

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН  
ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ**

*На правах рукописи*

*УДК 621.433.052*

**Умеров Фикрет Шевкет оглу**

**Разработка мехатронных систем управления двигателем  
отечественных автомобилей (на примере двигателя GM)**

**5A310605 – Испытание и эксплуатация  
двигателей внутреннего сгорания**

**Диссертация на соискание академической  
степени магистра**

**Научный руководитель:  
Засл. деят. науки Узбекистана  
д.т.н, профессор С.М. Кадыров**

**Ташкент 2013**

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

ТАШКЕНТСКИЙ АВТОМОБИЛЬНО-ДОРОЖНЫЙ ИНСТИТУТ

Факультет: ЭАТ

Студент магистратуры: Умеров Ф.Ш.

Кафедра: АТД и ТЭ

Научный руководитель: Кадыров С.М.

Годы обучения: 2011-2013

Специальность-5А310605: И и ЭДВС»

**АННОТАЦИЯ МАГИСТЕРСКОЙ ДИССЕРТАЦИИ**

«Разработка мехатронной системы управления двигателей отечественных автомобилей»

**Актуальность темы:** На сегодняшний день требования к топливной экономичности, мощностным и к экологическим качествам двигателя является одной из важнейших задач, которые пытаются решить различным изменением и оптимизированием конструктивных параметров двигателя, его систем и применением мехатронного управления двигателем. В городских условиях Узбекистана при движении автомобилей приходится постоянно останавливаться на светофорах и снова разгоняться, или оказываться в потоке с насыщенным движением на автомобильной дороге, то есть чаще всего эксплуатировать двигатель на различных режимах работы: на холостом режиме, на частичных и нагрузочных режимах с быстрой частотой повторяемости. В этой связи мехатронное управление и регулирование двигателя на этих режимах является весьма актуальной задачей.

**Цель и задачи работы:** Повышение экономических, мощностных и экологических показателей автомобильных двигателей на различных режимах работы двигателя при использовании мехатронных систем управления. Задачами работы являются:

1. Анализ мощностных, экономических и экологических показателей серийных двигателей, а также режимов эксплуатации ДВС;
2. Изучение мехатронных систем управления двигателями;
3. Выбор и установка мехатронной системы управления на ДВС;
4. Определение мощностных, экологических и экономических показателей тюнингового двигателя.

**Объект и предмет исследования:** автомобильный двигатель снабженный мехатронной системой управления.

**Методы и методика исследования:** воздействие на параметры характеристик и получение показателей.

**Научная новизна исследования:** заключается в разработке оптимальных режимов работы двигателей при применении мехатронной системы управления.

**Практическая и теоретическая значимость исследования:** Улучшение мощностных характеристик, топливной экономичности, а следовательно и снижение выброса токсичных газов в режиме холостого хода достигается регулированием и управление управляемых дроссельных заслонок. Их правильное управление за счет мехатронной системы, а также правильный расчет режимов работы двигателя и системы. Для получения лучших характеристик, также требуется правильное оптимизирование показателей в данных режимах и т.д.

**Основные результаты выполненной работы:** По подсчетам мощностные характеристики двигателя на нагрузочных режимах улучшаются на 8%. В день автомобиль в среднем на холостой ход расходует около 3,5 литра. 20% из 3,5 литров получается 0,7 литра. То есть

мы с каждой машины в день экономим около 0,7 литра топлива, а если это число умножить на количество автомобилей этой модификации, эксплуатируемых в городе, получится большое число. Это означает большая экономия топлива и средняя экономия на холостых и частичных режимах эксплуатации двигателя получается около 7 %.

**Короткое изложение выводов и предложений:** Повышение мощностных, экономических и экологических показателей автомобильных двигателей при использовании мехатронных систем управления, то есть при оптимизации режимов работы двигателя применяем впускной коллектор с переменной геометрией. Этот вид коллектора дает возможность регулировать подачу воздуха через управляемые дроссели на различных режимах работы ДВС и его оптимальную и устойчивую работу на всех режимах эксплуатации ДВС. То есть большая экономия топлива и уменьшение большого количество выбросов отработавших газов в окружающую среду при эксплуатации на холостых и частичных режимах и увеличение мощности двигателя на нагрузочных режимах работы.

Научный руководитель: \_\_\_\_\_ д.т.н., проф. С.М. Кадыров

Студент магистратуры: \_\_\_\_\_ Ф.Ш. Умеров

MINISTRY OF HIGHER AND SECONDARY SPECIAL  
EDUCATION OF UZBEKISTAN

Tashkent Automobile and Road Construction Institute

Faculty: ATM

Masterstudent: UmerovF.Sh.

Department: AE and TE

Scientificsupervisor: Kadirov S.M.

Academic years: 2011-2013

Specialty: 5A310605T and OISE

**ABSTRACT of the master dissertation on the theme**

«Working out mechatroncontrol systems of engines of domestic cars»

**Urgency of the research:** For today of the requirement to fuel profitability, power and to ecological qualities of the engine is one of the major problems which try to solve various change and optimisation design data of the engine, its systems and application mechatron engine managements. Especially in city conditions of Uzbekistan at movement of cars it is necessary to stop constantly on traffic lights and again to be dispersed, or to appear in a stream with the sated movement of a highway, that is more often to maintain the engine on various operating modes: on a single mode, on partial and loading modes with fast frequency of repeatability. Thereupon mechatron management and engine regulation on these modes is rather actual problem.

**Aim and objectives of the research:** Increase economic, power and ecological indicators of automobile engines on various power setting at use mechatrons control systems. Work problems are:

1. The analysis powers, economic and ecological indicators of serial engines, and also modes of operation ICA;

2. Studying mechatronics control systems of engines;
3. A choice and installation mechatron systems management on ICA;
4. Definition powers, ecological and economic indicators of the tuning engine.

**An object of study:** The automobile engine supplied мехатронной a control system.

**Methods of the research:** Influence on parametres of characteristics and reception of indicators.

**Scientific novelty of the research:** Consists in working out of optimum operating modes of engines at application mechatron control systems.

**The practical and theoretical significance of the results:** Improvement of power characteristics, fuel profitability and consequently also decrease in emission of toxic gases in an idling mode is reached by regulation and management operated throttle заслонки consists in working out of optimum operating modes. Their correct management for the account mechatron systems, and also correct calculation of power setting and system. For reception of the best characteristics, also it is required correct optimisation indicators in the given modes.

**The basic results of the performed work:** By calculations engine power characteristics on loading modes improve on 8 %. In day the car on the average spends for idling about 3,5 litres. 20 % from 3,5 litres turn out 0,7 litres. That is we from each car in day save about 0,7 litres of fuel and if this number to increase by quantity of cars of this updating maintained in a city, the great number will turn out. It is meant by the big economy of fuel and average economy on single and partial modes of operation of the engine it turns out about 7 %.

**Conclusions and recommendations:** Increase of power, economic and ecological indicators of automobile engines using control systems, that is by

optimisation of power setting the inlet collector with variable geometry have been applied. This kind of a collector gives chance to regulate air passing through operated throttles on various operating modes ICA both its optimum and steady work on all modes of ICA operation. That is the big economy of fuel and reduction of big quantity of emissions of the fulfilled gases in environment at operation on single both partial modes and increase in capacity of the engine at loading operating modes.

Research supervisor: \_\_\_\_\_ S.V.Kadirov

Master student: \_\_\_\_\_ F.Sh.Umerov

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	10
<b>Глава 1. Анализ выполненных работ. Современное состояние.</b>	
<b>Выбор цели и задач исследования .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1. Анализ работ современных мехатронных систем         управлением двигателем... ..</b>	<b>15</b>
<b>1.2. Выбор конструктивных особенностей мехатронных         систем управления двигателем.....</b>	<b>31</b>
Выводы по главе 1.....	42
<b>Глава 2. Теоретические исследования мехатронных систем управления двигателем отечественных автомобилей..</b>	<b>44</b>
<b>2.1. Методика исследования.....</b>	<b>44</b>
<b>2.2. Проектирование и изготовление мехатронной системы         управления двигателем отечественных автомобилей....</b>	<b>47</b>
<b>2.3. Расчет экономической эффективности.....</b>	<b>73</b>
Выводы по главе 2.....	78
<b>Глава 3. Экспериментальное исследование мехатронных систем управления двигателем отечественных автомобилей..</b>	<b>79</b>
<b>3.1. Объект исследования.....</b>	<b>79</b>
<b>3.2. Результаты экспериментальных исследований.....</b>	<b>84</b>
<b>3.3. Обработка и анализ экспериментальных данных.....</b>	<b>89</b>
Выводы по главе 3.....	93

<b>Общие выводы и рекомендации.....</b>	<b>94</b>
<b>Список использованной литературы.....</b>	<b>95</b>
<b>Приложение.....</b>	<b>102</b>

## Введение

Президент Республики Узбекистан И.А.Каримов в своем докладе на заседании Кабинета Министров, посвященном итогам социально-экономического развития страны в 2012 году и важнейшим приоритетным направлениям экономической программы на 2013 год, 18 января 2013 году и в своем постановлении №ПП-1446 от 21.12.2010 «Об ускорении развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства в 2011-2015 годах», основное значение придает развитию транспортной инфраструктуры, в первую очередь, развитию автомобилестроения.[5, 6]

Самыми крупными предприятиями являются СП GM Uzbekistan, выпускающее легковые автомобили, СП GM PowertrainUzbekistan по выпуску двигателей и ООО "Самаркандский автомобильный завод", которое производит автобусы и грузовики.

Производство автомобилей и расширение модельного ряда – лишь одна из главных задач, решаемых Узбекским автопромом. С каждым годом в Республике растет количество предприятий, работающих на автомобильную промышленность. В рамках программы локализации открыты и продолжают создаваться производства по выпуску узлов и комплектующих деталей для Асакинского и Самаркандского автозаводов: аккумуляторов, автостекол, сидений, бамперов, глушителей, топливных баков, деталей внутренней отделки, автоэмалей и многого другого.

Доказательством выше перечисленных действий является то, что не так давно в Зангиатинском районе Ташкентской области был построен завод по производству двигателей «GeneralMotorsPowertrainUzbekistan», торжественная церемония открытия которого состоялась 15 ноября 2011 г.

На совместном предприятии GM PowertrainUzbekistan выпускаются бензиновые двигатели объемом 1,2 и 1,5 литра. Проектная мощность СП –

225 тысяч двигателей в год. Стоит отметить, что на этом заводе создано первое и единственное производство по литью алюминиевых головок блока цилиндра GM в Европе и Центральной Азии.

Развитие транспортной инфраструктуры Республики Узбекистан приводит к повышению движения на автомобильных дорогах, особенно на магистральных улицах в больших городах. Проблема пробок на городских улицах наиболее ощутимым образом проявляет себя в так называемых мегаполисах-городах с большим населением жителей. Данная проблема вызывает целый спектр негативных явлений, но наиболее ощутимыми из них являются проблемы экологической и экономической безопасности. В связи с постоянным ростом населения городов данная проблема становится актуальной и в городах Республики Узбекистан.

**Актуальность темы:** На сегодняшний день требования к топливной экономичности, мощностным и к экологическим качествам двигателя является одной из важнейших задач, которое пытаются решить различным изменением и оптимизированием конструктивных параметров двигателя, его систем и применением мехатронного управления двигателя. Особенно в городских условиях Узбекистана при движении автомобилей приходится постоянно останавливаться на светофорах и снова разгоняться, или оказываться в потоке с насыщенным движением автомобильной дороги, то есть чаще всего эксплуатировать двигатель на различных режимах работы: на холостом режиме, на частичных и нагрузочных режимах с быстрой частотой повторяемости. В этой связи мехатронное управление и регулирование двигателя на этих режимах является весьма актуальной задачей.

**Цель и задачи работы:** Повышение экономических, мощностных и экологических показателей автомобильных двигателей на различных

режимах работы двигателя при использовании мехатронных систем управления. Задачами работы являются:

1. Анализ мощностных, экономических и экологических показателей серийных двигателей, а также режимов эксплуатации ДВС;
2. Изучение мехатронных систем управления двигателями;
3. Выбор и установка мехатронной системы управления на ДВС;
4. Определение мощностных, экологических и экономических показателей тюнингового двигателя.

**Объект и предмет исследования:** автомобильный двигатель снабженный мехатронной системой управления.

**Методы и методика исследования:** воздействие на параметры характеристик и получение показателей.

**Научная новизна исследования:** заключается в разработке оптимальных режимов работы двигателей при применении мехатронной системы управления.

**Практическая и теоретическая значимость исследования:** Улучшение мощностных характеристик, топливной экономичности, а следовательно и снижение выброса токсичных газов в режиме холостого хода достигается регулированием и управление управляемых дроссельных заслонок. Их правильное управление за счет мехатронной системы, а также правильный расчет режимов работы двигателя и системы. Для получения лучших характеристик, также требуется правильное оптимизирование показателей в данных режимах и т.д.

**Короткий литературный обзор по теме:** В данной выбранной диссертационной теме используются литературы, изданные в Республике

Узбекистан, в странах СНГ и за рубежом, технические журналы, нормативные документы и документации, вестники сборников статей, а также сайты интернета.

**Порядок составления диссертационной работы:** Она состоит из вводной части, анализа текущего состояния проблемы, целей и задач выбранного направления исследований, анализа теоретических методов исследования и практических методов исследования, сравнения теоретических и экспериментальных данных, экономической оценки разработки и общих выводов, рекомендаций.

**Основные результаты выполненной работы:** По подсчетам мощностные характеристики двигателя на нагрузочных режимах улучшаются на 8%. В день автомобиль в среднем на холостой ход расходует около 3,5 литра. 20% из 3,5 литров получается 0,7 литра. То есть мы с каждой машины в день экономим около 0,7 литра топлива, а если это число умножить на количество автомобилей этой модификации, эксплуатируемых в городе, получится большое число. Это означает большая экономия топлива и средняя экономия на холостых и частичных режимах эксплуатации двигателя получается около 7 %.

**Короткое изложение выводов и предложений:** Повышение мощностных, экономических и экологических показателей автомобильных двигателей при использовании мехатронных систем управления, то есть при оптимизации режимов работы двигателя применяем впускной коллектор с переменной геометрией для более эффективного и быстрого обогащения топлива воздухом при уменьшении угла открытия дросселя на холостом ходу двигателя и частичных нагрузках двигателя и повышение мощностных показателей на нагрузочных режимах работы двигателя. Этот вид коллектора дает возможность регулировать подачу воздуха через

управляемые дроссели на различных режимах работы ДВС и его оптимальную и устойчивую работу на всех режимах эксплуатации ДВС. То есть большая экономия топлива и уменьшение большого количество выбросов отработавших газов в окружающую среду при эксплуатации на холостых и частичных режимах и увеличение мощности двигателя на нагрузочных режимах работы.

## **Глава 1. Анализ выполненных работ. Современное состояние.**

### **Выбор цели и задач исследования**

#### **1.1. Анализ работы современных мехатронных систем управления двигателем**

**Мехатроника** — это область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движением, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов. [10]

Мехатронный модуль — это функционально и конструктивно самостоятельное изделие для реализации движений с взаимопроникновением и синергетической аппаратно-программной интеграцией составляющих его элементов, имеющих различную физическую природу.

К элементам различной физической природы относят механические, электротехнические, электронные, цифровые, пневматические, гидравлические, информационные и т. д. компоненты.

Мехатронная система — совокупность нескольких мехатронных модулей и узлов, синергетически связанных между собой, для выполнения конкретной функциональной задачи. [11]

Обычно мехатронная система является объединением собственно электромеханических компонентов с силовой электроникой, которые управляются с помощью различных микроконтроллеров, ПК или других вычислительных устройств. При этом система в истинно мехатронном подходе, несмотря на использование стандартных компонентов, строится

как можно более монолитно, конструкторы стараются объединить все части системы воедино без использования лишних интерфейсов между модулями. В частности, применяя встроенные непосредственно в микроконтроллеры АЦП, интеллектуальные силовые преобразователи и т. п. Это уменьшает массу и размеры системы, повышает ее надёжность и даёт некоторые другие преимущества. Любая система, управляющая группой приводов может считаться мехатронной.

Современный автомобиль состоит из четырех основных агрегатов: двигателя внутреннего сгорания (ДВС), кузова, шасси и ходовой части. Эти агрегаты состоят из различных функциональных систем, которые обеспечивают выполнение главной функции автомобиля — перевозку грузов и пассажиров. Для того чтобы перевозки были безопасными, а для пассажиров и комфортными, чтобы агрегаты, узлы, блоки, системы работали безотказно, на автомобиле широко используются электротехнические устройства и средства электронной автоматики.

Мехатронная система автоматического управления двигателем (ЭСАУ-Д) состоит из датчиков для постоянного контроля за его параметрами и параметрами окружающей среды, электронного блока управления (ЭБУ) на основе микропроцессора и исполнительных устройств, с помощью которых ЭБУ управляет двигателем по заложенной в его память программе и в соответствии с информацией от датчиков.

Мехатронное управление необходимо для удовлетворения высоких требований по экологичности, топливной экономичности, эксплуатационным характеристикам, удобству обслуживания и диагностики, предъявляемым к современным автомобильным двигателям законодательно и потребителями.

Мехатронная система, управляя неэлектрическими процессами через неэлектрическую периферию на выходе, сама управляется от сигналов, имеющих неэлектрическую природу, которые формируются неэлектрической входной периферией. [12]

Например, мехатронная система VDC(управления курсовой устойчивостью движения автомобиля), функциональные взаимосвязи которой с водителем и дорогой показаны на рис. 1.1, использует в качестве входной информации скорость движения, углы наклона кузова, разность частот вращения колес, угол поворота руля, атмосферные условия, а в некоторых вариантах — давление в шинах и состояние дорожного покрытия.

Описание условных обозначений, принятых на рис 1.1.

1. Географические условия: извилистость дороги, спуски, подъемы, повороты, перекрестки дорог, переезды.

2. Дорожные условия: тип дорожного покрытия (гравий, бетон, асфальт); асфальт сухой, мокрый, обледенелый; освещенные дороги; плотность транспортного потока.

Климатические условия: атмосферные - температура, влажность, давление; температура асфальта.

Техногенные условия: сцепление колес с дорогой по состоянию протекторов шин; скорость вращения колес; скорость рыскания; боковой увод автомобиля, боковой увод колес, боковое ускорение.

Блок датчиков: угла поворота руля; угла поворота кузова автомобиля вокруг вертикальной оси (гироскоп); бокового ускорения.

УВР — управляющие реакции водителя, являющиеся откликом субъективного мышления на дорожные условия движения; проявляются индивидуально в зависимости от физического и психического состояния человека.

Блок датчиков: температуры, давления, влажности в атмосфере, температуры асфальта (по давлению в шинах).

Блок колесных датчиков (ДК) ABSи вычисляемых в ЭБУ системы VDCне электрических входных параметров —  $\mu$ ,  $\varphi$ ,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\delta$ ,  $\nu$ .

Центральный боковой компьютер (микропроцессор МП), в который интегрированы все логические и вычислительные функции четырех автоматических систем управления VDC, ADS, ASR, ABS. Содержит оперативную (ОЗУ) и постоянную (ПЗУ) память, а также входные аналогово-цифровые (АЦП) и выходные цифроаналоговые (ЦАП) преобразователи.

Блок конечных преобразователей электрических сигналов в неэлектрические воздействия:

а) ДИС/ВП — драйверы информационной системы водителя (ДИС) и визуальный преобразователь (ВП) электрического сигнала в оптическое изображение;

б) ЭДД/КД — электродвигатель (ЭДД) и клапан (КД) демпфирования активной подвески (системы ADS);

в) ЭДН/НД — электродвигатель (ЭДН) и нагнетатель (НД) высокого давления в системе VDC;

г) ЭДТ/ГК — электродвигатель (ЭДТ) и гидроклапаны (ГК) системы ABS;

д) ШЭД/ДР — шаговый электродвигатель (ШЭД) и дроссельная заслонка (ДР) системы ASR.

Блок водительских органов управления: ВИ — визуальные индикаторы (стрелочные, электронные, дисплей и пр.); РК — рулевое колесо; ПТ — педаль тормоза; ПГ — педаль акселератора (газа).

Полученные таким образом неэлектрические информационные сигналы посредством входных датчиков (рис. 1.1, поз. А, С, D)

преобразуются в электрические сигналы: поворот кодирующего диска на руле — в цифровой электрический код; круговая частота вращения колес — в последовательность электрических импульсов с изменяющейся частотой следования; перемещение инерционных элементов гироскопа, упругой мембраны датчика давления — в аналоговые электрические сигналы, которые далее с помощью аналогово-цифровых преобразователей (АЦП) перерабатываются в цифровые электрические сигналы, пригодные для подачи на вход микропроцессора МП.[13]

Микропроцессор — это центральный орган управления (мозг) мехатронной системы. Его главная функция заключается в преобразовании электрических информационных сигналов об условиях движения автомобиля, полученных от входной периферии, в электрические сигналы управления, несущие информацию об интенсивности и последовательности неэлектрических воздействий на неэлектрические органы управления. Такая информация формируется в микропроцессоре в виде кодовых последовательностей электрических импульсов, которые для непосредственного управления неэлектрическими органами непригодны.

Для согласования энергетических уровней без нарушения информационного содержания на выходе микропроцессора реализуется обратное преобразование информационных сигналов из цифровой в аналоговую форму. Эту функцию выполняют цифроаналоговые преобразователи (ЦАПы), которые одновременно являются усилителями мощности аналоговых электрических сигналов. Чтобы выполнить управляемое неэлектрическое воздействие на неэлектрические органы управления, вслед за ЦАПами устанавливаются оконечные преобразователи

электрических сигналов в механические или любые другие неэлектрические воздействия. Оконечные преобразователи (блок Fна рис. 1.1. являются выходными исполнительными устройствами мехатронной системы, но не являются ее информационным окончанием. В отличие от электронной системы мехатронная система включает в свой состав и неэлектрические объекты управления, которые и являются окончательными потребителями информации. Применительно к рассматриваемой системе управления устойчивостью движения автомобиля, окончательными потребителями информации являются: система подачи топлива в двигатель 4, тормозная система 2 автомобиля и информационная система водителя с визуальными индикаторами (ВИ) и оптическим (зрительным) каналом управления (ОКУ). Эти три системы представляют собой выходную исполнительную периферию мехатронной системы, которая (периферия) под автоматическим управлением микропроцессора, при крайне ограниченном (посредством коррекции положения руля) участии водителя, обеспечивает наиболее оптимальный режим движения автомобиля в сложных дорожных условиях или в аварийной ситуации.

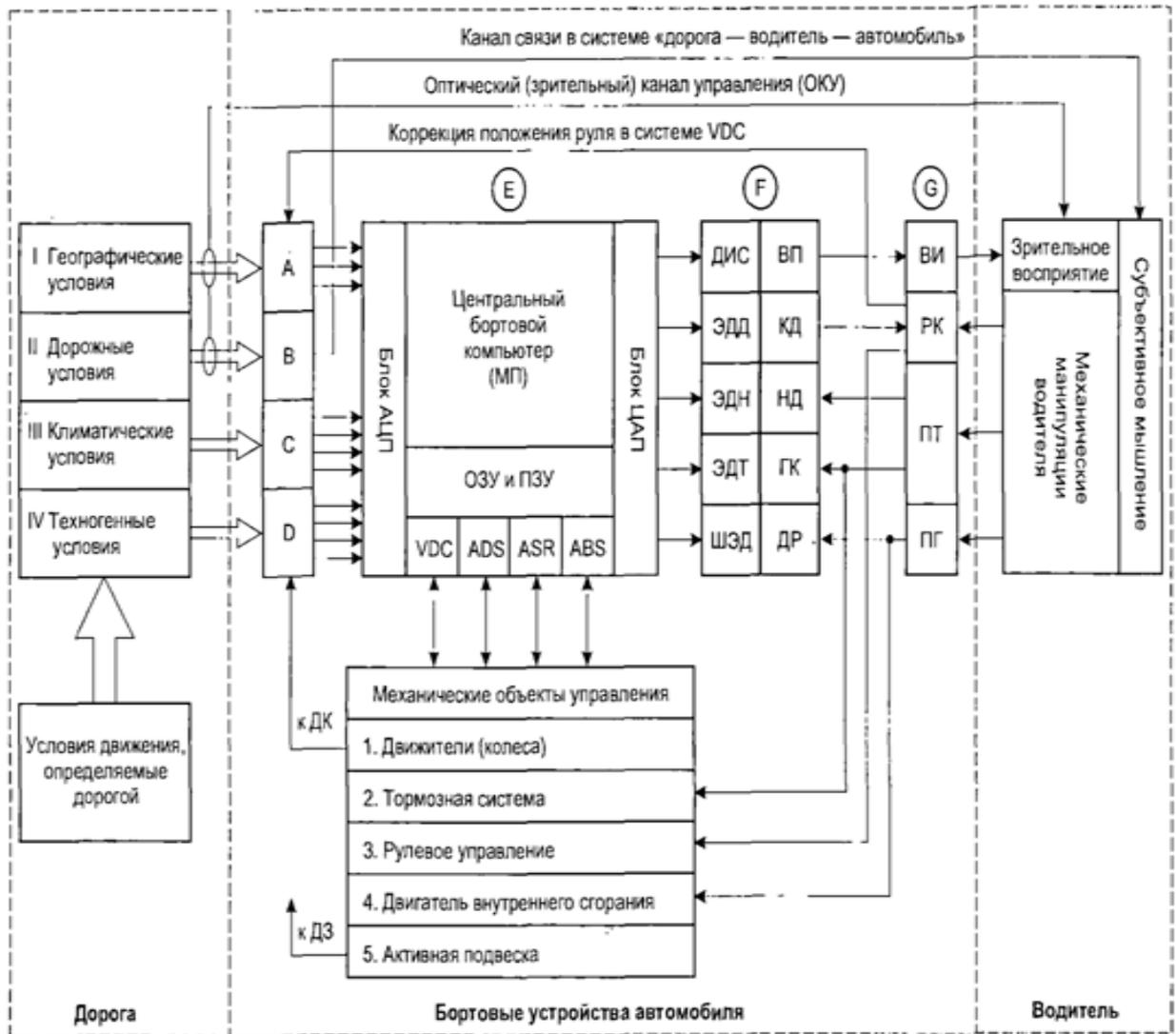


Рис. 1.1. Система VDC— как составная часть системы «дорога — водитель — автомобиль»

Из приведенных примеров очевидно, что мехатронная система является совокупностью самых различных по принципу действия устройств, объединенных в единый комплекс с целью выполнения требуемой специфической функции управления, регулирования или текущего контроля на борту автомобиля. Современные подходы автомобилестроителей к комплексному решению задач автоматического контроля, управления и регулирования приводят к тому, что подавляющее большинство новейших автомобильных систем

бортовой автоматики являются мехатронными, входными воздействиями для которых являются неэлектрические проявления режима работы, условий движения, дорожных ситуаций и других факторов, а выходными потребителями информации (объектами управления) — неэлектрические узлы, блоки, устройства, газообразные и жидкостные среды, имеющие место на автомобиле, и сам водитель. Это принципиальные отличия мехатронных систем от чисто электронных и электрических. [14]

Ведутся также разработки по созданию универсальной электрической машины, так называемого «стартер генератора», которая сможет выполнять две функции: запуск ДВС и подачу электроэнергии в борт-сеть после запуска ДВС.

В силовом агрегате (в ДВС) датчики используются для измерения температуры и давления большинства текучих сред (температура всасываемого воздуха, абсолютное давление во впускном коллекторе, давление масла, температура охлаждающей жидкости, давление топлива в системе впрыска).

Почти ко всем движущимся частям автомобиля подключены датчики скорости или положения (скорость автомобиля, положение дроссельной заслонки, положение коленчатого вала, положение распределительного вала, положение и скорость вращения вала в коробке переключения передач, положение клапана рециркуляции выхлопных газов).

Другие датчики определяют уровень детонации, нагрузку двигателя, пропуски воспламенения, содержание кислорода в выхлопных газах.

В системе управления климатом (в климат-контроле) используются различные датчики в кондиционере для определения давления и температуры хладагента, температуры воздуха в салоне и за бортом.

Есть датчики, которые определяют положение сидений.

После появления антиблокировочной системы торможения и активной подвески потребовались датчики для определения скорости вращения колес, высоты кузова по отношению к шасси, давления в шинах.

Датчики удара и акселерометры нужны для правильного функционирования фронтальных и боковых воздушных мешков безопасности. Для переднего пассажирского сиденья с помощью датчиков определяют наличие пассажира, его вес. Эта информация используется для оптимального наддува мешка безопасности на переднем сиденье. Другие датчики используются для боковых и потолочных воздушных мешков безопасности, а также специальных воздушных мешков для защиты шеи и головы.

На современных автомобилях антиблокировочные системы торможения заменяются более сложными и эффективными системами управления стабильностью движения автомобиля. Возникает необходимость в новых датчиках. Разрабатываются и уже имеются датчики скорости вращения автомобиля вокруг вертикальной оси, датчики для предупреждения столкновений (например радарные), датчики для определения близости других автомобилей, датчики положения рулевого колеса, бокового ускорения, скорости вращения каждого колеса, крутящего момента на валу двигателя и т. д. Управление тормозной системой автомобиля становится частью более общей и эффективной системы

электронного управления курсовой устойчивостью и стабильностью движения.

Из сказанного ясно, что сегодня датчики устанавливаются практически во всех системах автомобиля.

На рис. 1.2, показано наиболее рациональное расположение различных датчиков на автомобиле.

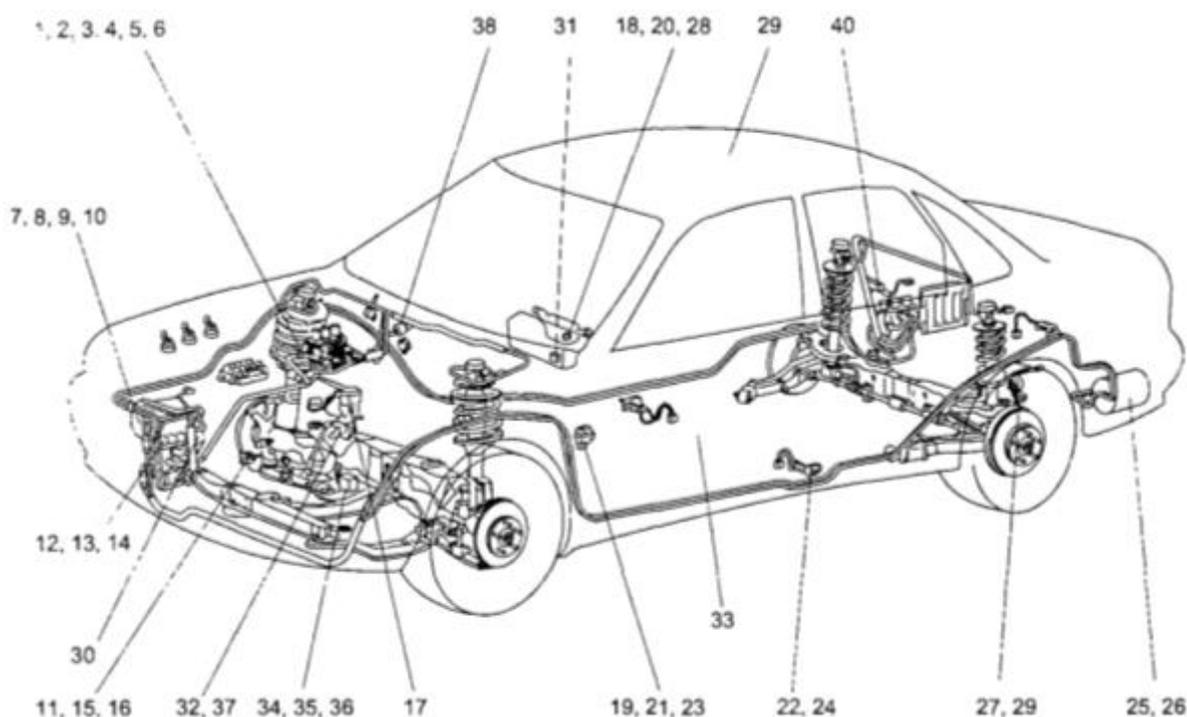


Рис. 1.2. Расположение датчиков на автомобиле

1 — датчик конфигурации впускного коллектора с управляемой геометрией, 2 — датчик тахометра, 3 — датчик положения распределительного вала, 4 — датчик нагрузки двигателя, 5 — датчик положения коленчатого вала, 6 — датчик крутящего момента двигателя, 7 — датчик количества масла, 8 — датчик температуры охлаждающей жидкости, 9 — датчик скорости автомобиля, 10 — датчик давления масла, 11 — датчик уровня охлаждающей жидкости, 12 — радарный датчик системы торможения, 13 — датчик атмосферного давления, 14 — радарный датчик системы предотвращения столкновений, 15 — датчик скорости вращения ведущего вала коробки передач, 16 — датчик

выбранной передачи в коробке передач, 17 — датчик давления топлива в рампе форсунок, 18 — датчик скорости вращения руля, 19 — датчик положения педали, 20 — датчик скорости вращения автомобиля относительно вертикальной оси, 21 — датчик противоугонной системы, 22 — датчик положения сиденья, 23 — датчик ускорения при фронтальном столкновении, 24 — датчик ускорения при боковом столкновении, 25 — датчик давления топлива в баке, 26 — датчик уровня топлива в баке, 27 — датчик высоты кузова по отношению к шасси, 28 — датчик угла поворота руля, 29 — датчик дождя или тумана, 30 — датчик температуры забортного воздуха, 31 — датчик веса пассажира, 32 — датчик кислорода, 33 — датчик наличия пассажира в сиденье, 34 — датчик положения дроссельной заслонки, 35 — датчик пропусков воспламенения, 36 — датчик положения клапана рециркуляции выхлопных газов, 37 — датчик абсолютного давления в впускном коллекторе, 38 — датчик азимута, 39 — датчик скорости вращения колес, 40 — датчик давления в шинах.

Датчики автомобильных электронных систем можно классифицировать по трем признакам: принципу действия, типу энергетического преобразования и основному назначению.[16]

**Входные датчики двигателей внутренних сгораний** измеряют конкретные параметры работы двигателя и преобразуют их в электрические сигналы. Информация, получаемая от датчиков, является основой управления двигателем. Система управления двигателем включает следующие входные датчики указанные в таблице 1.1:

Таблица 1.1.

№	Название датчиков	Область использования датчиков автомобилей
1	Датчик давления топлива в контуре низкого давления	Используется в работе топливной системы

2	Датчик давления топлива	Используется в работе топливной системы
3	Датчик частоты вращения коленчатого вала	Используется в работе топливной системы
4	Датчик Холла	Используется в работе топливной системы
5	Расходомер воздуха	Используется в работе топливной системы
6	Датчик положения педали газа	Используется в работе системы впрыска
7	Датчик температуры охлаждающей жидкости	Используется в работе системы впрыска
8	Датчик температуры воздуха на впуске	Используются в работе системы впуска
9	Расходомер воздуха	Используются в работе системы впуска
10	Датчик температуры воздуха на впуске	Используются в работе системы впуска
11	Датчик положения дроссельной заслонки	Используются в работе системы впуска
12	Датчик давления во впускном коллекторе	Используются в работе системы впуска
13	Датчик положения педали газа	Используются в работе системы впуска
14	Датчик частоты вращения коленчатого вала	Используются в работе системы впуска

15	Датчик Холла	Используются в работе системы зажигания
16	Датчик детонации	Используются в работе системы зажигания
17	Расходомер воздуха	Используются в работе системы зажигания
18	Датчик температуры воздуха на впуске	Используются в работе системы зажигания
19	Датчик температуры охлаждающей жидкости	Используются в работе системы зажигания
20	Кислородные датчики	Используются в работе системы зажигания
21	Датчик температуры отработавших газов	Используются в работе выпускной системы
22	Кислородный датчик перед нейтрализатором	Используются в работе выпускной системы
23	Кислородный датчик после нейтрализатора	Используются в работе выпускной системы
24	Датчик оксидов азота	Используются в работе выпускной системы
25	Датчик температуры охлаждающей жидкости	Используются в работе системы охлаждения
26	Датчик температуры масла	Используются в работе системы охлаждения
27	Датчик давления в магистрали вакуумного усилителя тормозов	Используются в работе вакуумного усилителя тормозов

В зависимости от типа и модели двигателя номенклатура датчиков может изменяться. [27]

Электронный блок управления двигателем принимает информацию от датчиков и в соответствии с заложенным программным обеспечением формирует управляющие воздействия на исполнительные устройства систем двигателя. В своей работе электронный блок управления взаимодействует с блоками управления автоматической коробкой передач, системой ABS (ESP), электроусилителя руля, подушками безопасности и др.

Нас больше интересуют датчики отвечающие за впускную систему ДВС. Одним из важных из них является датчик положения дроссельной заслонки.

Датчик положения дроссельной заслонки — ДПДЗ (рис.1.3) установлен сбоку дроссельного патрубка на оси дроссельной заслонкой. Он представляет собой резистор потенциометрического типа, один из выводов которого соединен с опорным напряжением (5 В) контроллера, а второй с массой контроллера. Третий вывод соединяет подвижный контакт ДПДЗ с измерительным входом контроллера, что позволяет контроллеру определять напряжение выходного сигнала ДПДЗ.

Данные о положении дроссельной заслонки необходимы для расчета длительности импульсов управления форсунками. При повороте дроссельной заслонки (движением педали акселератора) изменяется напряжение на подвижном контакте ДПДЗ. При закрытом положении дроссельной заслонки выходной сигнал ДПДЗ ниже 0,7 В. При открытии дроссельной заслонки выходной сигнал соответственно возрастает. Полностью открытой заслонке

соответствует выходное напряжение не менее 4 В. Контролируя выходное напряжение сигнала ДПДЗ, контроллер определяет текущее положение дроссельной заслонки (задаваемое водителем).

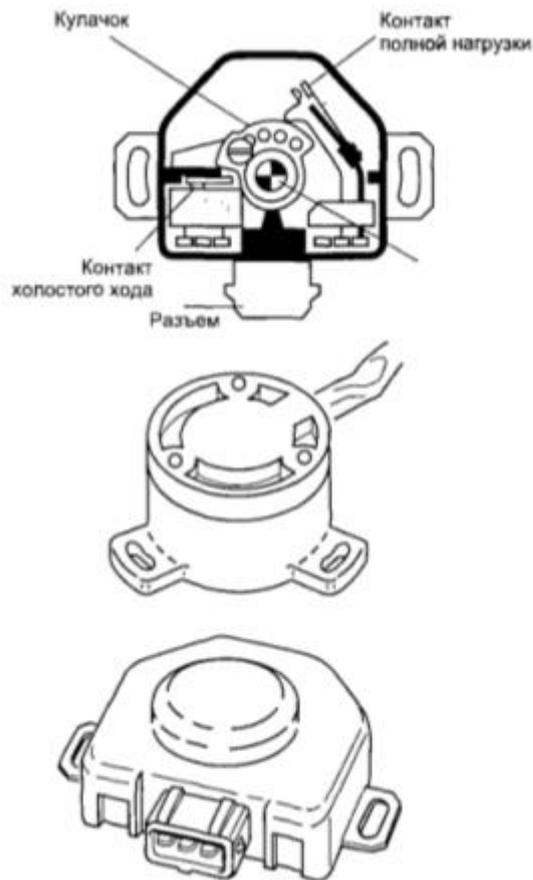


Рис. 1.3. Датчик положения дроссельной заслонки

### **Датчики ускорения (акселерометры)**

Некоторые твердотельные материалы обладают электрической чувствительностью к механическим воздействиям. Такие материалы часто используются для преобразования механических величин в электрические. [17]

На их основе создаются пьезоэлектрические и тензорезистивные акселерометры, которые в автомобильных электронных системах чаще всего используются как датчики ускорения.

## Пьезоэлектрические акселерометры

Этот тип датчиков ускорения широко используется для вибрационных измерений, т. к. это точные, надежные и простые устройства. На рис. 1.4 показана базовая конструкция акселерометра, работающая в компрессионном режиме. Чувствительность автомобильных акселерометров составляет около 20 мВ/г.

При деформации (сжатии) пьезо кристалла на его гранях появляется электрический сигнал, пропорциональный в данном случае ускорению. Рабочий диапазон частоты 5... 100000 Гц. Для обработки сигнала от пьезоэлектрического датчика используется электронный усилитель-формирователь, собранный по схеме рис. 1.5.

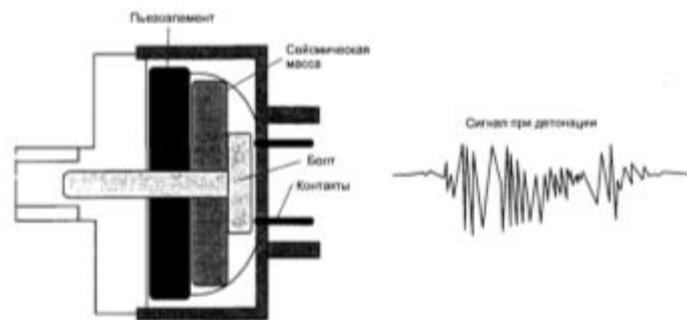


РИС. 1.4. Базовая конструкция акселерометра

Пьезоэлектрические акселерометры имеют малые размеры и выпускаются в интегральном исполнении. После принятия мер по термо-компенсации эти датчики ускорения имеют погрешность не хуже 0,5% в температурном диапазоне - 40...+ 110 °С.

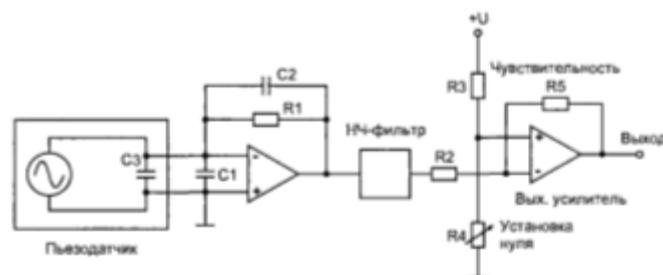


Рис. 1.5. Схема усилителя-формирователя для обработки сигнала пьезоэлектрического

## 1.2. Выбор конструктивных особенностей мехатронных систем управления двигателем

Известно, что в выхлопных газах содержатся остатки углеводородного топлива (СН), окись углерода (СО), двуокись углерода (СО<sub>2</sub>), окислы азота NO<sub>x</sub>, азот (N) и кислород (O<sub>2</sub>).

Содержание углеводородов измеряется в частях на миллион по объему (PPM или млн.). Нормально работающий двигатель сжигает в цилиндрах практически все топливо. Допустимое содержание СН должно быть менее 50 PPM. Бензин является канцерогеном.

Окись углерода — неустойчивое химическое соединение, легко вступающее в реакцию с кислородом, в результате которой образуется двуокись углерода СО<sub>2</sub>. СО — ядовитый газ, вступая в легких человека в реакцию с кислородом, вызывает сильное отравление (возможен летальный исход). Уровень СО в выхлопных газах измеряется в процентах и не должен превышать 0,5%.

Двуокись углерода СО<sub>2</sub> — результат соединения углерода из топлива с кислородом воздуха. Допустимое содержание 12... 15%. Высокие значения свидетельствуют о хорошей работе двигателя. Низкий уровень СО<sub>2</sub> говорит б том, что топливно- воздушная смесь (ТВ-смесь) богатая или бедная. Повышение концентрации СО<sub>2</sub> в атмосфере способствует развитию парникового эффекта.

Кислород — в воздухе его 21% и большая часть вступает в реакцию с топливом. Уровень кислорода в выхлопных газах должен быть низким, менее 0,5%.

В камере сгорания двигателя образуется группа окислов азота, для краткости обозначаемых NO<sub>x</sub>. Окись азота NO — бесцветный газ

без вкуса и запаха. Двоокись азота  $\text{NO}_2$ — рыжеватый газ с кислым едким запахом, слабо токсичен.

Окислы азота  $\text{NO}_x$  формируются в камере сгорания двигателя при температуре выше  $1370\text{ }^\circ\text{C}$  ( $2500\text{ }^\circ\text{F}$ ) или при большом давлении. При соединении окислов азота с углеводородом  $\text{CH}$  в атмосфере под воздействием солнечных лучей образуется фотохимический смог, вредный для органов дыхания человека.

### **Угол опережения зажигания.**

Угол опережения зажигания тоже является одним из актуальных вопросов мехатроники. Неоптимальные значения угла опережения зажигания приводят к увеличению концентрации  $\text{CH}$  и  $\text{NO}_x$  в выхлопных газах. Точное задание угла опережения зажигания для всех режимов работы двигателя возможно только с помощью электронной системы управления.

### **Уменьшение потребления топлива**

Экономия топлива в двигателях с электронным управлением достигается за счет его более точного дозирования во всех режимах работы и отключения подачи топлива, когда это допустимо, например, при торможении двигателем. Обеднение горючей ТВ-смеси с целью экономии топлива приводит к необходимости увеличивать угол опережения зажигания, т. к. бедная смесь горит медленно, но при этом возрастает токсичность выхлопных газов.

Управление углом опережения зажигания осуществляется электронной автоматикой путем компромисса между количеством потребляемого топлива и содержанием токсичных веществ в выхлопных газах по сложным алгоритмам. [27,28]

## Диагностика

ЭБУ в фоновом режиме постоянно контролирует исправность подключенных к компьютеру датчиков и исполнительных механизмов, а также исправность систем, выход из строя которых ведет к увеличению загрязнения окружающей среды (каталитический газонейтрализатор, система подачи топлива и т. д.).

### Комплексная системы управления двигателем

Тенденции развития бортовой автомобильной электроники таковы, что специализированные по исполняемым функциям системы управления поршневым бензиновым двигателем, такие как система зажигания, система впрыска топлива, система пуска холодного двигателя, система стабилизации холостых оборотов, система рециркуляции и нейтрализации выхлопных газов и прочие, в настоящее время как отдельные самостоятельные системы разрабатываются ограниченно. Их функции интегрируются в единую комплексную электронную систему автоматического управления двигателем (ЭСАУ-Д). В качестве примера комплексной ЭСАУ-Д на рис. 1.6. показана схема современной системы управления двигателем с прерывистым и распределенным по цилиндрам впрыском топлива.[13,14]

Следует указать на то, что и комплексные ЭСАУ-Д в свою очередь теперь тоже не являются новациями, а входят составной частью в более общую бортовую систему управления, реализованную с применением новейших компьютерных технологий и включающую в свой состав наравне с прежними совершенно нетрадиционные для автомобиля бортовые подсистемы. Уже разработаны и эксклюзивно поступают к потребителю концептуальные автомобили, все узлы,

агрегаты и системы которых, а также сам процесс движения автомобиля находятся под контролем, регулированием и управлением единого бортового компьютера.

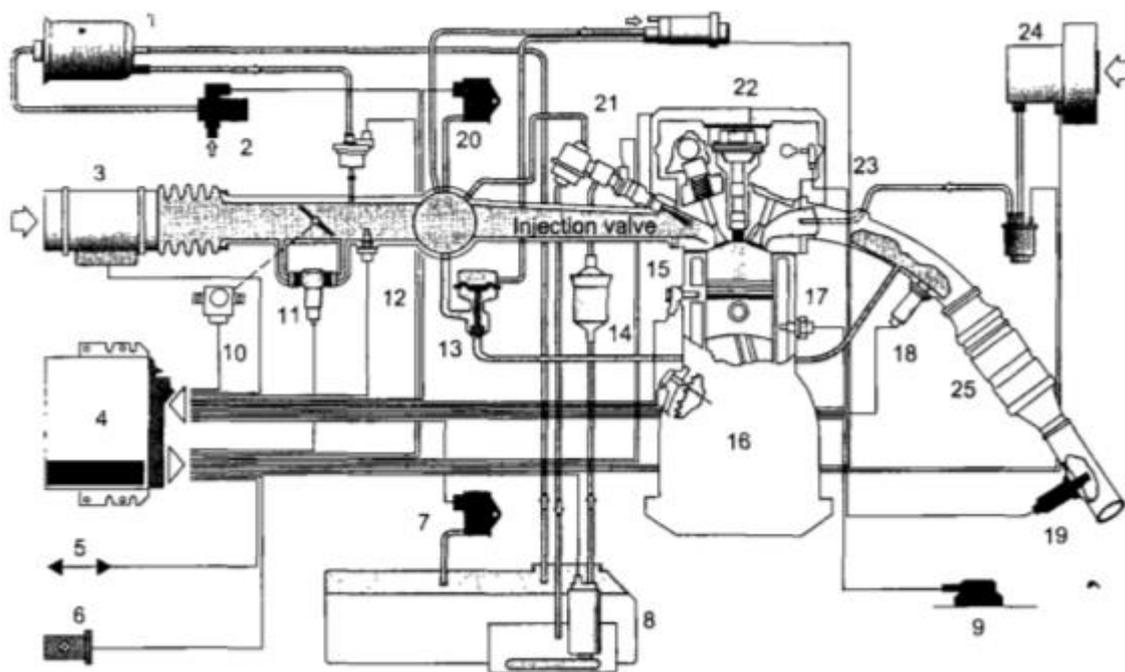


Рис.1.6. Схема системы управления двигателем

1- адсорбер, 2 — клапан продувки адсорбера, 3 — датчик массового расхода воздуха, 4 — ЭБУ, 5 — диагностический интерфейс, 6 — лампа MIL (CheckEngine), 7 — датчик дифференциального давления паров топлива в баке, 8 — электробензонасос, 9 — акселерометр на корпусе автомобиля, 10 — датчик положения дроссельной заслонки, 11 — регулятор оборотов холостого хода, 12 — датчик температуры воздуха во впускной трубе. 13 — клапан рециркуляции выхлопных газов, 14 — топливный фильтр, 15 — датчик детонации, 16 — датчик положения коленчатого вала, 17 — датчик температуры охлаждающей жидкости, 18 — датчик кислорода на входе каталитического нейтрализатора, 19 — датчик кислорода на выходе каталитического нейтрализатора, 20 — датчик разрежения, 21 — регулятор давления топлива и форсунка, 22 —

индивидуальная катушка зажигания, 23 — датчик фаз, 24 — насос подачи воздуха в каталитический нейтрализатор, 25 — каталитический нейтрализатор.

Автомобильный двигатель представляет собой многомерный объект управления, так как число входных параметров у него больше одного и каждый входной параметр воздействует на два и более выходных. В таком случае система управления также должна быть многомерной. [21,22,23]

Чрезвычайно широкое распространение автомобильных двигателей предопределило и большое разнообразие их конструкций. Естественно, это приводит к многовариантности систем управления. Так, если в карбюраторных системах топливоподачи практически не используется электроника, то современные системы впрыскивания топлива создаются только на основе управления электронными системами.

С другой стороны, развитие мехатронных систем управления может стимулировать появление новых конструктивных решений проектируемых двигателей.

Исходя из выше рассмотренного мы выбираем в качестве объекта исследования схему современного мехатронного двигателя автомобиля приведена на рис.1.7.

Ее центральной частью является электронный блок управления 11, блок-схема которого приведена на рис.1.8. На основании сигналов датчиков блок управления рассчитывает количество впрыскиваемого топлива для получения оптимального соотношения топлива и воздуха в горючей смеси. Количество впрыскиваемого топлива определяется временем открытия электромагнитного клапана форсунки.

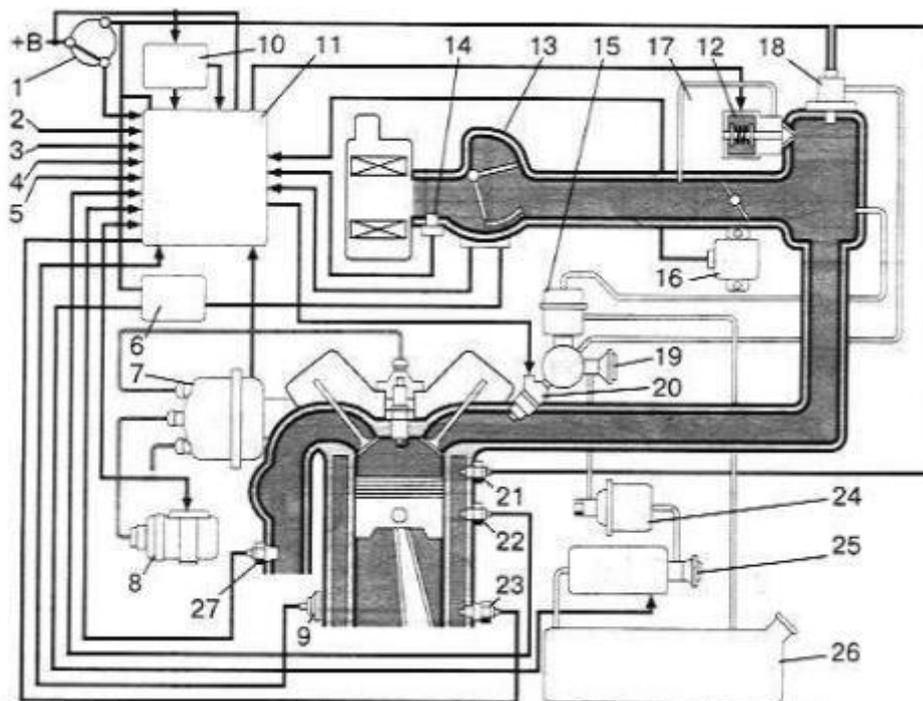


Рис.1.7. Схема мехатронной системы управления современным двигателем:

1- ключ зажигания; 2- диагностический разъем; 3- сигнал включения нейтральной передачи; 4- сигнал включения кондиционера; 5- сигнал скорости автомобиля; 6- реле включения; 7- распределитель зажигания; 8- катушка зажигания; 9- датчик аварийного падения давления масла; 10- реле; 11- электронный блок управления; 12- шаговый двигатель системы управления коленчатого вала двигателя на холостом ходу; 13- датчик расхода воздуха; 14- датчик температуры поступающего в двигатель воздуха; 15- регулятор давления; 16- датчик угла открытия дроссельной заслонки; 17- клапан холостого хода; 18- форсунка холодного пуска; 19- редукционный клапан; 20- форсунка; 21- таймер подогрева; 22- датчик температуры охлаждающей жидкости; 23- датчик детонации; 24- топливный фильтр; 25- топливный насос; 26- бак для топлива; 27- датчик кислорода.

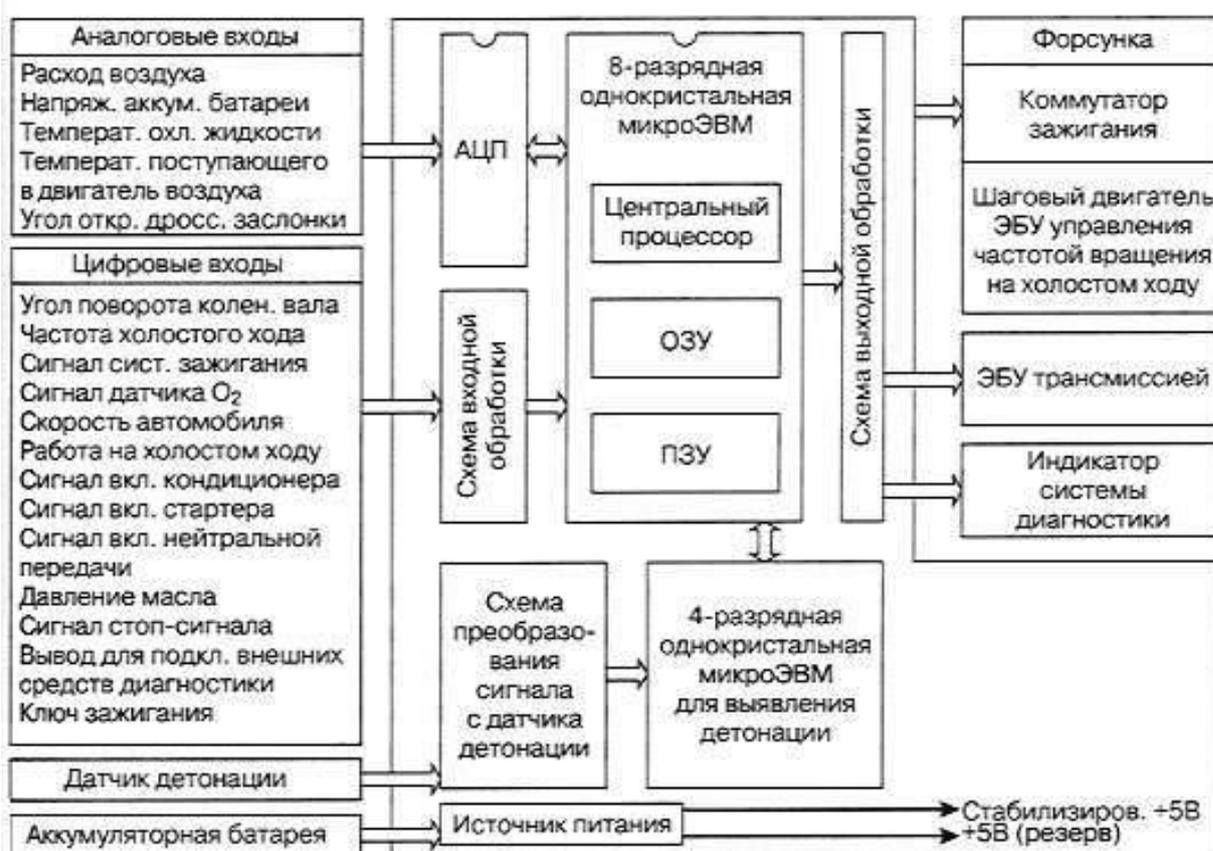


Рис.1.8. Блок-схема электронного блока управления

Блок-схема электронного блока управления, управляющего данной системой приведена на рис. 1.8.

Основное время впрыскивания топлива - это время для получения смеси с теоретически необходимым коэффициентом избытка воздуха. Количество воздуха, поступающего в цилиндр за цикл, рассчитывается блоком управления по данным датчика расхода воздуха и частоты вращения коленчатого вала двигателя.[25,27]

В качестве объекта или узла изменяемого в этой системе мы выбираем коллектор с изменяющейся формой геометрии.

## Система изменения геометрии впускного коллектора

Система изменения геометрии впускного коллектора является одной из востребованных технологий повышения мощности двигателя, экономии топлива, снижения токсичности отработавших газов.

Изменение геометрии впускного коллектора может быть реализовано двумя способами:

- изменением длины впускного коллектора;
- изменение поперечного сечения впускного коллектора.

В ряде случаев изменение геометрии впускного коллектора на одном двигателе осуществляется одновременно двумя способами.

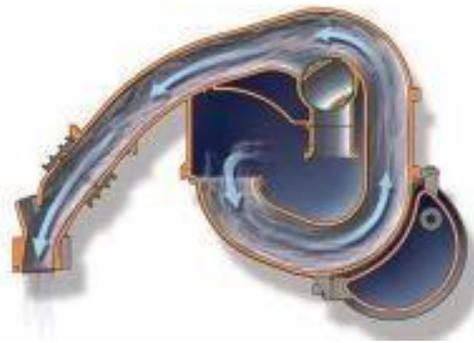


Рис 1.9. Впускной коллектор переменной длины

Впускной коллектор переменной длины применяется в атмосферных бензиновых и дизельных двигателях для обеспечения лучшего наполнения камеры сгорания воздухом на всем диапазоне оборотов двигателя.

На низких оборотах двигателя требуется достижение максимального крутящего момента как можно быстрее, для чего используется длинный впускной коллектор. Высокие обороты выводят двигатель на максимальную мощность при коротком впускном коллекторе. [49]

Впускной коллектор переменной длины используют в конструкции двигателей многие производители, некоторые дали системе собственные названия:

- Dual-Stage Intake, DSI от Ford;
- Differential Variable Air Intake, DIVA от BMW;
- Variable Inertia Charging System, VICS, Variable Resonance Induction System, VRIS от Mazda.

Регулирование длины впускного коллектора (переключение с одной длины на другую) производится с помощью клапана, входящего в состав системы управления двигателем.

Работа впускного коллектора переменной длины осуществляется следующим образом. При закрытии впускных клапанов во впускном коллекторе остается часть воздуха, которая совершает колебания с частотой пропорциональной длине коллектора и оборотам двигателя. В определенный момент колебания воздуха входят в резонанс, чем достигается эффект нагнетания – т.н. резонансный наддув. При открытии впускных клапанов воздушная смесь в камеры сгорания нагнетается с большим давлением.

В наддувных двигателях впускной коллектор переменной длины не используется, т.к. необходимый объем воздуха в камере сгорания обеспечивается механическим и (или) турбокомпрессором. Впускной коллектор в таких двигателях очень короткий, что сокращает размеры двигателя и его стоимость.

Впускной коллектор переменного сечения применяется как на бензиновых, так и на дизельных двигателях, в т.ч. оборудованных наддувом. При уменьшении поперечного сечения каналов впускного коллектора достигается увеличение скорости воздушного потока, лучшее

смесеобразование и соответственно обеспечивается полное сгорание топливно-воздушной смеси, снижение токсичности отработавших газов.

Известными системами впуска переменного сечения являются:

- Intake Manifold Runner Control, IMRC, Charge Motion Control Valve, CMCV от Ford;
- TwinPort от Opel;
- Variable Intake System, VIS от Toyota;
- Variable Induction System, VIS от Volvo.

В системе впускной канал к каждому цилиндру разделен на два канала (отдельный канал на каждый впускной клапан), один из которых перекрыт заслонкой. Привод заслонки осуществляет вакуумный регулятор или электродвигатель, являющийся исполнительным устройством системы управления двигателем.

При частичной нагрузке заслонки закрыты, топливно-воздушная смесь (двигатели с распределенным впрыском) или воздух (двигатели с непосредственным впрыском) поступает в камеру сгорания каждого из цилиндров по одному каналу. При этом создаются завихрения, которые обеспечивают лучшее смесеобразование. При уменьшении сечения впускного коллектора раньше вступает в работу система рециркуляции отработавших газов, тем самым повышается топливная экономичность двигателя. [50]

При полной нагрузке заслонки впускного коллектора открываются, увеличивается подача воздуха (топливно-воздушной смеси) в камеры сгорания и соответственно повышается мощность двигателя.

На примере системы TwinPort от Opel:



Рис. 1.10. Система впуска переменного сечения

1. Работа системы при полной нагрузке (заслонка открыта);
2. Работа системы при частичной нагрузке (заслонка закрыта, завихрения топливно-воздушной смеси);
3. Вихревой канал;
4. Вакуумный регулятор заслонки;
5. Форсунка;
6. Заслонка;
7. Канал наполнения.

## Выводы по главе 1.

В первой главе на основе литературного обзора и данных с Интернет сайтов проделан анализ современного состояния мехатронного управления двигателями внутреннего сгорания, а также зарубежные исследования по мехатронному управлению двигателем внутреннего сгорания. Исходя анализа, была выбрана конструкция мехатронной системы управления двигателем внутреннего сгорания и поставлены цели и задачи исследования.

Целью исследования является: повышение экономических и экологических показателей автомобильных двигателей на холостых и частичных режимах эксплуатации ДВС, а также повышение мощностных характеристик двигателей внутреннего сгорания при эксплуатации на нагрузочных режимах при использовании конкретно впускного коллектора с изменяемой геометрией. Которая состоит из короткого и длинного подхода к впускному тракту камеры сгорания.

Благоприятная для наполнения цилиндров длина впускного коллектора зависит от оборотов двигателя. В этой связи оптимальным решением является впускной коллектор с изменяемой геометрией: при низких оборотах длинный впускной тракт обеспечивает высокий крутящий момент и хорошую приемистость двигателя; при более высоких оборотах короткий впускной тракт позволяет двигателю развить высокую мощность. Такая гибкость создает основу для оптимального изменения крутящего момента, хороших показателей разгона и эластичности работы двигателя.

В качестве управления таким типом коллектора мы устанавливаем управляемые дроссельные заслонки на каждом подходе к меньшей длине впускного коллектора. Управление которых осуществляется использованием мехатронной систем управления.

Задачами работы являются: разработка данного типа впускного коллектора с изменяемой формой геометрии на основе прототипов, а также его установка на двигателе внутреннего сгорания и управления им с помощью мехатронной системы управления.

После установки этой системы осуществление снятия характеристик и показателей двигателя внутреннего сгорания с данным типом впускного коллектора изменяемой формы геометрии и сопоставление этих данных с данными двигателей внутреннего сгорания с обычным типом впускного коллектора.

## **Глава 2. Теоретическое исследование мехатронных систем управления двигателем отечественных автомобилей**

### **2.1. Методика исследования**

В существующей и издаваемой настоящее время литературе по ДВС уделяется достаточное внимание описанию установок, приборов, записывающей аппаратуры и систем автоматизации измерений, применяемых при испытании двигателей и его систем. По этой причине наиболее целесообразно сосредоточить внимание только на видах испытаний, их содержаниях и, наконец, на наиболее важном практическом вопросе – замере величин, характерных для газовых двигателей, и методах их обработки.

Стендовые испытания поршневых ДВС, используемых для стационарных и передвижных установок, должны проводиться в соответствии с существующим ГОСТ 14846-81. Эти испытания являются важным завершающим этапом технологического процесса производства газовых двигателей на машиностроительных предприятиях. Служащие для этих целей специальные испытательные станции и отдельные стенды предназначены для проведения приработки трущихся деталей, проверки и отладки этих двигателей и их систем, установления соответствия их заданным характеристикам.

Испытания по своему назначению подразделяют на испытания двигателей серийного производства, экспериментальные и исследовательские испытания опытного производства и испытания научно-исследовательского характера. Назначение этих испытаний сводится к следующим основным задачам: проверка качества сборки двигателя и его отдельных систем, агрегатов, приработка поверхностей трения для увеличения износостойкости и мото- ресурса и соответствия техническим условиям на поставку параметров и характеристик двигателя.

Экспериментальные и исследовательские испытания обычно связаны с опытным производством или работой конструкторских бюро и проводятся для проверки новых или усовершенствованных конструкций двигателей, их систем, в частности системы питания сборочных единиц или деталей, а также исследования рабочего процесса и газодинамики. Обычно этого вида работы завершаются проведением длительных характеристик для выявления соответствия запроектированных характеристик двигателя фактическим.

Испытания научно-исследовательского характера имеет своей целью более глубокое теоретическое и экспериментальное изучения процессов, происходящих в двигателях, агрегатах, системах, поиск новых перспективных направлений, обеспечивающих дальнейшее повышение их качества.

Испытания двигателей научно-исследовательского характера, которые используются в нашем случае весьма разнообразны по своему содержанию и направлены на более глубокое изучение процессов, происходящих в двигателях и их системах. Эти испытания проводятся по специально разработанным программам, в которых указывается назначение и цель испытаний, условия проведения испытаний с указанием требований к испытательному стенду и его оборудованию, измерительной аппаратуре, методике проведения замеров, необходимой технической документации, количестве и продолжительности этапов, порядок и сроки осмотров и ревизии двигателя и перечень необходимой отчетной документации.

Автомобильный двигатель в условиях эксплуатации фактически всегда работает на неустановившихся режимах. В связи с этим индикаторные и эффективные показатели рабочего цикла двигателя,

аналитическая связь этих показателей между собой и характер их изменения в отличие от показателей на установившихся режимах будут иметь другие закономерности и требует других методов качественной и количественной их оценки. Неустановившийся режим может включать одну или все фазы движения: разгон, замедление, чередование разгона с накатом, торможение, пуск двигателя и т.д. Перечисленные фазы в процессе движения автомобиля могут вызываться изменением внешних сопротивлений, как например: преодоление подъёмов, движением под уклон, переходом от одного качества дороги к другому, быстрым переходом к большим скоростям движения или рядом других причин, вызываемых условиями эксплуатации автомобиля, особенно в горных и предгорных условиях.

Методика исследования основных показателей двигателей учитывает, что качественный, а тем более количественный анализ работы двигателя на различных режимах может быть выполнен при условии предварительного исследования двигателя на установившихся режимах при всех возможных нагрузках. Причём исследования получают достаточную достоверность в том случае, если весь комплекс намеченных исследований осуществляется на одной экспериментальной установке и с применением одной и той же измерительной аппаратуры. [31]

В зависимости от вида проводимых испытаний, количество величин, подлежащих замеру при испытании газового двигателя, может меняться. В каждом конкретном случае испытатель, зная задачи и цель испытания, договорные обязательства, технические и другие условия, должен произвести выбор объектов наблюдения и составить программу испытаний для эксплуатируемых условиях. В большинстве случаев потребителя интересует данные, характеризующие внешнюю работу двигателя, а

именно: мощность, частота вращения, удельные расходы топлива и масла, устойчивость, надёжность пуска, температурные режимы и другие.

Не следует перегружать испытания обилием измеряемых величин, а следует обращать внимание в первую очередь на основные взаимосвязанные параметры. Можно установить следующий примерный перечень основных измерений, выполняемых при типовых испытаниях двигателей: крутящий момент или мощность; частота вращения коленчатого вала, давление сжатия и максимальное давление цикла, давление и температуру газа на входе в двигатель и отработавших газов на выходе из него; состав топлива и его теплотворная способность; противодавление и температура газов в выпускном трубопроводе; температура и давление продувочного воздуха; давление и температура воды в системе охлаждения; давление и температура в системе смазки; угол опережения зажигания; барометрическое давление, температура и относительная влажность окружающего воздуха; состав отработавших газов (%).

По данным полученных измерений, вычисляется эффективная мощность, среднее эффективное давление, индикаторная мощность, часовой и удельный расход газа при работе двигателя с искровым зажиганием.

## **2.2. Проектирование и изготовление мехатронной системы управления двигателем отечественных автомобилей**

### **Конструктивный обзор**

Наибольшее распространение в четырехтактных двигателях

получили системы с впрыскиванием бензина во впускной тракт электромагнитными форсунками под давлением 0,15...0,4 МПа. Впрыскивание бензина непосредственно в цилиндр автомобильного двигателя практического применения не находит из-за неблагоприятных условий работы форсунки, трудности размещения ее в камере сгорания, а также из-за требующегося высокого давления впрыскивания (2,5...10,0 МПа).

Системы впрыскивания можно классифицировать:

**По способу управления дозированием бензина**

- *электронные*, в которых подача топлива регулируется путем изменения длительности циклического впрыскивания;
- *механические* с непрерывной подачей бензина через форсунки, которая изменяется специальным дозатором.

Для проектирования выбрана схема:

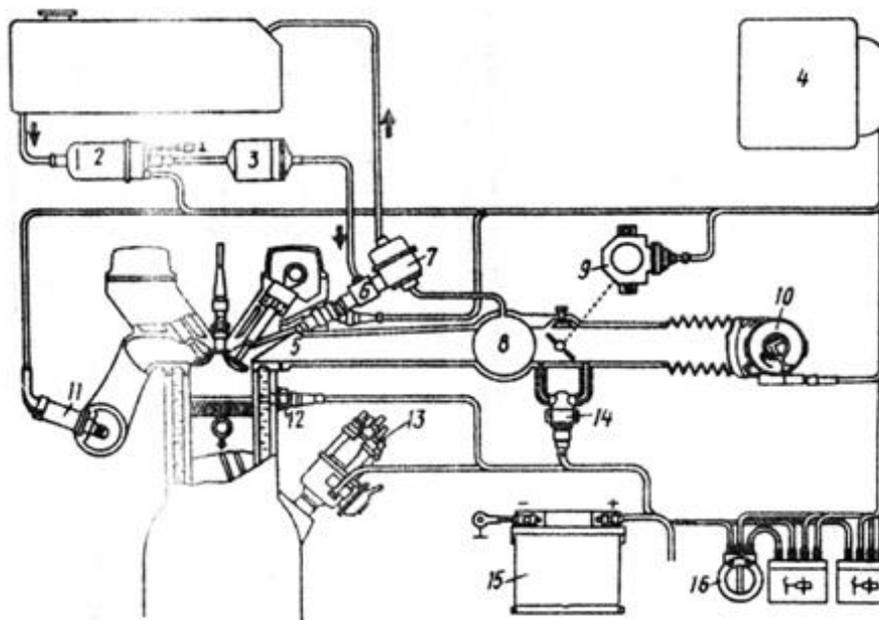


Рис. 2.1. Схема системы распределенного впрыскивания бензина

При распределенном впрыскивании бензина\* топливо из бака 1 (рис.

2.1) всасывается электрическим бензонасосом 2, а затем через фильтр тонкой очистки 3 нагнетается в магистраль 6, в которой стабилизатором давления 7 поддерживается постоянный перепад давления на входе и выходе топлива из форсунок 5, через которые топливо подается в зону впускных клапанов. Избыток топлива от стабилизатора 7 возвращается обратно в бак.

Воздух поступает в цилиндры через измеритель расхода 10 и впускной трубопровод 8. Количество воздуха регулируется дроссельной заслонкой.

Электронная система управления дозированием топлива питается от аккумулятора 15 и включается в цепь при замыкании замка зажигания 16.

Сигналы измерителя расхода воздуха 10 и распределителя зажигания 13 (сигнал частоты вращения вала) обрабатываются электронным блоком управления 4, который в соответствии с заложенной в него программой выдает электрические импульсы, управляющие открытием клапанов форсунок и имеющие определенную продолжительность на каждом режиме работы двигателя. Разработаны и системы с согласованным (фазированным) впрыскиванием, в которых впрыскивание в каждый цилиндр осуществляется в одинаковой фазе цикла. Это в существенной степени выравнивает условия смесеобразования в различных цилиндрах.

Так как стабилизатор давления 7 поддерживает с точностью порядка  $\pm 2$  кПа постоянное избыточное давление топлива относительно давления воздуха во впускном трубопроводе, то цикловая подача топлива форсункой 5 однозначно зависит от времени, в течение которого открыт ее клапан.

Длительность впрыскивания корректируется блоком управления в зависимости от температуры, охлаждающей жидкости (датчик 12), экономайзерный эффект и обогащение смеси на режимах разгона обеспечиваются по сигналам датчика 9, соединенного механически с осью

дроссельной заслонки. В датчике предусмотрена также контактная пара, подающая сигнал для отключения топливоподачи на режимах принудительного холостого хода. Отключение подачи происходит при закрытой дроссельной заслонке, когда частота вращения превышает примерно  $1500 \text{ мин}^{-1}$ , подача вновь включается при частоте вращения ниже  $900 \text{ мин}^{-1}$ . Имеется коррекция порога отключения подачи топлива в зависимости от температурного режима двигателя.[13,14]

Чтобы обеспечить устойчивую работу двигателя на холостом ходу с заданной частотой вращения, предусмотрено автоматическое регулирование количества поступающего в двигатель воздуха в зависимости от температуры охлаждающей жидкости. На холостом ходу непрогретого двигателя дроссельная заслонка закрыта, а воздух поступает через верхний и нижний байпасные каналы. По мере прогрева двигателя, начиная с температуры жидкости  $50...70^\circ\text{C}$ , регулятор дополнительного воздуха 14 прекращает подачу воздуха. После этого воздух поступает только через верхний байпас, сечение которого можно изменить винтом для регулировки частоты вращения на холостом ходу.

Система может работать по сигналам  $\lambda$ -зонда 11, обеспечивая поддержание стехиометрического состава смеси.

Большое значение для безотказной работы стабилизатора давления 7 и форсунок 5 имеет качественная фильтрация топлива.

Измерение расхода воздуха осуществляется термоанемометром с высокой надежностью и позволяет поддерживать постоянным состав смеси при изменении плотности воздуха. Чувствительный элемент из платиновой проволоки толщиной  $70 \text{ мкм}$ , расположенной по поперечному сечению впускного трубопровода, включен в цепь моста сопротивлений. Проволока подогревается электрическим током до постоянной температуры  $150^\circ\text{C}$ . Чем больше расход воздуха, тем сильнее теплосъем с проволоки, а ток

подогрева возрастает. Сила тока, пропорциональная расходу воздуха, непрерывно измеряется мостовой схемой и определяет величину расхода воздуха.

После остановки двигателя нить термоанемометра по команде блока управления кратковременно разогревается до повышенной температуры с целью очищения (выжигания) от загрязнений, которые могут искажать сигнал о расходе воздуха.

Электронная система управления впрыском топлива состоит из трех подсистем: подсистемы питания воздухом, электронной подсистемы управления, подсистемы подачи топлива.

### **Подсистема подачи воздуха**

Для регулировки состава топливовоздушной смеси на любом режиме работы двигателя используется контроль за подаваемым количеством воздуха, управление которым осуществляется подсистемой подачи воздуха.

Подсистема состоит из воздухоочистителя, канала подачи воздуха, корпуса дроссельной заслонки, системы управления холостым ходом механизма управления ускоренным холостым ходом и впускного коллектора. Резонатор в воздушном канале обеспечивает дополнительное сглаживание пульсации при подаче воздуха в систему.

Корпус дроссельной заслонки двухкамерного типа с боковой подачей воздуха, с первичной воздушной горловиной в верхней части. Для предотвращения образования отложений на дроссельной заслонке и на стенках воздушной горловины при определенных атмосферных условиях нижняя часть корпуса дроссельной заслонки подогревается охлаждающей жидкостью двигателя. Положение дроссельной заслонки определяется специальным датчиком. Для замедления движения дроссельной заслонки при ее приближении к точке закрывания используется демпфер. Для

контроля функционирования демпфера проверьте вакуумную линию на наличие утечки, блокирование и надежность соединения шлангов, отсоедините вакуумный шланг от диафрагмы демпфера и подсоедините к нему ручной вакуумный насос с датчиком. Запустите двигатель, установите режим около 3500 об/мин и проверьте наличие вакуума. В нормальном состоянии вакуум должен быть. Если вакуума нет, проверьте выход вакуумного канала в корпусе дроссельной заслонки. Отпустите педаль газа (освободите дроссельную заслонку). Вакуум должен плавно изменяться. Если вакуум не меняется или меняется слишком быстро, замените контрольный клапан демпфера. Подсоедините вакуумный насос к диафрагме демпфера, создайте вакуум. Вакуум должен быть устойчивым, а шток должен втягиваться. Если этого нет, замените диафрагму демпфера. На более ранних моделях методика проверки может быть несколько иная. При неработающем двигателе слегка приоткройте дроссельную заслонку (настолько, чтобы шток демпфера поднялся на величину его хода) и отпустите ее. Определите время, за которое дроссельная заслонка переместится до касания ее рычага с ограничительным винтом. Время перемещения должно быть менее 2 сек. Если время перемещения более 2 сек., замените контрольный клапан демпфера. Если шток демпфера не перемещается, проверьте соединительные тяги, вакуумную линию и контрольный клапан (может быть его залипание). Если все элементы нормальные, замените демпфер.[29]

Система управления холостым ходом контролирует состав топливовоздушной смеси в режиме холостого хода. Управление элементами системы (электромагнитными клапанами холостого хода, ускоренного холостого хода и холостого хода при включении кондиционера) осуществляется от БУД. Клапан холостого хода и клапан ускоренного холостого хода изменяют количество подаваемого по

байпасной линии воздуха во впускной коллектор. Клапан холостого хода при включении кондиционера обеспечивает поддержание необходимой частоты вращения коленчатого вала двигателя. Электромагнитный клапан управления холостым ходом используется для компенсации снижения частоты вращения коленчатого вала двигателя, вызванной электрической или иной нагрузкой двигателя. Компенсация осуществляется подачей дополнительного воздуха по байпасному каналу во впускной коллектор, что позволяет поддерживать постоянной частоту вращения коленчатого вала двигателя в режиме холостого хода на уровне  $750 \pm 50$  об/мин. Для увеличения быстроты отклика системы работа клапана зависит от величины напряжения на выводе генератора. Клапан также снижает частоту вращения коленчатого вала в режиме ускоренного холостого хода при прогреве, после достижения температуры охлаждающей жидкости  $55^\circ\text{C}$ . Для исключения неустойчивой частоты вращения коленчатого вала после запуска клапан открыт при проворачивании коленчатого вала стартером и сразу же после запуска для обеспечения подачи дополнительного воздуха во впускной коллектор. Электромагнитный клапан управления холостым ходом приводится в действие по сигналам БУД. Когда клапан открыт, вакуум впускного коллектора передается в вакуумный шланг клапана. Увеличение частоты вращения коленчатого вала двигателя происходит сразу после запуска двигателя или при включении любого потребителя энергии. Вакуум отключается при достижении частоты вращения коленчатого вала двигателя выше 1500 об/мин. При включенном клапане между плюсовым и минусовым выводами должно быть напряжение не ниже 11,8 В. Для проверки клапана отсоедините от него проводку и соответствующий вакуумный шланг и попытайтесь подать воздух через воздушный шланг. Воздух не должен проходить. Можно проверить и подачей вакуума на вакуумный шланг: вакуум должен быть

устойчивым.

Если результаты проверки не соответствуют указанным, замените клапан. Подайте напряжение от аккумулятора на клапан, отсоедините вакуумный шланг от впускного коллектора и подайте воздух в шланг подачи воздуха. Воздух должен проходить через шланг. Или попытайтесь создать вакуум в отсоединенном вакуумном шланге. Вакуума не должно быть. Если проверка показала другие результаты, замените клапан.

На некоторых моделях для облегчения запуска холодного двигателя используется воздушный клапан, конструкция и принцип действия которого показаны на рис.2.2. Клапан обеспечивает подачу дополнительного воздуха во впускную камеру при холодном двигателе и этим устраняет нестабильность частоты вращения в указанном режиме (частота вращения несколько выше нормальной).[18,19]

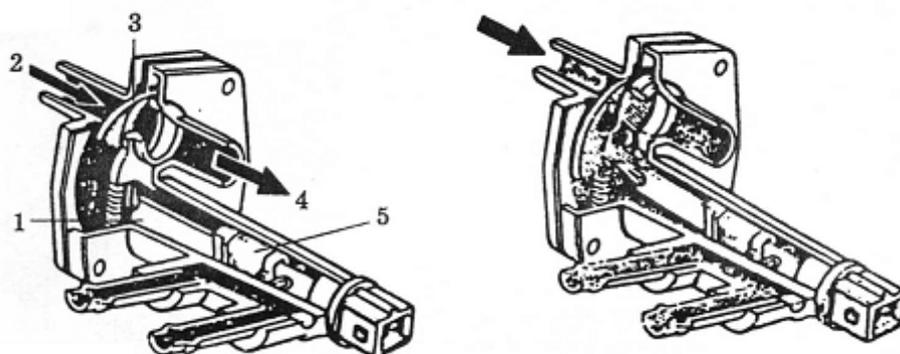


Рис. 2.2. Действие воздушного клапана в зависимости от температуры:

- 1 – биметалл, 2 – от трубки разъема подачи воздуха, 3 – шиббер,
- 4 – к камере поступления воздуха, 5 – обмотка нагревателя

После прогрева двигателя за счет действия биметаллической пружины клапан перекрывает подачу воздуха. Начальная проверка клапана: при температуре охлаждающей жидкости ниже 60°C пережмите шланг

подачи воздуха. Частота вращения коленчатого вала двигателя должна резко снизиться. Повторите ту же проверку на прогретом двигателе. При пережатии шланга частота вращения коленчатого вала двигателя должна снизиться не более чем на 50 об/мин.

Электромагнитный клапан ускоренного холостого хода предотвращает неустойчивость частоты вращения коленчатого вала двигателя при прогреве двигателя, обеспечивая более высокую частоту вращения вала двигателя в этом режиме. Когда атмосферное давление составляет 660 ммрт.ст. или ниже, клапан открывается и обеспечивает подачу дополнительного воздуха по байпасному каналу во впускной коллектор. Электромагнитный клапан управления ускоренным холостым ходом открыт при температуре охлаждающей жидкости ниже  $-15^{\circ}\text{C}$ , а также при температуре охлаждающей жидкости ниже  $40^{\circ}\text{C}$ , если атмосферное давление ниже 660 ммрт.ст. На некоторых моделях он также открыт при скорости автомобиля выше 25 км/час и частоте вращения коленчатого вала двигателя выше 2000 об/мин. Вакуум создается в шланге между клапаном и трубкой подачи воздуха. При открытом состоянии клапана напряжение на нем должно быть не менее 9 В. Для проверки клапана отсоедините провод питания клапана, отсоедините вакуумный шланг от трубки подачи воздуха и подайте воздух в этот шланг. Воздух не должен проходить. Подайте питание на клапан от аккумулятора, отсоедините шланг между впускным коллектором и клапаном и подайте воздух в шланг между клапаном и трубкой подачи воздуха. Воздух должен проходить. Клапан регулируется на заводе-изготовителе и не требует разборки при эксплуатации. Перед дальнейшей проверкой клапана убедитесь в нормальном функционировании системы принудительной вентиляции картера двигателя и в нормальном состоянии элементов этой системы.

## Ресивер и впускной коллектор

В корпусе дроссельной заслонки установлены заслонка и датчик ее положения, а также имеется обходной канал подачи воздуха на холостом ходу и различные каналы разрежения для различных устройств, снижающих уровень токсичных веществ, например, клапан рециркуляции отработавших газов EGR. Все рабочие настройки положения заслонки и регулятора холостого хода выполнены на заводе, поэтому в процессе эксплуатации автомобиля регулировать холостой ход не требуется. Показатели работы двигателя и его токсичность можно улучшить за счет оптимизации формы впускного коллектора и ресивера. В результате повышается наполняемость цилиндров, а значит, увеличивается мощность и крутящий момент двигателя.

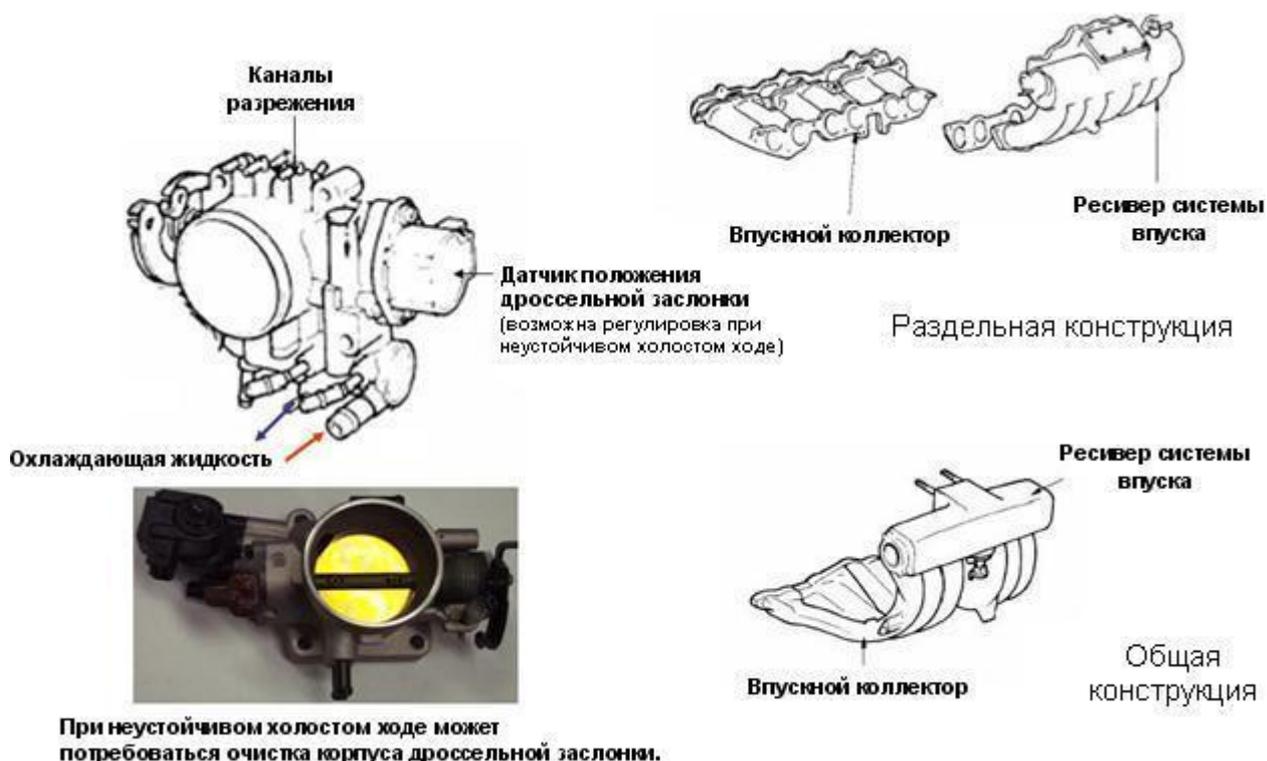


Рис. 2.3. Элементы проектируемой системы

На зарубежных автомобилях применяется два типа впускных коллекторов: объединенный вместе с ресивером и отдельный. В обоих

случаях подача топлива форсунками производится в нижнюю часть коллектора, примыкающую к впускным каналам. Благодаря этому системы впрыска имеют преимущества по сравнению с карбюраторными, так как здесь не образуется топливной пленки на поверхности впускного коллектора. Это снижает уровень выбросов загрязняющих веществ и повышает топливную экономичность. Сравнительно недавно стали применяться впускные коллекторы переменной геометрии, целью которых является повышение наполняемости цилиндров на разных режимах работы двигателя. Заслонку и ее положение необходимо проверить и отрегулировать в случае неравномерности холостого хода. Возможно, при проведении технического обслуживания потребуются очистить корпус дроссельной заслонки. В этом случае следует обратиться к разделу «Эксплуатация и техническое обслуживание автомобиля». Необходимо использовать заводскую инструкцию, неукоснительно соблюдать меры предосторожности и порядок действий.[18,19]

### **Дифференциальное уравнение проектируемого впускного коллектора**

Режим работы впускного коллектора определяется соотношением количества воздуха  $G_d$ , расходуемого в единицу времени собственно двигателем, и количества воздуха  $G_a$ , поступающего в объем  $V_v$  впускного коллектора из окружающей среды (в двигателях без наддува), или  $G_k$  — из нагнетателя 1 (в двигателях с наддувом).

Установившийся режим работы коллектора может поддерживаться при выполнении условия статического равновесия.

При нарушении установившегося режима работы составляющие уравнения получают приращения  $\Delta G_d$  и  $\Delta G_k$  (в общем случае неравные между собой). Нарушение условия статического равновесия приводит к

изменению массы воздуха, сосредоточенной в коллекторе, на  $dG$  за элементарный интервал времени  $dt$ . Для дизеля с наддувом

$$dG = (G_k - G_d) dt$$

или, так как

$$G_k = G_{k0} + \Delta G_k$$

и

$$G_d = G_{d0} + \Delta G_d,$$

то

$$dG = [(G_{k0} + \Delta G_k) - (G_{d0} + \Delta G_d)] dt.$$

С учетом условия (3) уравнение примет вид

$$\frac{dG}{dt} = \Delta G_k - \Delta G_d. \quad (2.1)$$

Количество воздуха, сосредоточенного во впускном коллекторе

$$G = V_v \rho_k,$$

где  $V_v$  — объем впускного коллектора (величина постоянная);  $\rho_k$  — плотность воздуха

Следовательно,

$$\frac{dG}{dt} = V_v \frac{d\rho_k}{dt}.$$

Сжатие (или расширение) воздуха во впускном коллекторе может быть принято политропным:

$$p_k \rho_k^{-n_k} = \text{const}$$

с постоянным показателем политропы  $p_k$ . Дифференцированием можно найти связь приращений плотности и давления воздуха за элементарный интервал времени:

$$\frac{dp_k}{dt} = \frac{\rho_k}{n_k \rho_k} \frac{dp_k}{dt}.$$

Если учесть полученные соотношения в уравнении (2.2.1), то оно примет вид

$$\frac{V_B \rho_k}{n_k \rho_k} \frac{dp_k}{dt} = \Delta G_k - \Delta G_d. \quad (2.2)$$

При невысоких давлениях наддува изменением температуры воздуха во впускном коллекторе можно пренебречь и термодинамические процессы во впускном коллекторе и принять изотермными. В этом случае

$$p_k V_B = G R_B T_k,$$

откуда

$$G = \frac{p_k V_B}{R_B T_k};$$

здесь  $R_B$  — газовая постоянная.

Так как при изотермном процессе

$$\frac{V_B}{R_B T_k} = \text{const},$$

то уравнение (2.2.1) получит вид

$$\frac{V_B}{R_B T_k} \frac{dp_k}{dt} = \Delta G_k - \Delta G_d.$$

Количество воздуха, поступающего из коллектора в двигатель, определяется выражением

$$G_{\text{д}} = \frac{\eta_{\text{в}} \varphi_{\text{а}} i_{\text{д}}}{\pi \tau_{\text{д}}} V_{\text{h}} \rho_{\text{к}} \omega,$$

где  $\eta_{\text{в}}$  — коэффициент наполнения двигателя;  $\varphi_{\text{а}}$  — коэффициент продувки;  $i_{\text{д}}$  — число цилиндров;  $\tau_{\text{д}}$  — тактность двигателя;  $V_{\text{h}}$  — рабочий объем цилиндра;  $\rho_{\text{к}}$  — плотность сжатого воздуха;  $\omega$  — угловая скорость коленчатого вала.

Коэффициент наполнения  $\eta_{\text{в}}$  в общем случае зависит от давления наддува  $p_{\text{к}}$ , скоростного и нагрузочного режимов работы двигателя. Однако в пределах нагрузочной характеристики изменение  $\eta_{\text{в}}$  сравнительно невелико, поэтому этой зависимостью можно пренебречь без внесения в расчеты заметной ошибки. В связи с этим

$$\eta_{\text{в}} = f(p_{\text{к}}; \omega).$$

Плотность воздуха  $\rho_{\text{к}}$  определяется давлением наддува и его температурой. При невысоких  $p_{\text{к}}$  изменением температуры наддувочного воздуха можно пренебречь и принять

$$\rho_{\text{к}} = f(p_{\text{к}}; \omega).$$

Учет полученных функциональных зависимостей позволяет установить, что

$$G_{\text{д}} = f(p_{\text{к}}; \omega).$$

После разложения полученной зависимости в ряд Тейлора и последующей линеаризации

$$\Delta G_{\text{д}} = \frac{\partial G_{\text{д}}}{\partial p_{\text{к}}} \Delta p_{\text{к}} + \frac{\partial G_{\text{д}}}{\partial \omega} \Delta \omega. \quad (2.3)$$

Количество воздуха  $G_k$ , подаваемого компрессором, также зависит от давления наддува  $p_k$  во впускном коллекторе и угловой скорости  $\omega_k$  ротора турбокомпрессора.

Если двигатель оборудован регулируемым наддувом, на производительность нагнетателя, кроме названных параметров, влияет положение  $h_k$  лопаток диффузора, поэтому

$$G_k = f(p_k; \omega_k; h_k).$$

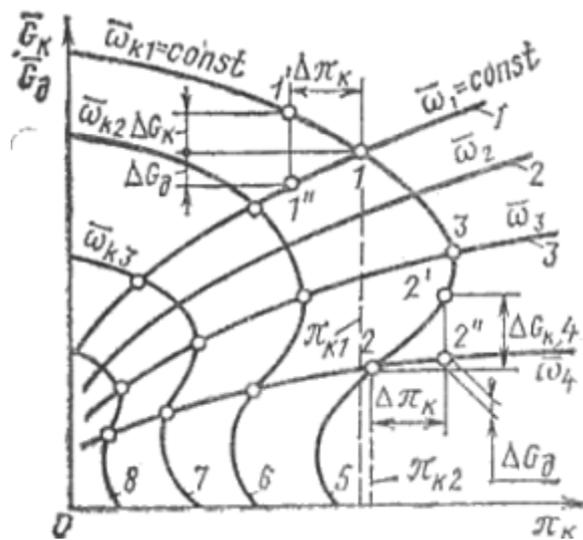


Рис.2.4 Условия обеспечения установившегося режима работы впускного коллектора:

1—4 — характеристики двигателя  $\bar{G}_d = f(\pi_k, \text{при } \bar{\omega} = \text{const})$ ; 5—8 — характеристики нагнетателя  $\bar{G}_k = f(\pi_k, \text{при } \bar{\omega}_k = \text{const})$

В соответствии с этой зависимостью

$$\Delta G_k = \frac{\partial G_k}{\partial p_k} \Delta p_k + \frac{\partial G_k}{\partial \omega_k} \Delta \omega_k + \frac{\partial G_k}{\partial h_k} \Delta h_k. \quad (2.4)$$

Подстановка выражений (2.3) и (2.4) в уравнение (2.2) приводит

$$\frac{V_{впк}}{n_k p_k} \frac{dp_k}{dt} + \left( \frac{\partial G_d}{\partial p_k} - \frac{\partial G_k}{\partial p_k} \right) \Delta p_k = \frac{\partial G_k}{\partial \omega_k} \Delta \omega_k - \frac{\partial G_d}{\partial \omega} \Delta \omega + \frac{\partial G_k}{\partial h_k} \Delta h_k. \quad (2.5)$$

Для отыскания условий, обеспечивающих поддержание равновесных режимов работы впускного коллектора, необходимо совместить характеристики компрессора  $G_k = f(\pi_k)$ , подающего воздух в объем впускного коллектора, и воздушные характеристики двигателя  $G_d = f(\pi_k)$ , так это сделано на рис. 2.4. Условие выполняется в точках 1, 2, 3 и др., образуемых пересечением этих характеристик.[13]

Установившиеся режимы течением времени могут нарушаться. Например, при уменьшении  $\pi_{k1}$  на  $\Delta \pi_{k1}$  (без изменения скоростных режимов) равновесный режим 1 нарушится, так как  $G_{k1}$  получит приращение  $\Delta G_{k1}$ , а изменится на  $\Delta G_{d1}$ . Вследствие этого в объеме коллектора с течением времени будет накапливаться воздух, что приведет к восстановлению давления  $\pi_{k1}$  в точке 1. Устойчивость режима в точке 1 тем выше, чем больше разность расходов воздуха:

$$\Delta G = \Delta G_{k1} + \Delta G_{d1}$$

при заданном изменении давления  $\Delta \pi_{k1}$  или  $\Delta p_k$ . Поэтому устойчивость равновесного режима работы впускного коллектора можно оценить отношением

$$F_v = \frac{\Delta G}{\Delta p_k},$$

называемым фактором устойчивости впускного коллектора. Так как при линеаризации

$$\Delta G_{\kappa} = - \frac{\partial G_{\kappa}}{\partial p_{\kappa}} \Delta p_{\kappa} \text{ и } \Delta G_{\text{д}} = \frac{\partial G_{\text{д}}}{\partial p_{\kappa}} \Delta p_{\kappa},$$

то

$$F_{\text{в}} = \frac{\partial G_{\text{д}}}{\partial p_{\kappa}} - \frac{\partial G_{\kappa}}{\partial p_{\kappa}}. \quad (2.6)$$

Чем больше положительное значение  $F_{\text{в}}$ , тем более устойчив режим работы впускного коллектора.

По-иному протекает режим работы в точке 2. При возрастании давления наддува на  $\Delta p_{\kappa 2}$  увеличение подачи воздуха в компрессор  $\Delta G_{\kappa 2}$  оказывается большим увеличения расхода воздуха  $\Delta G_{\text{д}2}$  в двигателе. В связи с этим в объеме впускного коллектора будет сосредотачиваться все большее количество воздуха, что приведет к дальнейшему увеличению давления наддува. Следовательно, режим работы в точке 2 неустойчив. Действительно, в рассматриваемом случае

$$\left| \frac{\partial G_{\kappa}}{\partial p_{\kappa}} \right| > \frac{\partial G_{\text{д}}}{\partial p_{\kappa}},$$

Поэтому  $F_{\text{в}} < 0$ .

При приближении к режиму работы в точке 3 производная  $dG_{\kappa} / dp_{\kappa} \rightarrow \infty$ , поэтому производную  $dG_{\kappa} / dp_{\kappa} > 0$  часто не учитывают при оценке устойчивости работы впускного коллектора. Ее можно оценивать только по форме статической характеристики компрессора. Так, если  $dG_{\kappa} / dp_{\kappa} < 0$  (выше точки 3), то  $F_{\text{в}} > 0$  и режим работы устойчив; если  $dG_{\kappa} / dp_{\kappa} > 0$  (ниже точки 3), то режим работы неустойчив. Следовательно, точка 3 является своеобразной границей между устойчивыми и неустойчивыми участками статической характеристики компрессора (в данном случае центробежного). Наличие этой границы в статической характеристике может привести при определенных условиях к неустойчивой работе впускного коллектора и компрессора, к появлению автоколебаний или помпажа.

В действительности граница помпажа может и не совпадать точно с точкой 3, так как на помпаж влияют и некоторые другие обстоятельства.

Если учесть, что  $p_k = p_{k0} + \Delta p_k$ , где  $p_{k0}$  — давление наддува на выбранном установившемся режиме, и подставить в уравнение (2.5) фактор устойчивости (2.6), то уравнению можно придать вид

$$\frac{V_{в} p_{к}}{n_{к} p_{к}} \frac{d\Delta p_{к}}{dt} + F_{в} \Delta p_{к} = \frac{\partial G_{к}}{\partial \omega_{к}} \Delta \omega_{к} - \frac{\partial G_{д}}{\partial \omega} \Delta \omega + \frac{\partial G_{к}}{\partial h_{к}} \Delta h_{к}.$$

Деление всех членов на коэффициент при  $\Delta p_k$ , приводит уравнение к виду

$$T_{в} \frac{d\Delta p}{dt} + k_{в} \Delta p = \varphi_{к} - \theta_{в} \Delta \omega + \theta_{в h} \Delta h. \quad (2.7)$$

Время впуска коллектора

$$T_{в} = \frac{V_{в} p_{к}}{n_{к} \frac{\partial G_{к}}{\partial \omega_{к}} \omega_{к0}} \quad (2.8)$$

характеризует инерционность впускного коллектора. Инерционность тем больше, чем больше объем  $V_{в}$  коллектора и меньше производная  $dG_{к} / d\omega_{к}$  характеризующая скорость нарастания производительности компрессора по мере увеличения угловой скорости его ротора.

Коэффициент самовыравнивания впускного коллектора (безразмерный)

$$k_{в} = \frac{F_{в} p_{к0}}{\frac{\partial G_{к}}{\partial \omega_{к}} \omega_{к0}} \quad (2.9)$$

характеризует способность коллектора поддерживать заданный равновесный режим.[30]

Коэффициент усиления по угловой скорости коленчатого вала двигателя (безразмерный)

$$\theta_B = \frac{\frac{\partial G_D}{\partial \omega} \omega_0}{\frac{\partial G_K}{\partial \omega_K} \omega_{K0}} \quad (2.10)$$

характеризует эффективность воздействия на впускной коллектор изменения скоростного режима двигателя.

Коэффициент усиления по настройке диффузора (безразмерный)

$$\theta_{bh} = \frac{\frac{\partial G_K}{\partial h_K} h_{K0}}{\frac{\partial G_K}{\partial \omega_K} \omega_{K0}}$$

характеризует эффективность воздействия на впускной коллектор изменения положения лопаток диффузора компрессора.

В операторной форме записи уравнение (2.7) имеет вид

$$d_B(p) \rho = \varphi_K - \theta_B \varphi + \theta_{bh} \chi_K, \quad (2.11)$$

где собственный оператор коллектора

$$d_B(p) = T_B p + k_B. \quad (2.12)$$

Большинство двигателей внутреннего сгорания имеют впускные коллекторы с таким объемом  $V_B$ , что числовые значения времени  $T_B$  весьма малы и практически не оказывают влияния на динамические свойства элемента. В связи с этим во многих случаях можно пренебрегать объемом

впускного коллектора и принимать условие  $T_b \approx 0$ . С учетом этого уравнение (2.11) примет вид

$$k_b \rho = \varphi_k - \theta_b \varphi + \theta_{bh} x_k. \quad (2.13)$$

После деления на собственный оператор уравнение (2.11) будет

$$\rho = Y_{b^k}^{\varphi}(p) \varphi_k + Y_b^{\varphi}(p) \varphi + Y_b^x(p) x_k, \quad (2.14)$$

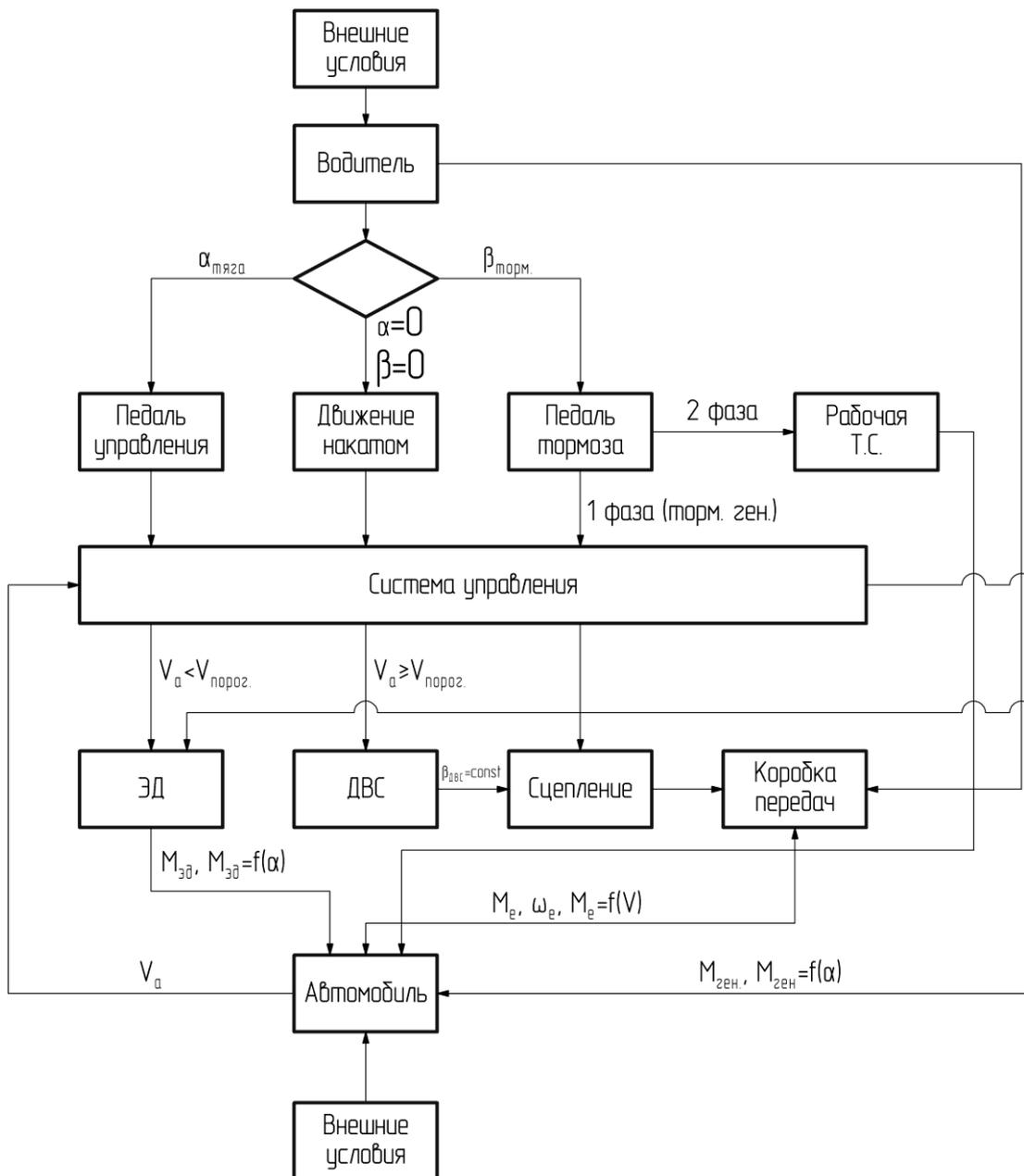


Рис. 2.5. Структурная схема имитационной математической модели.

Благоприятная для наполнения цилиндров длина впускного коллектора зависит от оборотов двигателя. В этой связи оптимальным решением является впускной коллектор с изменяемой геометрией: при низких оборотах длинный впускной тракт обеспечивает высокий крутящий момент и хорошую приемистость двигателя; при более высоких оборотах короткий впускной тракт позволяет двигателю развить высокую мощность. Такая гибкость создает основу для оптимального изменения крутящего момента, хороших показателей разгона и эластичности работы двигателя. У 4-цилиндрового двигателя 4 установлен впускной коллектор изменяемой длины. С помощью двух подвижных заслонок в системе всасывания можно менять частоту колебаний встречного и нагнетаемого воздуха, что оказывает непосредственное влияние на величину крутящего момента двигателя. Благодаря обеим заслонкам при такой системе создаются три различных режима прохода воздуха. Заслонки имеют пневматический привод от вакуумных камер. Разряжение подается через электроклапаны к соответствующей камере. Электроклапаны управляются от прибора управления.

При нагнетании воздуха поршни создают сильное разрежение, которое при открытых впускных клапанах вызывает движение воздуха в системе всасывания. Если впускные клапаны внезапно закрываются, то воздух «спружинивает» назад — в трубопроводе всасывания возникает колебание. Его частота зависит от длины трубопровода всасывания, числа оборотов двигателя и фаз газораспределения двигателя. Если колебания входят в резонанс, достигается определенный эффект нагнетания. При помощи заслонок можно создавать условия резонанса в широком диапазоне оборотов.[13]

1. При числе оборотов до 2550 мин-1 обе заслонки закрыты, объем воздуха в системе всасывания может колебаться на участке до клапана управления давлением.

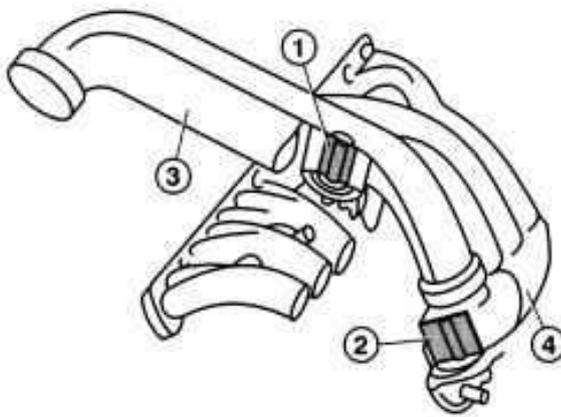


Рис. 2.6. Впускной коллектор изменяемой длины: 1, 2 – заслонки; 3 – впускная система; 4 – впускной коллектор

2. От 2550 до 3350 мин-1 открывается заслонка 1 (рис. 2.2.4), колебания прекращаются на заслонке 1.

3. При числе оборотов более 3350 мин-1 открываются заслонки 1 и 2, колебания доходят до впускного коллектора.

Эти переключения используются только в режиме полной нагрузки двигателя. Чтобы при частичной нагрузке добиться низкого потребления топлива и чистого сгорания, необходимы другие комбинации частот объемов воздуха и числа оборотов. Поэтому к расчетному моменту времени электронное управление активирует как управляющий клапан, так и возврат отработавших газов.

Впускной коллектор с изменяемой длиной тракта Крепежные болты впускного коллектора 1,5 литрового и 1,6-литрового 4-цилиндровых двигателей должны быть затянуты в указанной

последовательности. Только так можно предотвратить перекося впускного коллектора при установке.

Слева: заслонки впускного коллектора с изменяемой длиной тракта 1,5-литрового 4-цилиндрового двигателя приводятся посредством отмеченного стрелкой мембранного механизма.

Справа: этот «клапан для переключения последовательного впускного коллектора» (стрелка) определяет, может ли разреженный воздух попасть на мембранный механизм. Клапан расположен справа сзади в моторном отсеке у расходомера воздуха.



Рис. 2.7. Слева: заслонки впускного коллектора с изменяемой длиной тракта, справа: этот «клапан для переключения последовательного впускного коллектора»

Модели с 1,5-литровым 4-цилиндровым двигателем. Длинный впускной коллектор небольшого диаметра обеспечивает высокий крутящий момент уже при низкой частоте вращения. Для высокой мощности двигателя при высокой частоте вращения его вала, наоборот,

необходим короткий впускной коллектор с большим поперечным сечением. [52,53]

Чтобы скомбинировать одно с другим, нужен новый впускной коллектор с изменяемой длиной тракта. В зависимости от режимов работы у него внутри закрываются и открываются шесть заслонок. Тем самым для каждого цилиндра предоставляется впускной коллектор разной длины и разного поперечного сечения: либо впускной коллектор для крутящего момента (длинная труба с маленьким диаметром), либо мощностной впускной коллектор (короткая труба с большим поперечным сечением). Все шесть заслонок приводятся в действие разрежением и управляется в зависимости от частоты вращения: до 4000 об/мин они остаются закрытыми для достижения высокого крутящего момента. Свыше 4000 об/мин они полностью открываются для достижения высокой мощности. Ниже 4000 об/мин при помощи впускного коллектора крутящего момента по сравнению с мощностным впускным коллектором выигрывается до 30 Н•м.

1,5-литровый двигатель развивает свой максимальный крутящий момент 245 Н•м при 3000 об/мин с условием применения бензина АИ-91; с применением АИ-95 его крутящий момент повышается до 250 Н•м. В широком диапазоне от 2000 об/мин до 5500 об/мин развивается крутящий момент по меньшей мере 220 Н•м.

### **Изменяемый по длине впускной коллектор**

Изготовленный для облегчения веса из пластика впускной коллектор имеет управляемый поворотный золотниковый клапан, позволяющий изменять длину впускного тракта. На низких оборотах он открыт для увеличения впускного тракта до 540 мм, что обеспечивает оптимальное использование инерции воздушного потока для более эффективного

наполнения цилиндров и увеличения крутящего момента. При высоких оборотах двигателя клапан перекрывается, уменьшая рабочую длину впускного коллектора до 270 мм, для улучшения наполнения цилиндров и увеличения мощности двигателя.

В чем суть технологии и зачем она нужна. Впускной тракт, который образуют последовательно воздушный фильтр, дроссель или карбюратор, впускной коллектор и клапана, существенно влияет на процессы наполнения цилиндров горючей смесью. Поток воздуха, проходящий по впускному тракту, подвержен колебаниям и образует совместно с деталями тракта колебательную систему. Таким образом процессы наполнения цилиндров сильно зависят от параметров этого колебательного контура. Добиться работы такой системы во всем диапазоне нагрузок и оборотов, крайне сложно. Отсюда пришла идея изменять параметры колебательной системы в процессе работы. Исследования показывают, что при коротком впускном коллекторе мотор лучше работает на высоких оборотах, при низких оборотах более эффективен длинный впускной тракт.

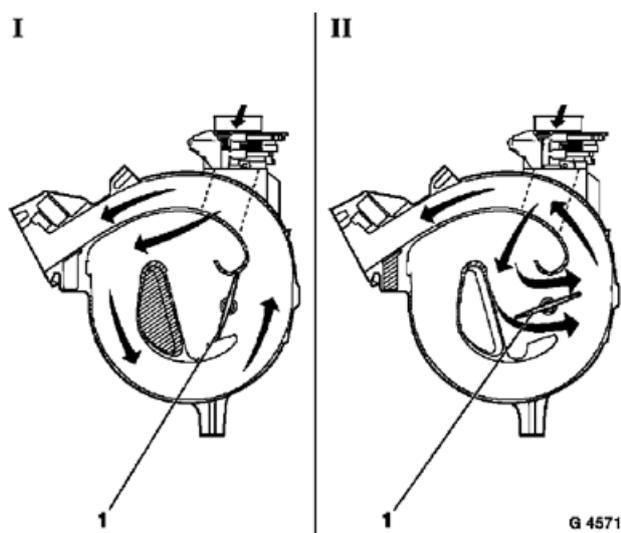


Рис. 2.8. Схема управляемого впускного коллектора

Естественно напрашивалось решение сделать впускной тракт переменной длины и управлять им в зависимости от оборотов и нагрузки.

Реализация на двигателях 1,5 литром. Одной из систем, относящихся к классу систем изменения геометрии впускного тракта, является система изменения длины впускного коллектора. Впускной коллектор был сконструирован таким образом, что переключая внутреннюю заслонку воздух направлялся коротким путем при полных нагрузках, и длинным путем при частичных. Функции исполнительного механизма выполняет вакуумный регулятор (2), который в зависимости от нагрузки двигателя переключает заслонки во впускном коллекторе (1).

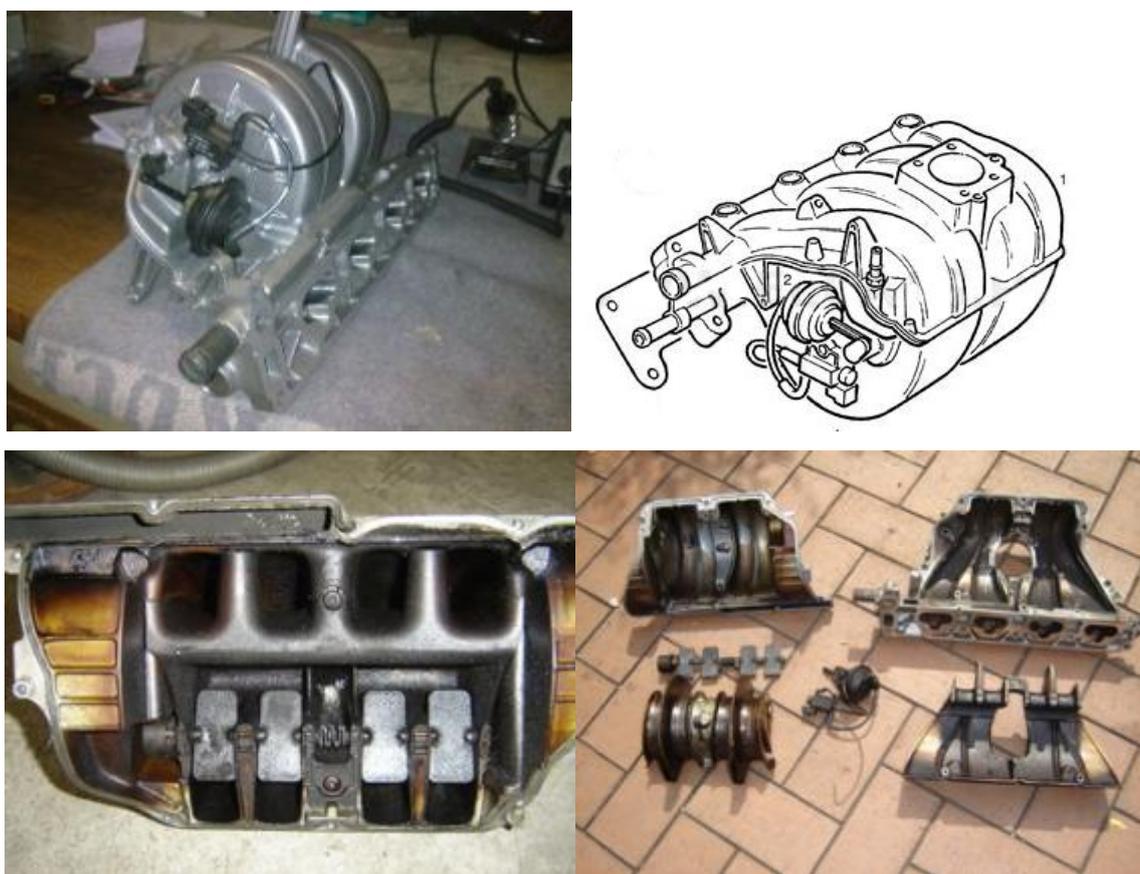


Рис. 2.9. Фотографии изготовленного управляемого впускного коллектора

Реализация на двигателе 1,5 литром.

В пластиковый впускной коллектор, встроен вращающийся барабан. Этот барабан приводится в действие сервомотором, который управляется от блока управления двигателем. В зависимости от положения барабана, воздух направляется по короткому или длинному пути. Электронное управление позволяет более точно управлять длиной воздушного столба в зависимости от режима работы мотора. [52]

### **2.3. Расчет экономической эффективности.**

**Целью расчета экономической эффективности** является выдвижение основных подходов к расчету показателей, характеризующих эффективность научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ выполненных в рамках магистерской диссертации, включая определение перечня показателей, областей допустимых значений и рекомендаций по интерпретации показателей в дорожно-транспортной сфере. Для установления основных методов расчётов и обоснований экономической эффективности инвестиций в целях повышения эффективности транспортного производства при разработке инвестиционных проектов и анализе их выполнения, при проектировании строительства и внедрении новой техники, технологии, разработке и обосновании организационно-экономических и организационно-технических мероприятий по развитию и совершенствованию производства на действующих предприятиях отрасли.

Определение эффективности имеет целью выбор и экономическое обоснование наилучших вариантов создания новых, расширения и реконструкции действующих предприятий и сооружений и их комплексов,

разработки новых технологических процессов, оборудования, машин, материалов и других видов техники, обеспечивающих развитие отрасли.

Эффект научных исследований и разработок проявляется в результате их взаимодействия с факторами экономического роста – капитальными вложениями, рабочей силой, образованием, организацией информационных служб и др.

Понятия "экономический эффект" и "экономическая эффективность" относятся к числу важнейших экономических категорий. В обыденной жизни мы часто употребляем слова "эффект" и "эффективность", отождествляя их соответственно с понятиями "результат" и "результативность". Эффект и эффективность тесно связаны между собой, однако они имеют и определённые различия.

Основными показателями экономической эффективности мероприятий по совершенствованию организационного, технологического и технического нововведения являются:

- рост производительности труда;
- годовой экономический эффект или экономия приведенных затрат.

Выполнение экономических расчетов целесообразно производить в следующей последовательности:

1. Приводятся основные технико-экономические показатели работы объекта (предприятия), для которого разрабатывается проект.

2. На основе анализа результатов деятельности предприятия формулируются предлагаемые новации и направления ожидаемых усовершенствований от проектируемого мероприятия.

3. Приводятся характеристики и параметры действующих технологий, с отражением цифровых материалов.

4. Рассчитываются потребные для внедрения проекта инвестиции, исходя из действующих на момент внедрения цен на подвижной состав, оборудование, строительные-монтажные работы.

5. Рассчитываются текущие затраты.
6. Рассчитываются финансовые показатели проекта.
7. Определяются показатели эффективности инвестиций.

а) расчет материальных затрат, необходимых по технологии выбранного проекта производится исходя из проектируемого расхода в натуральных единицах и действующих цен на эти ресурсы. К материальным ресурсам относятся: горюче-смазочные материалы, автошины, запасные части, краски и иные материалы, электроэнергия, водоснабжение и т.п.

Затраты по всем материальным ресурсам суммируются:

По итога опроса и подсчетов можно сделать выводы: если же автомобиль в день проезжает около 300 километров и этот автомобиль работает около 8 часов в день и из них около 50 минут ДВС эксплуатируется на холостом ходу, это приблизительно 30% работы двигателя, то в этом случае с помощью мехатроники, регулируя холостой ход ДВС и дроссельную заслонку, можно уменьшить расход топлива на холостом ходу на 20% в день. По подсчетам в день автомобиль в среднем на холостой ход расходует около 3,5 литра. 20% из 3,5 литров получается 0,7 литра. То есть мы с каждой машины в день экономим около 0,7 литра топлива, а если это число умножить на количество автомобилей этой модификации, эксплуатируемых в городе, получится большое число. Это означает большая экономия топлива.

Экологический подход к этой работе таков, что когда автомобиль расходует меньше топлива на холостом ходу то и выброс вредных веществ в окружающую среду уменьшится в много раз.

1 литр бензина АИ-91 стоит 1820 сум.

На холостой ход уходит 3,5 литров бензина АИ-91 в день с обычным типом коллектора.

$$Z_{mi} = C_{mi} * K_i = 1820 * 3,5 = 6552 \text{ сум.}$$

На холостой ход уходит 2,8 литров бензина АИ-91 в день с управляемым типом коллектора (с переменной формой геометрии).

$$Z_{mi} = C_{mi} * K_i = 1820 * 2,8 = 5096 \text{ сум.}$$

где  $Z_{mi}$  - затраты на данный материальный ресурс (сум);  $C_{mi}$  - цена единицы материального ресурса (сум);  $K_i$  - потребное количество по проекту каждого материального ресурса.

$$Z_M = \sum_i Z_{Mi} ,$$

Если экономия достигается только по какому-либо одному элементу себестоимости, то годовую экономию расходов можно подсчитывать только по этому элементу.

Средний пробег автомобиля Нексия (такси) приблизительно в год равен 60000 тысяч километров.

С управляемым типом коллектора автомобиль в день экономит 0,7 литра бензина, а в году в среднем 210 литров бензина.

$$\mathcal{E}_z = ((S_2 - S_1) * L_z) * A = ((6552 - 5096) * 210) * 1500 = 458640000 \text{ суммов в год.}$$

где  $S_1, S_2$  - эксплуатационные затраты до и после мероприятия на 1 км пробега;  $L_z$  - средняя годовая экономия расхода одного автомобиля данной марки (км);  $A$  - количество автомобилей данной марки эксплуатируемых в качестве такси.

При определении годовой экономии от внедрения новой техники за базу исчисления, т. е. за исходный вариант, с которым производится сопоставление, надо принимать фактические показатели автотранспортных предприятий и при этом исходные показатели брать с

таким же годовым объемом перевозок, который обеспечивается после внедрения новой техники. Если реконструкция автотранспортного предприятия и применение новой техники приводят к увеличению годового объема перевозок, то к исходным показателям по капитальным затратам должны быть добавлены дополнительные затраты в основные и оборотные фонды, которые потребовались бы для доведения годового объема перевозок до нового уровня. Соответственно должны быть скорректированы и показатели по себестоимости перевозок.

В случаях улучшения (повышения) первоначально принятых нормативных показателей функционирования объекта основных средств в результате проведенной достройки, дооборудования, реконструкции или модернизации, можно пересмотреть срок полезного использования по этому объекту начиная с даты завершения достройки, дооборудования, реконструкции или модернизации этого объекта.

В течение срока полезного использования объекта основных средств начисление износа не приостанавливается, кроме случаев в период достройки, дооборудования, реконструкции, модернизации, технического перевооружения объекта при условии его полной остановки.

## **Выводы по главе 2**

Во второй главе диссертации проведено теоретическое исследование мехатронной системы управления двигателем и его элементов, разработана методика исследования, и спроектирована выбранная система мехатронного управления и элементы управления двигателем внутреннего сгорания, то есть управляемый впускной коллектор, а также проделан расчет по управляемому впускному коллектору и расчет экономической эффективности данной системы мехатронного управления двигателем внутреннего сгорания.

## Глава 3. Экспериментальное исследование мехатронных систем управления двигателем отечественных автомобилей

### 3.1. Объект исследования

Объектом исследования выбран двигатель внутреннего сгорания производимый в Республике Узбекистан на заводе GM Powertrain Uzbekistan. Этот бензиновый двигатель объёмом 1,5 литра будет выпускаться в основном для рынков Азиатско-Тихоокеанского региона.

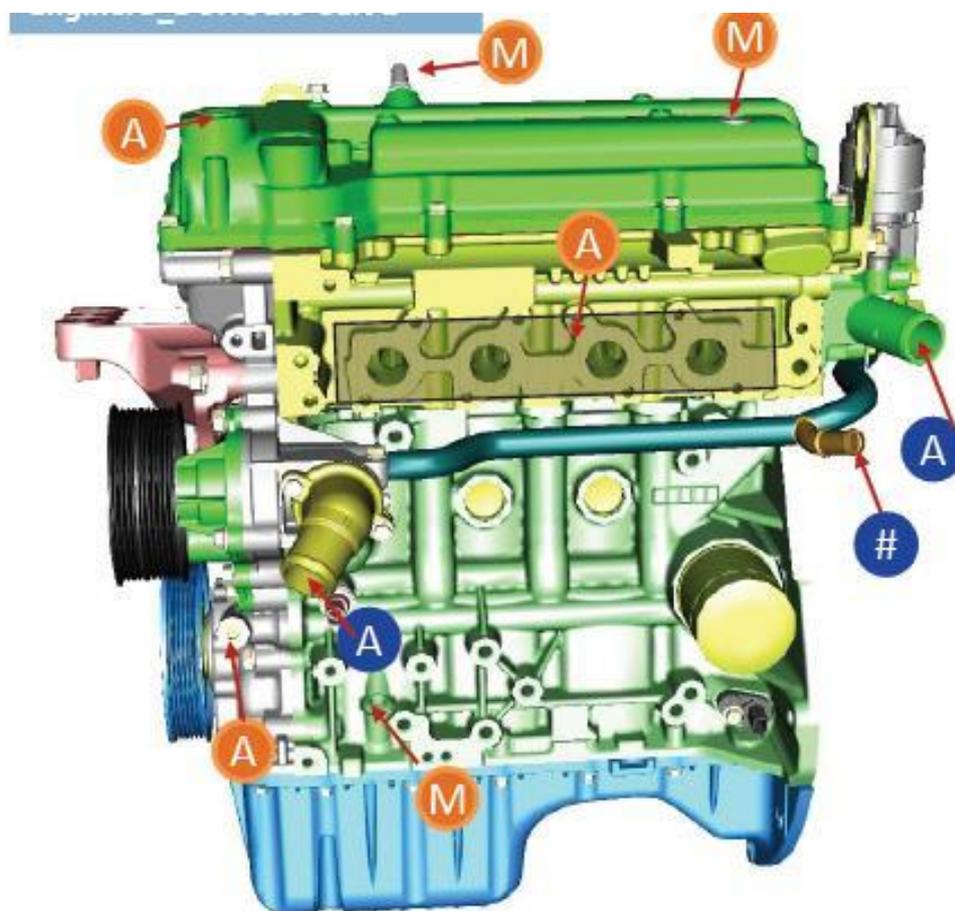


Рис. 3.1. Продольный вид объекта исследования.

В таблице 3.1 приведены технические характеристики двигателя внутреннего сгорания 1,5л, DOHC, 2-го поколения.

Таблица 3.1.

Параметры	B15D
Displacement (l) – рабочий объем	1.485
Boredistance (mm) – расстояние между осями цилиндров	79.7
Bore (mm) – диаметр цилиндра	74.7
Stroke (mm) - ход	84.7
Compression Ratio - степень сжатия	10.2:1
Number of cylinders – кол-во цилиндров	4
Number of valves/cylinder – кол-во клапанов	4
Max. Torque (Nm/rpm) – макс. вращение (нм/об. в мин)	134
Max. Power (kW/rpm) – макс. Мощность	72
Mass (kg) - масса	110
Engine Size L/W/H (mm) – размер двигателя Д/Ш/В	457 / 529 / 591
Emissions - эмиссия	Euro 5
Fuel Quality RON – качество топлива (Доп. Октан. чис)	95 (91-98)

С целью получения объективной оценки эффективности применения модификации дроссельного узла, были проведены исследования автомобиля Нексия на динамометрическом стенде до модификации дроссельного узла и после нее. В результате были замерены мощность двигателя **M1** (до модификации) и **M2** (после модификации) (ось **S\_PS** на **рис. 3.2**), крутящий момент **KpM1** и **KpM2** и коэффициент избытка воздуха **A1** и **A2** (ось **AFR: P** на **рис 3.1.3**). Замеры производились в диапазоне частоты вращения двигателя от **2450** об/мин до **6050** об/мин. Данный диапазон был обусловлен возможностями испытательного стенда.

Проанализируем изменение мощности двигателя с **M1** до модификации и **M2** после модификации. В диапазоне частот вращения двигателя **2450-2900** об/мин мощность выросла в среднем на **5%**, в

диапазоне **2900-3350** об/мин мощность (в среднем) практически не изменилась, в диапазоне от **3350-5150** мощность в среднем выросла на **7%**. В диапазоне **5150-6050** об/мин мощность выросла на **5%**.

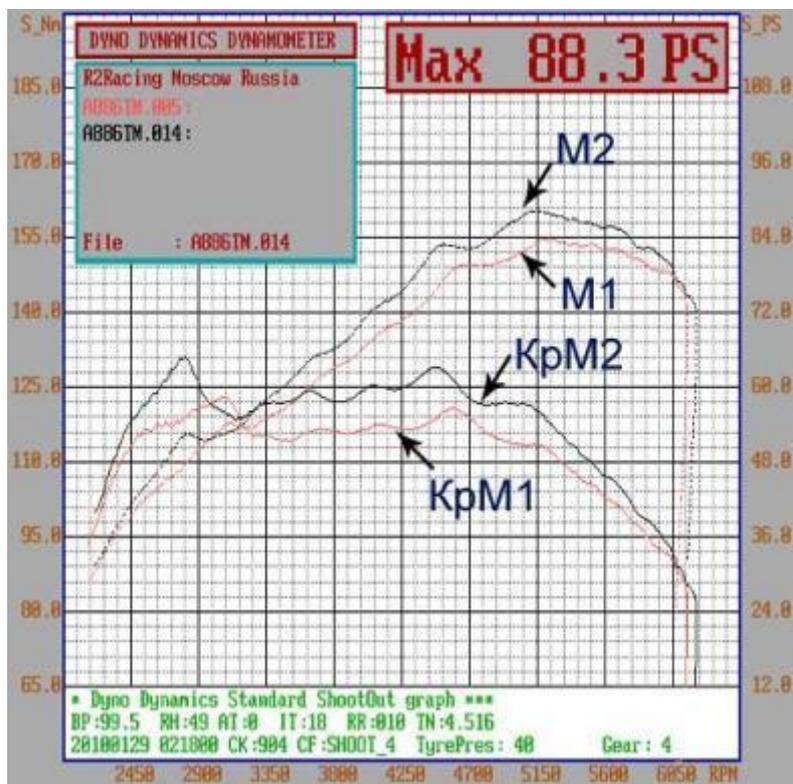


Рис. 3.2. **КрМ** - Крутящий момент; **М**– Мощность

Также проанализируем изменения крутящего момента и коэффициента избытка воздуха и сведены результаты в таблицу 3.2.

В результате мы видим, что при низких оборотах двигателя в 1 диапазоне частот **2450-2900** об/мин (к сожалению, мы не можем оценить более низкий диапазон), мы получаем заметное улучшение всех измеряемых параметров. Это достаточно существенное улучшение для работы в городском цикле. Автомобиль быстрее разгоняется за счет прироста мощности и крутящего момента и в то же время будет более экономичным за счет повышения коэффициента избытка воздуха и приближения состава смеси к стехиометрическому соотношению.

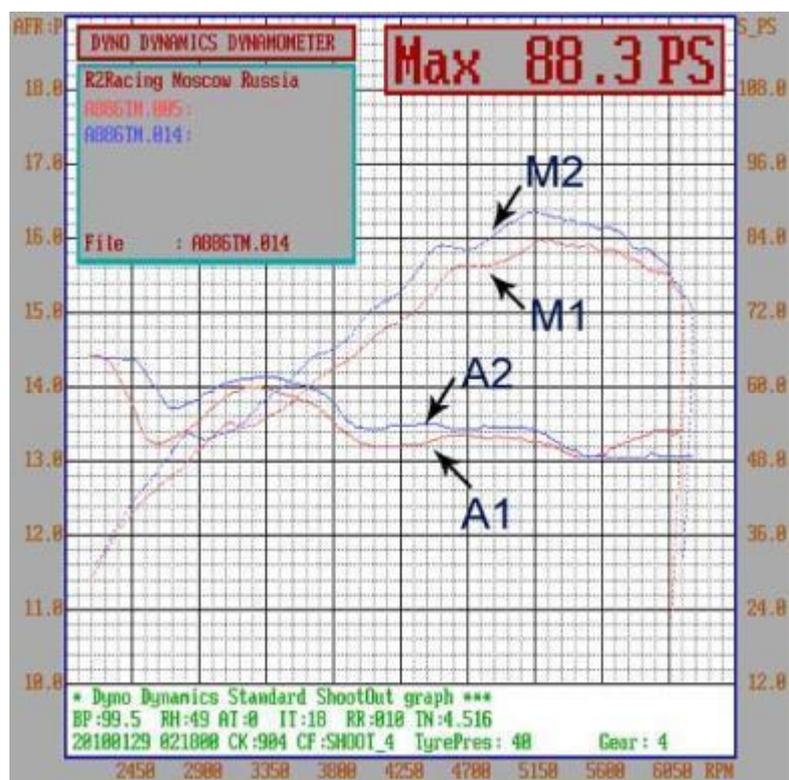


Рис. 3.3.Изменение коэффициента избытка воздуха в зависимости от мощности

Таблица 3.2.

Номер диапазона	Диапазон частот вращения коленвала - об/мин	Изменение мощности, - М	Изменение крутящего момента, - КрМ	Изменение коэффициента избытка воздуха, - А
1	<b>2450-2900</b>	<b>+5%</b>	<b>+7,7%</b>	<b>+4,3%</b>
2	2900-3350	0	0	<b>+1,5%</b>
3	<b>3350-5150</b>	<b>+7%</b>	<b>+7,7</b>	<b>+3%</b>
4	<b>5150-6050</b>	<b>+5%</b>	<b>+3%</b>	<b>+3%</b>

На рис.3.4 приводится зависимость коэффициента избытка воздуха (лямбда) и мощности автомобиля без модификации. В нашем случае после модификации автомобиля мы видим увеличение мощности при увеличении этого коэффициента ( $\lambda_2$ ). Это также приводит к лучшему сгоранию топлива и сопровождается уменьшением содержания  $\text{CO}$  и  $\text{CH}$  в выхлопных газах двигателя, что существенно для улучшения экологической обстановки, да и техосмотр пройти легче.

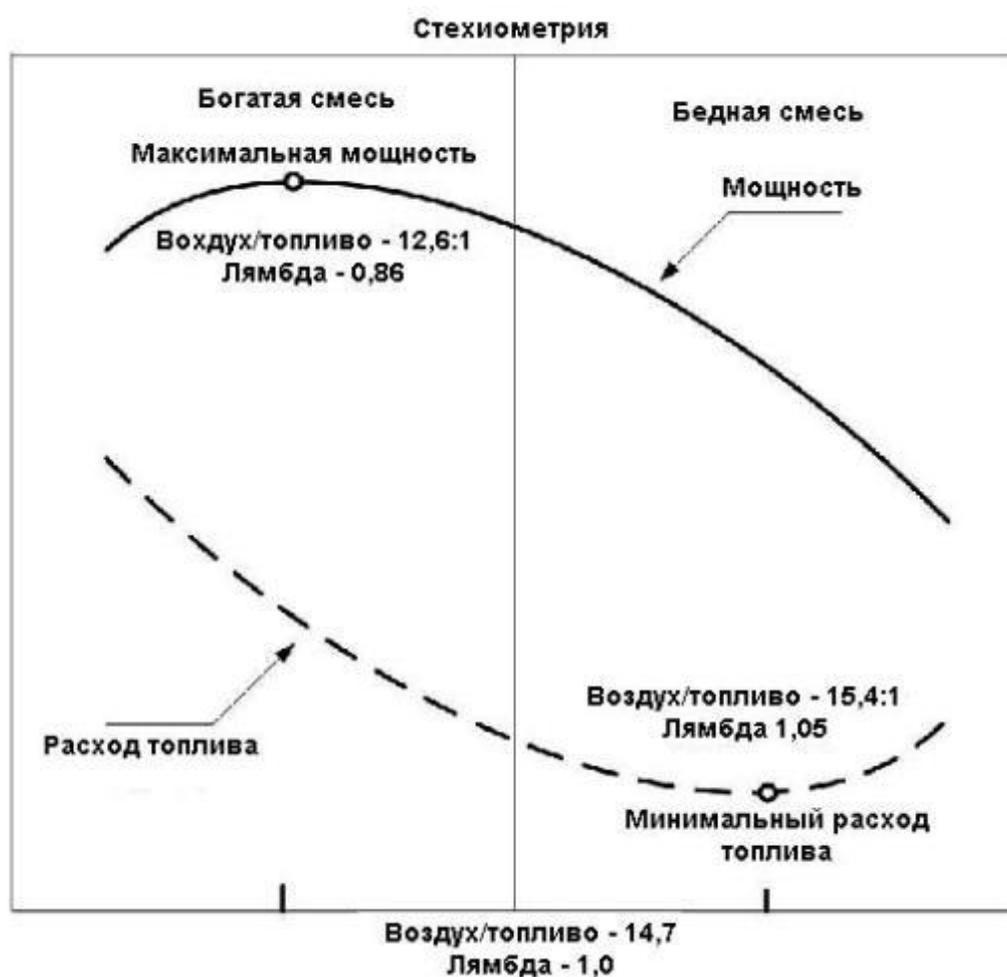


Рис.3.4. График изменение коэффициента избытка воздуха (лямбда) и мощности автомобиля без модификации

В следующем, втором диапазоне частот **2900-3350** об/мин такого существенного улучшения параметров не наблюдается - оно составляет

всего **1,5%**, но и хуже не становится. Этот диапазон не очень широк - **450** об/мин.

Следующий, третий диапазон частот - **3350-5150** (1800 об/мин) это достаточно широкий диапазон, обычно соответствует езде по трассе. Также как и в первом диапазоне, мы видим достаточно хорошее изменение всех параметров. Это говорит о том, что при езде по трассе автомобиль после модификации также будет достаточно экономичным, приемистым и мощным. [20,21,23]

Следующий 4 диапазон частот **5150-6050** об/мин практического применения обычно не имеет, хотя и в нем есть заметное улучшение основных параметров автомобиля.

### **3.2. Результаты экспериментальных исследований**

Подводя итоги данного исследования, можно сделать вывод, что модификация дроссельного узла привела к существенному улучшению основных параметров автомобиля - его мощности, крутящего момента и экономичности.



Рис. 3.5. График мощности и крутящего момента до модификации

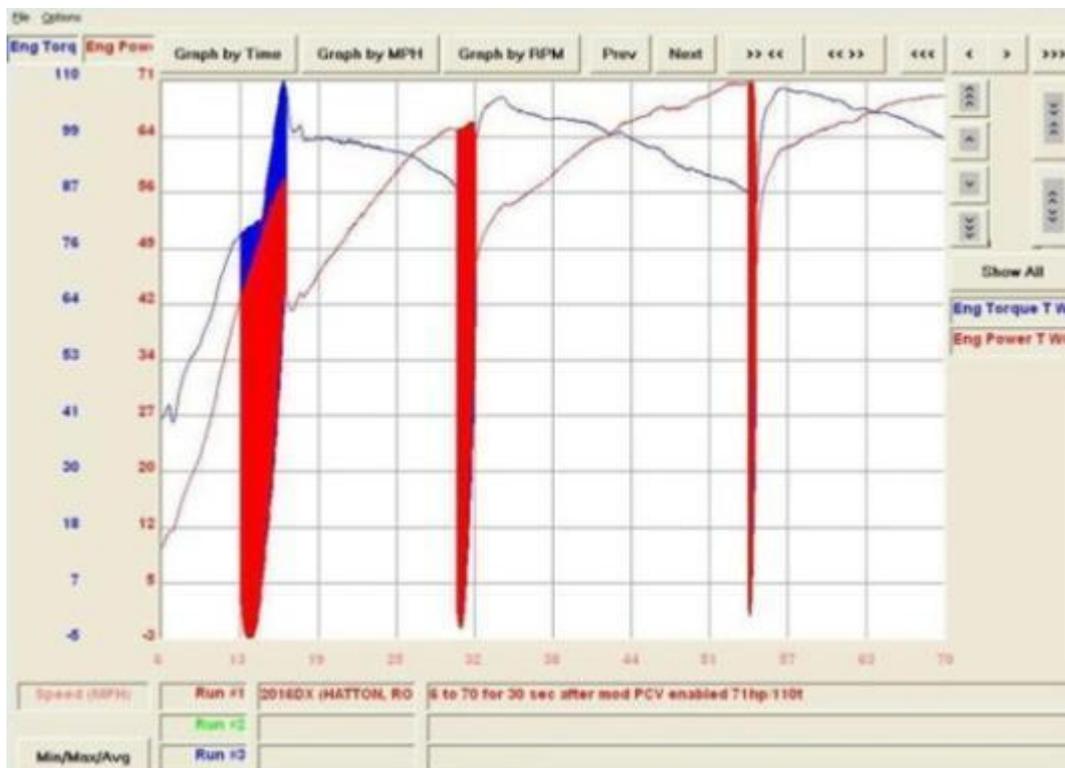


Рис. 3.6. График мощности и крутящего момента после модификации



Рис. 3.7. Содержание веществ в выхлопе до модификации



Рис. 3.8. Содержание веществ в выхлопе после модификации

Предельно допустимое содержание СО и СН в отработавших газах автомобилей с бензиновыми двигателями, находящимися в эксплуатации, должно быть в пределах значений, не выше приведенных в таблице 3.3.(ГОСТ 17.2.2.03, с изменениями № 1)

Таблица 3.3.

Частота вращения	Предельно допустимое содержание СО, объемная доля, %	Предельно допустимое содержание СН, объемная доля, млн <sup>-1</sup>	
		для двигателей с числом цилиндров	
		до 4	Более 4
Автомобили, не оснащенные каталитическими нейтрализаторами			
п <sub>мин.</sub>	3,5	1200	3000
п <sub>пов.</sub>	2,0	600	1000
Автомобили, оснащенные каталитическими нейтрализаторами			
п <sub>мин.</sub>	1,0	400	600
п <sub>пов.</sub>	0,7	200	300

Это говорит о том, что тюнинг является достаточно эффективной мерой для улучшения основных параметров автомобиля. Также надо учитывать, что в испытаниях участвовала маломощная машина с двигателем 1,5 литров, очевидно, что на более мощных машинах результат будет еще ощутимее.

### Сравнение внешних скоростных характеристик двигателя 1,5 л GM с двумя типами коллектора

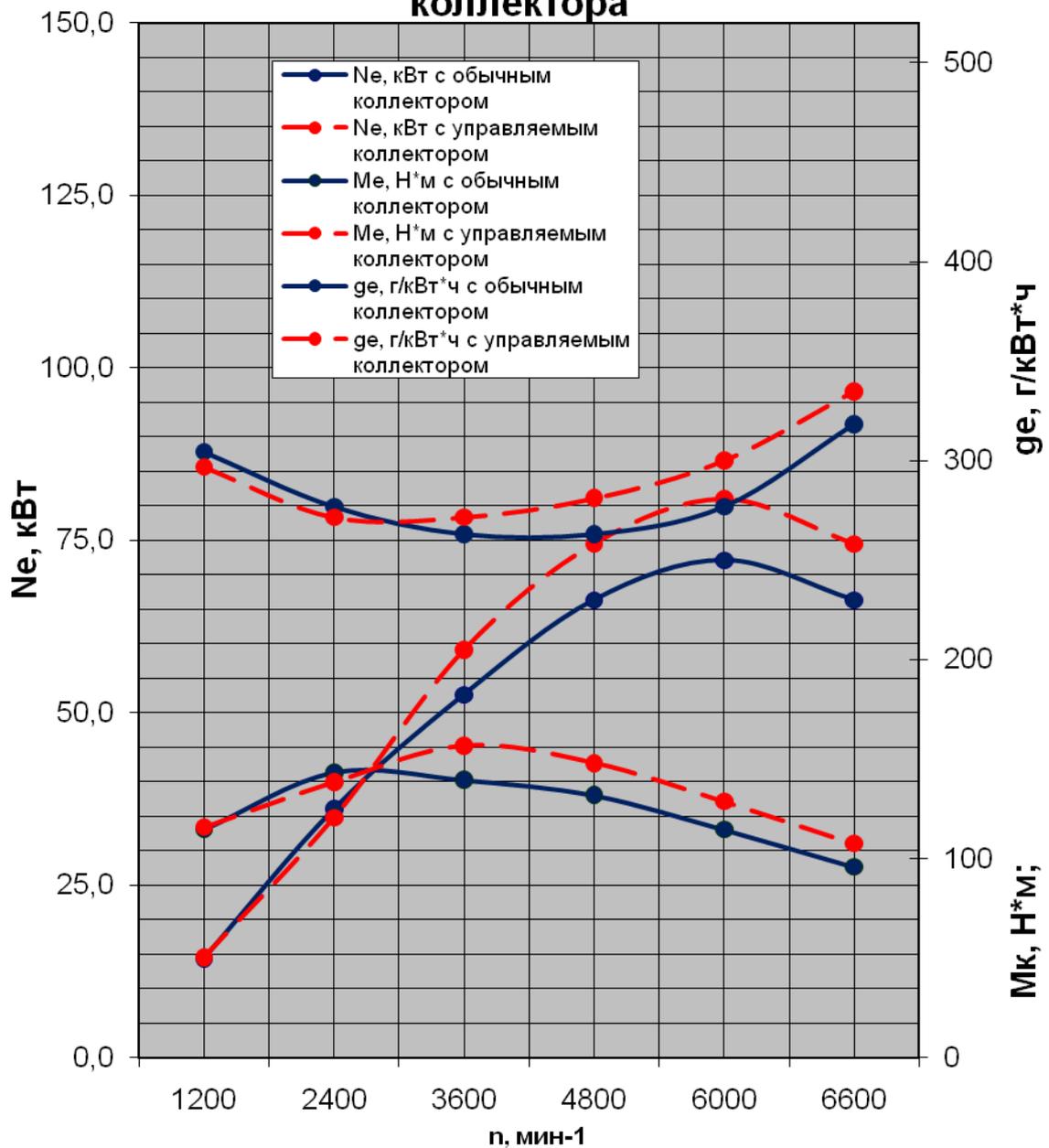


Рис. 3.9. Сравнение экспериментально полученных внешних скоростных характеристик двигателя 1.5 GM с обычным впускным коллектором и с впускным управляемым коллектором (с коллектором переменной формой геометрии)

После установления впускного коллектора с управляемыми дроссельными заслонками (с изменяющейся формой геометрии) наблюдается изменение во внешне скоростной характеристике двигателя внутреннего сгорания литражом 1,5 производимого на заводе: «GeneralMotorsPowertrainUzbekistan».

Сопоставляя два результата внешней скоростной характеристики двигателя внутреннего сгорания до и после можно увидеть, что мощность после использования управляемого коллектора возрастает на нагрузочных режимах работы двигателя, экономичность улучшается на холостом и частичных нагрузках двигателя.[14]

### 3.3. Обработка и анализ экспериментальных данных

Обработка результатов испытаний.

Нами был выбран известный метод статистической обработки материалов. Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3.3.1)$$

где,

$x_i$ - величина измерения (крутящий момент, расход бензинового топлива, расход воздуха);

$\bar{x}$  – среднее величина результатов измерений;

$n$ - количество измерений.

Дисперсия:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (3.3.2)$$

Средняя квадратичная ошибка результата измерения или стандарт отдельного измерения определяется:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (3.3.3)$$

Средняя квадратическая ошибка сводного результата измерений или стандарт арифметической средней вычисляется по формуле:

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{n}} \quad (3.3.4)$$

Показатель точности:

$$\frac{S_x}{\bar{x}} * 100\% \quad (3.3.5)$$

Проведённая выше оценка погрешности измерений также можно проверить следующим образом:

Фактическое значение измерений :

$$x_i = \bar{x} \cdot 100/n \quad (3.3.6)$$

Оценка погрешности измерения при достоверности 95% рассчитывается:

$$\Delta = (k * \sigma * 100) / (\bar{x} \sqrt{n}), \quad \% \quad (3.3.7)$$

где  $n$  - количество измерений;

$k$ - коэффициент, зависимый от количества измерений (при  $N=10$  и более  $k=0,73$ )

$\sigma$ - среднеквадратическое отклонение

Если после 10-ти измерений оценка погрешности составляет более 5%, то испытание следует провести ещё раз.

Доверительные границы для среднего, т.е. границы доверительного определяется:

$$I_{\beta} = \left[ (\bar{x} - \varepsilon_{\beta}); (\bar{x} + \varepsilon_{\beta}) \right] \quad (3.3.8)$$

$\varepsilon_{\beta}$  – ошибка, возникающая при замене математического ожидания генеральной совокупности на среднюю выборку, при заданном уровне доверительной вероятности  $\beta$ .

Доверительная вероятность  $\beta$  в практике расчётов принимается равной 95%.

Тогда,

$$\varepsilon_{\beta} = \pm t_{\beta} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \quad (3.3.9)$$

где,

$t_{\beta}$  – величина, определяемая для данных  $\beta$  и  $n$ .

При  $\beta=95$ ,  $n=10$ ,  $t_{\beta}=2,14$

Всякое измерение вследствие действия ряда причин сопровождается ошибками инструментальными, личными или ошибками среды. Точность проводимых измерений зависит от методов измерений, принятого оборудования и измерительной аппаратуры. Однако излишние требования к точности измерений при снятие различных характеристик значительно

усложняют испытательную установку и его стоимость. Недооценка же этих требований, особенно при экспериментальных и исследовательских работах, может привести к ошибочным выводам и неправильным заключениям при оценке окончательных результатов.

### **Выводы по главе 3.**

В данной главе был выбран объект исследования и по итогам проведенных экспериментов были определены результаты практических исследований. Экспериментальные исследования мехатронной системы управления двигателем внутреннего сгорания 1,5 литражом производимого на заводе «General Motors Powertrain Uzbekistan», были проанализированы различные способы повышения мощностных и экономических показателей двигателя, заключающиеся в замене впускного коллектора (с изменяющейся формой геометрии). А также по полученным данным была произведена обработка и анализ полученных экспериментальных данных. Обработка результатов испытаний двигателя 1,5 литражом проводилась согласно ГОСТа 18509-80.

## **Общие выводы и рекомендации**

1. Произведен анализ конструктивных особенностей мехатронных систем управления двигателей;
2. Проанализированы принципы работы современных мехатронных систем управления двигателями;
3. Проведено теоретическое исследование мехатронной системы управления двигателями легковых автомобилей, которое позволило разработать управляемый коллектор способствующий улучшению мощностных и экономических показателей двигателя;
4. Изучены способы совершенствования мехатронного управления двигателями;
5. Разработаны и предложены рекомендации по совершенствованию мехатронных систем управления двигателем внутреннего сгорания, которые позволили уменьшить расход топлива на холостых и частичных нагрузках двигателя и увеличить мощностные показатели на нагрузочных режимах работы двигателя.

## **Список использованной литературы**

### **Законы Республики Узбекистан**

1. Закон Республики Узбекистан «Об экологической экспертизе». 20 май 2000 г.
2. Закон Республики Узбекистан «Об автомобильном транспорте». 29 августа 1998 г.
3. Закон Республики Узбекистан «О городском пассажирском транспорте». 25 апреля 1997 г.

### **Указы и постановления Президента Республики Узбекистан, Постановления Кабинета Министров**

4. Постановление Президента Республики Узбекистан о Государственной программе «Год благополучия и процветания». 14 февраля 2013 г.
5. Постановление Президента Республики Узбекистан №ПП-1446 от 21.12.2010 «Об ускорении развития инфраструктуры, транспортного и коммуникационного строительства в 2011-2015 годах»

### **Произведения Президента Республики Узбекистан**

#### **Ислама Каримова**

6. Доклад Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова на заседании Кабинета Министров, посвященном итогам социально-экономического развития страны в 2012 году и важнейшим приоритетным направлениям экономической программы на 2013 год.

18 января 2013 г.

7. Доклад Президента Ислама Каримова на торжественном собрании, посвященном 20-летию Конституции Республики Узбекистан. 07 декабря 2012 г.
8. Выступление Президента Республики Узбекистан Ислама Каримова на открытии международной конференции «Подготовка образованного и интеллектуально развитого поколения – как важнейшее условие устойчивого развития и модернизации страны». 17 февраля 2012 г.
9. Каримов И.А. Узбекистан на пороге достижения независимости. – Ташкент: Узбекистан, 2011. – 384 с.

#### **Основная литература**

10. Мехатроника: Перс япон. / Исии Х., Иноуэ Х., Симояма И. и др. – М.: Мир, 1988.- С.318.- ISBN 5-03-000059-3.
11. Введение в мехатронику: В 2-х кн. Учебное пособие / А. К. Тугенгольт, И. В. Богуславский, Е. А. Лукьянов, В. В. Мартынов, В. А. Герасимов, Ю. Б. Ивацевич, Н. Ф. Карнаухова, В. А. Череватенко. Под ред. А. К. Тугенгольда — Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2004. — ISBN 5-7890-0294-3.
12. Карнаухова Н. Ф. Электромеханические и мехатронные системы — Ростов н/Д: Феникс, 2006. — 320 с. — (Высшее образование). — 3000 экз. — ISBN 5-222-08228-8.
13. Егоров О. Д., Подураев Ю. В. Конструирование мехатронных модулей. — М.: Издательство МГТУ «Станкин», 2004. — С.
14. Подураев Ю. В. Мехатроника. Основы, методы, применение. — 2-е изд., перераб и доп. — М.: Машиностроение, 2007. — С. 256. —

ISBN 978-5-217-03388-1

15. С.М. Кадыров, С.Е. Никитин, «Автомобильные и тракторные двигатели», Т. 2011г
16. О.В. Лебедев, Р.Р. Хакимзянов, «Мехатронные системы машин», Т. 2010г.
17. Integrated silicon pressure sensor manifold absolute pressure sensor on-chip signal conditioned, temperature compensated and calibrated. Motorola technДВСI data, MPX4100A/D. 2000.
18. Сопряжение датчиков и устройств ввода данных с компьютерами IBMPC: Пер. с англ. / Под ред. У. Томпкинса. — М.: Мир, 1992. — 592 с.
19. The A-B-C's of signal conditioning amplifier design for sensor applДВСtions. Motorola applДВСtion note AN 1525. 1998:  
S. R. Ball Analog interfacing top embedded microprocessors. — Newnes, Boston, 2001. - 270 pp.
20. Chowanietz E. Automobile electronics. — Society of Automotive Engineers, Inc., 1995. - 246 pp.
21. Tom Denton. Automobile electrДВСI and electronic systems. 2-nd edition. — Society of Automotive Engineers, Inc., 2000. — 412 pp.  
Engine performance diagnosis and tune-up. Classroom manual. — Chek-Chart, 1998. - 507 pp.
22. Ronald Ê. Jurgen Automotive electronics handbook. — McGraw-Hill, Inc., 1999.
23. Топливная экономичность автомобилей с бензиновыми двигателями /Т.У.Асмус, К.Боргнакке, С.К.Кларк и др.; Пер. ред. Д.Хилларда, Дж.С.Спрингера; Под с англ. А.М.Васильева; Под ред. А.В.Кострова. - М.: Машиностроение,2004. - 504 с.: ил.
24. Кульчицкий А.Р. Токсичность автомобильных и тракторных

- двигателей - 2004г., 20,0 п.л., издательство ООО "Академический проект" (Москва)
25. Энциклопедия Японских машин, Япония, 2009г.
  26. К.И. Осипов, Е. Л. Первухина, Ю.Л. Рапацкий, «Моделирование поршневых ДВС в ходе приемосдаточных испытаний по результатам измерений диагностических параметров» , Двигатели внутреннего сгорания, Всеукр. научн.-техн. журн. – Харьков: НТУ «ХПИ»., 2011г. 2-й номер - 157 с.
  27. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. М.: Транспорт, 1977.
  28. Мороз С. Электронные средства диагностирования. //Автомобильный транс-порт.-1991. №12.-с. 29-31.
  29. Мороз С. Ш. Автоматизация диагностической техники. //Автомобильный транспорт. -1990.-№11.49.основы технической диагностики / П.П. Пархоменко, В.В. Карибский, Е.С. Согомонян, В.Ф. Халчев. М., Энергия, 1976,462 с.
  30. Системы управления бензиновыми двигателями. Ottomotor-Management. RobertBoschGmbH. Перевод с немецкого. М.: «Книжное издательство «За рулем»,2005.

#### **Дополнительная литература**

31. А.А. Мухитдинов, Ш.П. Алимухаммедов, «Методическое указание к выполнению диссертационной работы на соискание ученой степени кандидата технических наук», Т. 2005г.
32. Положение о составе затрат по производству и реализации продукции (работ, услуг) и о порядке формирования финансовых результатов. Приложение к Постановлению КМ РУз от 05.02.1999 г.

№ 54.

33. Matts Lindgren. Multiplexed vehicle electronics tutorial. — Mecel, 1995. — 123 pp.
34. Fuzzy Air-Fuel Ratio Control of a Small Gasoline Engine. S.H. Lee, Intelligent Systems & Signal Processing Laboratories, Engineering Research Centre, University of Brighton, Moulsecoomb, Brighton, BN2 4GJ, UK, 1999.
35. Fuzzy Logic in Automotive Engineering. Constantin von Altrock. Circuit cellar. Computer application magazine. 1999.
36. В.М. Архангельский, М.М. Вихерт, «Автомобильные двигатели», М. 1967г.
37. В.Н. Луканин «Двигатели внутреннего сгорания», 1,2,3 тома, М. 1995г.
38. В.Е. Ютт, «Электрооборудование автомобилей», Учебник для вузов. - М.: Транспорт, 1989.- 287 с.
39. Г.П. Покровский, «Электроника в системах подачи топлива автомобильных двигателей», (3- издание), М. 2005г.
40. Ю.И. Быдыко, «Аппаратура впрыска легкого топлива автомобильных двигателей», Ленинград.: 1982г.
41. Н.А. Дикий, Ю.Ф. Бутаревич, «Перспективы улучшения энергетических и экологических характеристик автомобильных двигателей» М.: 1984г.
42. Дикий Н.А., Бутаревич Ю.Ф. Перспективы улучшения энергетических и экологических характеристик автомобильных двигателей - Пром.теплотехника, 2001, № 2, с.92-102.
43. Файн М.А., Блованов О.И. Использование зарубежной патентной информации для определения тенденций развития двигателестроения - Двигатели внутреннего сгорания, Харьковский политехнический

институт, 1999, вып.40,с.3-9.

44. . Техническая энциклопедия. Т.6 / Под. ред. Л.К. Мартенса - М.: ОГИЗ.2007. - 929 с.

#### **Периодические издания, статистические сборники и отчеты**

45. Патент: ПП-1242, Т. 2008г.
46. Ф.Ш. Умеров, «Современное состояние развития автомобильной промышленности Узбекистана», стр.127, статья, Республиканская научно-практическая конференция одарённой молодежи, ТАДИ, 2010г.
47. Ф.Ш. Умеров, «Автоматически регулируемая система жидкости амортизатора», стр.155, статья, Республиканская научно-практическая конференция одарённой молодежи, ТАДИ, 2010г.
48. Ф.Ш. Умеров, «Особенности диагностики мехатронных систем автомобилей», стр.10, статья, Республиканская научно-практическая конференция одарённой молодежи, ТАДИ, 2011г.

#### **Интернет сайты**

49. <http://mosautolab.ru/index.php?module=training&pid=2>
50. [http://systemsauto.ru/engine/variable\\_compression.html](http://systemsauto.ru/engine/variable_compression.html)
51. [http://grachev.distudy.ru/Uch\\_kurs/avtoelektrinДВС/J/J.htm](http://grachev.distudy.ru/Uch_kurs/avtoelektrinДВС/J/J.htm)
52. <http://awtoel.narod.ru/Dvig/indexDvMPFI.html>
53. <http://www.bizinvest.ru/biz1027148068.html>.
54. <http://www.motorhelp.ru/84-teoria-dvs-2.html>



Результаты экспериментальных исследований

Измерительные данные из состояния горячего запуска ДВС:

Время [s]	Кол-во оборотов двигателя [1/min]	Кол-во оборотов эл.мотора [1/min]	Крутящий момент [Nm]	Давление охл. жидкости [bar]	Темпера тура воды в радиаторе [°C]	Темпера тура топлива [°C]	Расход топлива [kg/h]
1	2	3	4	5	6	7	8
0,156	0	0	0,214	1,94	54,18	102,6	0
6,656	0	62,992	-3,937	1,94	53,877	102,11	6,79
6,703	0	95,953	-14,74	1,94	53,877	102,11	6,79
6,766	9,888	124,886	-17,899	1,94	53,877	102,11	5,73
6,813	31,862	152,902	-16,068	1,94	53,877	102,11	5,73
6,86	48,892	184,948	-24,476	1,94	53,877	102,11	5,73
6,906	58,964	212,965	-32,319	1,94	53,877	102,01	5,73
6,953	79,839	247,94	-42,436	1,94	53,877	102,01	5,73
7,016	111,884	295,001	-35,035	1,94	53,877	102,01	5,73
7,063	158,945	315,876	-36,439	1,93	53,877	102,01	4,94
7,11	155,832	351,95	-44,633	1,93	53,877	102,01	4,94
7,156	208,936	438,931	-28,764	1,93	53,877	102,01	4,94
7,203	238,967	437,832	-7,736	1,93	53,877	102,01	4,94
7,266	259,843	527,01	-16,953	1,93	53,877	102,01	4,94
7,313	318,989	566,014	1,526	1,93	53,877	102,01	4,44
7,36	386,925	638,894	16,893	1,93	53,877	102,01	4,44
7,406	409,998	661,967	14,314	1,93	53,877	102,01	4,44
7,453	454,862	723,86	21,257	1,93	53,877	102,01	4,44
7,516	501,007	760,85	17,655	1,93	53,877	102,01	4,44
7,563	527,01	799,854	23,18	1,93	53,877	102,01	3,769
7,61	570,958	809,009	23,286	1,93	53,877	102,01	3,769
7,656	624,977	835,927	27,666	1,93	53,877	102,01	3,769
7,703	664,897	853,873	27,467	1,93	53,877	102,01	3,769
7,766	701,886	872,001	29,192	1,93	53,877	102,01	3,769
7,813	739,974	889,947	29,314	1,93	53,877	102,01	3,04
7,86	760,85	902,948	29,558	1,93	53,877	102,01	3,04
7,906	787,951	917,964	28,566	1,93	53,877	102,01	3,04
7,953	799,854	927,852	28,185	1,93	53,877	102,01	3,04
8,016	831,899	941,952	26,567	1,93	53,877	102,01	3,04
8,063	845,999	952,023	26,918	1,93	53,877	102,01	3,04
8,11	863,944	965,94	25,072	1,93	53,877	102,01	2,719
8,156	881,89	978,942	24,416	1,93	53,877	102,01	2,719
8,203	887,017	986,999	23,515	1,93	53,877	102,01	2,719
8,266	902,948	997,986	22,722	1,93	53,877	101,909	2,719

8,313	915,949	1005,86	21,623	1,93	53,877	101,909	2,719
8,36	926,936	1015,016	20,768	1,93	53,877	101,909	2,64
8,406	945,981	1021,974	19,975	1,93	53,877	101,909	2,64
8,453	946,896	1028,017	18,144	1,93	53,781	101,909	2,64
8,516	960,996	1034,975	17,778	1,93	53,781	101,909	2,64
8,563	970,884	1039,004	16,694	1,93	53,781	101,909	2,64
8,61	972,899	1046,878	15,977	1,93	53,781	101,909	2,64
8,656	991,027	1049,991	15,428	1,93	53,781	101,909	2,459
8,703	1006,958	1054,019	14,741	1,93	53,781	101,909	2,459
8,766	1018,861	1059,879	14,1	1,93	53,781	101,909	2,459
8,906	1028,932	1071,965	12,33	1,93	53,781	101,909	1,92
8,953	1031,862	1074,895	11,842	1,93	53,781	101,909	1,92
9,016	1032,961	1075,993	10,758	1,93	53,781	101,909	1,92
9,063	1037,905	1078,923	10,438	1,93	53,781	101,909	1,92
9,11	1052,921	1080,022	9,675	1,93	53,781	101,909	1,92
9,156	1049,991	1082,952	9,629	1,93	53,781	101,909	1,76
19,656	1177,989	1198,865	-7,874	1,93	53,269	103,699	1,589
19,813	1182,934	1199,963	-8,545	1,93	53,269	103,8	1,22
20,36	1185,863	1199,963	-9,857	1,93	53,269	103,9	0,529
146,563	1195,019	1247,024	18,937	1,95	59,179	89,97	0,89
146,61	1186,962	1251,969	14,253	1,95	59,179	89,97	0,89
146,656	1193,005	1255,997	15	1,95	59,179	89,97	0,89
146,703	1210,035	1260,026	17,091	1,95	59,179	89,97	0,679
146,766	1225,966	1263,871	13,841	1,95	59,179	89,97	0,679
146,813	1232,924	1263,871	18,342	1,95	59,179	89,97	0,679
146,86	1229,995	1269,914	15,58	1,95	59,179	89,97	0,679
146,906	1232,924	1271,013	17,305	1,95	59,179	89,97	0,679
146,953	1245,01	1274,858	16,77	1,95	59,179	89,97	0,519
147,016	1243,911	1276,872	16,969	1,95	59,179	89,97	0,519
147,063	1249,954	1280,901	16,679	1,95	59,179	89,97	0,519
147,11	1245,01	1284,014	16,374	1,95	59,179	89,869	0,519
147,156	1252,884	1286,944	16,496	1,95	59,179	89,869	0,519
147,203	1248,856	1290,972	16,252	1,95	59,179	89,869	0,689
147,266	1256,913	1292,987	16,374	1,95	59,179	89,869	0,689
147,813	1284,93	1327,962	14,344	1,95	59,179	89,869	0,789
147,86	1297,015	1330,892	14,527	1,95	59,179	89,869	0,789
147,906	1290,972	1334,005	14,817	1,95	59,179	89,869	0,789
147,953	1293,902	1336,935	14,97	1,95	59,179	89,869	0,789
148,016	1293,902	1338,949	15,016	1,95	59,179	89,869	0,6
148,063	1301,959	1342,977	12,193	1,95	59,179	89,869	0,6
148,11	1299,029	1345,907	14,619	1,95	59,179	89,869	0,6
148,156	1303,974	1349,936	14,176	1,95	59,179	89,869	0,6
148,36	1310,932	1362,022	15,077	1,95	59,179	89,768	0,46
148,406	1318,989	1364,951	15,214	1,95	59,179	89,768	0,46
148,453	1325,032	1366,966	15,214	1,95	59,179	89,768	0,46
148,516	1330,892	1370,994	15,428	1,95	59,179	89,768	0,46

148,61	1331,99	1377,953	15,321	1,95	59,289	89,768	0,35
148,656	1336,019	1380,883	15,153	1,95	59,289	89,768	0,35
148,703	1341,879	1382,897	15,138	1,95	59,289	89,768	0,35
148,766	1343,893	1386,01	15,26	1,95	59,289	89,768	0,35
148,813	1345,907	1388,94	15,138	1,95	59,289	89,768	0,269
148,86	1351,035	1391,87	15,153	1,95	59,289	89,768	0,269
148,906	1347,922	1395,898	14,924	1,95	59,289	89,768	0,269
148,953	1356,894	1399,927	14,695	1,95	59,289	89,768	0,269
149,016	1355,979	1401,025	14,939	1,95	59,289	89,672	0,269
149,063	1373,009	1404,871	14,436	1,95	59,289	89,672	0,269
149,156	1386,01	1412,012	14,314	1,95	59,289	89,672	0,21
149,203	1381,981	1414,027	14,665	1,95	59,289	89,672	0,21
149,266	1388,024	1416,957	14,253	1,95	59,389	89,672	0,21
149,406	1390,038	1425,929	14,68	1,95	59,389	89,672	0,159
149,453	1401,025	1429,958	14,756	1,95	59,389	89,672	0,159
149,703	1414,027	1445,889	15,153	1,95	59,389	89,672	0,12
149,766	1421,901	1447,903	15,122	1,95	59,389	89,672	0,12
149,953	1436,001	1460,905	15,428	1,95	59,49	89,672	0,45
150,313	1446,988	1481,963	15,718	1,95	59,591	89,672	0,659
150,563	1455,96	1497,894	15,458	1,95	59,591	89,672	0,97
150,766	1464,018	1499,908	16,45	1,95	59,591	89,672	0,919
150,906	1477,934	1498,993	16,893	1,95	59,691	89,672	0,919
152,063	1488,921	1499,908	17,533	1,95	59,998	89,672	0,85
570,563	1501,923	1757,004	13,749	2,02	62,859	72,45	0,12
570,61	1544,04	1802,051	14,878	2,02	62,859	72,349	0,12
570,656	1575,902	1848,013	16,557	2,02	62,859	72,349	0,389
570,703	1624,977	1891,961	19,67	2,02	62,859	72,349	0,389
570,766	1674,968	1937,923	23,18	2,02	62,859	72,349	0,389
570,813	1726,973	1987,914	27,788	2,02	62,859	72,349	0,389
570,86	1774,95	2032,961	34,212	2,02	62,759	72,349	0,389
570,906	1828,053	2091,925	41,72	2,02	62,759	72,349	0,389
570,953	1859	2130,013	47,153	2,02	62,759	72,349	1,169
571,016	1915,034	2182,934	54,355	2,02	62,759	72,349	1,169
571,063	1965,025	2232,009	59,177	2,02	62,759	72,349	1,169
571,11	2013,001	2277,055	62,595	2,02	62,759	72,349	1,169
571,156	2073,979	2329,976	67,112	2,02	62,759	72,349	1,169
571,203	2106,025	2375,023	69,172	2,02	62,759	72,349	2,11
571,266	2154,917	2420,07	71,385	2,02	62,759	72,349	2,11
571,313	2195,019	2464,933	73,308	2,02	62,759	72,349	2,11
571,36	2241,897	2507,05	74,528	2,02	62,759	72,349	2,11
571,406	2290,057	2551,914	76,482	2,02	62,759	72,349	2,11
571,453	2345,907	2605,017	79,213	2,02	62,759	72,349	2,77
571,516	2390,038	2650,064	80,556	2,02	62,759	72,349	2,77
571,563	2429,958	2694,928	81,67	2,02	62,759	72,349	2,77
571,61	2490,02	2741,073	83,532	2,02	62,759	72,349	2,77
571,656	2527,01	2785,021	85,226	2,02	62,759	72,349	2,77

571,703	2590,917	2845,999	87,82	2,02	62,759	72,349	2,77
571,766	2637,978	2882,988	90,215	2,02	62,759	72,349	4,009
571,813	2683,025	2935,909	92,489	2,02	62,759	72,349	4,009
571,86	2718	2978,026	94,03	2,02	62,759	72,349	4,009
571,906	2763,047	3021,974	96,609	2,02	62,759	72,349	4,009
571,953	2800,952	3075,993	97,555	2,02	62,759	72,349	4,009
572,016	2843,985	3121,04	98,059	2,02	62,759	72,349	5,419
572,063	2895,074	3166,087	97,967	2,02	62,759	72,349	5,419
572,11	2941,036	3223,036	97,662	2,04	62,759	72,349	5,419
572,156	2984,984	3260,026	97,754	2,04	62,759	72,349	5,419
572,203	3045,047	3305,072	97,403	2,04	62,759	72,349	5,419
572,266	3090,093	3351,035	97,25	2,04	62,759	72,349	6,76
572,313	3147,043	3411,097	96,609	2,04	62,759	72,349	6,76
572,36	3195,935	3448,086	96,243	2,07	62,759	72,349	6,76
572,453	3284,93	3542,941	96,838	2,07	62,759	72,349	6,76
572,563	3368,98	3633,034	98,227	2,07	62,759	72,349	7,58
572,656	3472,075	3739,059	98,196	2,08	62,759	72,349	7,58
572,703	3520,051	3776,048	98,715	2,08	62,759	72,349	7,58
572,766	3553,928	3828,969	99,646	2,08	62,759	72,349	7,58
572,813	3594,946	3865,959	100,119	2,08	62,649	72,349	8,62
572,86	3659,952	3919,062	101,325	2,08	62,649	72,349	8,62
572,906	3696,026	3967,955	101,767	2,1	62,649	72,349	8,62
572,953	3765,977	4021,058	102,53	2,1	62,649	72,349	8,62
573,016	3791,064	4058,048	102,759	2,1	62,649	72,349	8,62
573,063	3837,942	4104,01	102,912	2,1	62,649	72,349	9,73
573,11	3889,031	4149,057	103,278	2,1	62,649	72,349	9,73
573,156	3949,094	4205,091	103,476	2,13	62,649	72,349	9,73
573,203	3993,042	4258,011	103,675	2,13	62,649	72,349	9,73
573,266	4030,947	4303,974	104,056	2,13	62,649	72,349	9,73
573,453	4199,963	4314,045	121,712	2,15	62,649	72,349	10,86
573,516	4214,063	4314,961	124,748	2,15	62,649	72,349	10,86
573,563	4235,122	4314,045	127,098	2,15	62,649	72,349	10,86
574,453	4297,015	4314,045	132,836	2,2	62,548	72,349	17,01
574,516	4301,959	4314,961	132,241	2,2	62,548	72,349	17,01
820,953	4370,994	4401,025	131,905	2,26	58,368	87,479	20,52
829,313	4387,109	4405,97	132,18	2,25	57,76	87,882	20,51
829,36	4394,983	4405,97	133,065	2,25	57,76	87,882	20,51
829,453	4400,11	4405,054	132,988	2,25	57,76	87,882	20,51
947,36	4438,015	4459,989	134,316	2,3	58,062	91,76	20,211
983,36	4466,032	4476,103	136,025	2,3	58,469	92,552	20,01
1061,86	4485,992	4511,994	135,674	2,34	58,368	94,149	20,06
1061,906	4493,133	4511,079	135,796	2,34	58,368	94,149	20,06
1196,453	5036,99	5255,081	115,47	2,36	57,348	93,852	15,58
1196,516	5072,148	5288,042	115,577	2,36	57,348	93,852	15,58
1196,61	5123,054	5353,049	114,723	2,39	57,238	93,852	16,85
1196,656	5161,143	5386,01	113,99	2,39	57,238	93,852	16,85

1196,703	5205,091	5420,07	113,609	2,39	57,238	93,953	16,85
1196,766	5255,081	5452,115	113,517	2,39	57,238	93,953	16,85
1196,813	5294,085	5485,076	112,769	2,39	57,142	93,953	18,44
1196,86	5324,116	5520,051	112,983	2,37	57,142	93,953	18,44
1196,906	5357,077	5554,111	112,006	2,37	57,142	93,953	18,44
1197,016	5420,985	5626,076	110,679	2,37	57,142	93,953	18,44
1197,063	5453,031	5625,16	113,517	2,37	57,142	93,953	18,44
1197,11	5485,076	5624,062	117,164	2,42	57,041	93,953	19,87
1197,156	5519,136	5625,16	119,957	2,42	57,041	93,953	19,87
1197,203	5533,053	5624,062	121,65	2,42	57,041	93,953	19,87
1197,563	5580,114	5625,16	126,61	2,48	56,839	94,049	21,68
1197,86	5598,059	5625,16	127,419	2,47	56,73	94,149	23,431
1197,953	5600,989	5625,16	127,999	2,47	56,73	94,149	23,431
1198,016	5603,003	5625,16	128,685	2,47	56,73	94,149	23,431
1199,61	5610,145	5624,062	126,457	2,49	57,142	94,539	25,15
1199,656	5616,004	5624,062	126,778	2,49	57,142	94,539	25,15
2877,563	5659,037	5859	112,327	2,56	45,001	79,019	18,62
2877,61	5706,098	5890,13	112,128	2,56	45,001	79,019	19,561
2877,703	5746,017	5949,094	111,625	2,56	45,097	79,019	19,561
2877,766	5777,147	5984,069	110,786	2,56	45,097	79,019	19,561
2877,813	5803,15	6000,183	110,969	2,56	45,097	79,019	19,561
2877,906	5871,086	6000,183	117,775	2,56	45,198	79,12	20,7
2877,953	5891,046	5999,084	120,598	2,66	45,198	79,12	20,7
2878,016	5915,034	6000,183	121,223	2,66	45,198	79,12	20,7
2878,063	5926,021	5999,084	122,856	2,66	45,198	79,12	20,7
2878,156	5945,065	5999,084	124,275	2,66	45,198	79,12	21,501
2878,203	5955,136	5999,084	123,772	2,61	45,308	79,12	21,501
2878,266	5958,066	5999,084	124,046	2,61	45,308	79,12	21,501
2878,313	5969,053	6000,183	123,741	2,61	45,308	79,12	21,501
2878,36	5979,125	5999,084	123,802	2,61	45,408	79,12	21,501
2879,313	5989,013	5999,084	125,557	2,62	45,82	79,322	25,621
2879,36	5994,14	5999,084	125,801	2,62	45,921	79,322	25,621

Пример статистической обработки результатов экспериментальных значений крутящего момента двигателя с САКПМ ( $V_h=1,5$  л;  $n=2800$  мин<sup>-1</sup>)

№	Значение	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$
1	97,555	-0,398	0,158
2	98,059	0,106	0,011
3	97,967	0,014	0,0002
4	97,762	-0,191	0,036
5	98,092	0,139	0,019
6	97,946	-0,007	0,00005
7	98,046	0,093	0,0086
8	98,052	0,099	0,0098
9	97,986	0,033	0,001
10	98,062	0,109	0,012
	$\Sigma 979,53$		$\Sigma 0,256$

1. Среднее арифметическое значение:

$$\bar{x} = 979,5$$

2. Среднее квадратическое отклонение:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{0,256}{10}} = 0,16$$

3. Дисперсия:

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} = \frac{0,256}{10} = 0,026$$

4. Средняя квадратичная ошибка результата измерения или стандарт отдельного измерения определяется:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{0,256}{10-1}} = 0,17$$

5. Средняя квадратическая ошибка сводного результата измерений или стандарт арифметической средней вычисляется по формуле:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S}{\sqrt{n}} = \frac{0,17}{\sqrt{10}} = 0,054$$

6. Показатель точности измерений:

$$\frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} * 100\% = \frac{0,054}{97,95} * 100 = 0,055\%$$