём; 8 – выводы; 9 – штуцер; 10 – рабочая полость датчика

Рисунок 3.9 – Датчик абсолютного давления воздуха

Абсолютное давление обозначает величину давления, отсчитанную от абсолютного нуля. При неработающем двигателе величина давления во ВТ равна атмосферному. Датчик сообщает ЭБУ сигнал в виде напряжения. При запуске двигателя давление во ВТ уменьшается (величина разрежения составляет в среднем 330–380 мм рт. ст. на режимах ХХ [9]). По измеренной величине давления ЭБУ вычисляет количество воздуха, поступающего в цилиндры. При отказе датчика абсолютного давления или возникновения неисправностей в его цепях, двигатель будет продолжать работу и заводиться,

так как функции расходомера воздуха при этом выполняет датчик положения дроссельной заслонки.

**Датчик кислорода (ДК)** фиксирует концентрацию остаточного кислорода в отработавших газах. По его сигналу ЭБУ управляет длительностью впрыска топлива для наиболее полного сгорания топливно-воздушной смеси. Подробно датчик кислорода описан в пункте 4.3.

### 3.2 Электронный блок управления

Сигналы со всех датчиков двигателя поступают в электронный блок управления. ЭБУ является центральным блоком системы. Он предназначен для обработки сигналов, полученных с датчиков, и формирования управляющих импульсов на исполнительные механизмы. ЭБУ состоит из электронных схем, расположенных на печатных платах (рисунок 3.10).

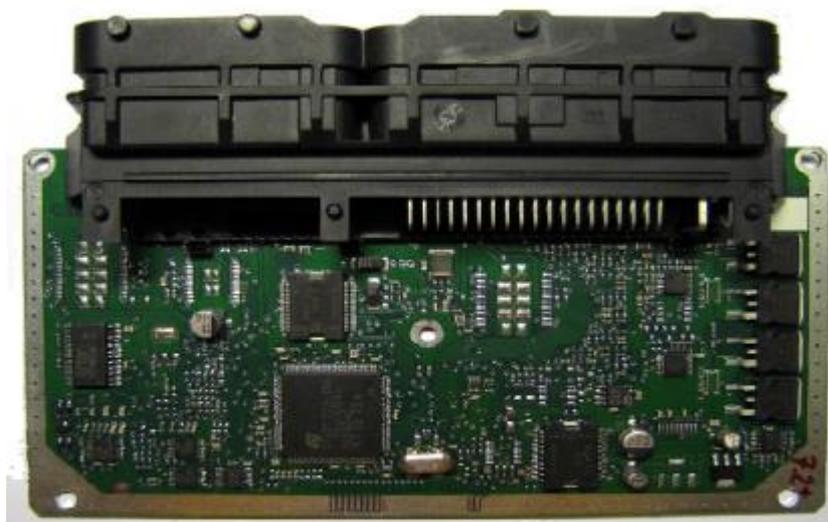


Рисунок 3.10 – Внешний вид ЭБУ двигателя ВАЗ

С датчиков поступают сигналы, то есть не сами значения параметров (температура, давление и т. д.), а их аналог в виде электрического тока с изменяющимися соответствующим образом силой и напряжением. Например, от ДМРВ передается не непосредственно расход воздуха, а его электрический аналог – напряжение, величина, которого зависит от расхода воздуха.

**Микропроцессоры** ЭБУ работают в импульсном режиме и могут находиться только в одном из двух состояний – согласно используемой в настоящее время двоичной системе – ноль или единица [3]. Поэтому, выходные сигналы датчиков сначала преобразуются в аналоговые, более точные сигналы; это происходит в преобразователе входных данных. Аналоговые сигналы, в свою очередь, в **аналогово-цифровом преобразователе (АЦП)** 12 (рисунок 3.11) преобразуются в цифровые сигналы.

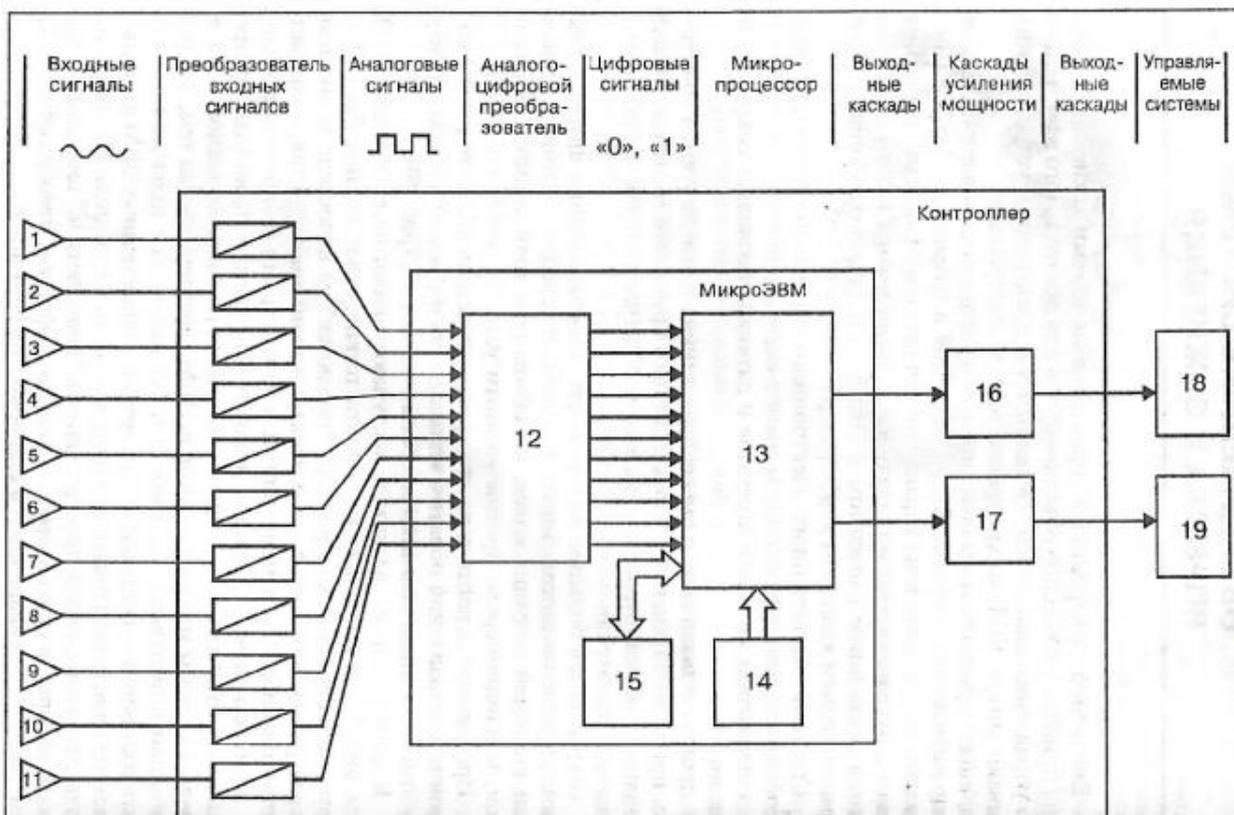


Рисунок 3.11 – Функциональная схема электронного управления двигателем

В основу принципа действия АЦП положен электронный ключ (рисунок 3.12), который с большой частотой, намного превышающей частоту изменения аналогового сигнала, размыкает и замыкает цепь. Эта частота, называется частотой дискреции, и от её величины зависит количество точек измерения замеряемых напряжений аналогового сигнала. Следовательно, чем больше частота дискреции ключа, тем больше замеров производится АЦП, и точность оцифровки сигнала увеличивается.

Каждому конкретному замеру присваивается свой индивидуальный 8-битный код, соответствующий значению кода АЦП в диапазоне от 0 до 255 (учитывая 0 всего 256). В момент замыкания цепи через ключ проходит напряжение и происходит измерение текущего значения аналоговой величины. Это значение аналоговой величины запоминает конденсатор. Заряд конденсатора будет соответствовать напряжению в конкретный момент времени и блок управления присваивает ему цифровое имя (например, код 10101010), разряжая конденсатор, принимая на себя заряд. Далее процесс повторяется.

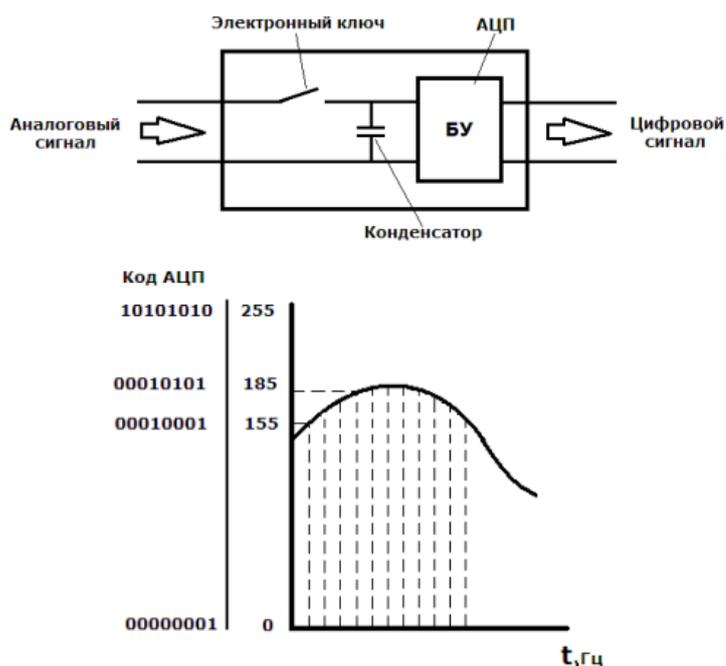


Рисунок 3.12 – Принципиальная схема АЦП

Цифровые сигналы с АЦП поступают в микропроцессор 13 (рисунок 3.11). Для обработки информации микропроцессор использует только две цифры: 0 и 1. В 8-разрядном микропроцессоре информация представляется в виде набора из восьми бит. Такой набор позволяет отобразить числа от 0 до 256 (число два в восьмой степени равно 256) [8]. Напряжение на датчиках изменяется от 0 до 5 В, поэтому напряжение можно измерить с точностью 0,02 В ( $5/256 = 0,02$ ).

Микропроцессор обрабатывает полученную информацию по программе, заложенной в **постоянно запоминающем устройстве (ПЗУ) 14**, используя **оперативно запоминающее устройство (ОЗУ) 15**.

В ПЗУ хранится программа работы микропроцессора, так называемая «прошивка», которая содержит две части:

- управляющая программа обработки данных «софт», которая производит необходимые расчеты на основе заложенных формул;
- калибровки, которые представляют собой двух-, трехмерные таблицы различных параметров работы системы впрыска и зажигания.

Необходимые параметры для управления исполнительными устройствами вычисляются в соответствии с входящими данными и набором коэффициентов коррекции, записанных в характеристических картах ПЗУ. Содержимое ПЗУ не изменяется при снятии питания аккумуляторной батареи и не изменяется в ходе работы программы. ПЗУ в грубом упрощении представляет собой ячейки, выполненные в виде конденсаторов. Конденсатор имеет два состояния: заряжен или разряжен, то есть хранит 0 или 1. Конденсаторы высококачественные и не теряют заряд годами.

ОЗУ или RAM (от англ. Random access memory – память произвольного доступа). Предназначена для хранения результатов промежуточных вычислений, величины сигналов, поступающих с датчиков и программных переменных. Содержимое ОЗУ теряется при отключении питания АКБ.

Микропроцессор (8 или 16-разрядный), выполняет в ЭБУ все вычисления (деление, умножение, вычитание, сложение), а также логические операции. Отдельные блоки ЭБУ связаны между собой плоскими кабелями, известными под названием шины. По шинам передаются данные (шина данных), адреса памяти (адресная шина), а также сигналы управления (управляющая шина).

Выходные сигналы микропроцессора не могут быть напрямую использованы для управления исполнительными устройствами. Только после прохождения их через усилительные каскады 16, 17 (рис. 3.3) они усиливаются и превращаются в команды для систем питания и зажигания.

Информация о характеристиках двигателя хранится в ПЗУ в форме таблиц, называемых рабочими таблицами. Эти таблицы получаются из трехмерных карт опережения зажигания (рисунок 3.13) и таких же карт для периода открытого состояния форсунок.

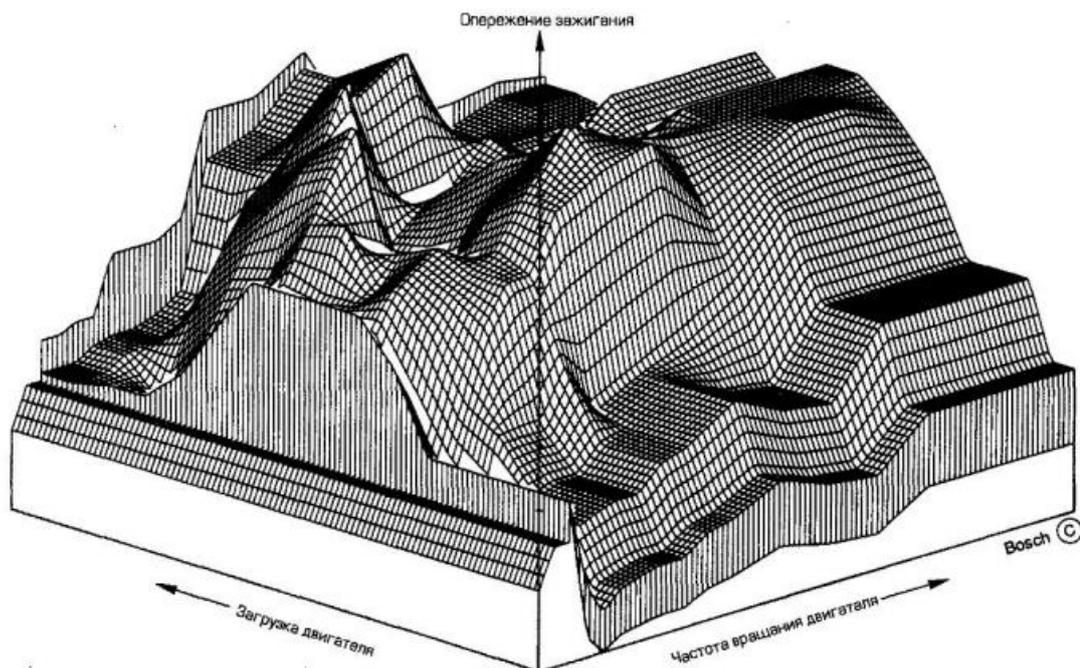


Рисунок 3.13 – Карта зависимости частоты вращения двигателя, нагрузки на двигатель и УОЗ

Рабочие таблицы могут быть составлены компьютером для различных сочетаний параметров, однако, прежде всего такими параметрами являются скорость, давление в коллекторе, температура двигателя и, возможно, напряжение аккумулятора. Каждая из таблиц дает, например, свое значение угла опережения, и для определения истинно требуемого угла все результаты

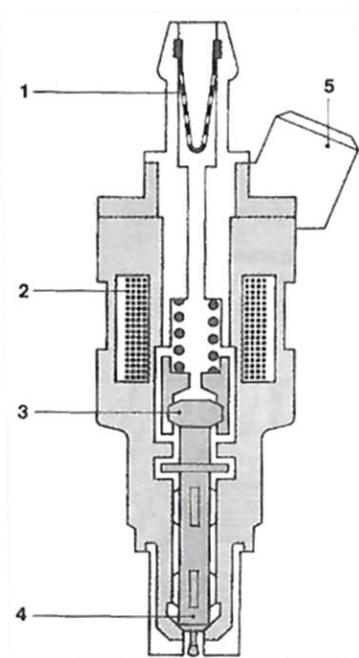
сопоставляются. Наконец, ЭБУ выдаст команду силовому ключу системы зажигания на включение или выключение катушки в соответствии с текущим состоянием двигателя. Подобным образом вычисляется и период открытого состояния форсунок.

### 3.3 Исполнительные устройства

ЭБУ обрабатывает все эти сигналы и на основе этой работы выдает выходные сигналы, которые используются для управления **исполнительными устройствами** (актуаторы).

Исполнительные устройства – это различные электромагнитные устройства, работа которых зависит от характеристик управляющего сигнала. К ним можно отнести топливные форсунки, регулятор холостого хода (РХХ), электромагнитный клапан рециркуляции отработавших газов и т. д. Рассмотрим основные из них.

**Электромагнитные топливные форсунки** дозируют подачу топлива под действием сигнала с ЭБУ. Форсунки устанавливаются для каждого цилиндра (распределенный впрыск) и приводятся в действие электромагнитами. Электромагнит открывает и закрывает клапан форсунки по команде блока управления. При отсутствии напряжения на обмотке 2 (рисунок 3.14) игольчатый клапан 4 удерживается пружиной в закрытом состоянии. Когда на обмотку поступает напряжение, клапан поднимается приблизительно на 0,1 мм и топливо впрыскивается через образовавшийся зазор. Игла клапана имеет специальную форму для лучшего распыления топлива.



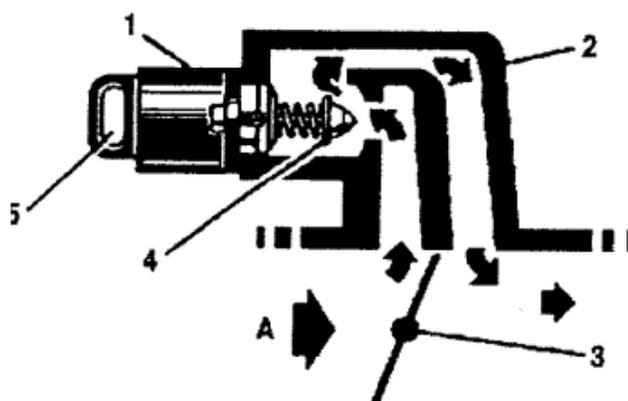
1 – фильтр; 2 – обмотка электромагнита; 3 – сердечник; 4 – игольчатый клапан; 5 – разъем

Рисунок 3.14 – Схема топливной форсунки

Время открытия и закрытия клапана составляет 1,0...1,5 мс, а время, в течение которого клапан остается открытым, может быть от 1,5 до 10 мс в зависимости от управляющих длительности сигналов [2].

Топливные форсунки крепятся на резиновых уплотнителях для обеспечения теплоизоляции (это предотвращает появление пробок из паров топлива) и герметичности.

**Регулятор холостого хода** устанавливается на узле ДЗ и обеспечивает прохождение воздуха через байпасный (обходной) канал. От сечения байпасного канала зависит поступление воздуха в двигатель при закрытой ДЗ, что напрямую зависит от положения вала шагового мотора (прогрев, обороты ХХ). Задача РХХ – поддержание заданных оборотов холостого хода.



1 – шаговый двигатель регулятора холостого хода; 2 – дроссельный патрубок; 3 – дроссельная заслонка; 4 – запорная игла клапана регулятора холостого хода; 5 – электрический разъем; А – поступающий воздух

Рисунок 3.15 – Схема регулятора холостого хода

Дополнительные функции РХХ:

- прогрев холодного двигателя, поддержание повышенных оборотов и плавный сброс по мере нагрева при закрытой ДЗ;
- при открытии ДЗ, воздух проходит через ДЗ и байпасный канал, т.е РХХ, должен быть готов к резкому закрытию ДЗ, тем самым обеспечивая плавный сброс оборотов до заданного ХХ;
- компенсационное повышение оборотов перед включением таких механизмов как кондиционер, вентилятор системы охлаждения.

**Катушки зажигания** используются для получения электрического тока высокого напряжения (до 20 кВ) с целью “пробить” зазор между электродами свечи зажигания.

Катушка зажигания представляет собой трансформатор с двумя обмотками – первичной и вторичной, которые отличаются количеством витков и сердечником. Вторичная обмотка, имеющая больше витков, намотана вокруг сердечника; один ее конец соединен с центральным выводом катушки, второй – с низковольтной схемой. Первичная обмотка (с меньшим числом

витков) намотана поверх вторичной и ее выводы соединены с низковольтными клеммами (рисунок 3.16)

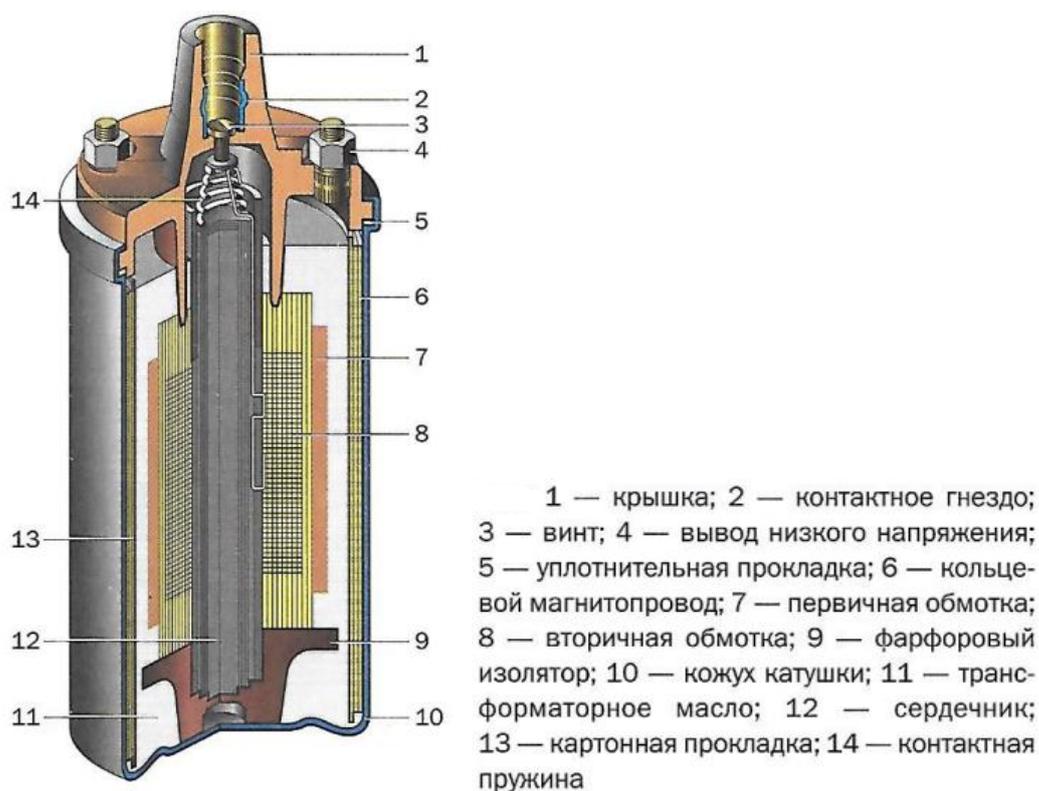


Рисунок 3.16 – Конструкция катушки зажигания

В основе работы катушки зажигания лежит закон электромагнитной индукции. При замыкании контактов распределителя зажигания через первичную обмотку будет проходить ток, который вызовет появление магнитного поля. ЭДС зависит от числа витков, поэтому при относительно низком напряжении в первичной обмотке, на вторичной обмотке при размыкании контактов прерывателя возникнет высокое напряжение, необходимое для эффективного смесеобразования.

Со временем механическую систему зажигания заменила более надежная, бесконтактная. В этой системе распределитель заменен на модуль зажигания в ЭБУ. Катушки зажигания в такой системе индивидуальны (рисунок 3.17) для каждого цилиндра (иногда для пары цилиндров). Это позволяет обойтись без высоковольтных проводов, повысить напряжение и увеличить надежность системы.

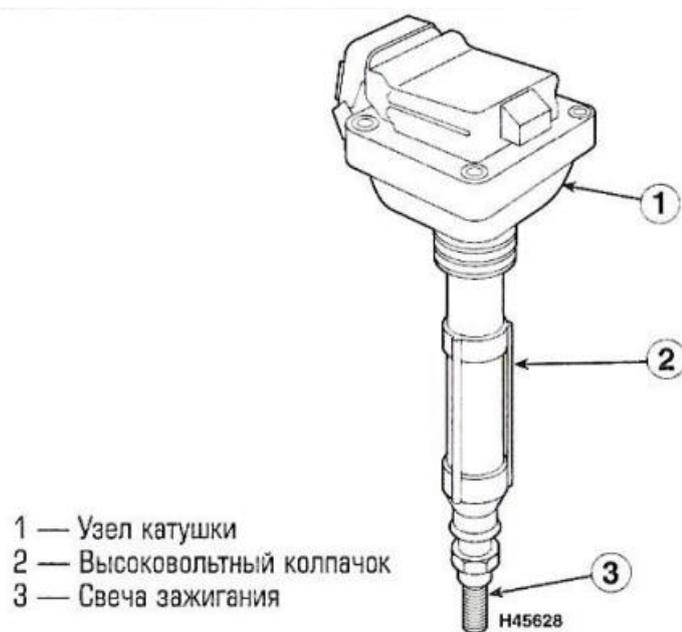


Рисунок 3.17 – Индивидуальная катушка зажигания

**Вентилятор радиатора системы охлаждения** включается и выключается ЭБУ в зависимости от температуры охлаждающей жидкости двигателя (от 98 до 107 °С) [8], в зависимости, частоты вращения коленчатого вала, работы кондиционера (если он есть на автомобиле) и других факторов.

Электровентилятор включается вспомогательным реле, расположенным в монтажном блоке. При работе двигателя электровентилятор включается, если температура охлаждающей жидкости превысит 104 °С или будет дан запрос на включение кондиционера. Электровентилятор выключается после падения температуры охлаждающей жидкости до 101 °С, после выключения кондиционера или остановки двигателя.

## 4 Лямбда-регулирование

Как уже говорилось ранее, снизить содержание вредных выбросов в отработавших газах автомобилей до допустимых пределов (рисунок 4.1) позволяет трехкомпонентный каталитический нейтрализатор.

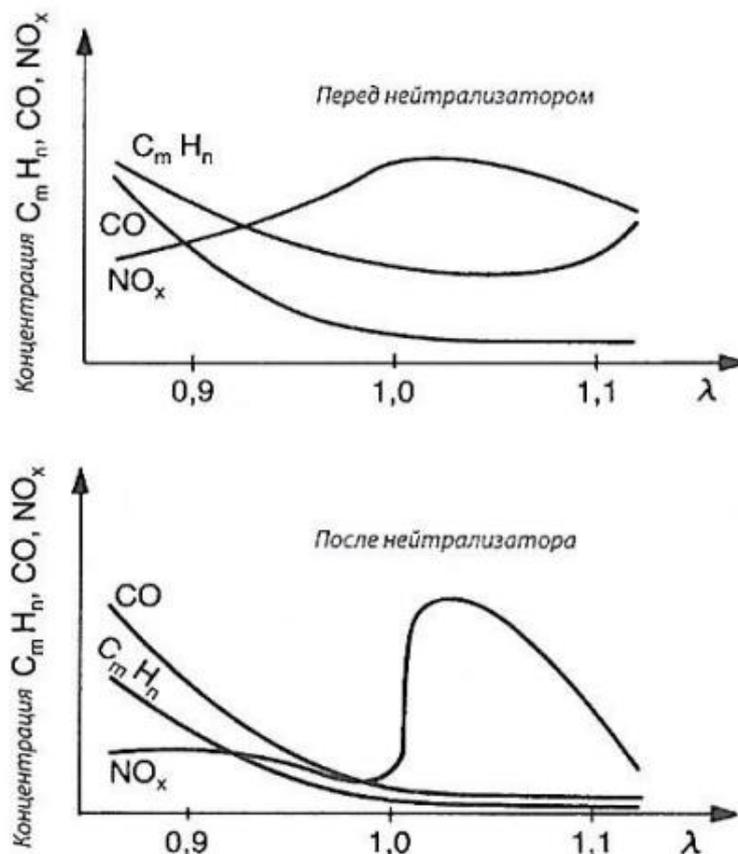


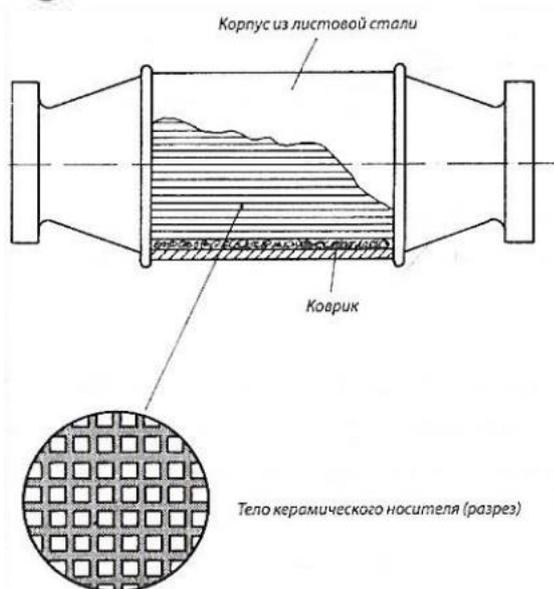
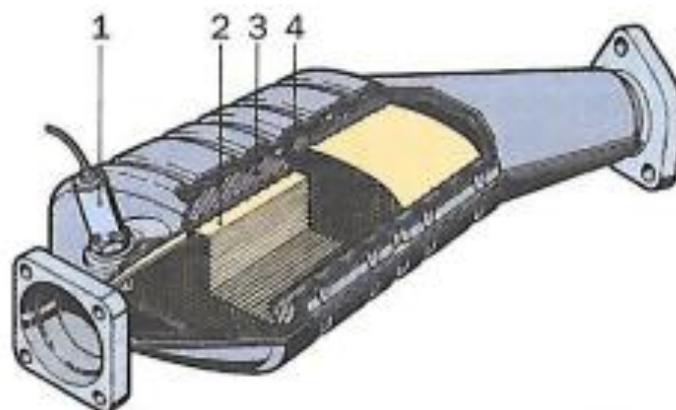
Рисунок 4.1 – Графики содержания токсичных веществ в ОГ бензиновых двигателей

### 4.1 Каталитический нейтрализатор отработавших газов

**Каталитический нейтрализатор** устанавливается в выпускной системе (рис. 4.5). В стальной корпус помещен блок носитель – керамический элемент, имеющий сотовую структуру (рисунок 4.2). Обычные керамические структуры имеют приблизительно 930000 ячеек/ $m^2$  при толщине стенки 0,09 мм [6]. Керамический элемент является первым носителем благородных металлов – катализаторов, в качестве которых используют платину, палладий и родий. Катализатор – это вещество, увеличивающее скорость химической реакции, но не участвующее в ней.

Чтобы достичь большего КПД при сокращении количества дорогостоящих металлов они наносятся мелкодисперсно поверх слоя высокопористого оксида-носителя, в роли которого выступает оксид

алюминия  $Al_2O_3$  (на все уходит 2-3 грамма металлов [2]). После покрытия керамического элемента пористым алюминием площадь его контакта с воздухом может достигать площади одного-двух футбольных полей.



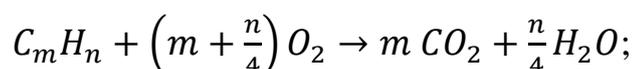
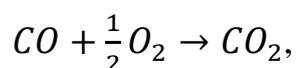
1 – датчик кислорода; 2 – керамический блок-носитель; 3 – защитная стальная сетка; 4 – слой теплоизоляции

Рисунок 4.2 – Строение трехкомпонентного каталитического нейтрализатора

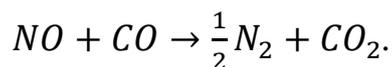
Платина и палладий способствуют окислению  $CO$  и  $CH$  до состояния безвредных воды  $H_2O$  и углекислого газа  $CO_2$ , а родий – восстановлению азота из нитрооксидов  $NO_x$ .

Таким образом, в трехкомпонентном каталитическом нейтрализаторе происходят следующие **химические реакции**:

- окисления

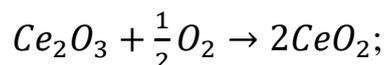


- восстановления

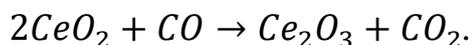


В дополнение к благородным металлам и оксидам-носителям в нейтрализаторах используются вещества для накопления кислорода – чаще всего применяется оксид церия  $Ce_2O_3$ . При бедных смесях он накапливает кислород, а при богатых – отдает его для окисления оксида углерода  $CO$ :

- бедная смесь



- богатая смесь



Качество преобразования вредных веществ в ОГ можно оценить при помощи **степени конверсии**:

$$k = \frac{K_1 - K_2}{K_1}, \quad (4.1)$$

где  $K_1$  – концентрация вредных веществ на входе в нейтрализатор;  
 $K_2$  – концентрация вредных веществ на выходе из нейтрализатора.

Степень конверсии нейтрализатора зависит от его температуры (рисунок 4.3). Поэтому перед тем, как нейтрализатор начнет эффективную работу, ему необходимо прогреться до  $300^\circ C$ . Диапазон рабочих температур составляет  $40...800^\circ C$  [2].

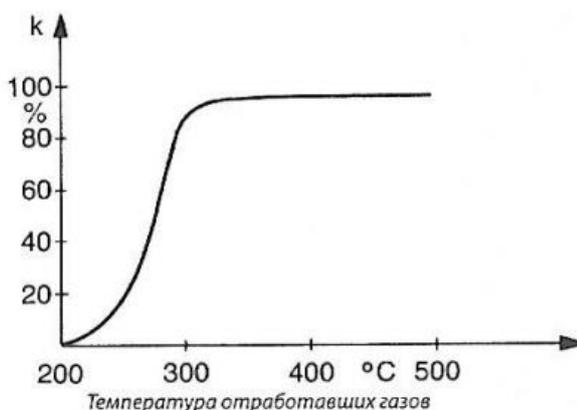


Рисунок 4.3 – Степени конверсии вредных веществ в зависимости от температуры нейтрализатора

При достижении 800°C, благородные металлы начнут разрушаться, при 1000°C – нейтрализатор расплавится. Поскольку нейтрализатор при работе сильно нагревается, он и днище автомобиля оборудуются теплозащитным экранами.

Степень конверсии нейтрализатора напрямую зависит от коэффициента избытка воздуха.

**Коэффициент избытка воздуха  $\alpha$**  (также обозначается греческой буквой  $\lambda$  – лямбда) представляет собой отношение массы действительно расходуемого воздуха  $L$  к массе воздуха  $L_0$ , теоретически необходимого для полного сгорания топлива:

$$\alpha = \frac{L}{L_0}. \quad (4.2)$$

Количество воздуха  $L_0$  в горючей смеси, теоретически необходимое для полного сгорания топлива называется стехиометрическим. Это соотношение также называется стехиометрическим – на 14,7 кг воздуха приходится 1 кг топлива. При этом  $\alpha=1$  [5].

В бедных смесях ( $\alpha < 1$ ) топливо сгорает полностью, выделяя всю химическую энергию. В богатых смесях ( $\alpha > 1$ ) воздуха для полного сгорания топлива недостаточно, однако они горят быстрее и устойчивее, выделяя в единицу времени больше тепла. Поэтому богатые смеси называют мощностными, а бедные – экономичными.

Бедная смесь с высоким содержанием кислорода удобна для эффективного окисления CO и CH. Однако, богатая смесь, в которой присутствует CO, способствует восстановлению азота из его оксидов. Компромисс достигается при регулировании состава смеси до стехиометрического уровня, то есть оптимальным коэффициентом избытка воздуха для одновременной конверсии токсичных веществ является  $\lambda=1$  (рисунок 4.4).

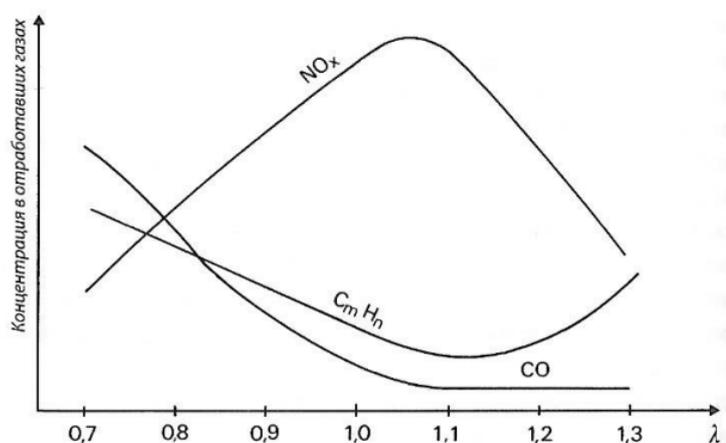


Рисунок 4.4. – Зависимость концентрации токсичных веществ и напряжения ДК от коэффициента избытка воздуха

Из данного графика видно, что содержание вредных примесей в диапазоне  $\lambda=1 (\pm 0,1)$  эффективно сокращается. Контроль за поддержанием коэффициента избытка воздуха на таком уровне осуществляется лямбда-регулирующим.

## 4.2 Лямбда-регулирование

Для сохранения состава горючей смеси в рамках оптимального для нейтрализатора диапазона необходимо измерять фактический состав ОГ после сгорания, а затем, в соответствии с измеренными отклонениями дополнительно регулировать количество топлива, поддерживая коэффициент избытка воздуха на требуемом уровне.

Для этого необходима система с обратной связью. Схема такой системы представлена на рисунке 4.5.

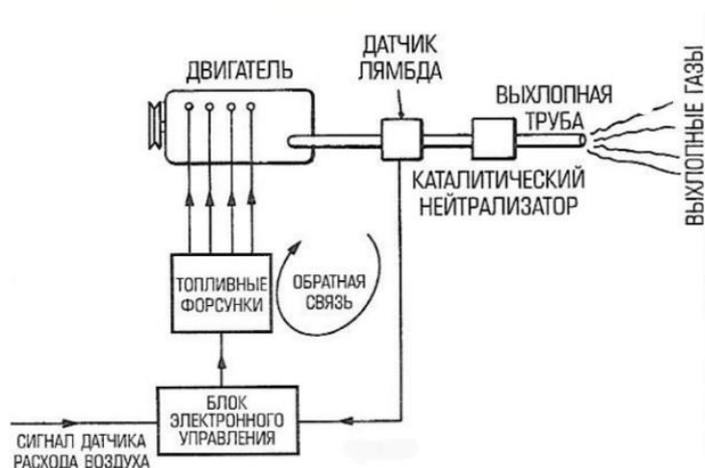


Рисунок 4.5 – Схема управления процессом лямбда-регулирования

Принцип функционирования такой системы с обратной отрицательной связью следующий, датчик кислорода генерирует сигнал для электронного блока управления. В свою очередь, блок электронного управления преобразует эти сигналы в управляющие импульсы, корректирующие работу топливных форсунок, обогащая или обедняя смесь таким образом, чтобы коэффициент избытка воздуха всегда оставался равным 1. Такой процесс называется **лямбда-регулирование**. Контроль коэффициента избытка воздуха осуществляется с помощью датчика кислорода.

## 4.3 Датчик кислорода

Для получения информации относительно состава отработавших газов в выхлопной трубе устанавливается **датчик кислорода ( $\lambda$ -зонд)**, который показывает содержание кислорода в отработавших газах.

Датчик кислорода представляет собой измерительный прибор, помещенный в выпускную систему, между двигателем и каталитическим нейтрализатором.

Существует два типа кислородных датчика: циркониевый – гальванический источник тока, меняющий напряжение в зависимости от температуры и концентрации кислорода в атмосфере и ОГ и титановый – «резисторный», сопротивление которого меняется в зависимости от температуры и концентрации кислорода в атмосфере и ОГ

### 4.3.1 Циркониевый кислородный датчик

Циркониевый кислородный датчик является наиболее распространенным. Он представляет собой стакан (рисунок 4.6), выполненный из диоксида циркония  $ZrO_2$ . Наружная поверхность этого стакана находится в контакте с отработавшими газами, а внутренняя – с атмосферным воздухом. Обе эти поверхности покрыты слоями пористой платины, которые используются в качестве электродов и имеют выводы на разъем датчика. Корпус из двуокиси циркония играет роль “твердого электролита”. Снаружи датчик покрыт защитной оболочкой из пористого алюминия, через которую внутрь датчика могут проникать отработавшие газы.

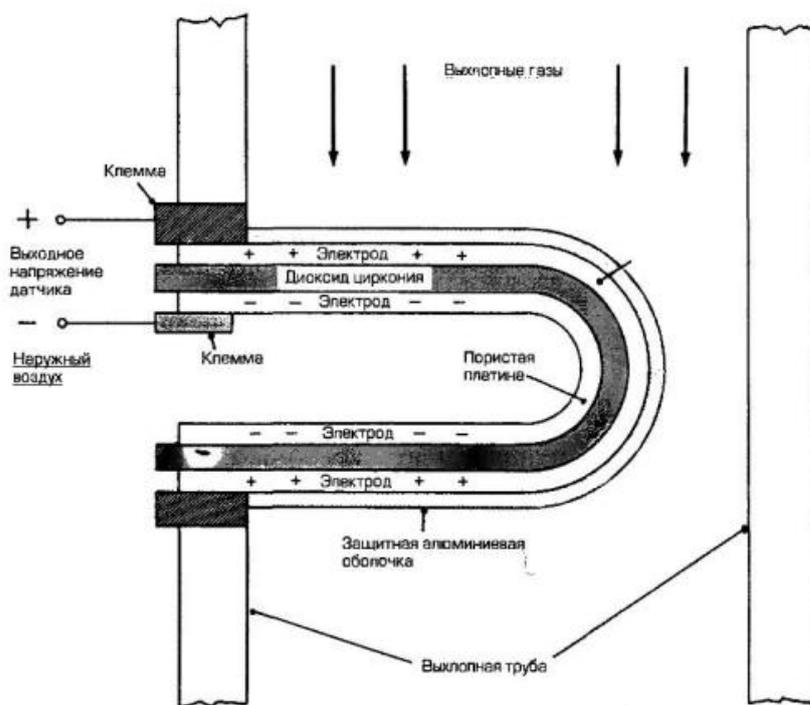


Рисунок 4.6 – Схема датчика кислорода циркониевого типа

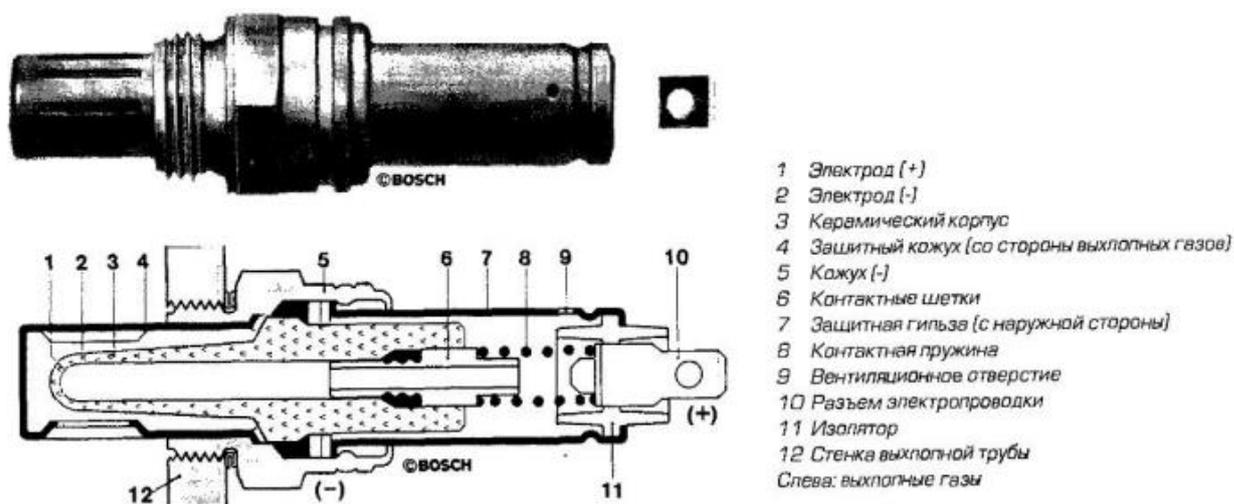


Рисунок 4.7 – Внешний вид и схема кислородного датчика Bosch

Между внутренней и наружной поверхностями датчика возникает разность потенциалов, соответствующая разнице концентраций кислорода в атмосфере и выхлопных газах. Эта разность потенциалов снимается платиновыми электродами. Выходное напряжение невелико от 100 мВ (бедная смесь) до 1,0 В (богатая смесь). Датчик устроен таким образом, что при  $\lambda=1$  происходит скачок напряжения (рисунок 4.8).

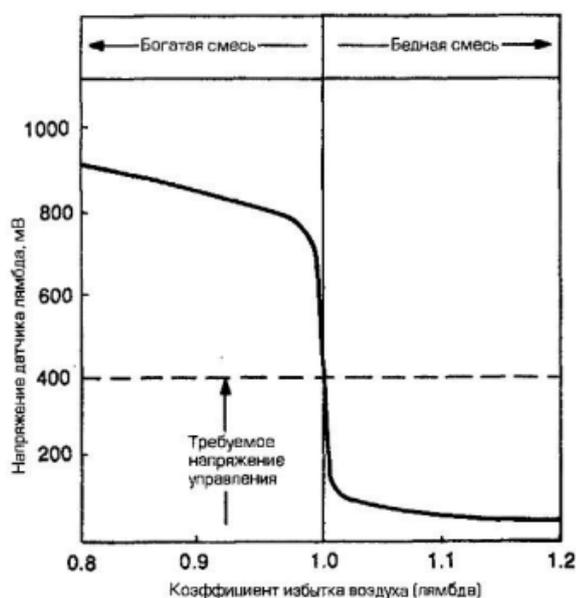


Рисунок 4.8 – Характеристика напряжения циркониевого датчика кислорода

Проводимость диоксида циркония при температуре ниже 300°C практически равна нулю. Поэтому выходное напряжение зависит от температуры датчика. Рабочей температурой датчика циркониевого типа является 600°C (время срабатывания датчика при такой температуре составляет около 50 мс [6]). А максимальная температура, при которой датчик

разрушается равна  $850^{\circ}\text{C}$ . Поэтому на первых этапах существовала трудность с установкой датчика: если его поставить слишком далеко от двигателя – он не будет работать, а слишком близкое к выпускному коллектору расположение приведет к перегреву и последующему разрушению данного устройства. Сейчас эта проблема решается с оборудованием датчика внутренним подогревателем (рисунок 4.9).

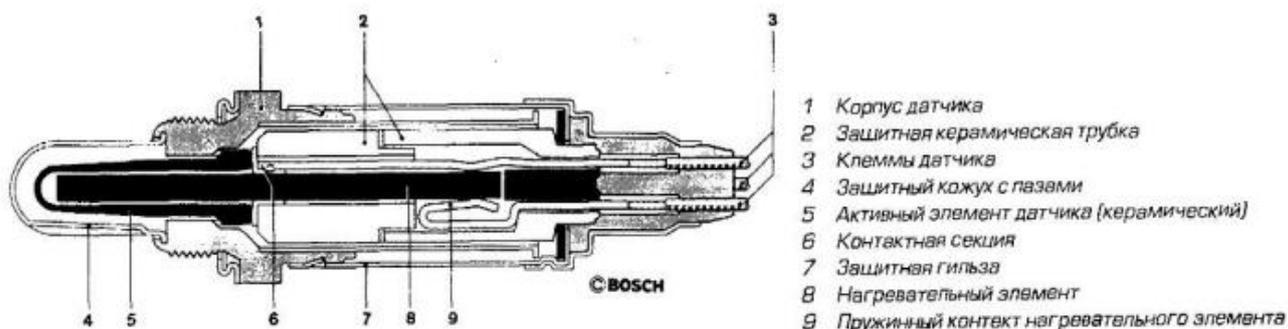


Рисунок 4.9 – Датчик кислорода с подогревателем

На холодном двигателе подогреватель прогревает датчик, а при высоких температурах – отключается. При такой конструкции датчик выходит на уровень рабочей температуры не позднее, чем через 25 с после запуска двигателя. Такой датчик имеет срок службы около 100000 км [2].

Процесс лямбда регулирования при таком датчике происходит следующим образом, смешанные ОГ из всех цилиндров проходят через ДК. В результате разности концентраций остаточного кислорода в ОГ и атмосфере диоксид циркония, действующий как гальванический элемент создает напряжение, которое через кабель подается в ЭБУ. ЭБУ при помощи лямбда-интегратора подстраивает расчетную длительность впрыска – при обогащенной смеси шажками уменьшает время впрыска, а при обедненной – увеличивает.

### 4.3.2 Титановый кислородный датчик

Датчик второго типа изготовлен из диоксида титана  $\text{TiO}_2$  и работает на изменении сопротивления, которое модулирует зондирующий сигнал, поступающий из ЭБУ. Скорость реакции такого датчика гораздо выше, чем циркониевого, стабильней сигнал и шире температурный диапазон.

По принципу действия и конструкции в основном идентичен датчику из диоксида циркония. Единственным отличием является то, что используемый диоксид титана реагирует на разную концентрацию кислорода, скачкообразно изменяя сопротивление, а не создавая напряжения как гальванический элемент в циркониевом датчике (рисунок 4.11) [10].

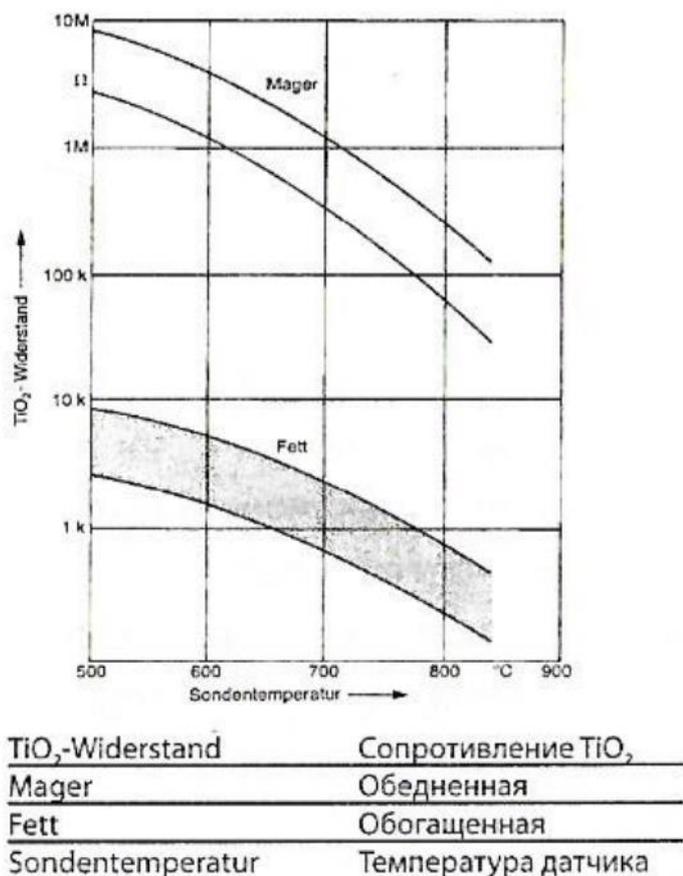


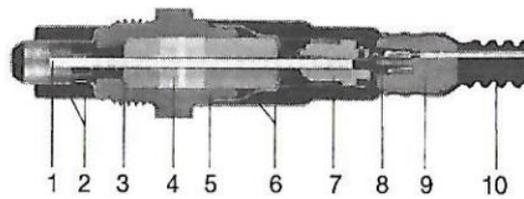
Рисунок 4.11 – Сопротивление кислородного датчика из диоксида титана

ЭБУ выдает напряжение и определяет состав ОГ, то есть полноту сгорания топливно-воздушной смеси – бедная или богатая – на основании падения напряжения. Дополнительно по падению напряжения блок определяет температуру датчика, и соответственно регулирует его нагрев подачей импульсов тока.

### 4.3.3 Широкополосный датчик

Для систем прямого впрыска бензина и возможной при этом работе двигателя на обедненных смесях; для контроля эффективности нейтрализатора; для применения в дизельных двигателях необходим кислородный датчик, измеряющий концентрацию кислорода в широком диапазоне. Эта необходимость привела к разработке широкополосного  $\lambda$ -зонда. Он плавно фиксирует остаточный кислород в смесях с коэффициентом избытка воздуха от  $\lambda=0,7$  до  $\lambda=4$  [10].

Такой датчик состоит из двух частей (рисунок 4.12): измерительного элемента циркониевого типа и так называемого закачивающего элемента.



- |                                |                           |
|--------------------------------|---------------------------|
| 1. Измерительный элемент зонда | 6. Защитная втулка        |
| 2. Двойная защитная труба      | 7. Контактный держатель   |
| 3. Уплотнительное кольцо       | 8. Контактный зажим       |
| 4. Уплотнительный пакет        | 9. ПТФЭ кожух             |
| 5. Корпус зонда                | 10. ПТФЭ профильный шланг |

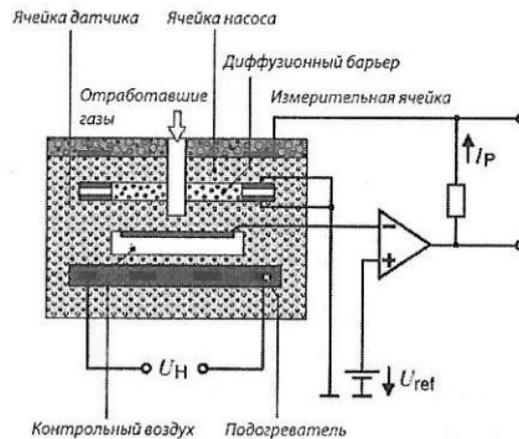


Рисунок 4.12 – Строение и схема широкополосного датчика кислорода

Закачивающий элемент соединен с измерительным с помощью диффузионной щели. Через нее могут “закачиваться” и выводится ионы кислорода. Это зависит от разности потенциалов, возникающей на платиновых электродах закачивающего элемента. Напряжение регулируется током от ЭБУ до получения в циркониевом элементе значения  $\lambda=1$  (скачок напряжения). При это данный ток пропорционален концентрации кислорода в ОГ и является критерием ее измерения.

При помощи процесса лямбда-регулирования происходит контроль за составом топливно-воздушной смеси для обеспечения наиболее полного ее сгорания. Это обеспечивает уменьшение концентрации токсичных примесей в ОГ автомобилей.

## 5 Проблема процесса лямбда-регулирования

По данным отчета Министерства экологии Красноярского края за 2020 год [1] уровень загрязнения воздуха в крупных городах региона оценивается как высокий, и только в одном НП (Назарово) уровень загрязнения оценивается как низкий (рисунок 5.1).

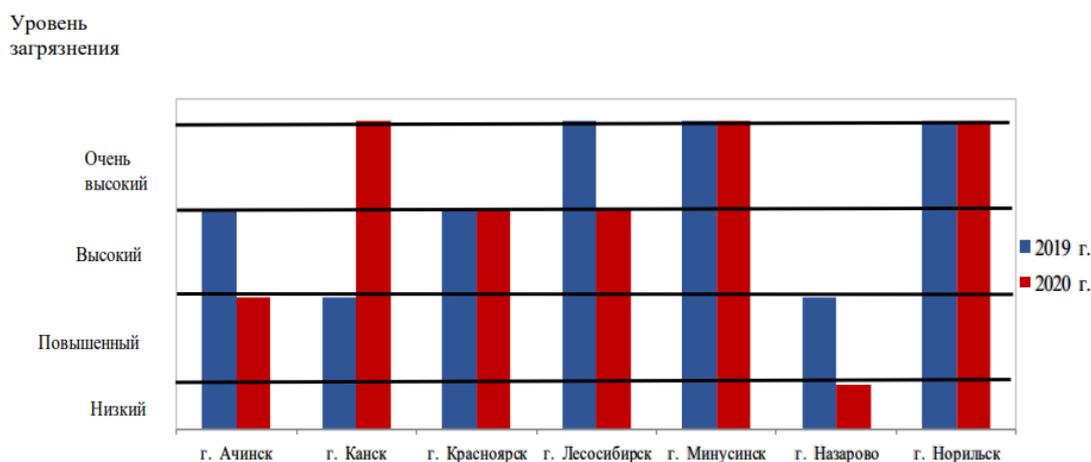


Рисунок 5.1 – Уровень загрязнения атмосферного воздуха городов Красноярского края в 2019 и 2020 гг.

Большую роль в загрязнении воздуха играет автомобильный транспорт: в Красноярске за 2020 год вредные выбросы от передвижных источников составили 78 тыс. т (рисунок 5.2) – 42% от общей массы выбросов [1].

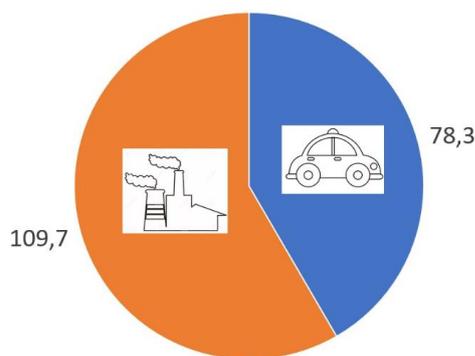


Рисунок 5.2 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу города Красноярск в 2020 году, тыс. т

Наиболее эффективным устройством для решения этой проблемы в бензиновых двигателях является каталитический нейтрализатор. Однако, эффективность его работы достигает 98% только при точном управлении составом топливно-воздушной смеси, которое может быть достигнуто лишь в процессе лямбда-регулирования. Процесс лямбда-регулирования, осуществляемый в настоящее время на автомобилях, имеет серьезный

недостаток – топливная коррекция происходит для всех форсунок одинаково, т. е. не учитывается техническое состояние отдельно взятой форсунки.

Представим ситуацию, при которой одна из форсунок неисправна. Например, ее производительность ниже (недоливает 5%) по отношению ко всем остальным. “Лямбда-зонд” при этом измерит повышенную концентрацию кислорода в ОГ и сгенерирует сигнал для модуля ЭБУ. ЭБУ, в свою очередь, не имея информации о неисправной форсунке, будет шажками по 1 % увеличивать длительность впрыска во всех форсунках до тех пор, пока не получит обратной связи от датчика кислорода (кислород в отработавших газах отсутствует). При заданных условиях время базового впрыска будет увеличено на 5 или более % для всех форсунок. При этом лишь в одном из цилиндров (в котором установлена неисправная форсунка) состав смеси будет близок к стехиометрическому, а в остальных цилиндрах смесь будет обогащена на 5 %. Это приведет к увеличению расхода топлива и концентрации вредных веществ в ОГ.

Некоторые производители пытаются решить данный вопрос делением цилиндров на отдельные группы (Bank1 Sensor1, Bank2 Sensor1, и т. д.) и установкой нескольких кислородных датчиков на каждую группу или даже на каждый цилиндр отдельно (рисунок 5.4).

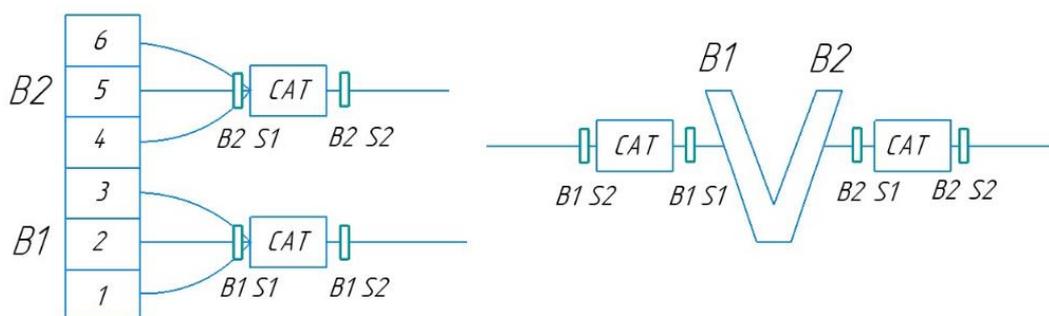


Рисунок 5.4 – Обозначение датчиков кислорода

Однако данное решение увеличивает стоимость автомобиля и снижает показатели надежности.

### 5.1 Предлагаемое решение проблемы

Для решения данной проблемы мною предлагается усовершенствовать алгоритм ныне существующего процесса лямбда-регулирования, путем включения в него проверки топливных форсунок.

Чтобы определить, какая форсунка имеет дефект, электронному блоку управления необходимо выполнить следующие действия:

- обогатить (например, на 5%) топливно-воздушную смесь, увеличив длительность впрыска топлива на все форсунки от текущего среднего уровня коррекции;

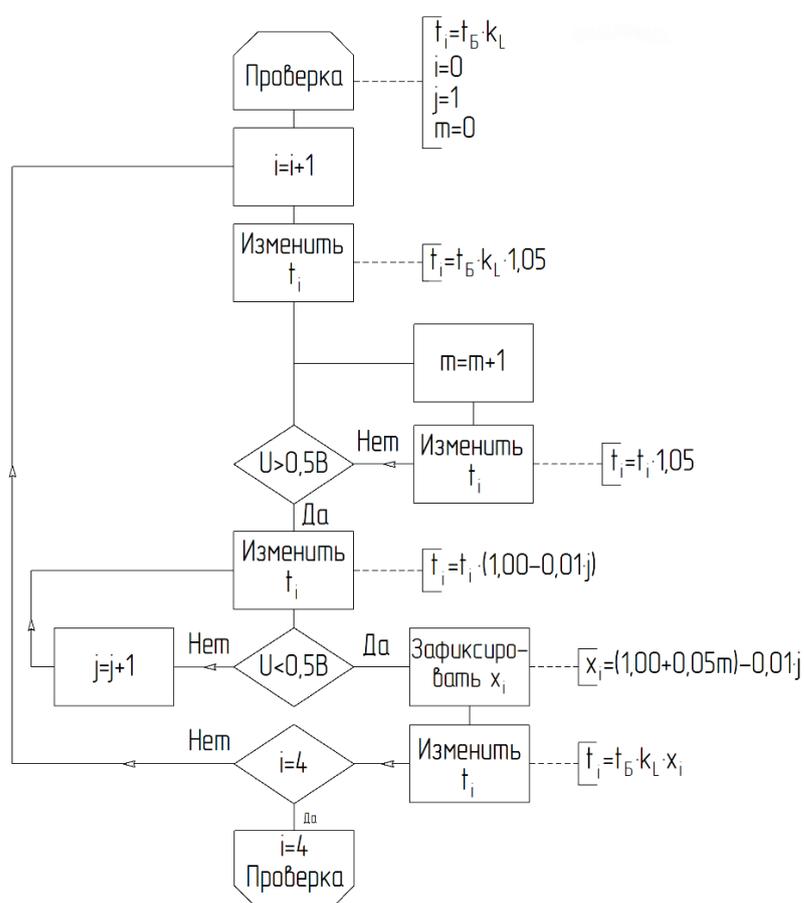
- по обратной связи датчика кислорода убедиться в том, что смесь действительно богатая (кислород отсутствует);

- затем начать управление каждой форсункой по отдельности (например, в первом цилиндре): постепенно уменьшать подачу топлива путем ввода поправочного коэффициента (корректировки подачи топлива) и следить за сигналом кислородного датчика;

- как только кислородный датчик показал наличие кислорода в ОГ, фиксируем значение этого коэффициента. Теперь он учитывается ЭБУ во время расчета текущего времени впрыска для данной форсунки;

- таким образом происходит проверка всех форсунок двигателя

Проверка форсунок прописывается в программу управления электронного блока. Блок-схема [11] этой части алгоритма представлена на рисунке 5.5.



$i$  – номер форсунки;  $t_i$  – время впрыска  $i$ -форсунки;  $t_b$  – базовая длительность впрыска топлива;  $k_L$  – коэффициент долгосрочной корректировки стандартного алгоритма лямбда-регулирующего (Long);  $U$  – текущее напряжение датчика кислорода;  $j$  – номер шага обеднения;  $x_i$  – коэффициент подачи топлива  $i$ -форсунки;  $m$  – номер шага обогащения

Рисунок 5.5 – Блок-схема алгоритма проверки топливных форсунок в процессе лямбда-регулирующего для 4-цилиндрового ДВС

Вторая часть алгоритма прописывается в программу самодиагностики ЭБУ. Алгоритм сравнения коэффициентов и вывода кода неисправности (рисунок 5.6) можно описать следующим образом:

- коэффициенты корректировки подачи топлива форсунок сравниваются между собой;
- если все 4 форсунки показывают коэффициенты по значению близкие между собой, значит они исправны (их производительность примерно одинакова и нет резких отклонений);
- если коэффициент корректировки одной из форсунок резко отличается от остальных, то производительность данной форсунки также отличается от производительности остальных форсунок. Это связано с ее неисправностью;
- в данном случае, необходимо ввести новые коды неисправности, которые будут выглядеть следующим образом – “Неисправность i-ой топливной форсунки (производительность отличается от других форсунок более чем на 5% (в большую или меньшую сторону))”.

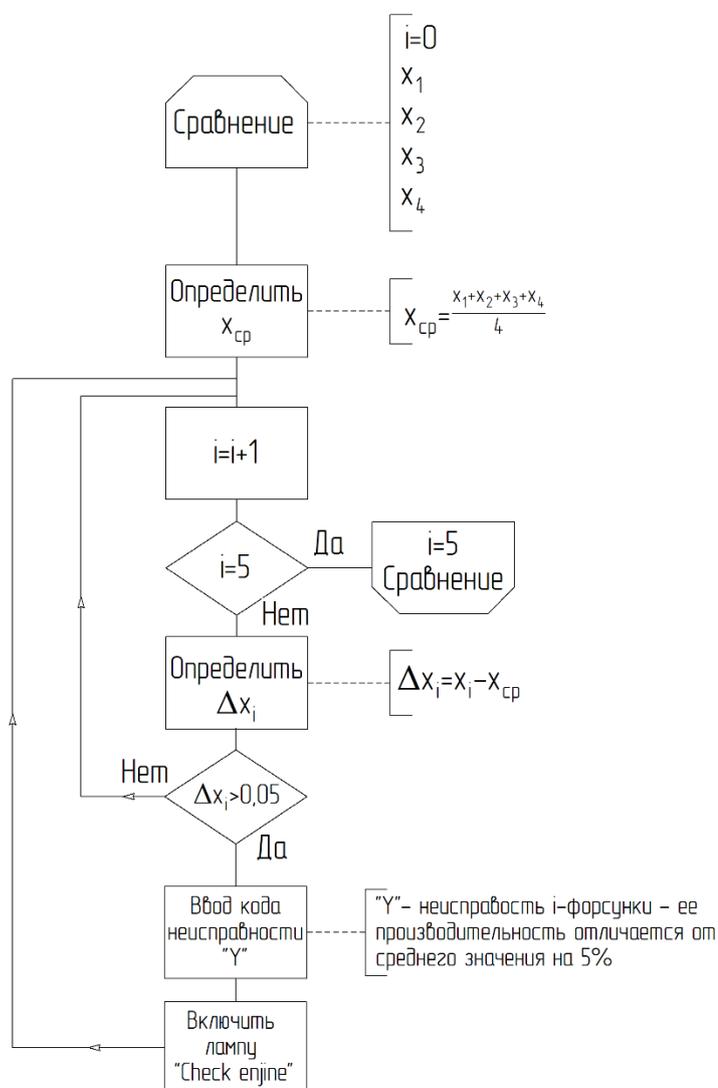


Рисунок 5.6 – Блок-схема алгоритма сравнения коэффициентов корректировки подачи топлива и вывода кода неисправности

Чтобы постоянно не обогащать топливно-воздушную смесь, проверку форсунок предполагается проводить периодически – принудительно и автоматически.

Принудительно проверка будет проводиться во время ТО: рабочий с помощью диагностического оборудования подключается к ЭБУ и запускает алгоритм проверки и практически сразу получает информацию о неисправных форсунках, если такие имеются. Так как коэффициент долгосрочной корректировки принимает разные значения на режимах ХХ и средних и высоких нагрузок, такую проверку рекомендуется выполнять на автомобиле в стационарном положении и непосредственно во время движения.

Автоматически проверка запускается не чаще одного раза за цикл работы двигателя в том случае, если коэффициент долгосрочной корректировки принимает высокие значения (например, превышает 7%), то есть имеются неисправности системы питания двигателя. Таким образом, можно будет сразу исключить дефекты форсунок, если они исправны. Это облегчит процесс диагностики.

Включение проверки форсунок в ныне существующий алгоритм лямбда-регулирования не только устранил недостаток этого процесса, но и позволит достичь следующих результатов:

- на основании проверки для каждой форсунки вводится свой коэффициент корректировки подачи топлива, что позволит проводить топливную коррекцию по датчику кислорода с учетом технического состояния каждой форсунки;

- при высоком значении этого коэффициента выводится новый код неисправности, который будет сигнализировать о неисправности какой-либо форсунки;

- введение коэффициента для каждой форсунки приведет к уменьшению расхода топлива и снижению выбросов.

## 6 Токсичность отработавших газов бензинового двигателя

Рабочая смесь, образованная из воздуха и паров топлива, является не только источником химической энергии, которая в двигателе преобразуется в полезную работу, но и выхлопных газов. Вместе с выхлопными газами в атмосферу выбрасываются **токсичные примеси**.

### 6.1 Характеристика вредных выбросов

Вредные выбросы ОГ автомобилей включают в себя следующие химические соединения [4] (рисунок 6.1):

- оксид углерода;
- углеводороды (пары топлива и несгоревшее топливо);
- оксиды азота;
- твердые частицы (сажа) – углерод.

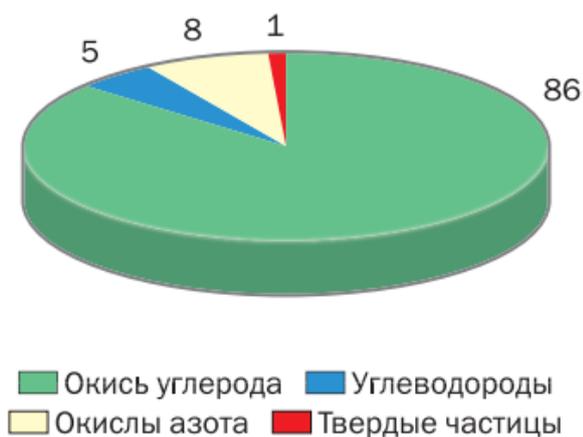


Рисунок 6.1 – Состав токсичных веществ отработавших газов, %

**Угарный газ (CO)** – ядовитый бесцветный газ без вкуса и запаха. Одна молекула угарного газа содержит один атом углерода и один атом кислорода. Угарный газ воздействует на красные тельца крови (эритроциты), переносящие кислород, затрудняя газообмен в клетках, что приводит к кислородному голоданию. При этом возникает удушье, которое может наступить для человека незаметно. Концентрация 0,3% CO в воздухе при его вдыхании в течение получаса может привести к фатальным последствиям [2]. Также монооксид углерода вызывает головную боль, нарушение зрения, слабость. Угарный газ образуется при неполном сгорании топлива при нехватке кислорода

**Оксиды азота** (в бензиновых двигателях оксиды азота в основном находятся в виде NO и NO<sub>2</sub>) – ядовитые газы, образующиеся при высоких температурах (свыше 1300°C) и высоком давлении.

Азот из воздуха проходит через работающий двигатель без изменений пока не будет достигнута температура 1370°C и высокое давление. В этих условиях азот окисляется до образования закиси азота NO. Условия для образования окислов азота – полностью открытая дроссельная заслонка, разгон или движение с максимальной скоростью.

Оксиды углерода не имеют запаха и вкуса, но при взаимодействии с кислородом воздуха образуют двуокись азота. Кроме того, оксиды азота соединяются в атмосфере с парами воды и образуют кислоты, выпадающие на Землю в виде кислотных дождей. Выброс оксидов азота увеличивается при высокой температуре сгорания.

Углеводороды (СН и СНО – известно более 200 токсичных соединений) в отработавших газах содержатся в виде как простых, так и сложных полициклических соединения. Кроме того, углеводороды могут попадать в атмосферу в виде паров топлива из негерметичных частей топливной системы, например, из бака

В выхлопных газах присутствуют углеводороды с различной степенью токсичности (от раздражения слизистых оболочек до канцерогенного воздействия). Наиболее опасные полициклические ароматические соединения – канцерогены – накапливаются в организме и стимулируют образование злокачественных опухолей.

**Сажа** (углерод – С) сама по себе нетоксична. Главная ее опасность состоит в том, что она носитель канцерогенных веществ, адсорбирующихся на ее поверхности. Сажа засоряет дыхательные пути и является причиной различных хронических заболеваний. Вместе с углеводородами сажа участвует в образовании “смогов”, вызывающих раздражение глаз, горла и носа.

**Соединения свинца** (бромистый свинец, фосфат свинца), попавшие в организм человека вместе с воздухом, могут вызывать поражения клеток крови, спинного мозга и нервной системы. Свинец не является исходным компонентом топлива, но мог присутствовать в нем в виде добавок, служащих для повышения стойкости к детонации. Около 75% соединений свинца, добавленных к топливу, выбрасывается из двигателя с выхлопными газами, а остальная его часть поглощается моторным маслом.

Соединения свинца помимо воздействия на организм человека могут ухудшить свойства активных компонентов каталитического нейтрализатора поэтому предельная норма концентрации свинца в бензине по действующим российским стандартам она составляет 0,005 г/дм<sup>3</sup> [5].

**Сернистый газ** сам по себе не ядовит, но при соединении с водой раздражает глаза, нос и горло, вредно влияет на горло, уменьшает прозрачность атмосферы.

## 6.2 Расчет вредных выбросов

Состав и количество вредных веществ в отработавших газах зависят от марки автомобилей, условий эксплуатации и многих других факторов. Экспериментально измерить точные значения масс выделяющихся загрязнений невозможно. Для этого существуют различные методики приближенного расчета массы выбросов вредных веществ автомобильным транспортом.

В основу данной методики [12] заложен нормируемый удельный выброс по автомобилям отдельных групп (легковые, грузовые, автобусы) и классов (по рабочему объему двигателя для легковых, по грузоподъемности для грузовых, по габаритным размерам) для каждого типа двигателей (бензиновый и дизельный).

Проведем расчет для легковых автомобилей, зарегистрированных в Красноярске в 2020 году. Примем пробег за год равный 17,5 тыс. км [13]. Население города Красноярск за 2020 год составляет 1093771 человек [14]. Количество автомобилей составляет 329991 штук [15]. Примем следующее распределение по группам в зависимости от рабочего объема двигателя:

- менее 1,3 л. 10% – 32,999 тыс. автомобилей;
- 1,3–1,8 л. 65% – 214,494 тыс. автомобилей;
- 1,8–3,5 л. 25% – 82,498 тыс. автомобилей.

Пробег группы автомобилей за год рассчитывается произведением количества автомобилей в группе и среднегодовым пробегом одного автомобиля. Исходные данные представлены в таблице 6.1.

Таблица 6.1 – Исходные данные для расчета

Группа ТС		Количество ТС в группе, тыс. шт.	Пробег группы автомобилей, млн км	Численность населения Красноярска, млн чел.
Легковые с объёмом двигателя V, л	<1,3	32,999	495	1,093
	1,3-1,8	214,494	3217,4	
	1,8-3,5	82,498	1237,5	

Массовый выброс  $i$ -го загрязняющего вещества легковыми (грузопассажирскими) автомобилями с  $j$ -м рабочим объёмом двигателя при движении по территории населённых пунктов  $M_{ij}$  (т) рассчитывается по формуле:

$$M_{ij} = m_{ij}^{пр} \cdot L_j \cdot k_i^{НП} \cdot k_i^{ТС}, \quad (6.1)$$

где  $m_{ij}^{пр}$  – пробеговый выброс  $i$ -го загрязняющего вещества легковым автомобилем с  $j$ -м рабочим объёмом двигателя, г/км (таблица 6.2) [12];

$L_j$  – суммарный годовой пробег легковых автомобилей с двигателем  $j$ -го рабочего объёма по территории населённых пунктов по группам, млн км;

$k_i^{НП}$  – коэффициент, учитывающий изменение выбросов загрязняющих веществ от численности населения города, в котором эксплуатируются автомобили (таблица 6.3) [12];

$k_i^{ТС}$  – коэффициент, учитывающий влияние технического состояния автомобилей на массовый выброс  $i$ -го загрязняющего вещества ( $K_{CO} = 1,75$ ;  $K_{CH} = 1,48$ ;  $K_{NO} = 1,0$ ;  $K_{SO} = 1,15$ ) [12];

Таблица 6.2 – Пробеговые выбросы загрязняющих веществ легковыми автомобилями на территории населённых пунктов

Рабочий объём двигателя, л	Пробеговой выброс $m_{ij}^{пр}$ , г/км				
	CO	CH	NO2	Сажа	SO2
Менее 1,3	11,4	2,1	1,3	-	0,052
1,3 - 1,8	13	2,6	1,5	-	0,076
1,8 - 3,5	14	2,8	2,7	-	0,096

Таблица 6.3 – Значение  $k_i^{НП}$  в зависимости от типа населённых пунктов

Тип населённого пункта N(НП)	Значение $k(i)^{НП}$				
	CO	CH	NO2	Сажа	SO2
Города с числом жителей более 1 млн. чел.	1	1	1	-	1,25
Города с числом жителей от 100 тыс. до 1 млн. чел.	0,87	0,92	0,94	-	1,15
Города с числом жителей от 30 до 100 тыс. чел.	0,7	0,79	0,81	-	1,05
Прочие населённые пункты	0,41	0,59	0,6	-	1

Пример расчета пробегового выброса CO для группы легковых автомобилей рабочим объемом двигателя 1,3–1,8 л.:

$$M_{ij} = 13 \cdot 3217,4 \cdot 1 \cdot 1,75 = 73,196 \text{ т.}$$

Результаты расчета массовых выбросов вредных веществ для всех групп автомобилей представлены в таблице 6.4 и на рисунке 6.2.

Таблица 6.4 – Результаты расчета вредных веществ отработавших газов легковых автомобилей при движении по территории города Красноярск, т

Тип ТС	Группа ТС	L, млн км	Массовый выброс вещества, т			
			CO	CH	NO <sub>x</sub>	SO2
Легковые с объёмом двигателя V, л	<1,3	495	9875,0	1538,4	643,5	37,0
	1,3-1,8	3217,4	73196,1	12380,6	4826,1	351,5
	1,8-3,5	1237,5	30317,9	5128,1	3341,2	170,8
Итого по вредным веществам, т			113389,0	19047,1	8810,8	559,3
Итого по легковым автомобилям, т			141806			

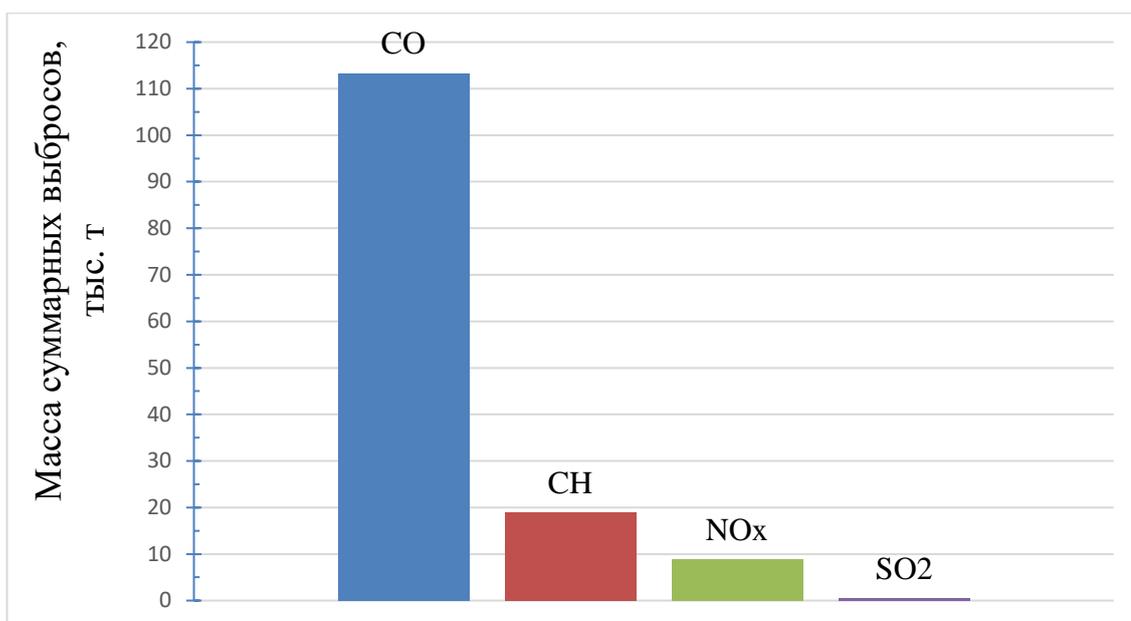


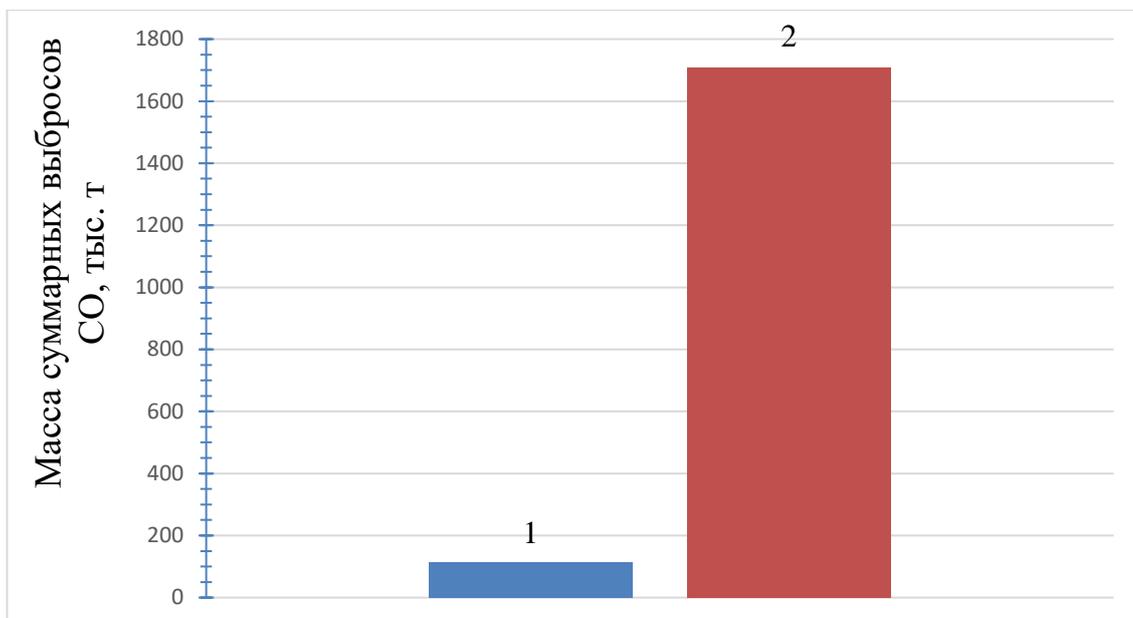
Рисунок 6.2 – Масса суммарных вредных выбросов от автотранспорта

Результаты расчета можно охарактеризовать следующими выводами:

- массовый выброс загрязняющих веществ от автомобильного двигателя зависит от пробегового выброса загрязняющих веществ (г/км), суммарного пробега автомобиля (км) и коэффициентов, учитывающих техническое состояние ТС, тип населенного пункта;
- двигатели, работающие на бензине, не выбрасывают в атмосферу твердых частиц (С);
- легковые автомобили в г. Красноярск выбрасывают в атмосферу больше всего оксида углерода CO (113 тыс. т.), меньше всего – твердых частиц С (0,6 тыс. т.); суммарные выбросы составили 142 тыс. т (рисунок 6.2).

Отработавшие газы исправных автомобилей выбрасывают 0,01% CO. Неисправные автомобили, в свою очередь, в выхлопных газах имеют около 3% оксида углерода, то есть в 300 раз больше. Один неисправный автомобиль выбрасывает в атмосферу столько CO, сколько 300 исправных.

Выбросы, например CO от исправных автомобилей составят 113,4 тыс. т., а выбросы CO от автомобилей с неисправными форсунками (на основании экспертной оценки их количество составляет 5-10% от общего числа) за год составят 1710 тыс. т от общих выбросов легковых автомобилей в Красноярске за 2020 год (рисунок 6.3).



1 – количество выбросов CO от исправных автомобилей; 2 – количество выбросов CO от автомобилей с неисправными форсунками

Рисунок 6.3 – Выбросы оксида углерода автомобилями

Благодаря внедрению алгоритма проверки топливных форсунок в процесс лямбда-регулирования можно определить неисправную форсунку, избежать появления такого числа вредных выбросов и повысить экологичность автомобилей.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Автомобильный транспорт отрицательно влияет на экологию Земли. Об этом говорят данные отчетов различных экологических организаций. Подтверждает данный тезис и расчет, приведенный в этой работе.

Повышению экологичности автомобиля способствовало развитие систем питания двигателей: применение впрыска топлива; а также электронных систем управления, совмещающих функции управления смесеобразованием и зажиганием.

Экологические стандарты с каждым годом ограничивали токсичность отработавших газов все больше и больше. Концентрация вредных веществ должна быть в допустимых требованиях пределах. Для выполнения этой задачи стали применять каталитические нейтрализаторы ОГ и систему с обратной связью с целью контроля состава выхлопных газов. По результатам этого контроля ЭБУ изменяет длительность впрыска – процесс лямбда-регулирувания.

Включение проверки форсунок в ныне существующий алгоритм лямбда-регулирувания не только устранил недостаток этого процесса, но и позволит достичь следующих результатов:

- на основании проверки для каждой форсунки вводится свой коэффициент корректировки подачи топлива, что позволит проводить топливную коррекцию по датчику кислорода проходит с учетом технического состояния каждой форсунки;

- при высоком значении этого коэффициента выводится новый код неисправности, который будет сигнализировать о неисправности какой-либо форсунки;

- введение коэффициента для каждой форсунки приведет к уменьшению расхода топлива и снижению выбросов.

Проверка будет выполняться периодически: во время технического обслуживания (при стационарном положении автомобиля) или при движении – при больших значениях коэффициента долгосрочной корректировки

Таким образом, внедрение усовершенствованного алгоритма лямбда-регулирувания позволит повысить топливную экономичность автомобиля, облегчит процесс диагностики технического состояния ТС, а главное – улучшение экологичности автомобиля.

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

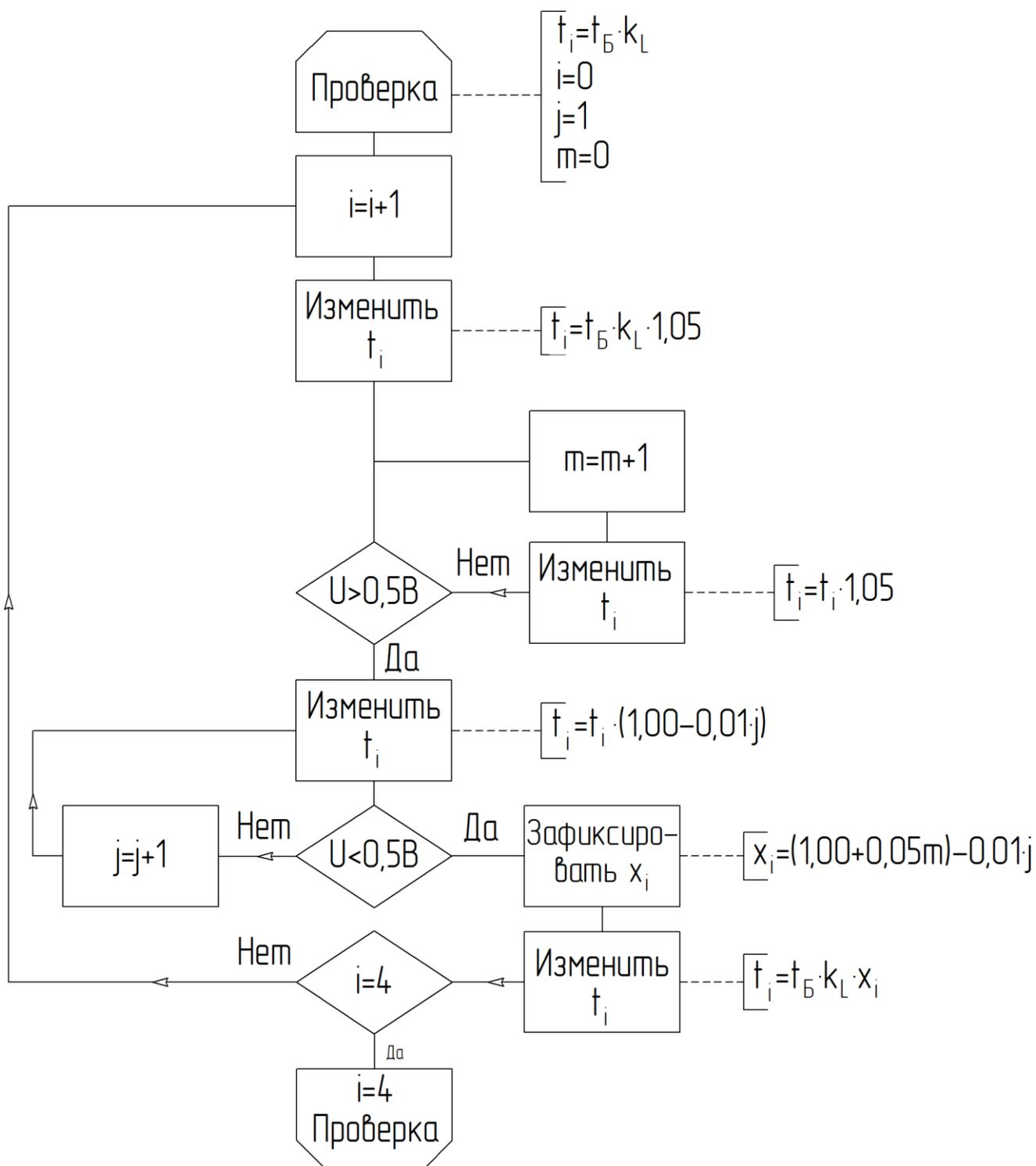
АБС – антиблокировочная система тормозов  
АКБ – аккумуляторная батарея  
АКПП – автоматическая коробка переключения передач  
АЦП – аналогово-цифровой преобразователь  
ВАЗ – Волжский автомобильный завод  
ВМТ – верхняя мертвая точка  
ДВС – двигатель внутреннего сгорания ОГ – отработавшие газы  
ДЗ – дроссельная заслонка ЭБУ – электронный блок управления  
ДК – датчик кислорода  
ДПКВ – датчик положения коленчатого вала  
ДПРВ – датчик положения распределительного вала  
ДТОЖ- датчик температуры охлаждающей жидкости  
КПД – коэффициент полезного действия  
НМТ – нижняя мертвая точка  
ОЖ – охлаждающая жидкость  
ОЗУ – оперативно запоминающее устройство  
ПЗУ – постоянно запоминающее устройство  
РХХ – регулятор холостого хода  
ТС – транспортное средство  
УОЗ – угол опережения зажигания  
ХХ – холостой ход  
ЭВМ – электронно-вычислительная машина  
ЭСУД – электронная система управления двигателем  
СН – углеводороды  
СО – угарный газ  
NO<sub>x</sub> – оксиды азота  
SO<sub>2</sub> – сернистый газ

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2020 году» — Красноярск, 2021.;
2. Электрическое и электронное оборудование автомобилей. М Рэндалл. – СПб.: Альфамер Пабблишинг, 2012. – 288 с.;
3. Росс Твег. Системы впрыска бензина. Устройство, обслуживание, ремонт: Практ. пособ. – М.: Издательство “За рулем”, 1999. – 144 с., ил.;
4. Иванов А. М., Солнцев А. Н., Гаевский В. В. Основы конструкции современного автомобиля. – М. ООО “Издательство “За рулем”, 2012. – 336 с. : ил.;
5. Васильева Л. С. Автомобильные эксплуатационные материалы: Учеб. для вузов. – М.: Наука-Пресс, 2003. – 421 с.;
6. Гроз Х., Русс Г. Бензиновые и дизельные двигатели. Перевод с нем. РИА “GMM-пресс”. – М.: ООО “Издательство “За рулем”, 2013. – 272 с. : ил.;
7. История автомобилизации [Электронный ресурс] : учебное пособие : самост. учеб. электрон. изд. / Д. В. Логинова ; Сыкт. лесн. ин-т. – Электрон. дан. – Сыктывкар : СЛИ, 2013. – Режим доступа: <http://lib.sfi.komi.com>.;
8. Общие принципы работы системы управления инжекторного двигателя: метод. указания к выполнению практ. и лаб. работ / А.П. Панычев А.П. Пупышев А.И. Шкаленко. – Екатеринбург, 2013. – 32 с.;
9. Электронные системы впрыска автомобильных двигателей : практикум / П.П. Беспалько. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2009. – 96 с.;
10. Хернер А., Риль Х-Ю. Автомобильная электрика и электроника. Перевод с нем. РИА “GMM-пресс”. – М.: ООО “Издательство “За рулем”, 2013. – 624 с. : ил.;
11. ГОСТ 19.701-90. Схемы алгоритмов, данных и систем. Обозначения условные и правила выполнения. М., 2010. – 22 с.;
12. Экологические основы автомобильного транспорта: мет. ук. по выполнению практ. и самостоятельных работ. / Сост.: Лагерев Р.Ю., Зедгенизов А.В. Иркутск: ИрГТУ, 2011. 32 с.;
13. Аналитическое агентство АВТОСТАТ [Электронный ресурс] : пресс-релиз – Средний пробег легковых автомобилей в России. – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/39841/>
14. Федеральная служба государственной статистики/ Население России и Красноярского края [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/31557>;
15. Федеральная служба государственной статистики «РОССТАТ»/ Официальная статистика / Транспорт [Электронный ресурс] –Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/statistics/transport>;
16. СТАНДАРТ УНИВЕРСИТЕТА: Система менеджмента качества / Общие требования к построению, изложению и оформлению документов учебной деятельности СТО 7.5–07–2021

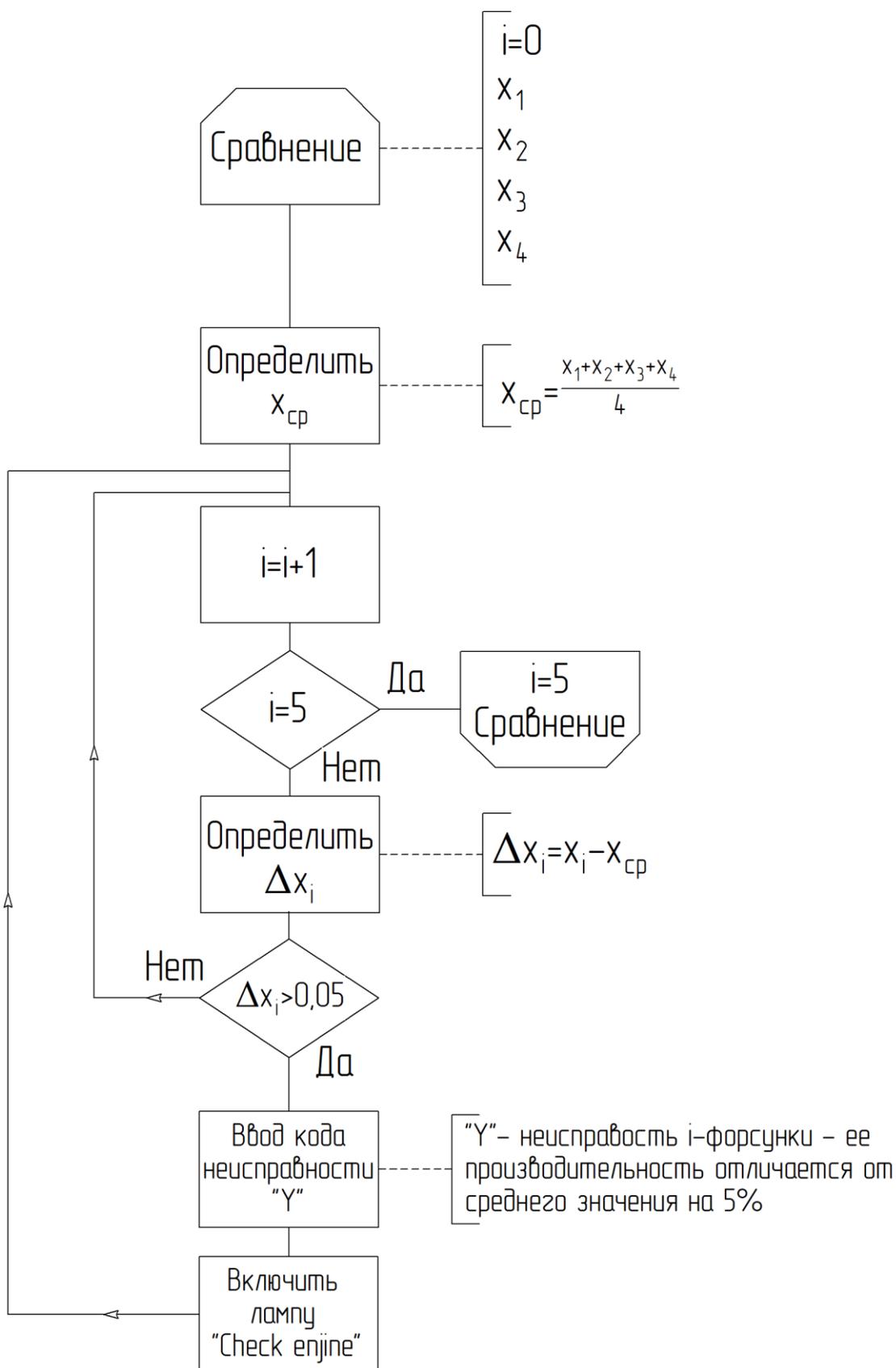
## ПРИЛОЖЕНИЕ А

### Алгоритм проверки топливных форсунок в процессе лямбда-регулирования



## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

### Алгоритм сравнения коэффициентов корректировки подачи топлива и вывода кода неисправности



Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Политехнический институт

Кафедра Транспорта

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

 Е. С. Воеводин  
«14» июня 2022г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

23.03.03.01 Автомобили и автомобильное хозяйство

Совершенствование алгоритма лямбда-регулирования в двигателях  
внутреннего сгорания с искровым зажиганием

Руководитель



к. т. н., доц. каф. Транспорт С. В. Мальчиков

Выпускник



14.06.22

В. А. Чермянин

Красноярск 2022