

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тольяттинский государственный университет»

Институт машиностроения

(наименование института полностью)

Кафедра «Энергетические машины и системы управления»

(наименование)

13.03.03 Энергетическое машиностроение

(код и наименование направления подготовки, специальности)

Альтернативные источники энергии транспортных средств

(направленность (профиль)/специализация)

**ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ
РАБОТА (БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА)**

на тему Совершенствование топливной системы двигателей
производства АО «АвтоВАЗ»

Обучающийся

В.Д. Брагин

(Инициалы Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

к.т.н., доцент, Д.А. Павлов

(ученая степень (при наличии), ученое звание (при наличии), Инициалы Фамилия)

Тольятти 2024

Аннотация

Целью бакалаврской работы является проведение модернизации топливной системы двигателей внутреннего сгорания производства АО «АВТОВАЗ», с целью повышения экономичности, производительности и экологичности.

В данной бакалаврской работе представлены результаты проектирования модернизированного корпуса топливной рампы. Бакалаврская работа состоит из пояснительной записки и графической части. Пояснительная записка состоит из следующих разделов:

- Обзор существующих систем подачи топлива в двигатель внутреннего сгорания, применение пластиковых материалов в топливных системах и способы их совершенствования.
- Тепловой расчёт двигателя с расчётом цикловой подачи топлива.
- В разделе специальной части представлено описание конструкции модернизированной топливной рампы вместе с прочностным анализом, а также представлены конструкции испытательных стендов и порядок работы с ними, для проведения испытаний топливной рампы.

Графическая часть работы содержит 7 листов формата А1.

Abstract

Title of the thesis: Improving the fuel system of engines produced by AvtoVAZ JSC

The final qualifying work consists of an introduction, three chapters, a conclusion, a list of sources used and a graphic part on 7 sheets of A1 format.

The key issue of the thesis is the improvement of the fuel system of engines produced by AvtoVAZ JSC. We address the issue of emissions and fuel consumption.

The goal of the work is to develop a modernized fuel rail.

The thesis can be divided into the following logically interconnected parts: analysis of fuel systems of gasoline internal combustion engines, methods for improving fuel supply systems, the use of plastic materials in fuel systems, thermal calculation of the engine, calculation of cyclic supply, description of the design of the modernized fuel rail housing, strength calculation of the modernized fuel rail housing, description of the design of the fuel rail test bench.

At the end of the work, we present the work of a successful modernization of the fuel rail, the use of which will save on the materials used and their production, as well as effectively improve energy efficiency.

To summarize, I would like to emphasize that this work presents technical improvements taking into account the latest advances in the field of automotive technology.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 5 |
| 1. Анализ топливных систем бензиновых ДВС | 6 |
| 1.1 Классификация систем подачи топлива | 6 |
| 1.2 Способы совершенствования систем питания..... | 15 |
| 1.3 Применение пластиковых материалов в топливной системе..... | 17 |
| 1.4 Топливная рампа бензинового двигателя внутреннего сгорания | 26 |
| 2. Теловой расчёт двигателя | 30 |
| 2.1 Расчёт процесса впуска | 31 |
| 2.2 Расчёт процесса сжатия | 34 |
| 2.3 Расчёт процесса сгорания..... | 35 |
| 2.4 Расчёт процесса расширения | 38 |
| 2.5 Построение индикаторной диаграммы | 39 |
| 2.6 Определение индикаторных и эффективных показателей | 42 |
| 2.7 Расчёт цикловой подачи топлива | 45 |
| 3. Специальная часть | 47 |
| 3.1 Описание конструкции модернизированного корпуса топливной рампы | 47 |
| 3.2 Анализ модернизированного корпуса топливной рампы | 52 |
| 3.3 Описание конструкции стенда для испытаний | 55 |
| Заключение | 61 |
| Список используемых источников..... | 62 |

Введение

Повышение эффективности и экологичности автомобильных двигателей является одной из ключевых задач современной автомобильной промышленности. Совершенствование топливной системы играет здесь важнейшую роль, поскольку непосредственно влияет на процесс сгорания в цилиндрах двигателя, следовательно, и на его мощность, расход топлива и уровень токсичности выбросов.

АО «АвтоВАЗ» - ведущий российский производитель автомобилей, пользующихся широким спросом как на внутреннем, так и на внешних рынках. Успешная реализация программ по модернизации системы подачи топлива в двигатели внутреннего сгорания, устанавливаемых на автомобилях производства «АвтоВАЗ», позволит существенно повысить их конкурентоспособность, соответствие актуальным экологическим нормам и, в целом, эксплуатационные характеристики.

В данной работе предполагается рассмотреть существующие проблемы и перспективные направления модернизации топливных систем двигателей, производства АО «АвтоВАЗ». Будут проанализированы конструктивные особенности и параметры штатных топливных систем, выявлены их недостатки, рассмотрены особенности систем питания. Также будут предложены технические решения по совершенствованию с учётом последних достижений в области автомобильных технологий, будут выбраны материалы, использование которых будет самым оптимальным, при модернизации топливной системы.

Достижение поставленной цели и решение обозначенных задач позволит улучшить эксплуатационные характеристики двигателей АО «АвтоВАЗ», а также, позволит повысить их конкурентоспособность на рынке.

1 Анализ топливных систем бензиновых ДВС

1.1 Классификация систем подачи топлива

Системы питания бензиновых двигателей внутреннего сгорания в настоящее время подразделяются на две основные группы: карбюраторные и инжекторные (впрыскивающие).

Карбюраторные системы подачи топлива являются простыми и дешёвыми. «Карбюратор представляет собой сложное устройство, которое играет ключевую роль в обеспечении правильной работы бензинового двигателя. Основная задача карбюратора состоит в создании идеальной топливно-воздушной смеси, что достигается путём тщательного смешивания бензина с воздухом в заданных пропорциях и последующего распыления этой смеси.

Важнейшие компоненты карбюратора включают поплавковую камеру, игольчатый клапан, жиклёр, распылитель, смесительную камеру с диффузором, а также дроссельную и воздушную заслонки.

Поплавковая камера представляет собой ключевой элемент, предназначенный для поддержания постоянного уровня топлива. Это ёмкость, в которую топливо поступает из бака через сетчатый фильтр, предотвращающий попадание загрязнений. Внутри камеры установлен поплавок, подвешенный на оси, который вместе с игольчатым клапаном контролирует подачу топлива. Когда уровень топлива в камере снижается, поплавок опускается, открывая клапан и позволяя топливу поступать внутрь. Как только топливо достигает требуемого уровня, поплавок поднимется и закрывает клапан, останавливая подачу топлива. Таким образом, система поддерживает постоянный уровень топлива, что крайне важно для стабильной работы карбюратора.

Распылитель выполняет функцию подачи топлива в центр

смесительной камеры, где оно распыляется. Этот элемент представляет собой тонкую трубку, соединённую с поплавковой камерой через жиклёр. Жиклёр имеет калиброванное отверстие, через которое проходит точно рассчитанное количество топлива, регулируемое для обеспечения идеального соотношения бензина и воздуха в смеси.

Смесительная камера, являясь важным звеном в системе, отвечает за смешивание топлива с воздухом. Она представляет собой патрубок, соединённый с впускным трубопроводом двигателя и воздухоочистителем, который подаёт очищенный воздух в карбюратор.

Диффузор, находящийся в смесительной камере, играет решающую роль в увеличении скорости воздушного потока и создании разрежения около распылителя. Благодаря сужению диффузора, скорость воздушного потока значительно возрастает, создавая необходимое разрежение для эффективного высасывания и распыления топлива. Диффузор устанавливается рядом с распылителем и представляет собой короткий патрубок с внутренним сужением.

Дроссельная заслонка контролирует количество горючей смеси, поступающей в цилиндры двигателя. Водитель управляет дроссельной заслонкой с помощью педали акселератора, регулируя мощность двигателя. При нажатии на педаль дроссельная заслонка открывается, увеличивая проходное сечение и количество смеси, поступающей в цилиндры. Это приводит к увеличению частоты вращения коленчатого вала и мощности двигателя. Воздушная заслонка, в свою очередь, регулирует количество воздуха, поступающего в карбюратор, уменьшая его проходное сечение и увеличивая разрежение в смесительной камере, что способствует большему поступлению топлива.

Принцип работы карбюратора заключается в следующем: при вращении коленчатого вала во время такта впуска через смесительную камеру карбюратора проходит воздух. Диффузор увеличивает скорость воздушного потока, создавая разрежение около распылителя. Топливо из

распылителя высасывается в смесительную камеру струйками, которые затем распыляются на мельчайшие частицы под воздействием воздушного потока. Это позволяет топливу смешиваться с воздухом и испаряться в нём, образуя горючую смесь, которая поступает по впускному трубопроводу в цилиндры двигателя внутреннего сгорания. Поддержание нормального уровня топлива в распылителе осуществляется благодаря поплавку и игольчатому клапану в поплавковой камере. Поплавок автоматически регулирует подачу топлива, обеспечивая стабильность уровня и, соответственно, стабильную работу карбюратора.» [18]

Современные инжекторные системы подачи топлива постепенно вытесняют карбюраторы благодаря своей высокой эффективности и точности. Инжекторы позволяют более точно контролировать состав топливно-воздушной смеси, улучшая экономичность и экологичность двигателя. Они обеспечивают стабильную работу двигателя в различных режимах, что делает их предпочтительным выбором в автомобильной промышленности. Несмотря на историческую значимость карбюраторов, инжекторные системы представляют будущее автомобильных технологий, предлагая улучшенные эксплуатационные характеристики и надёжность.

Работа инжектора делится на две основные части: механическую и электрическую.

Механическая часть включает в себя такие ключевые элементы, как топливный бак, бензонасос, фильтр для очистки топлива, топливопроводы высокого давления, топливная рампа, форсунки, дроссель и воздушный фильтр.

Топливный бак служит резервуаром для бензина, а бензонасос, находящийся внутри бака, осуществляет подачу топлива. Затем топливо проходит через фильтр, очищающий его от загрязнений. Благодаря давлению, топливо движется по топливопроводам высокого давления. Чтобы давление не превышало допустимые нормы, в системе установлен регулятор давления. После фильтра топливо попадает в топливную рампу, которая

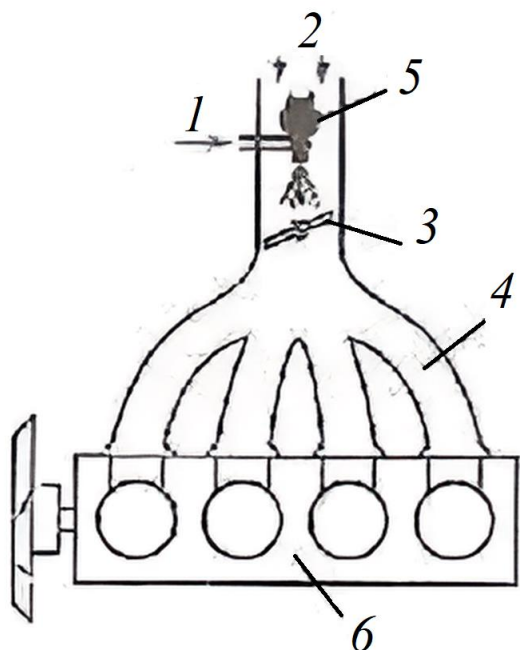
соединена с форсунками. Форсунки, расположенные во впускном коллекторе рядом с клапанами цилиндров, впрыскивают топливо в коллектор, а воздух поступает через воздушный фильтр. Дроссельный узел, установленный в воздушном патрубке, регулирует подачу воздуха в зависимости от нажатия водителем на педаль акселератора.

Электрическая часть системы состоит из электронного блока управления (контроллера), который включает в себя контроллер и блок памяти, датчика массового расхода воздуха, датчика положения дроссельной заслонки, лямбда-зонда, датчика температуры, датчика положения коленчатого вала, датчика детонации и датчика скорости. Контроллер обрабатывает данные, поступающие от этих датчиков, и определяет время открытия форсунок, чтобы обеспечить точное количество топлива для создания оптимальной топливно-воздушной смеси (ТВС). В случае неисправности любого датчика, контроллер использует усреднённые значения для продолжения работы системы.

Изначально инжекторы в двигателях были полностью механическими, но с развитием технологий в них начали интегрировать электрические компоненты, улучшая их производительность и эффективность. Современные инжекторные системы, управляемые электронным блоком управления, содержат множество электронных компонентов, что позволяет достичь более высокой точности в работе двигателя и оптимизации топливной смеси.

В нынешнее время, центральная инжекторная система (рисунок 1) является устаревшей. Вся суть её работы заключается в том, что топливо впрыскивается в одном определённом месте – на входе во впускной коллектор, там оно смешивается с воздухом и распределяется по цилиндрам. По принципу действия, данный тип инжектора очень похож на карбюратор, но главное отличие заключается в том, что топливо в инжекторе подаётся под давлением, обеспечивая тем самым распыление и лучшее смешивание с воздухом. Центральная система отличается простотой конструкции и

быстрым реагированием на изменение рабочих параметров силовой установки. Но из-за того, что не удавалось добиться нужного сгорания топлива в цилиндрах, так как в данной системе невозможно было добиться одинакового наполнения цилиндров, полноценно выполнять свои функции данная система не смогла.

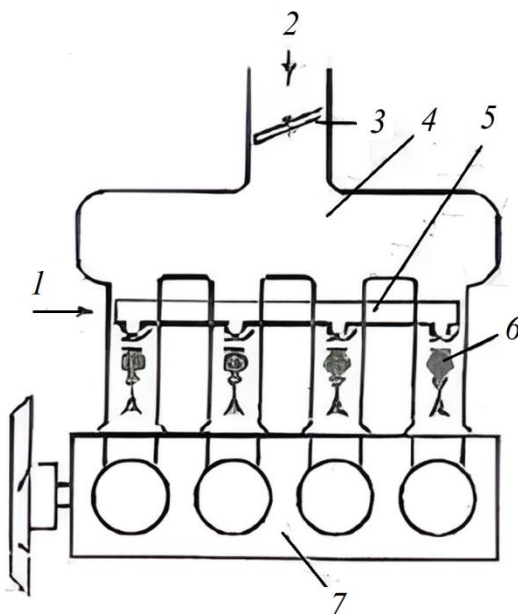


1 – подвод топлива; 2 – подвод воздуха; 3 – дроссельная заслонка; 4 – впускной трубопровод; 5 – форсунка; 6 – головка цилиндров.

Рисунок 1 – Схема устройства центральной инжекторной системы

Самая популярная в использовании и самая оптимальная в данный момент инжекторная система (рисунок 2) – распределённая система. У инжекторов с данной системой топливо подаётся отдельно для каждого цилиндра. Двигатели с такой системой обеспечивают лучшую эффективность, экономичность, а также снижают выбросы в атмосферу. Работа форсунок обеспечивается электронным блоком управления, который представляет собой мини-компьютер, который непрерывно анализирует данные, поступающие от датчиков, и рассчитывает количество топлива,

которое необходимо в конкретный момент. К недостаткам распределённой системы относят более сложную конструкцию по сравнению с центральной системой и чувствительность к качеству топлива.

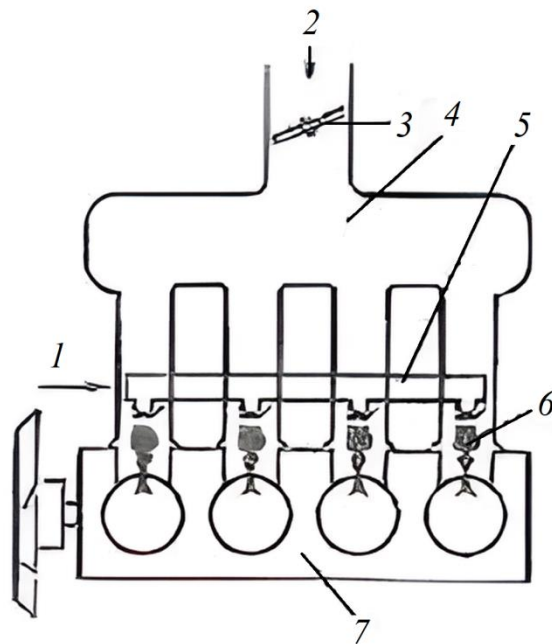


1 – подвод топлива; 2 – подвод воздуха; 3 – дроссельная заслонка; 4 – впускной трубопровод; 5 – топливная рампа; 6 – форсунка; 7 – головка цилиндров.

Рисунок 2 – Схема устройства распределённой инжекторной системы

Система непосредственного впрыска топлива (рисунок 3) стала широко применяться в двигателях внутреннего сгорания в начале XXI века. На сегодняшний день почти во всех двигателях современных автомобилей установлены такие системы. В отличие от распределённой системы, в данной системе подача топлива предусмотрена не во впускной коллектор, а непосредственно в камеры сгорания, при этом бензин подаётся отдельно, а не в виде топливно-воздушной смеси, потому что смешивание происходит уже внутри цилиндров. Система непосредственного впрыска хороша тем, что такое решение делает возможным крайне точное управление процессом формирования топливно-воздушной смеси, что позволяет максимально обеднить ТВС. Принцип работы данной системы заключается в следующем:

насосом высокого давления к топливной рампе подаётся топливо, которое переходит в форсунки впрыска. В зависимости от потребностей двигателя, давление достигает 3...11 МПа. Регулятором давления, топливо подаётся определёнными дозами, подача соответствует впрыску форсунок. Задача топливной рампы заключается в том, чтобы распределить бензин между форсунками впрыска и предотвратить пульсации в топливном контуре двигателя. Давление топлива в рампе измеряют датчиком высокого давления – которым можно управлять с помощью его же сигналов



1 – подвод топлива; 2 – подвод воздуха; 3 – дроссельная заслонка; 4 – впускной трубопровод; 5 – топливная рампа; 6 – форсунка; 7 – головка цилиндров.

Рисунок 3 – Схема устройства системы непосредственного впрыска

Все перечисленные системы включают в себя важный элемент каждой топливной системы – это форсунка. В зависимости от конструкции и предназначения двигателя, форсунка распыляет под давлением бензин или дизельное топливо во впускной коллектор или непосредственно в цилиндр мотора. Именно они обеспечивают равномерную подачу топлива и его

точную дозировку, а также его эффективное перемешивание с воздухом. Как правило, оказывают важное влияние на формирование рабочей смеси и, следовательно, на основные характеристики двигателя внутреннего сгорания.

Форсунки бывают разных конструкций, которая зависит от целей и их предназначений. Схематично, любая форсунка состоит из герметичного корпуса, фильтра, запорной иглы с пружиной, распылителя. Самым важным элементом форсунки является сопло. Основные конструктивные различия зависят от рабочего давления, у бензиновых двигателей с распределённым впрыском оно рассчитано на 3 бара. Так же, важным является принцип управления форсункой, оно может быть механическим, пьезоэлектрическим и электромагнитным. Механические форсунки делятся на центробежные и прямого действия, вторые применяются в основном в двигателях внутреннего сгорания, топливо в них подаётся со значительно большим давлением, чем в центробежных. В центробежных форсунках топливо под давлением закручивается в вихревой камере и выбрасывается через сопло. Электромагнитные форсунки встречаются в основном на двигателях, работающих на бензине. Подача тока на обмотку возбуждения клапана происходит в строго определённый момент, который заложен в программе. В результате этого в работу включается электромагнит, который притягивает грузик с иглой из заглушки и открывает сопло. Затем, определённый объём горючего впрыскивается в камеру, где производится его поджиг и горение. После, игла возвращается в изначальную точку, когда напряжение в катушке опускается до нулевых значений.

В настоящее время автопроизводители чаще всего используют электромагнитные инжекторы. В этом случае, подача топлива производится соленоидом, который в определённый момент поднимает иглу, открывая сопла распылителя. Когда напряжение с обмоток индукционной катушки исчезает, то пружина толкает иглу вниз и форсунка запирается, прекращая тем самым впрыск топлива. Реже электромагнит используют только для регулирования давления топлива в специальной камере, помогающей игле

открывать или закрывать распылитель. Подобные устройства относят к электрогидравлическим и применяют на дизельных двигателях.

Основной задачей форсунки является впрыск топлива в строго определённый момент времени, в нужном количестве и под правильным давлением, чтобы топливо превратилось в аэрозоль и эффективно перемешалось с воздухом. Для корректной работы форсунок на современных двигателях устанавливают электронный блок управления, микропроцессор которого фиксирует степень нажатия водителем на педаль акселератора, температуру охлаждающей жидкости, скорость движения, обороты коленвала и другие факторы. Также, сегодня часто встречаются форсунки, которые за один такт совершают несколько дозированных впрысков. Чистая, качественная форсунка даёт конусообразный распыл, а факел получается ровный и непрерывный.

Также стоит отметить топливную рампу, которая является одним из составляющих элементов топливной системы. По предназначению разделяют 3 типа топливных рамп. Первый тип – аккумулятор давления дизельных двигателей, где насос высокого давления нагнетает топливо под высоким давлением в общую топливную магистраль. Второй тип – топливные рампы, предназначенные для бензиновых двигателей, имеющие непосредственный впрыск топлива в цилиндры двигателя. Третий тип – топливные рампы двигателя, работающего на бензине с распределённым впрыском топлива во впускной трубопровод.

Конструкция топливной рампы оказывает большое влияние на эффективность подачи топлива в двигатель и, следовательно, на его расход. Каждый производитель имеет свою конструкцию и конфигурацию топливной рампы, к особенностям конструкции можно отнести количество отверстий, предназначенных под форсунки, расположение подводящего трубопровода, наличие демпфера, диагностического штуцера.

К преимуществам инжекторной системы подачи топлива можно отнести понижение расхода топлива, которое происходит за счёт

интеллектуального управления подачи топлива, полное сгорание бензина, соответствие современным экологическим нормам, хорошая работоспособность в разных температурных условиях, возможность сменить прошивку, при помощи данной процедуры, можно изменить параметры двигателя.

Недостатками инжекторной системы являются: риск забить форсунки, используя некачественное топливо, или вовремя не заменив фильтры, поэтому приходится использовать только качественное топливо, с минимальным количеством примесей и своевременно производить замену фильтрующих элементов топлива и воздуха.

Несмотря на свои недостатки, надёжность инжекторной системы подачи топлива и возможность широкой настройки параметров, делает данную систему более продвинутой, чем карбюраторные системы. Но стоит отметить, что выбор типа топливной системы зависит от ряда технических и экономических факторов, а также особенностей конструкции двигателя. Каждый тип систем имеет свои недостатки и преимущества, которые стоит учитывать при проектировании и модернизации силовых агрегатов автомобилей.

1.2 Способы совершенствования систем питания

Одним из ключевых направлений совершенствования топливных систем двигателя является повышение точности и эффективности дозирования и впрыскивания топлива. Этого можно достичь за счёт использования всё более совершенных инжекторов, топливных насосов и блоков управления. Например, в актуальных на данный момент инжекторах используются пьезоэлектрические или сверхскоростные электромагнитные приводы, с помощью которых возможно значительно повысить частоту и точность срабатывания форсунок, что позволяет обеспечить более тонкое

дозирование топлива и лучшее смесеобразование.

Активно развиваются системы непосредственного впрыска, когда топливные форсунки расположены непосредственно в камере сгорания. Это даёт более полное сгорание топлива по сравнению с распределённым впрыском во впускной коллектор.

Также важным направлением повышения экологичности и эффективности двигателей внутреннего сгорания, является совершенствование топливной рампы. Основные направления включают в себя: повышение рабочего давления, так как высокое давление обеспечивает более тонкое и равномерное распыление топлива, улучшая процесс смесеобразования, оптимизация геометрии, ведь формы и размеры топливной рампы на гидравлические характеристики системы, интеграция датчиков давления, что позволит повысить точность дозирование топлива и стабильность работы двигателя, использование различных материалов при изготовлении, например пластик, это позволит сделать конструкцию более лёгкой и улучшить динамические характеристики системы топливоподачи, интеграция с электронными системами управления, сможет обеспечить гибкое и оперативное регулирование параметров впрыска в зависимости от режима работы двигателя.

Другим важным направлением является повышение рабочего давления в топливной системе. Современные бензиновые двигатели внутреннего сгорания оснащаются топливными насосами, способными создавать давление впрыска от 200 до 300 бар, что позволяет получить более мелкодисперсное распыление топлива, что также улучшает смесеобразование.

Непрерывно совершенствуется и электронное управление системами подачи топлива. Быстродействующие микроконтроллеры способны обрабатывать данные множества датчиков и формировать оптимальные параметры впрыска в режиме реального времени в зависимости от условий работы двигателя.

Кроме того, в перспективе ожидается внедрение инновационных, таких как многофазный впрыск, когда в каждый цикл работы цилиндра осуществляется не один, а несколько последовательных впрысков. Это позволит ещё больше повысить эффективность сгорания топлива.

Постоянное совершенствование систем питания двигателя внутреннего сгорания является одним из ключевых факторов, обеспечивающих улучшение экологических, экономических и динамических характеристик современных двигателей внутреннего сгорания.

1.3 Применение пластиковых материалов в топливной системе

С началом применения пластиковых материалов при изготовлении элементов топливной системы изменились методы подхода к проектированию конструкций данных элементов. Так, например, с целью повышения химической стойкости и ударопрочности, для достижения более компактной компоновки были использованы пластиковые материалы в конструкции топливных баков. Но в баках, выполненных из пластиковых материалов, средняя температура топлива резко возросла, потому что пластик является хорошим теплоизолятором, а из-за более компактной компоновки уменьшился поток охлаждающего воздуха. Благодаря этому среднее значение температуры в топливных баках, выполненных из пластика, достигало 65°C, для сравнения, в топливных баках, выполненных из стальных материалов, средняя температура топлива достигает 40°C. Высокие температуры в двигателе сильно влияют на реактивность топлива.

За несколько последних десятилетий экологические инициативы оказывали большое влияние на используемый пластик в автомобилях, например, из-за постоянного ужесточения ограничений, введённых в 1970-х годах, на выбросы испарений топлива из топливной системы, приводило к постепенному изменению используемых составов пластика, необходимых

для производства крышек топливных баков, клапанов, уплотнений. В конце 1990-х годов прогресс определил основные типы используемых пластиков для их применения в топливной системе, все они представлены в таблицах 1-3. Также стоит отметить, что процесс ужесточения норм и ограничений продолжается и по сей день, так же, как и вопросы с проницаемостью пластмасс.

Таблица 1 – Свойства пластиковых материалов, применяемых для изготовления элементов топливной системы.

| Материал | Свойство |
|--|--|
| Ацеталь (Полиоксиметилен) | Стабильность размеров, химическая стойкость и низкая проницаемость топлива |
| Нейлон 6/6 (ПА-6, РА6, ПА-66, РА66) | Хорошие ударные и другие механические свойства |
| Высокотемпературный нейлон (НТН, РРА) | Более простая обработка и лучшая стабильность размеров, химическая стойкость и ударопрочность. |
| Нейлон 12 (РА12) | Экструдированные многослойные детали для обеспечения барьерных свойств, ударопрочности и низкой проницаемости |
| Алифатический поликетон | Ударная и термическая стойкость находится между ацеталем и нейлоном |
| Полифениленсульфид (ПФС, PPS) | Устойчивость к высоким температурам и химическому воздействию, стабильность размеров, устойчивость к эрозии и низкая проницаемость |
| Полиэтилен высокого давления (ПВД, HDPE) | Хорошая экономичность, а также ударопрочность, химическая стойкость к дорожным солям. |
| Полибутилентерефталат (ПБТ, PBT) | Стабильность размеров, но следует использовать там, где термостойкость и проницаемость не важны. |

Наиболее распространённым полимером для изготовления деталей автомобиля, которые находятся в подкапотном пространстве – это полибутилентерефталат (ПБТ) и нейлон.

ПБТ по большей части используется в подкапотном пространстве или рядом с электрическими и электронными разъемами двигателя, а также в устройствах интеллектуального сетевого интерфейса, вилках питания и электрических компонентах, переключателях и элементах управления,

корпусах автоматических выключателей и различных корпусах.

Важным моментом является рассмотрение свойств и сфер применения нейлонов или полиамидов, которые до недавнего времени рассматривались автопроизводителями как основной материал для производства топливных рамп. Ниже приведена информация о свойствах полиамидов, выпускаемых отечественными производителями.

«Полиамиды (ПА) – это высокомолекулярные полимеры, в основной цепи которых содержится амидная группа макромолекулы. Соотношение метиленовых и амидных групп в составе ПА определяет основные свойства полимера, такие как температура плавления, водопоглощение, эластичность и морозостойкость. Полиамиды сочетают в себе высокую механическую прочность и небольшую плотность, обладая хорошим антифрикционным и диэлектрическими свойствами, а также химической стойкостью к маслам и бензину, что делает их одним из важнейших конструкционных материалов.

Детали, изготовленные из полиамида, выдерживают нагрузки, сравнимые с теми, которые выдерживаются цветными металлами и сплавами. Исследование антифрикционных свойств полиамида показало их значительное превосходство по сравнению с фторопластами, полиформальдегидом и поликарбонатом. При повышении давления коэффициент трения полиамида снижается. Для изготовления автомобильных деталей применяются различные типы полиамида и их стеклонаполненные модификации, такие как ПА-610, ПА-6, ПА-66, ПА-12, а также стеклонаполненные полиамиды. Полиамид ПА-610 является продуктом поликонденсации соли себациновой кислоты с гексаметилендиамином.

Из-за своего показателя текучести расплава и модуля упругости, ПА-610 превосходит практически все термопласты. Кроме того, он обладает небольшим водопоглощением, отличными прочностными свойствами и тепло-морозостойкостью, что позволяет использовать его в важных деталях антифрикционного назначения. Однако его применение ограничено из-за

высокой стоимости. ПА-6 является самым доступным материалом из полиамидов и обладает превосходными механическими свойствами и хорошими антифрикционными свойствами.

Полиамид-66 – продукт, полученный путём конденсации соли адипиновой кислоты и гексаметилендиамина. В сравнении с другими типами полиамидов, данный материал обладает высокой прочностью, хорошей теплостойкостью, отличными антифрикционными и электроизоляционными свойствами.

Полиамид-12 – это продукт гидролитической полимеризации додекалактама с использованием кислотных катализаторов. У данного материала низкая плотность, и он характеризуется небольшим впитыванием воды. Изделия, изготовленные из него, обладают стабильностью. Полиамид-12 хорошо подходит для работы при повторяющихся изгибах, так как он является самым гибким из перечисленных полиамидов. Обладает отличными антифрикционными и диэлектрическими свойствами. Также следует отметить его недостаточную теплостойкость по сравнению с другими полиамидами

Полиамиды, в которых содержится 20-30% стекловолокна, обладают улучшенной механической прочностью и теплостойкостью по сравнению с ненаполненными 2-3 раза. Повышается сопротивление ползучести, усталостная прочность и износостойкость. В автомобилестроении стеклонаполненные полиамиды применяются для изготовления деталей с точными размерными требованиями, работающих в диапазоне температур от минус 60°C до плюс 150°C, а также для деталей, подвергающихся определённым нагрузкам.» [4]

Пластмассам в топливных системах необходимо работать на стабильно высоком уровне в сложных условиях на протяжении всего срока службы автомобиля. Длительный контакт с топливом предъявляет к материалу ряд химических, физических, механических и термических свойств, таких как:

- химическая стойкость. Связано с изменением химической структуры

или состава материала, что, как правило, приводит к снижению производительности систем;

- стабильность размеров. Является важным свойством, так как многие детали топливной системы имеют жесткие допуски. Этот фактор также важен там, где встречаются разные пластмассы или сочетаются пластик и металл, поскольку их разная размерная стабильность может влиять на уплотнения;

- механические свойства включают прочность на удар, растяжение и сжатие, а также удлинение и прочность на разрыв. Детали должны быть спроектированы так, чтобы сохранять достаточную целостность, выполнять свое предназначение на протяжении всего срока службы автомобиля;

- коэффициент теплового расширения является одним из ряда наблюдаемых эффектов, связанных с температурой, которые включают скорость химических реакций при полимеризации и изменение механических свойств в процессе работы.

В настоящее время проницаемость пластиковых материалов выходит на передний план и интенсивно исследуется. Одним из вариантов внедрения пластмасс на автомобильный рынок является внедрение за счёт композитных решений.

Высокоэффективные полимерные композиты из углеродного волокна (Carbon fiber Composites - CFC) в настоящее время не готовы для использования в массовом производстве автомобилей. CFC увеличивают стоимость производства и продукта, так как для необходимости производительности обязательным условием является чистота. По прогнозам экспертов, имея необходимое финансирование исследований, есть возможность снизить стоимость до доступного уровня. Это вполне возможно, если в определенной степени пожертвовать уровнем чистоты этих волокон или если рассмотреть возможность использования смешанных стеклянных и углеродных волокон. Пластмассы, из которых изготавливаются элементы топливных систем, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Применяемые типы пластмасс для элементов топливной системы

| Элемент топливной системы | Полимер |
|---|--------------------------|
| Топливная рампа | PPS, нейлон 6/6 и HTN |
| Топливопровод | Нейлон 12 |
| Топливный бак | HDPE |
| Канистры | Нейлон 6/6, PBT |
| Быстрое подключение | Ацеталь, нейлон 6/6, PPS |
| Корпус топливного фильтра | Ацеталь, нейлон 6/6 |
| Компоненты топливного насоса | Ацеталь, PPS и PBT |
| Фланец узла подачи топлива | Ацеталь, PBT |
| Крышка топливного бака | Ацеталь, нейлон 6/6 |
| Горловина (приемник крышки топливного бака) | Ацеталь |
| Топливоприемный патрубок | Нейлон 6/6, HDPE |
| Корпус дроссельной заслонки | PPS, HTN, PBT |
| Клапаны перелива топлива | Ацеталь, PBT |
| Клапаны ограничения залива топлива | Ацеталь, PPS |
| Впускной обратный клапан, наполнительная трубка | Ацеталь |

Кроме того, для выхода на крупносерийный сегмент серийных автомобилей потребуется разработка высокопроизводительной линии по производству композитных деталей. Будущее пластмасс в автомобильной промышленности во многом будет зависеть от технологических и производственных инноваций, а также от экономических и экологических факторов и новых способов производства пластмасс.

Внедрение пластмасс для изготовления топливных рамп было вызвано необходимостью использования альтернативных видов топлива. В будущем стало рассматриваться использование пластика для всех видов топливных рамп.

В качестве основного материала для высоконагруженных пластиковых компонентов в моторном отсеке применяются полиамиды, в том числе нейлон 6/6, высокотемпературный нейлон (HTN) и нейлон 12.

Самым оптимальным материалом для изготовления топливной рампы –

это нейлон 6/6 (ПА-66) с стеклонаполнением более 30% (по весу) короткими стекловолокнами.

В качестве использования смолы ПА-66 для изготовления топливных рамп присутствуют такие преимущества, как взрывоустойчивость, химическая стойкость, высокая текучесть, позволяющая формировать сложную конструкцию топливной рампы, а также, стабильность получаемых размеров. Этот материал также позволяет добавлять необходимые функции конструкции с помощью простых сварочных операций.

Известно, что жидкости, которые содержат метанол, являются проблемой, поскольку они имеют свойство размягчать пластик и снижать его механические свойства. Поэтому при выборе материала для топливной рампы следует учитывать применяемые в перспективе топлива на транспорте.

Благодаря своим огнезащитным свойствам, стойкости к агрессивным химическим веществам и превосходной стойкости к высоким температурам полифениленсульфид (PPS) занимает шестое место по объему использования конструкционного пластика в мире. Он широко применяется в автомобильной промышленности, в том числе и для изготовления элементов систем питания двигателя внутреннего сгорания.

PPS выделяется среди инженерных термопластов благодаря низким температурам обработки (280 - 320°C). Кроме того, PPS представляет собой полукристаллический полимер, образованный чередующимися атомами серы и ароматическими кольцами. Чередующиеся паразамещённые кольца атомов фенилена и серы образуют его линейную и жесткую химическую структуру, которая придаёт ему особые характеристики, например, высокую температуру плавления, составляющую от 270°C до 290°C; стеклование, примерно 90°C; термического разложения около 508°C и коэффициент линейного теплового расширения 49 мкм/м °C. Благодаря такой конфигурации и стабильности молекулярной структуры достигаются уникальные характеристики, такие как хорошая термическая стабильность,

низкая термическая деградация, высокая огнестойкость, превосходные механические свойства: высокий модуль упругости на растяжение, хорошая стабильность размеров, хорошая усталостная прочность, химическая стабильность (устойчив к растворителям) и низкое влагопоглощение.

Полифениленсульфид – это органический полимер, образованный из ароматических колец, соединённых с атомами серы в параположении. Этот материал относится к числу суперконструкционных термопластов. Примерами полифениленсульфидов являются ТЕРМОРАН и Т-КЛИД, которые представляют собой термопластичные композитные материалы с хорошей текучестью и высокой термостабильностью расплава. Благодаря этим свойствам, материал может быть переработан методом литья под давлением в 70 - 110 МПа, при температуре формовки плюс 140 – 150°C. Полифениленсульфидные композиты, основанные на ПФС, могут быть заполнены стекломинералами, углеродом или модифицированы для триботехнических приложений.

Полифениленсульфид отличается отличной негорючестью и устойчивостью к трещинам, а изделия из этого материала легко маркируются при помощи лазерного оборудования. У него низкий стабильный коэффициент линейного теплового расширения, который соответствует цветным металлам и сплавам, таким как алюминий, бронза, латунь, что обеспечивает высокую долговечность армированных деталей. Продукция из полифениленсульфида может безопасно использоваться в широком диапазоне температур от минус 196°C до плюс 240°C. С точки зрения эксплуатационных характеристик, стеклонаполненные полифениленсульфиды значительно превосходят инженерные термопласты, такие как: полиамид-66, поликарбонат, полисульфон, полиарилаты, полифениленоксид, полибутилентерефталат.

Полифениленсульфиды обладают различными высокими технологическими и эксплуатационными характеристиками, такими как: лёгкость обработки, высокая твёрдость, жёсткость, стойкость к химическим

воздействиям, гидрофобность, несгораемость, отличные изоляционные свойства, высокая устойчивость к разным климатическим условиям и другим воздействиям. Их широкое применение включает изготовление высокоточных деталей, теплостойких компонентов в электротехнических устройствах и приборах, элементов конструкций, а также их использование в авиации, специальной технике и других областях.

При создании новых высокотехнологичных изделий, свойства материала позволяют значительно сократить размер и вес, улучшить эксплуатационную стойкость, надёжность и долговечность, обеспечить высокую точность и стабильность размеров сложных тонкостенных изделий.

Полифениленсульфиды были разработаны и производятся на территории Российской Федерации и могут быть рекомендованы в качестве альтернативы аналогичной продукции зарубежного производства, чтобы уменьшить зависимость от импортных поставок.

По композиционному составу, разработанные материалы аналогичны стеклонаполненным полифениленсульфидам, а по своим свойствам соответствуют уровню мировых аналогов.

Можно сделать вывод, что использование пластиковых материалов в топливной системе двигателей внутреннего сгорания становится всё более распространённой тенденцией, так как они могут быть применены во многих узлах топливной системы, например в топливных баках, топливных трубопроводах, топливных рампах, крышках топливных фильтров, различных патрубках и элементах соединения. Пластиковые компоненты имеют преимущества перед другими материалами, так как они имеют низкую стоимость, коррозионную стойкость, низкую плотность, что позволяет значительно снизить вес, а также технологичность, так как из пластика можно изготавливать более сложные по форме детали. Пластик, как и другие материалы, имеет свои особенности применения, такие как: устойчивость к топливам и маслам, тепловую и электромагнитную изоляцию, с применением армированных композитов на основе стекловолокна обеспечивают большую

прочность и жёсткость. Таким образом, использование пластиковых материалов в топливной системе двигателей внутреннего сгорания позволяет добиться значительной экономии веса, коррозионной стойкости и технологичности при производстве. Однако, для достижения всех этих свойств, требуется тщательный выбор марок пластика и оптимальные конструктивные решения.

Также можно сказать, что для удовлетворения будущих потребностей автомобильных топливных систем, особенно в мировом масштабе, производители пластмасс должны учитывать широкий спектр более агрессивных видов топлива, более длительный срок службы транспортных средств и более высокие температуры. Это означает, что пластмассы с более высокими эксплуатационными характеристиками должны работать с любым топливом в любых условиях.

1.4 Топливная рампа бензинового двигателя внутреннего сгорания

Топливная рампа – одна из основных составляющих топливной системы автомобиля. Она применяется в системах многоточечного впрыска топлива (англ. - Multi Point Fuel Injection system, сокращенно - MPFI) — это усовершенствованная система подачи топлива, используемая в современных двигателях. MPFI представляет собой систему или метод подачи топлива в двигатель внутреннего сгорания через несколько портов, количество которых не менее количества цилиндров двигателя. Конструкция топливной рампы играет большую роль в эффективности подачи топлива в двигатель и, следовательно, влияет на его расход.

Конструкция топливной рампы должна удовлетворять следующие требования:

- подача топлива к дозирующему устройству – форсунке при

требуемом давлении впрыска к моменту начала впрыска;

- оптимальное распределение топлива к форсунке между отдельными впрысками при минимальных колебаниях давления;

- обеспечение герметичности топливной системы двигателя, заключающееся в уменьшении выбросов в окружающую среду углеводородного топлива в результате утечек и его испарения.

Реализация конструкции топливной рампы также опирается на требование по мгновенной скорости потока.

По функциональному назначению существуют три вида топливных рамп. Первый – аккумулятор давления дизельных двигателей, оборудованных системой Common Rail, с уровнем давления в ней от 1500 МПа до 3000 МПа. Второй вид – топливные рампы для бензиновых двигателей с непосредственным впрыском топлива в цилиндры двигателя, с уровнем давления в ней от 3,0 МПа до 13 МПа (англ. – Gasoline Direct Injection system, сокращенно – GDI, как разновидность – TSI, TFSI и др.). Третий вид – топливная рампа бензинового двигателя с распределенным впрыском топлива во впускной трубопровод MPFI, с уровнем давления в ней от 350 кПа до 400 кПа (англ. - Port Fuel Injection system, сокращенно - PFI).

В основе конструкции всех топливных рамп лежит полая трубка с подключенными вдоль оси форсунками, к которой подводится бензин топливопроводом; торцы трубки «заглушены» или на нем установлен регулятор давления или иной исполнительный механизм.

«Топливные рампы бензиновых двигателей выполняются с круглым или прямоугольным сечением. Рампа крепится к впускному коллектору или головке блока двигателя болтами или шпильками. К ней через отводы или без использования отводов с установкой уплотнительных элементов, обеспечивающих герметичность системы, вдоль оси подсоединены форсунки. Количество форсунок равно количеству цилиндров силового агрегата. Также обязательно присутствует подводящий топливопровод с подключением на оси или с торца.

Главные отличия в существующих конструкциях топливных рампы различных производителей определяются такими факторами, как:

- схема подключения форсунок и дополнительных устройств;
- материал изготовления;
- форма сечения;
- габариты;
- способ и место подключения рампы к подводящему топливопроводу.

У каждого автопроизводителя своя конструкция и конфигурация топливной рампы, в том числе определяемая количеством форсунок. Дополнительными особенностями конструкции рампы является варианты расположения, подводящего топливопровода и наличие дополнительных элементов, например, демпфера или диагностического штуцера давления. Данный факт определяет специфику обслуживания топливной системы в эксплуатации. В остальном существуют варианты, связанные с конструкционными особенностями, которые имеет топливная система конкретной модели автомобиля. Так, например, в ранних конструкциях топливных рампы автомобилей производства АО «АВТОВАЗ» устанавливался на одном торце – штуцер для подключения, подводящего топливопровода, на другом – диагностический штуцер контроля давления топлива в рампе, при этом, на этой же половине рампы устанавливался регулятор давления топлива, предусматривающий сброс избыточного давления и слив топлива в магистраль его возврата в топливный бак.

В сечении рампа выполняется круглой, реже овальной, или прямоугольной, на некоторых конструкциях квадратной формы. Применимость того или иного сечения зависит от производителя, особенностей топливной системы в целом.

Для проектирования модернизированного корпуса топливной рампы необходимо провести тепловой расчёт двигателя, на котором будет устанавливаться рампа. Тепловой расчёт тесно связан с проектированием

топливной рампы по следующим моментам:

- Определение требуемого давления топлива: тепловой расчёт позволяет оценить максимальные давления в цилиндре двигателя во время работы. Для обеспечения надёжного впрыска топлива в камеру сгорания давление в топливной рампе должно превышать максимальное давление в цилиндре;
- Выбор конструкции топливной рампы: тепловой расчёт позволит оценить температурный режим в районе топливной рампы, что повлияет на выбор материалов и геометрии.» [27]

Основываясь на вышеперечисленном, можно сделать вывод, что применение пластиковых материалов в разных системах подачи топлива является перспективным направлением для модернизации топливных систем. Топливная рампа двигателя является важнейшим элементом в топливной системе, поэтому её модернизация является одной из главных задач для обеспечения экономичности и экологичности автомобиля.

2 Теловой расчёт двигателя

Тепловой расчёт выполняется с целью предварительного определения индикаторных показателей рабочего цикла и эффективных показателей двигателя. По заданной номинальной мощности и результатам теплового расчёта определяется рабочий объём цилиндров. Выполнение теплового расчёта при разных исходных данных позволяет оценить влияние различных конструктивных и эксплуатационных факторов на работу двигателя, что в свою очередь, позволит разработать оптимальную конструкцию элементов двигателя.

Тепловой расчёт выполняется для режима номинальной мощности, в связи с чем называется расчётным. Внешняя скоростная характеристика двигателя рассчитывается на базе теплового расчёта номинального режима с помощью эмпирических зависимостей, с удовлетворительной точностью, описывающих закономерности изменения мощностных и экономических показателей двигателя в зависимости от частоты вращения коленчатого вала.

В первую очередь находятся параметры состояния газов в цилиндре. Абсолютное давление P_i и абсолютная температура T_i в характерных для диаграммы точках: «а» - конец всасывания, «с» - конец сжатия, «Z» - конец сгорания и «в» - конец расширения.

Для этого последовательно рассматриваются все элементы рабочего цикла: процесс впуска, процесс сжатия, процесс сгорания и процесс расширения.

Для проведения расчёта был взят двигатель внутреннего сгорания «ВАЗ-21129», который имеет следующие характеристики:

1. Тип – четырёхтактный, бензиновый, жидкостного охлаждения, без наддува;
2. Число цилиндров – 4;
3. Число клапанов на цилиндр – 4;
4. Диаметр цилиндра, мм – 82;

5. Ход поршня, мм – 75,6;
6. Рабочий объём двигателя, л – 1,6;
7. Степень сжатия – 10,5;
8. Номинальная мощность, л.с. (кВт) – 106 (75);
9. Порядок работы цилиндров – 1-3-4-2.

2.1 Расчёт процесса впуска

Давление газов в конце впуска:

$$P_a = \frac{\eta_V P_0 (\varepsilon - 1) T'_0 + P_r T_0}{T_0 \varepsilon} \text{ Мпа;} \quad (1)$$

η_V – коэффициент наполнения, для расчёта примем среднее значение, $\eta_V = 0,8$. ε – степень сжатия, у «ВАЗ-21129» $\varepsilon = 10,5$. P_0 , T_0 – давление и температура окружающей среды:

$$P_0 = B_{\text{окр}} (\text{мм.рт.ст.}) * 1,322 * 10^{-4} = 690 * 1,322 * 10^{-4} = 0,0919 \text{ Мпа;} \quad (2)$$

$$T_0 = 273 + t_{\text{окр}} = 273 + 12 = 285 \text{ К;} \quad (3)$$

T'_0 - температура всасываемого заряда с учётом его подогрева при поступлении в цилиндр:

$$T'_0 = T_0 + \Delta T; \quad (4)$$

ΔT – подогрев свежего заряда, для инжекторных двигателей $\Delta T = (25...40) \text{ К}$, для расчёта примем среднее значение $\Delta T = 32,5 \text{ К}$;

$$T_0 = 285 + 32,5 = 317,5 \text{ K}; \quad (5)$$

$$P_r = P_0(1 + 0,55n_d * 10^{-4}), \text{ МПа} \quad (6)$$

n_d – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя при максимальной мощности:

$$n_d = \frac{30C_{\text{П}}}{S}; \quad (7)$$

$\frac{C_{\text{П}}}{S}$ – скорость поршня и ход поршня соответственно, $n_d = 5100 \text{ мин}^{-1}$ – в соответствии с технической характеристикой, $S = 0,0756 \text{ м}$ – в соответствии с технической характеристикой;

$$C_{\text{П}} = n_d \frac{S}{30} = 5100 * \frac{0,0756}{30} = 12,852 \text{ м/с}; \quad (8)$$

$$P_r = P_0(1 + 0,55n_d * 10^{-4}) = 0,0919 (1 + 0,55 * 5100 * 10^{-4}) = 0,117 \text{ МПа}; \quad (9)$$

Все найденные значения подставляем в первоначальную форму расчёта давления:

$$P_a = \frac{\eta_V P_0 (\varepsilon - 1) T_0 + P_r T_0}{T_0 \varepsilon} = \frac{0,8 * 0,0919 * (10,5 - 1) 317,5 + 0,117 * 285}{285 * 10,5} = 0,085 \text{ МПа}; \quad (10)$$

Найденное давление в конце свободного впуска можно проверить с помощью следующей формулы:

$$P_a = P_0 - \Delta P_a, \text{ МПа} \quad (11)$$

Для инжекторных двигателей:

$$\Delta P_a = (0,05 \dots 0,15) * P_0 = 0,07 * 0,0919 = 0,006 \text{ МПа}; \quad (12)$$

$$P_a = P_0 - \Delta P_a = 0,0919 - 0,006 = 0,085 \text{ МПа}; \quad (13)$$

Температура газов в конце впуска определяется по следующей формуле:

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r * T_r}{1 + \gamma_r}; \quad (14)$$

Где T_r – температура остаточных газов, для инжекторных двигателей $T_r = 950 \dots 1200 \text{ К}$, примем среднее значение для расчётов, $T_r = 1075 \text{ К}$;

γ_r – коэффициент остаточных газов:

$$\gamma_r = \frac{T_0 P_r}{P_0 T_r \eta_V (\varepsilon - 1)} = \frac{285 * 0,117}{0,0919 * 1075 * 0,8 * (10,5 - 1)} = \frac{33,345}{750,823} = 0,044; \quad (15)$$

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r * T_r}{1 + \gamma_r} = \frac{285 + 32,5 + 0,044 * 1075}{1 + 0,044} = \frac{364,8}{1,044} = 349,425 \text{ К} \quad (16)$$

2.2 Расчёт процесса сжатия

Давление в конце такта сжатия определяется следующей формулой:

$$P_c = P_a * \varepsilon^{n_1}, \quad (17)$$

Где: n_1 – показатель политропы сжатия:

$$n_1 = 1,41 - \frac{100}{n_d} = 1,41 - \frac{100}{5100} = 1,39; \quad (18)$$

$$P_c = P_a * \varepsilon^{n_1} = 0,085 * 10,5^{1,39} = 2,233 \text{ МПа}; \quad (19)$$

Температура в конце такта сжатия:

$$T_c = T_a * \varepsilon^{n_1-1} = 349,425 * 10,5^{1,39-1} = 874,214 \text{ К}; \quad (20)$$

Количество газов, находящихся в цилиндре в конце процесса сжатия. Теоретическое количество газов, которое необходимо для сгорания 1 кг топлива с составом С, Н, О:

$$l_0 = \frac{\frac{8}{3C} + 8H - O}{0,23} = \frac{\frac{8}{3*0,855} + 8*0,145 - 0}{0,23} = 18,603; \quad (21)$$

$$L_0 = \frac{l_0}{28,96} = \frac{18,603}{28,96} = 0,642; \quad (22)$$

Где: С, Н, О – углерод, водород, кислород, доли которых, содержатся в топливе. Массовое содержание кислорода в 1 кг воздуха равно 0,23.

Действительное количество воздуха, поступившее в двигатель:

$$M = \alpha * L_0 = 0,7 * 0,642 = 0,449 \text{ моль}; \quad (23)$$

Где: α – коэффициент избытка воздуха, который у инжекторных двигателей принимает значение (0,58...0,90).

Количество остаточных газов в цилиндрах к концу такта сжатия:

$$M_r = \gamma_r \alpha L_0 = 0,044 * 0,7 * 0,642 = 0,02 \text{ моль}; \quad (24)$$

Общее количество газов, находящихся в цилиндре в конце сжатия:

$$M_c = \alpha L_0 (1 + \gamma_r) = 0,7 * 0,642 (1 + 0,044) = 0,469 \text{ моль}; \quad (25)$$

2.3 Расчёт процесса сгорания

Число моль продуктов сгорания 1 кг топлива:

Если $\alpha > 1$, то

$$M = \alpha L_0 + \frac{H}{4} + \frac{O}{32}; \quad (26)$$

Если $\alpha < 1$, то

$$M = \alpha L_0 + \frac{H}{4} + \frac{O}{32} + 0,21 * L_0 (1 - \alpha); \quad (27)$$

В нашем случае $0,7 < 1$, следовательно:

$$M = \alpha L_0 + \frac{H}{4} + \frac{O}{32} + 0,21 * L_0(1 - \alpha) = 0,7 * 0,642 + \frac{0,145}{4} + \frac{0}{32} + 0,21 * 0,642(1 - 0,7) = 0,526 \text{ кг/кмоль}; \quad (28)$$

Количество газов, находящихся в цилиндре в конце сгорания:

$$M_z = M + M_r = 0,526 + 0,02 = 0,726 \text{ моль}; \quad (29)$$

Коэффициент молекулярного изменения рабочей смеси:

$$\beta = \frac{M_z}{M_c} = \frac{0,726}{0,469} = 1,548; \quad (30)$$

Температура в конце сгорания T_z определяется из уравнения сгорания:

$$(c_{vc}) * T_c + \frac{\xi * Q_H - \Delta Q}{\alpha * L_0(1 + \gamma_r)} = \beta * c_{vz} * T_z; \quad (31)$$

Где: c_{vc} – средняя теплоёмкость свежего заряда при постоянном объёме

$$c_{vc} = 20,16 + 1,74 * 10^{-3} T_c = 20,16 + 1,74 * 10^{-3} * 874,214 = 21,68 \text{ кДж/кмоль}; \quad (32)$$

ξ – коэффициент использования теплоты топлива, (0,7...0,8) – у вихрекамерных, (0,75...0,85) – с неразделёнными камерами. Q_H – низшая удельная теплота сгорания, у бензина имеет значение $Q_H = 43900$ кДж/кг. ΔQ – потери части теплоты топлива из-за химической неполноты сгорания,

$$\Delta Q = 119950(1 - \alpha_0)L_0 = 119950 * (1 - 0,7)0,642 = 23102,37 \text{ кДж/кг}; \quad (33)$$

c_{vz} – средняя молярная теплоёмкость продуктов сгорания жидкого топлива:

$$c_{vz} = (18,4 + 2,6\alpha) + (15,5 + 13,8\alpha) * 10^{-4} * T_z = 20,22 + 0,00252T_z$$

$$(c_{vc}) * T_c + \frac{\xi * Q_H - \Delta Q}{\alpha * L_0(1 + \gamma_r)} = \beta * c_{vz} * T_z$$

$$21,68 * 874,214 + \frac{0,8 * 43900 - 23102,37}{0,7 * 0,642(1 + 0,044)}$$

$$= 1,548 * (20,22 + 0,00252T_z) * T_z$$

(34)

$$18952,96 + 25614,463 = 1,548 * (20,22 + 0,00252T_z) * T_z$$

$$(20,22 + 0,00252T_z) * T_z - 28790,325 = 0$$

$$0,00252T_z^2 + 20,22T_z - 28790,325 = 0$$

$$T_z = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} = \frac{-20,22 + \sqrt{20,22^2 + 4 * 0,00252 * 28790,325}}{2 * 0,00252} = 1234,056 \text{ К};$$

(35)

Давление в конце сгорания рассчитывается по формуле:

$$P_z = \beta * P_c * \frac{T_z}{T_c} = 1,548 * 2,233 + \frac{1234,056}{874,214} = 4,879 \text{ МПа};$$

(36)

2.4 Расчёт процесса расширения

Давление в конце расширения:

$$P_B = \frac{P_Z}{\delta^{n_2}}; \quad (37)$$

Где: δ – степень последующего расширения

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} = 10,5; \quad (38)$$

n_2 - показатель политропы расширения, определяется по формуле:

$$n_2 = 1,23 + \frac{130}{n_d} = 1,255; \quad (39)$$

Полученные значения подставим в формулу (2.4.1):

$$P_B = \frac{P_Z}{\delta^{n_2}} = \frac{4,879}{10,5^{1,255}} = 0,255 \text{ МПа}; \quad (40)$$

Температура в конце расширения:

$$T_B = \frac{T_Z}{\delta^{n_2-1}} = \frac{1234,056}{10,5^{1,255-1}} = 677,535 \text{ К} \quad (41)$$

2.5 Построение индикаторной диаграммы

Теоретическая индикаторная диаграмма строится в координатах P-V. Для этого на оси абсцисс откладывается отрезок l_{vc} , отражающий в масштабе длины диаграммы объем камеры сгорания V_c . Этот отрезок отражает единицу объема. Следом, на оси абсцисс, откладываются отрезки, отражающие в принятом масштабе соответствующие объемы:

рабочий объем

$$l_{vh} = l_{va} - l_{vc} = 5 \text{ мм} = 75,6 \text{ мм}; \quad (42)$$

объем камеры сгорания

$$l_{vc} = \frac{l_{vh}}{\varepsilon - 1} = \frac{75,6}{10,5 - 1} = 7,96 \text{ мм}; \quad (43)$$

полный объем цилиндра

$$l_{va} = l_{vh} + l_{vc} = 83,56 \text{ мм}; \quad (44)$$

объем предварительного расширения

$$l_{vz} = \rho * l_{vc} = 1,103 * 8 = 7,96 \text{ мм} \quad (45)$$

На оси ординат, с выбранным масштабом для давлений $P_0, P_r, P_a, P_c, P_z, P_b$, через точки P_0, P_a, P_z проводятся прямые параллельные оси абсцисс до пересечения с прямыми крайних положений поршня.

Промежуточные точки политроп сжатия и расширения определяются из условия, что каждому значению l_{vx} , на оси абсцисс соответствуют следующие значения давлений:

для политропы сжатия

$$P_{x(i)} = P_a \left(\frac{l_{va}}{l_{vx(i)}} \right)^{n_1}; \quad (46)$$

для политропы расширения

$$P_{x(i)} = P_b \left(\frac{l_{va}}{l_{vx(i)}} \right)^{n_2}; \quad (47)$$

где n_1 и n_2 – это показатели политроп сжатия и расширения соответственно.

Масштаб оси ординат (давления):

$$\omega_P = \frac{P_{max}}{l} = \frac{5 \text{ МПа}}{325 \text{ мм}} = 0,015 \frac{\text{МПа}}{\text{мм}}; \quad (48)$$

$$\omega_V = \frac{V_a}{l} = \frac{83,56 \text{ мм}}{340 \text{ мм}} = 0,246 \frac{\text{мм}}{\text{мм}}; \quad (49)$$

Таблица 3 – Результирующая таблица: расчёт политроп сжатия и расширения

| N_{ox} | l_{vx} | S_x | $P_{сж}$ | $P_{расш}$ |
|----------|----------|-------|----------|------------|
| 1 | 12,964 | 0 | 2,233 | 4,879 |
| 2 | 29,25 | 10 | 0,719 | 1,754 |
| 3 | 45,536 | 20 | 0,389 | 1,006 |
| 4 | 61,822 | 30 | 0,254 | 0,686 |
| 5 | 78,108 | 40 | 0,184 | 0,511 |
| 6 | 94,394 | 50 | 0,141 | 0,403 |
| 7 | 110,68 | 60 | 0,113 | 0,330 |
| 8 | 136 | 75,6 | 0,085 | 0,255 |

Для построения индикаторной диаграммы необходимо определить площадь диаграммы F_u в мм^2 , по которой высчитывается среднее индикаторное давление « P_i » из выражения:

$$P_{jp} = \frac{P_c}{\varepsilon-1} \left[\frac{\lambda_p}{n_2-1} \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_2-1}} \right) - \frac{1}{n_1-1} * \left(1 - \frac{1}{\varepsilon^{n_1-1}} \right) \right] = \frac{2,233}{10,5-1} \left[\frac{2,185}{1,255-1} \left(1 - \frac{1}{10,5^{1,255-1}} \right) - \frac{1}{1,39-1} * \left(1 - \frac{1}{10,5^{1,89-1}} \right) \right] = 0,545 \text{ МПа}; \quad (50)$$

Точность построения индикаторной диаграммы можно оценить коэффициентом погрешности:

$$\delta_n = \frac{0,545-0,528}{0,545} * 100\% = 2,97\%; \quad (51)$$

Действительное среднее индикаторное давление:

$$P_j = P_{jp} * Y - \Delta P = 0,545 * 0,93 - 0,032 = 0,474 \text{ МПа}; \quad (52)$$

Где $\Delta P = P_r - P_a = 0,117 - 0,085 = 0,032 \text{ МПа}$ – потеря индикаторного давления на проведение вспомогательных ходов, $Y = 0,92 \dots 0,95 = 0,93$ – коэффициент полноты индикаторной диаграммы.

2.6 Определение индикаторных и эффективных показателей

Индикаторный КПД:

$$\eta_i = \frac{P_j * l_0 * \alpha}{Q_H * \rho_0 * \eta_V} = \frac{0,545 * 18,603 * 0,7}{43,9 * 1,124 * 0,95} = 0,3; \quad (53)$$

где ρ_0 – плотность заряда на впуске:

$$\rho_0 = \frac{P_0 * 10^6}{R_b * T_0} = \frac{0,0919 * 10^6}{287 * 285} = 1,124 \text{ кг/м}^3; \quad (54)$$

Индикаторный удельный расход топлива:

$$g_i = \frac{3600}{Q_H} * \eta_i = \frac{3600}{43,9} * 0,15 = 12,3 \frac{\text{г}}{\text{кВт*ч}}; \quad (55)$$

Среднее давление механических потерь:

$$P_{\text{мп}} = 0,04 + 0,135 * C_{\text{п}} = 0,04 + 0,0135 * 12,852 = 0,21 \text{ МПа}; \quad (56)$$

Среднее эффективное давление:

$$P_e = P_i - P_{\text{мп}} = 0,545 - 0,21 = 0,335 \text{ МПа}; \quad (57)$$

Механический КПД:

$$\eta_M = \frac{P_e}{P_i} = \frac{0,335}{0,545} = 0,75; \quad (58)$$

Эффективный КПД:

$$\eta_e = \eta_i * \eta_m = 0,3 * 0,75 = 0,25; \quad (59)$$

Эффективный удельный расход топлива:

$$g_e = \frac{3600}{Q_H * \eta_e} = \frac{3600}{43,9 * 0,29} = 282,774 \frac{\text{г}}{\text{кВт*ч}}; \quad (60)$$

Эффективная мощность двигателя:

$$N_e = \frac{P_e * V_h * i * n}{30\tau} = \frac{0,335 * 0,4 * 4 - 5100}{30 * 4} = 73,4 \text{ кВт}; \quad (61)$$

где: τ – тактность двигателя, V_h - рабочий объём цилиндра:

$$V_h = \frac{\pi d^2}{4} * S_{\text{хп}} = \frac{3,14 * 8,2^2}{4} * 7,56 = 399 \text{ см}^3; \quad (62)$$

Литровая мощность двигателя:

$$N_l = \frac{N_e}{V_h} * j = \frac{73,4}{0,4} = 204 \frac{\text{кВт}}{\text{л}}; \quad (63)$$

Удельная поршневая мощность:

$$N_{\text{п}} = \frac{N_e}{F_{\text{п}}} * j = \frac{73,4}{0,52} * 4 = 153,84 \frac{\text{кВт}}{\text{дм}}; \quad (64)$$

где $F_{\text{п}}$ – площадь поршня в см^2 :

$$F_{\text{п}} = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{3,14 * 8,2^2}{4} = 52,78 \text{ см}^2; \quad (65)$$

Часовой расход топлива:

$$G_t = N_e * g_e * 10^{-3} = 73,4 * 282,774 * 10^{-3} = 20,8 \frac{\text{кг}}{\text{ч}} \quad (66)$$

Таблица 4 – Результаты теплового расчёта двигателя

| Давление газов, МПа | | | | Температуры газов, К | | | |
|---------------------|-------|-------|-------|----------------------|-------|-------|-------|
| P_a | P_c | P_z | P_b | T_a | T_c | T_z | T_b |
| 0,085 | 2,233 | 4,879 | 0,255 | 349 | 874 | 1234 | 677 |

Таблица 4 – Продолжение

| Среднее давление | | КПД, % | | Эффективные показатели | | |
|------------------|-------|----------|----------|------------------------|-----------------------------|------------------------------|
| | | | | Мощность, кВт | Уд. расход топлива, г/кВт*ч | Часовой расход топлива, кг/ч |
| P_i | P_e | η_m | η_e | N_e | g_e | G_t |
| 0,52 | 0,335 | 75 | 25 | 73,4 | 282,774 | 20,8 |

2.7 Расчёт цикловой подачи топлива

Цикловая подача топлива – это один из принципов организации топливоподачи в двигателях внутреннего сгорания. Сущность цикловой подачи заключается в том, что топливо впрыскивается в камеру сгорания порциями (циклами), синхронизированными с рабочим циклом двигателя. Объём впрыскиваемого за один цикл топлива называется цикловой подачей. Преимуществами цикловой подачи являются: точное дозирование топлива, возможность организации многоступенчатого впрыска для оптимизации сгорания, возможность реализации разнообразных законов подачи топлива. В бензиновых двигателях внутреннего сгорания цикловая подача реализуется через электромагнитные форсунки, которые управляются электронной системой впрыска.

Расчёт цикловой подачи производится следующей формулой:

$$G_{\text{ц}} = \frac{G_{\text{т}} \cdot 1000}{n \cdot Z} = \frac{20,8 \cdot 1000}{n \cdot 4} = \frac{20800}{n \cdot 4} = \frac{5200}{n} \text{ мг/цикл}, \quad (67)$$

где $G_{\text{т}}$ – часовой расход топлива (кг/ч), n – частота вращения коленчатого вала (мин^{-1}), Z – число тактов работы двигателя.

Результаты расчёта при разных оборотах коленчатого вала представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты расчёта цикловой подачи топлива

| Частота вращения коленчатого вала, n (мин^{-1}) | Кол-во топлива (мг/цикл) |
|--|--------------------------|
| 800 | 6,50 |
| 1000 | 5,20 |
| 1200 | 4,33 |
| 1400 | 3,71 |

Таблица 5 – Продолжение

| | |
|-------------|-------------|
| <i>1600</i> | <i>3,25</i> |
| <i>1800</i> | <i>2,88</i> |
| <i>2000</i> | <i>2,60</i> |
| <i>2200</i> | <i>2,36</i> |
| <i>2400</i> | <i>2,16</i> |
| <i>2600</i> | <i>2,00</i> |
| <i>2800</i> | <i>1,86</i> |
| <i>3000</i> | <i>1,73</i> |
| <i>3200</i> | <i>1,63</i> |
| <i>3400</i> | <i>1,53</i> |
| <i>3600</i> | <i>1,44</i> |
| <i>3800</i> | <i>1,37</i> |
| <i>4000</i> | <i>1,30</i> |
| <i>4200</i> | <i>1,24</i> |
| <i>4400</i> | <i>1,18</i> |
| <i>4600</i> | <i>1,13</i> |
| <i>4800</i> | <i>1,08</i> |
| <i>5000</i> | <i>1,04</i> |
| <i>5100</i> | <i>1,02</i> |

Таким образом тепловой расчёт позволил определить требуемое давление топлива, максимальные давления в цилиндре двигателя во время работы, температурный режим в районе топливной рампы. А исходя из расчёта цикловой подачи можно определить необходимые диаметр и длину, которые обеспечат необходимую пропускную способность.

3 Специальная часть

3.1 Описание конструкции модернизированного корпуса топливной рампы

При проектировании корпуса топливной рампы принимались следующие исходные данные:

- материал корпуса ТЕРМОРАН ПФС СВ-40;
- внутренний объем топливной рампы не менее 60 см³;

Корпус рампы форсунок в составе автомобиля может эксплуатироваться во всех макроклиматических районах, а именно: в умеренном, холодном, тропическом сухом, тропическом влажном, морском. А также при температурах окружающего воздуха от минус 40°С до плюс 50°С при относительной влажности воздуха 80%.

Атмосферное давление воздуха:

- верхнее значение – 106,7 кПа (800 мм. рт. ст.);
- нижнее значение – 64,0 кПа (480 мм. рт. ст.).

Рабочей средой корпуса функционального макета рампы форсунок является воздух в подкапотном пространстве автомобиля снаружи и бензин под давлением в 380 кПа. Допускается кратковременное (до 1 часа) повышение давления до 750 кПа.

Рабочая температура от минус 40°С до плюс 125°С.

Детали могут подвергаться воздействию пыли, грязи, воды, частиц солевых растворов с дорожного покрытия.

В процессе эксплуатации к корпусу рампы форсунок могут передаваться воздействия вибрации.

Детали корпуса функционального макетного образца рампы форсунок должны учитывать возможность кратковременного внешнего воздействия жидкостей, используемых при эксплуатации автомобиля, таких как бензин марки АИ-92-К5 или иные, масло моторное и трансмиссионное

синтетическое, полусинтетическое, минеральное, охлаждающая жидкость на основе этиленгликоля, тормозная жидкость на синтетической основе, стеклоомывающая жидкость на основе спирта, вода.

Проектирование корпуса топливной рампы было выполнено в CAD программе Компас-3D v19.

Вариант конструкции топливной рампы представлен на рисунках 4 – 7. Предварительные расчеты на статическую прочность и анализ на технологичность изготовления, показали, что приемлемым вариантом формы корпуса рампы является вариант с 2-мя ребрами жёсткости. Для проверки правильности предложенной геометрии были изготовлены макеты топливной рампы аддитивным методом.

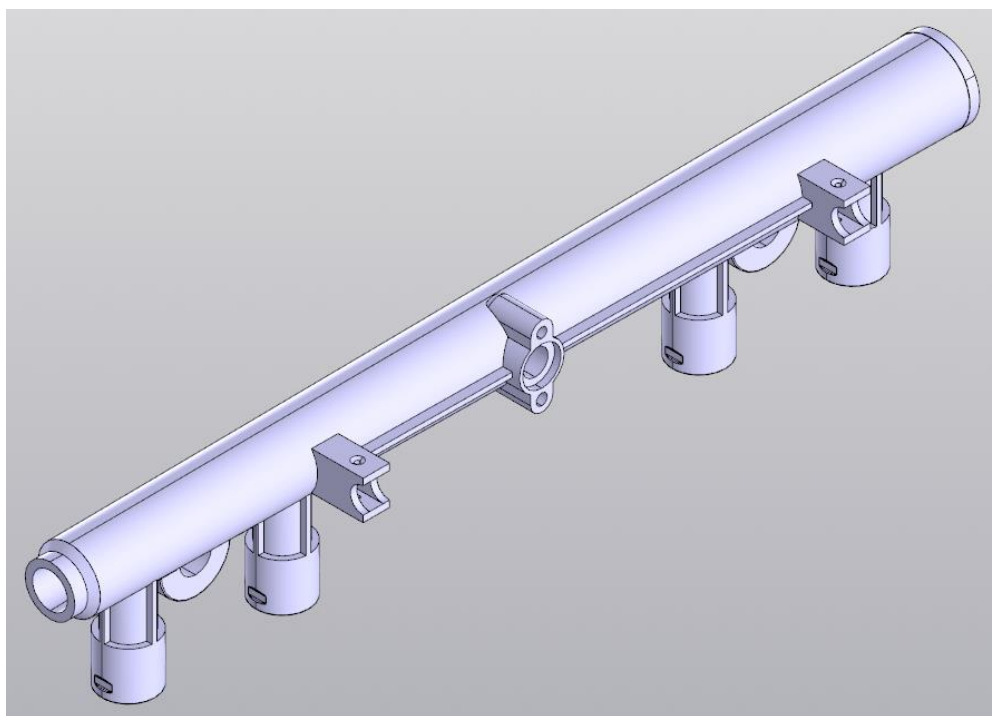


Рисунок 4 - 3D модель корпуса топливной рампы (вид спереди)

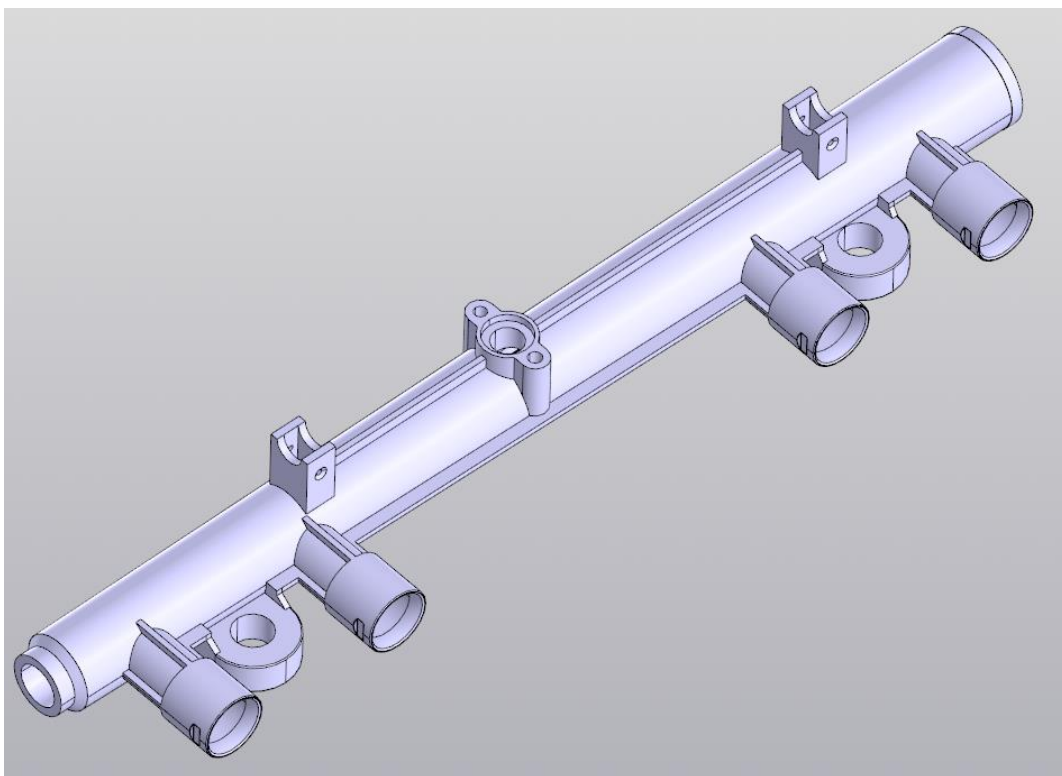


Рисунок 5 - 3D модель корпуса топливной рампы (вид снизу)

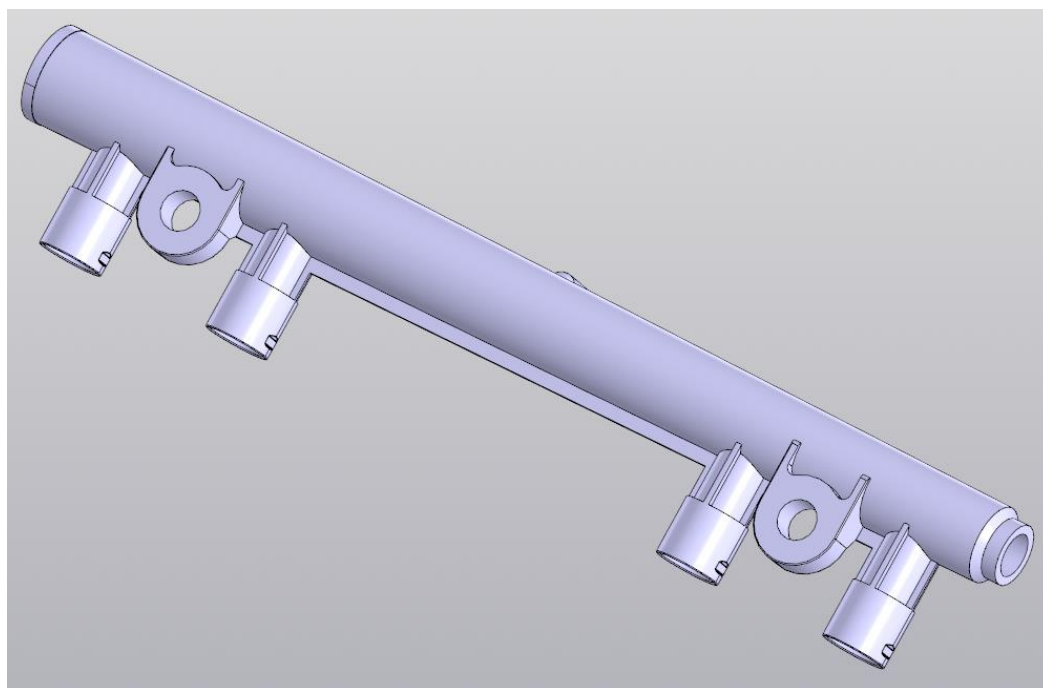


Рисунок 6 - 3D модель корпуса топливной рампы (вид сзади)

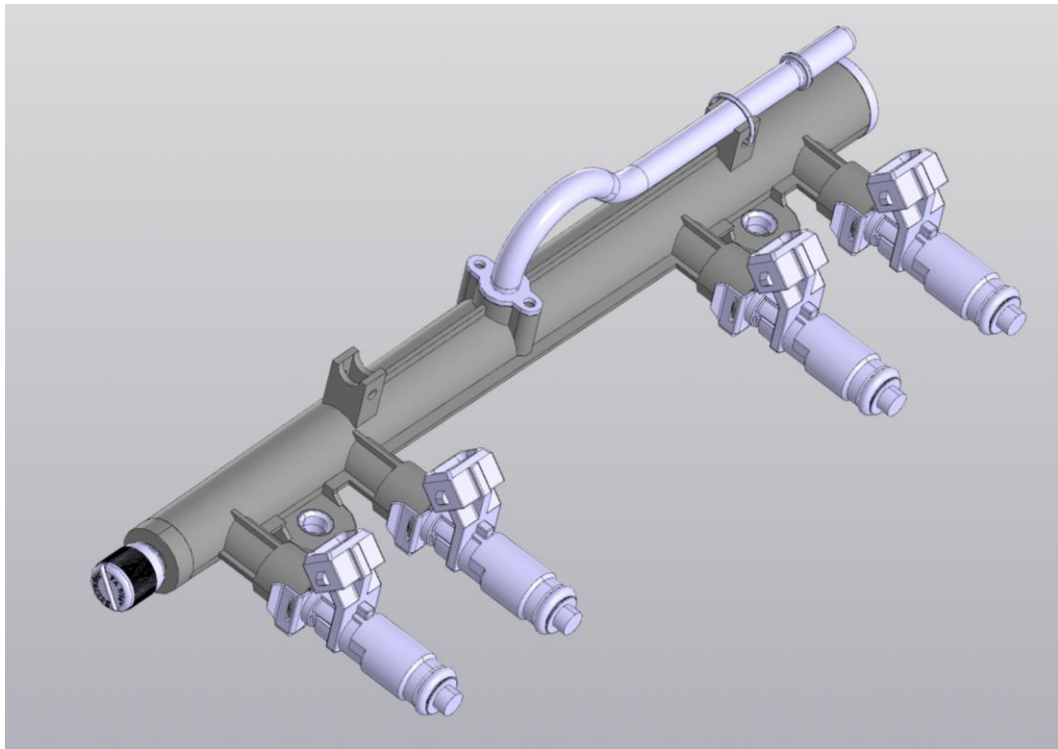


Рисунок 7 – 3D модель топливной рампы в сборе

На рисунках 8 – 10 представлены фотографии макетного образца топливной рампы, полученной в результате печати на 3D принтере.



Рисунок 8 – Корпус топливной рампы, выполненный из ABS пластика

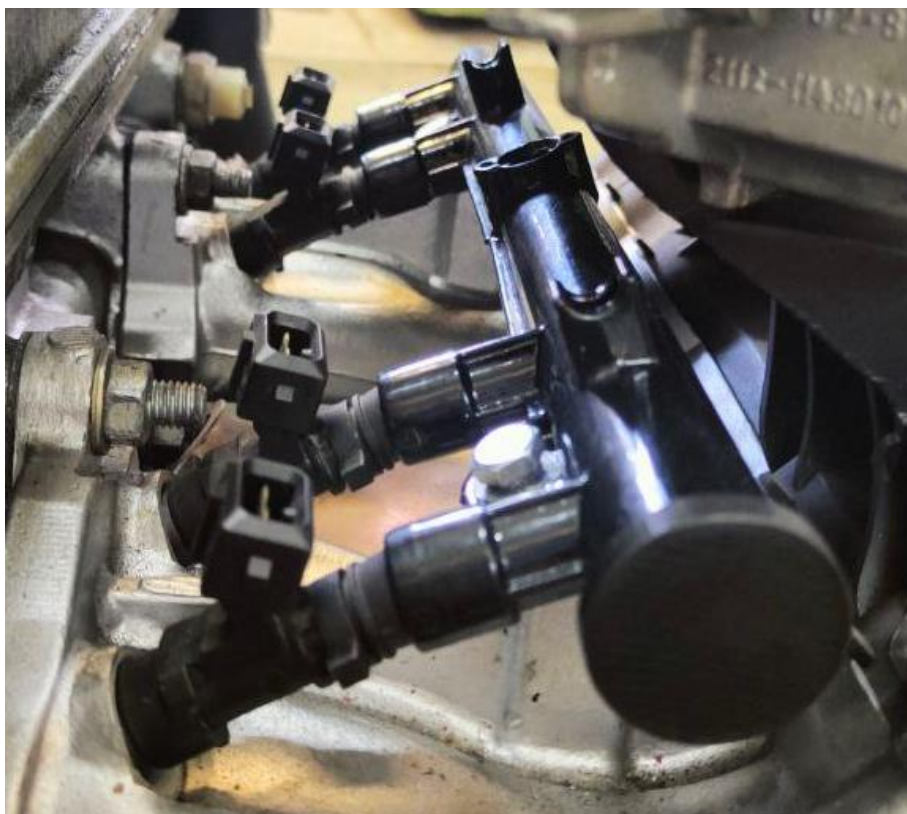


Рисунок 9 – Макет топливной рампы, установленный на двигатель



Рисунок 10 – Макет топливной рампы в сборе

3.2 Анализ модернизированного корпуса топливной рампы

Для анализа модернизированного корпуса топливной рампы был произведён прочностной расчёт корпуса топливной рампы в программе Компас-3D v19, при помощи системы прочностного анализа АРМ-FEM.

Расчёт проводится при помощи метода конечных элементов (КЭ). Суть данного метода заключается в разбиении тела на множество подобластей, связанных между собой в точках соприкосновения, в которых интересующий нас параметр изменяется методом поиска решения дифференциальных уравнений.

Существует 2 основных типа построения сетки: на основе тетраэдрических элементов (tet) и на основе гексаэдрических элементов (hex). Отличаются данные типы точностью результатов, так, если интересующая нас модель имеет сложную геометрию, то лучше выбрать tet-элементы, а при простой конструкции hex-элементы дадут более точный результат. В нашем случае будет использована сетка на основе тетраэдрических элементов, так как модернизированный корпус топливной рампы имеет сложную конструкцию.

Для создания сетки конечных элементов необходимо задать параметры для отдельных подобластей, с целью получения удовлетворительного результата при минимальных затратах ресурсов вычислительной системы. Более подробно эти параметры представлены в таблице 6.

3-D модель корпуса топливной рампы с сеткой конечных элементов представлена на рисунках 11 – 12.

Таблица 6 – Параметры разбиения модели сеткой конечных элементов

| Наименование | Значение |
|--|---------------------|
| Тип элементов | 4-узловые тетраэдры |
| Длина стороны элемента, мм | 4 |
| Максимальный коэф. сгущения на поверхности | 1,2 |
| Коэф. разрежения в объёме | 1,5 |
| Количество конечных элементов | 38894 |

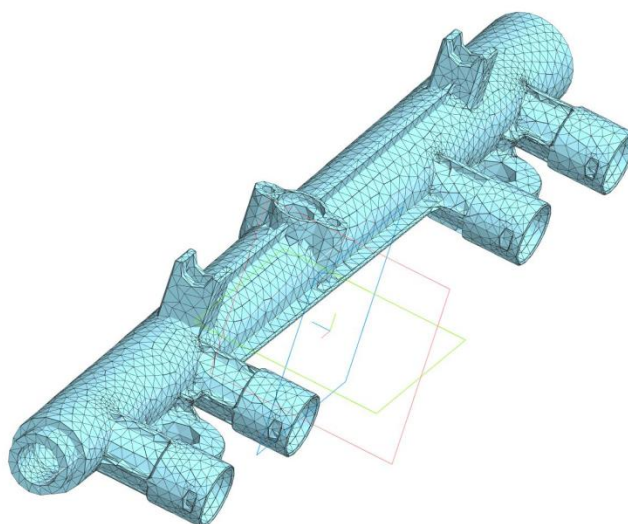


Рисунок 11 – Корпус топливной рампы с сеткой КЭ (вид спереди)

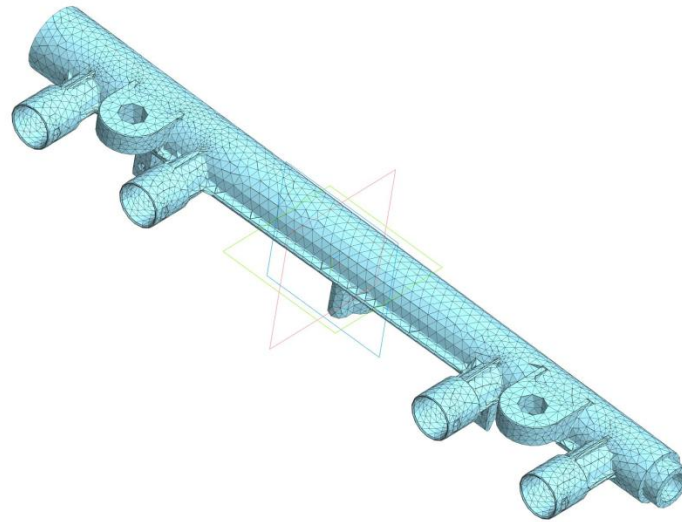


Рисунок 12 – Корпус топливной ramпы с сеткой КЭ (вид сзади)

При заданных параметрах сетки конечных элементов, можно увидеть эпюру напряжений (рисунок 13), которая позволяет построить результирующие напряжения для динамического, нелинейного и статического исследований на ударную нагрузку, а также эпюру перемещений (рисунок 14), с помощью которой можно увидеть результаты перемещения и силы реакции для статического, динамического и нелинейного исследований. Результаты, полученные в ходе данного расчёта приведены в таблице 7.

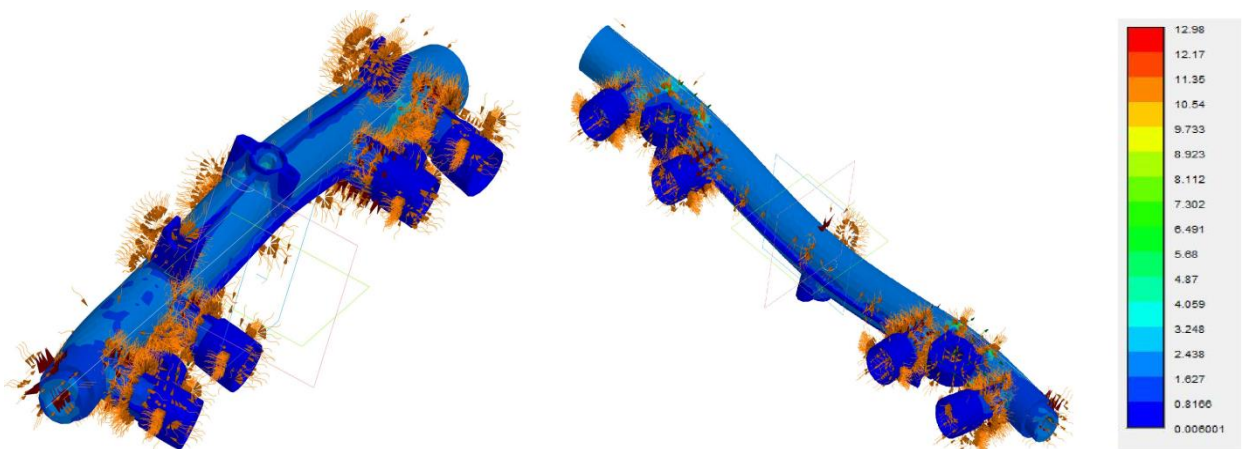


Рисунок 13 – Эпюра напряжений

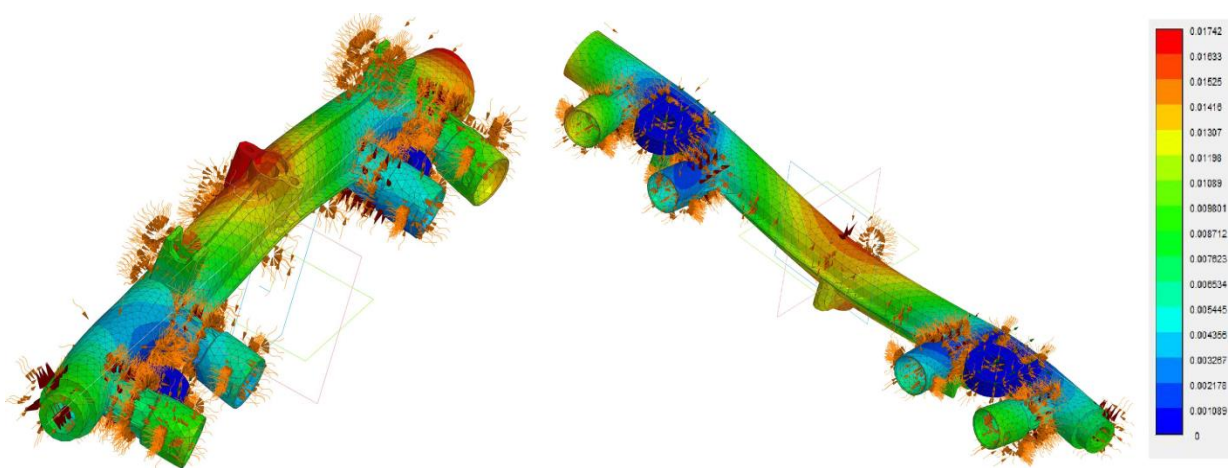


Рисунок 14 – Эпюра перемещений

Таблица 7 – Результаты анализа корпуса топливной рампы

| Параметр | Значение |
|--|----------|
| Масса корпуса, гр | <110 |
| Внутренний объём корпуса, см ³ | >56 |
| Максимальное эквивалентное напряжение, МПа | 13 |
| Суммарное линейное перемещение, мм | 0,017423 |

3.3 Описание конструкции стенда для испытаний

После производства макетного образца топливной рампы, необходимо провести испытания, для выявления недостатков и дальнейшей доработки, для этого предложены стенд для проверки герметичности топливной рампы в сборе (рисунок 15) и комбинированный стенд определения динамической и статической производительности форсунок и пульсаций давления в топливной рампе (рисунок 16).



Рисунок 15 – Комбинированный стенд определения динамической и статической производительности форсунок и пульсаций давления в топливной рампе

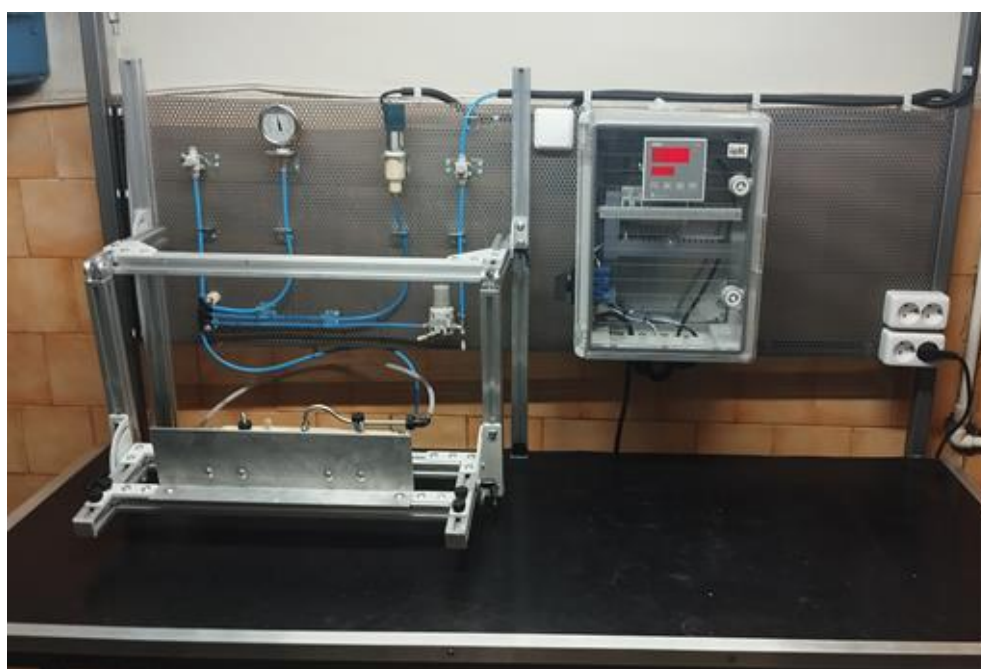


Рисунок 16 – Стенд для проверки герметичности топливной рампы

Комбинированный стенд определения динамической и статической производительности форсунок и пульсаций давления в топливной рампе применяется для оценки эффективности предлагаемых изменений в топливной системе для снижения пульсаций, влияния места установки устройств для снижения пульсаций и измерения резонансных частот пульсаций давления топливной системы.

Целью испытаний, проводимых на данном стенде, являются определение пульсаций давления топлива и максимальной амплитуды пульсации давления в топливной системе в условиях, имитирующих работу моторного стенда.

Последовательность выполнения экспериментальной работы на стенде:

- Включение стенда и выполнение калибровки системы и средств измерений;
- Установить напряжение, которое необходимо для питания системы, имитирующей, в свою очередь, подачу напряжения для открытия форсунки;
- Выбрать имитацию режимов работы двигателя, которые позволят определить возможные резонансы в топливной системе с частотой вращения коленчатого вала от 600 до 6000 мин⁻¹;
- Частоту срабатывания форсунок от 5 до 150 Гц и длительности импульса открытия форсунки от 3 до 25 миллисекунд;
- Определить пульсации давления топлива по амплитуде изменения давления. Провести замеры амплитуды пульсации давления топлива и зафиксировать условия возникновения резонанса. В местах возникновения резонанса необходимо повторить исследования с более мелким шагом частоты и длины импульса.
- Представить экспериментальные данные в виде таблицы или графиков изменения давления от частоты коленчатого вала или частоты подачи импульсов на форсунки при определённом импульсе открытия форсунки.

Обработка результатов испытаний выполняется в приведённом ниже порядке.

Максимальное давление пульсации:

$$P_{max} = k * U_{max} \text{ кПа}, \quad (68)$$

где U_{max} – максимальное напряжение датчика давления, В; k – коэффициент пропорциональности.

Размах пульсаций давления:

$$\Delta P = P_{max} - P_{min}, \quad (69)$$

где P_{max} – максимальное давление пульсации, кПа; P_{min} – минимальное давление пульсации, кПа.

Среднее квадратичное значение пульсации давления:

$$СКЗ = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i^2, \quad (70)$$

где P_i – текущее давление пульсации, кПа; N – количество дискретных отрезков.

Стенд для проверки герметичности топливной рампы, предназначен для определения герметичности компонентов топливной системы, а именно электромагнитных форсунок и топливной рампы в сборе. Проверка герметичности осуществляется двумя методами: методом падения давления в магистралях, методом погружения.

Метод проверки герметичности путём падения давления, является одним из эффективных и распространённых способов диагностики систем автомобиля. Суть данного метода заключается в следующем:

- Вся диагностируемая магистраль и топливная рампа должны быть изолированы от внешней среды, чтобы исключить утечки воздуха;
- В магистраль закачивается воздух до определённого избыточного давления, в диапазоне от 70 до 100 кПа;
- После этого давление в системе начинает постепенно падать из-за возможных негерметичностей в системе. Скорость падения давления фиксируется и анализируется.
- Если скорость падения превышает допустимые нормативы, то это указывает на наличие утечек в системе. Чем больше скорость падения, тем более серьёзны утечки.
- Используя специальные приспособления, можно выявить и локализовать место утечки в системе для дальнейшего ремонта.

Преимущества данного метода заключаются в относительной простоте и безопасности. Он позволяет оперативно диагностировать герметичность топливных магистралей автомобиля. Регулярное применение данного метода является важной профилактической мерой, помогающей своевременно выявлять и устранять неисправности.

Метод проверки герметичности путём погружения, также является распространённым способом диагностики топливных систем. Он позволяет визуально обнаружить места утечек. Реализуется данный метод следующим образом:

- Диагностируемая топливная рампа должна быть изолирована от других компонентов и заполнена воздухом под давлением;
- Вся топливная рампа или её часть помещается в ёмкость с водой, где происходит дальнейшая проверка;
- При наличии утечек, из топливной рампы будут выходить пузырьки воздуха, которые можно визуально зафиксировать. Место выхода пузырьков указывает на место выхода воздуха;

- Обнаружив место утечки, можно более точно определить и локализовать проблемный участок для последующего ремонта или доработки.

Преимущества данного метода, заключаются в следующем:

- Простота и наглядность: утечки сразу видны визуально;
- Возможность проверки герметичности всей магистрали или отдельных её частей.

Недостатки данного метода, заключаются в следующем:

- Метод применим только для визуально доступных участков топливной рампы;
- Метод не всегда позволяет определить точное место утечки;
- Проверка на герметичность методом погружения требует первоначальной изоляции системы и создания в ней избыточного давления.

В целом, проверка герметичности методом погружения в воду является удобным и эффективным способом диагностики герметичности топливной рампы.

Следуя вышесказанному, можно сделать вывод, что модернизированная топливная рампa позволит повысить стабильность и точность дозирования топлива, снизить вероятность возникновения неисправностей, а также улучшить ходовые и экологические характеристики двигателя. А при помощи испытательных стендов можно неоднократно проводить испытания топливных систем.

Заключение

На основании результатов данной бакалаврской работы, можно сделать следующие выводы:

- Был произведён анализ существующих топливных систем двигателей производства АО «АвтоВАЗ». Были рассмотрены их конструктивные особенности, преимущества и недостатки, что позволило выявить направление для дальнейшего совершенствования топливной системы;
- Выполнены тепловой расчёт двигателя и расчёт цикловой подачи топлива, в ходе которых определены основные параметры, влияющие на эффективность работы топливной системы. Полученные данные использованы при проектировании модернизированной топливной рампы;
- Разработана конструкция модернизированной топливной рампы, обеспечивающая более равномерное распределение топлива между цилиндрами двигателя. Был проведён прочностной расчёт модернизированной топливной рампы, который подтвердил её надёжность и работоспособность;
- Предложены конструкции испытательных стендов для безмоторных испытаний топливной системы. Это позволит оценить характеристики элементов системы в условиях, максимально приближенных к реальной эксплуатации, без необходимости проведения дорогостоящих моторных испытаний.

Таким образом, в ходе выполнения бакалаврской работы, разработаны технические решения, направленные на совершенствование топливной системы двигателей производства АО «АвтоВАЗ». Полученные результаты могут быть использованы для дальнейшего развития и модернизации автомобильной техники.

Список используемых источников

1. Автомобильная химия. Полиамиды. Полиформальдегиды (полиацетали) [Электронный ресурс]. URL: <https://stroy-technics.ru/article/poliamidy> (дата обращения 24.10.2023).
2. Анурьев В.И., Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев; В 3-х т. Т. 1. – М: Машиностроение, 1978.
3. Анурьев В.И., Справочник конструктора-машиностроителя / В.И. Анурьев; В 3-х т. Т. 2. – М: Машиностроение, 1978.
4. База знаний студента. Пластики в автомобилестроении. [Электронный ресурс]. URL: <https://stud-baza.ru/plastiki-v-avtomobilestroenii-referaty-materialovedenie> (дата обращения 24.10.2023)
5. Воинов А.Н., Процессы сгорания в быстроходных поршневых двигателях / А.Н. Воинов; М.: Машиностроение, 1965.
6. ГОСТ 7.1-2003. Библиографическая запись. Общие требования и правила составления. – Москва: ИПК Изд-во стандартов, 2004. – 47 с.
7. Двигатели внутреннего сгорания: Учебник для втузов, обучающихся по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / Д.Н. Вырубов и др.; Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова – М.: Машиностроение, 1984.
8. Дзюбан А.М., Учебно-методическое пособие к выполнению выпускной квалификационной работы бакалавров / А.М. Дзюбан, Д.А. Павлов, В.В. Смоленский – ФГБОУ ВО «Тольяттинский Государственный Университет» 2018 – 51с.
9. Дьяченко В.Г., Теория двигателей внутреннего сгорания. Учебник для студентов высших учебных заведений / В.Г. Дьяченко // Харьков: ХНАДУ, 2009.
10. Железко Б.Е., Расчёт и конструирование автомобильных и тракторных двигателей (дипломное проектирование): Учебное пособие для вузов / Б.Е. Железко и др. – Мн.: Выш. шк. 1987.

11. Кавтарадзе Р.З., Теория поршневых двигателей. Специальные главы: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008.
12. Колчин А.И., Демидов В.П. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей: Учебное пособие для вузов – 2-е изд., перераб. И доп. – М.: Высшая школа, 1980.
13. Композитные пластиковые топливные рампы имеют меньшую стоимость и массу. [Электронный ресурс] – 2023. – URL: <https://www.sae.org/publications/technical-papers/content/2019-26-0164>, URL: <https://pdf.directindustry.com/pdf/delphi-power-train/delphi-multec-multi-port-fuel-injection-fuel-rail-assemblies/54988-610635.html> (дата обращения 28.10.2023)
14. Луканин В.Н., Двигатели внутреннего сгорания / Луканин В.Н. // Кн. 1. Тория рабочих процессов. – М.: Высшая школа, 1995.
15. Луканин В.Н., Двигатели внутреннего сгорания / Луканин В.Н. // Кн. 2. Динамика и конструирование. – М.: Высшая школа, 1995.
16. М.С. Ховаха., Автомобильные двигатели – М., Машиностроение, 1977.
17. Мелисаров В.М., Тепловой расчёт и тепловой баланс карбюраторного двигателя и двигателя с впрыском топлива: учебное пособие / В.М. Мелисаров, П.П. Беспалько, М.А. Каменская. – Тамбов: Изд-во Тамб. Гос. Тех. Ун-та, 2009. – 128 с.
18. Орлин А.С., Двигатели внутреннего сгорания: Системы поршневых и комбинированных двигателей. Учебник для вузов по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» / С.И. Ефимов, Н.А. Иващенко, В.И. Ивин и др.; Под общей редакцией А.С. Орлина, М.Г. Круглова // – 3-е издание, перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1985.
19. Основы теории двигателей [Электронный ресурс] – URL: https://forest.petrstu.ru/courses/pump/Pump1/_Pump1.htm (дата обращения 21.02.2024)

20. Попык К.Г., Динамика автомобильных и тракторных двигателей / К.Г. Попык; 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1970.
21. Реферативный журнал «Двигатели внутреннего сгорания», 1999-2011.
22. Смоленский В.В., Автомобильные двигатели: курс лекций / В.В. Смоленский. – Тольятти: ТГУ, 2009.
23. Сутягин В.М., Основные свойства полимеров: учебное пособие / В.М. Сутягин, О.С. Кукурина, В.Г. Бондалетов; Национальный исследовательский Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 96 с.
24. Топливные рампы бензиновых двигателей компании Bosch, выполненные из композитных и стальных материалов [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bosch-motility.com/en/solutions/fuel-supply/fuel-rail-pfi/> (дата обращения 28.10.2023).
25. Учебник для бакалавриата и магистратуры: Детали машин. Курсовое проектирование. Часть I. / В.В. Гурин, В.М. Замятин, А.М. Селезнёв, Ю.Б. Галеркин, С.А. Анисимов и др.; Издательство Машиностроение, 1986.
26. Чайнов Н.Д., Конструирование двигателей внутреннего сгорания / Н.Д. Чайнов, Н.А. Иващенко, А.Н. Краснокутский, Л.Л. Мягков. // Учебник – М.: Машиностроение, 2008.
27. Что такое топливная рампа. [Электронный ресурс]. URL: <https://izmaylovo-inn.ru/chto-takoe-liniya-rampy/> (дата обращения 28.10.2023)
28. Швецов А.Ю. Улучшение динамических показателей двигателя внутреннего сгорания. // Вестник НГИЭИ. 2010. с. 142-150.
29. American Chemistry Council (2018) Plastics and polymer composites in light vehicles. Washington DC: American Chemistry Council [Электронный ресурс]. URL: <https://www.automotiveplastics.com/wp-content/uploads/Plastics-and-Polymer-Composites-in-Light-Vehicles-2019-REV-Sm.pdf>.

30. Future of the car is set in plastic if «Iron to Polymer» accelerates [Электронный ресурс]. URL: www.ft.com/content/9647eccc-b085-11e8-87e0-d84e0d934341 (дата обращения 24.10.2023)

31. Mike Braeckel Fuel Resistant Plastics /Mike Braeckel, Dwight Smith, Joseph G. Tajar and John Yourtee/ Advanced Materials & Processes [Электронный ресурс] - August 2000 - pages 37ff-<https://studylib.net/doc/18400417/fuel-resistant-plastics>.

32. Polymer selection helps automotive fuel-system components survive for the life of the vehicle [Электронный ресурс]. URL: <https://www.machinedesign.com/archive/article/21814328/plastics-for-the-long-haul> (дата обращения 24.10.2023).

33. Reinforced thermoplastic used in Citroën biofuel engines [Электронный ресурс]. URL: <https://www.reinforcedplastics.com/content/news/reinforced-thermoplastic-used-in-citroen-biofuel-engines> (дата обращения 24.10.2023).

34. C.M. Sonsino Fatigue design of highly loaded short-glass-fibre reinforced polyamide parts in engine compartments / C.M. Sonsino, E. Moosbrugger / International Journal of Fatigue 30, 2008.

35. Jaguar Land Rover is researching innovation new plastic recycling technology [Электронный ресурс]. URL: <https://media.jaguarlandrover.com/news/2019/07/jaguar-land-rover-trials-innovative-plastic-recycling-technology> (дата обращения 28.10.2023).